1. Publicação nº	2. Versão	3. Data	5. Distribuição
INPE-2694-TDL/128		Abril, .1983	☐ Interna ☒ Externa ☐ Restrita

4. Origem	Programa
DRH-DSR	FRH/SER

6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es)

SENSORIAMENTO REMOTO
EROSÃO
ANÁLISE AUTOMÁTICA

7. C.D.U.: 528.711.7:551.3.053(816.1)

8. Título INPE-2694-TDL/128

UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA A CARACTERIZAÇÃO DE EROSÃO DO SOLO NO SW DO ESTADO DE SÃO PAULO

10. Páginas: 122

11. Última página: A.5

12. Revisada por

José P. Queiroz Neto

9. Autoria Sérgio dos Anjos Ferreira Pinto

13. Autorizada por

Nelson de Jesus Parada
Diretor

Assinatura responsável Sergio dos Anjos Ferreira Pinto

14. Resumo/Notas Este trabalho teve como objetivo desenvolver uma metodologia de utilização de técnicas de sensoriamento remoto para a caracterização da erosão do solo, considerando os fatores topográficos e antrópico. Selecionou-se como área de estudo a bacia do Ribeirão Anhumas, na região SW do Estado de São Paulo, que vem sendo submetida a processos de erosão do solo, através de ravinamentos. Neste trabalho foram utilizadas fotografias aéreas pancromáticas, cartas topográficas e fitas compatíveis com computador (CCTs) do LANDSAT-2. Através de amostragem randômica em quadrículas de 1 km x 1 km foram extraídas das fotografias aéreas a frequência de ravinas, o tipo de cobertura vegetal/uso da terra e as formas de vertentes; foram calculados das cartas topográficas a declividade média, a densidade hidrográfica e a extensão de vertentes. Durante os trabalhos de campo foram obtidos dados sobre a razão entre porcentagem de areia fina e areia grossa e densidade de cobertura vegetal. Os dados contidos em CCTs foram analisados utilizando os algoritmos "Single-Cell", "Cluster Synthesis" e "Slicer", implementados no sistema Image 100. As análises gráficas e estatísticas demonstraram que a declividade e a variação de cobertura vegetal/uso são os fatores mais significativos ao condicionamento da erosão do solo. A análise digital das CCTs/LANDSAT, referentes ao canal 5, permitiu o estabelecimento de associações entre classes de níveis de cinza e de cobertura vegetal, sendo possível definir sete classes para a área de estudo. As classes de níveis de cinza e de declividades foram utilizadas para compor uma escala de riscos à erosão.

15. Observações Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto aprovada em 29 de setembro de 1982.

PÁGINA ORIGINALMENTE EM BRANCO

Aprovada pela Banca Examinadora
em cumprimento a requisito exigido
para a obtenção do Título de Mestre
em Sensoriamento Remoto

Dr.Hermann Kux
Presidente

Dr.José Pereira de Queiroz Neto
Orientador

Dr.Gilberto Amaral
Co-Orientador

Dr.Francisco Lombardi Neto
Membro da Banca
-convidado-

Eng.Agro.Antonio Tebaldi Tardin,MSc.
Membro da Banca

Candidato: Sérgio dos Anjos Ferreira Pinto

São José dos Campos, 29 de setembro de 1982

AGRADECIMENTOS

Ao INPE, através do Departamento de Sensoriamento Remoto, pelos meios materiais necessários para a realização deste trabalho.

Aos professores Dr. José Pereira de Queiroz Neto e Dr. Gilberto Amaral pela orientação e incentivo.

Aos colegas que colaboraram na realização deste trabalho.

ABSTRACT

The objective of this study was to develop a methodology of application of remote sensing techniques to characterize soil erosion, considering topographic features and human influences. The area under study was the Ribeirão Anhumas drainage basin, SW of Sao Paulo State (Brazil) which is undergoing rill and gullying erosion processes. The following materials were used: panchromatic aerial photographies; topographic maps and computer compatible tapes (CCTs) from MSS-LANDSAT-2 data. Within randomly sampled squares of a 1 km x 1 km grid, rill/gullies frequency, land cover/land use type and shape of the slopes were extracted from the aerial photographies; mean slope gradient, stream frequency and slope length were calculated on the topographic maps. During field work data on fine sand/coarse sand ratio and vegetation cover densities were obtained. The MSS-LANDSAT-2 data (CCTs) were analyzed using the following algorithms: Single-Cell, Cluster Synthesis and Slicer, implemented at the Image 100 system. The graphical and statistical analysis of the data indicated that different slope gradients and land cover/land use types are the most significant factors related to the soil erosion process. The digital analysis of MSS/5 LANDSAT-2 data (CCTs) allowed the association among gray level classes and vegetation cover classes, which defined seven classes in the study area. These gray level classes and slope gradient classes were used in order to establish an erosion risk ranking.

SUMÁRIO

Pág.

LISTA DE FIGURAS ..... *ix*

LISTA DE TABELAS ..... *xi*

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO 1

CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 5

2.1 - Aplicação de dados do sistema LANDSAT para o estudo de erosão do solo 5

2.2 - Utilização de fotografias aéreas para levantamento de erosão do solo 7

2.3 - Erosão do solo: conceituação e fatores condicionantes 8

CAPÍTULO 3 - MATERIAL E MÉTODO 19

3.1 - Área de estudo 19

3.2 - Material 25

3.2.1 - Produtos de Sensoriamento Remoto 25

3.2.2 - Material Cartográfico 26

3.2.3 - Equipamento de campo 27

3.2.4 - Analisador Multiespectral de Imagens 27

3.2.5 - Outros Equipamentos 27

3.3 - Método 27

3.3.1 - Coleta de Dados 27

3.3.1.1 - Aquisição de dados através de fotografias aéreas 28

3.3.1.2 - Aquisição de dados através de cartas topográficas 35

3.3.1.3 - Aquisição de dados através de trabalho de campo 37

3.3.1.4 - Aquisição de dados através de imagens LANDSAT 44

3.3.2 - Análise integrada dos dados 46

CAPÍTULO 4 - RESULTADOS 49

4.1 - Resultados obtidos através dos dados coletados por fotografias aéreas, cartas topográficas e trabalho de campo 49

4.2 - Resultados obtidos através da análise automática de dados LANDSAT 61

4.3 - Resultados obtidos através da análise automática dos dados LANDSAT, fotos aéreas, cartas topográficas e trabalho de campo 87

Pág.

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES 93

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 95

APÊNDICE A - DADOS REFERENTES ÀS VARIÁVEIS FREQUÊNCIA DE RAVINAS, EXTENSÃO DE VERTENTES, DENSIDADE HIDROGRÁFICA, DECLIVIDADE MÉDIA E TIPOS DE COBERTURA VEGETAL/USO (PASTO, PASTO SUJO, CULTURAS E MATA), PARA 147 QUADRÍCULAS AMOSTRAIS.

LISTA DE FIGURAS

Pág.

3.1 - Localização da área de estudo 19

3.2 - Exemplo de interpretação de erosão do solo em ravinas através de fotografias aéreas 31

3.3 - Exemplo de interpretação da cobertura vegetal/uso da terra através de fotografias aéreas 32

3.4 - Exemplo de interpretação das formas de vertente através de fotografias aéreas 34

3.5 - Localização das quadrículas amostrais visitadas no trabalho de campo 39

3.6 - Ficha de campo que mostra o posicionamento de estações amostrais em uma quadrícula 41

3.7 - Quadrado amostral utilizado na avaliação de densidade de cobertura vegetal 42

3.8 - Apresentação de um módulo no vídeo do Sistema IMAGE-100 ... 45

4.1 - Distribuição de frequência das classes de intensidade de erosão 54

4.2 - Distribuição dos tipos de cobertura vegetal para 1962 e 1972 56

4.3 - Frequência de ocorrência de diferentes temas obtidos na classificação automática de dados, conforme os tipos de cobertura 76

4.4 - Distribuição de diferentes temas obtidos na classificação automática em relação aos tipos de cobertura 78

4.5 - Relação entre temas agrupados, obtidos através de interpretação automática, e índice de cobertura vegetal 83

4.6 - Relação entre temas agrupados, obtidos através de interpretação automática, e índice de cobertura vegetal 84

4.7 - Relação entre temas agrupados, obtidos através de interpretação automática, e índice de cobertura vegetal 85

4.8 - Exemplo de quatro quadrículas amostrais com escala de riscos à erosão 90

LISTA DE TABELAS

Pág.

3.1 - Exemplo de ficha de campo utilizada na anotação de porcentagens dos tipos de cobertura 43

4.1 - Coeficientes de correlação entre as variáveis analisadas . 49

4.2 - Dados das variáveis analisadas para 33 quadrículas amostrais 53

4.3 - Dados das variáveis analisadas para 14 quadrículas amostrais 60

4.4 - Classes de níveis de cinza obtidas através de interpretação automática de dados LANDSAT 63

4.5 - Símbolos associados às classes de níveis de cinza (temas) 64

4.6 - Ocorrência dos símbolos (temas) nas quadrículas analisadas no Sistema IMAGE-100 65

4.7 - Frequência absoluta dos temas para os diferentes tipos de cobertura analisados 66

4.8 - Porcentagem de ocorrência dos temas e de cobertura vegetal nas diferentes quadrículas analisadas 71

4.9 - Frequência de ocorrência de temas para os diferentes tipos de cobertura dominante analisados 74

4.10 - Frequência absoluta dos temas para as estações amostrais .. 75

4.11 - Frequência absoluta dos temas agrupados para as 14 quadrículas analisadas 79

4.12 - Porcentagem de ocorrência dos temas agrupados nas quadrículas analisadas 80

4.13 - Coeficientes de correlação entre os temas agrupados e o índice de cobertura vegetal 81

4.14 - Escala de riscos à erosão 88

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O principal objetivo deste trabalho foi desenvolver uma metodologia de utilização de técnicas de sensoriamento remoto, sobretudo de imagens MSS do satélite LANDSAT, para a caracterização da intensidade da erosão do solo, incluindo uma avaliação da influência de fatores topográficos e antrópicos.

Para a realização deste estudo foi escolhida a bacia do Ribeirão Anhumas, na região sudoeste do Estado de São Paulo que, segundo Suarez (1973), vem sendo submetida à erosão severa, com intenso ravinamento e profundas voçorocas. A escolha da bacia hidrográfica como unidade de trabalho deve-se ao fato de que se constitui em sistema geomorfológico no qual existem ajustes entre formas e processos (Gregory and Walling, 1973).

Os dados de sensoriamento remoto utilizados neste trabalho referem-se àqueles obtidos através de imagens MSS do satélite LANDSAT e por fotografias aéreas convencionais (pancromáticas) que serviram principalmente de apoio à interpretação dos dados extraídos das imagens orbitais.

O emprego do sensoriamento remoto a nível orbital tem sido intensificado a partir da última década, com o lançamento pela NASA dos satélites da série LANDSAT, originalmente denominados ERTS. A descrição de todo o sistema LANDSAT encontra-se em manual publicado pela NASA (1976).

O imageador multiespectral (MSS) é um dos sistemas sensores transportados pelo LANDSAT que tem-se destacado pela sua versatilidade em diversos campos de aplicações.

Os produtos obtidos através do MSS, tanto as imagens fotográficas como as fitas compatíveis com computador (Compatible Computer Tapes - CCT), têm-se mostrado de grande utilidade para os diferentes setores das Ciências da Terra, que visam o levantamento e análise dos recursos terrestres. As imagens fotográficas podem ser utilizadas para interpretação visual, e as fitas compatíveis com computador possibilitam a análise automática dos dados.

O caráter multiespectral das imagens MSS, abrangendo 4 bandas do espectro eletromagnético, aumenta consideravelmente a quantidade de informações que podem ser coletadas dos diferentes alvos na superfície terrestre.

A possibilidade de análise temporal é outra característica proporcionada pelas imagens LANDSAT, através da repetitividade de suas passagens que permite a obtenção de imagens de uma mesma área em períodos diferentes. As informações coletadas em épocas diferentes são úteis para análise e acompanhamento de eventos dinâmicos que ocorrem na superfície terrestre. Este recurso, porém, não foi utilizado neste trabalho, uma vez que o interesse foi apenas analisar as condições em que se encontrava a área de estudo no final de uma estação seca, em termos de cobertura vegetal.

Por outro lado, também, as escalas pequenas e médias das imagens LANDSAT permitem a visão sinótica de uma área, sendo úteis para trabalhos de âmbito regional.

Trabalhos recentes têm mostrado que as imagens MSS do LANDSAT podem ser utilizadas para detecção e acompanhamento dos processos de erosão acelerada (Morrison and Cooley, 1973).

As análises das imagens LANDSAT têm sido realizadas em conjunto com fotografias aéreas, as quais têm servido de apoio às informações extraídas das imagens e até mesmo, em parte, como substitutas dos trabalhos de verificação de campo, como já demonstrado em di

versos trabalhos publicados. As fotografias aéreas têm sido utilizadas em levantamento e análise dos problemas relativos à erosão do solo devido às escalas de detalhe por elas proporcionadas. Segundo Ray(1963) as fotografias aéreas podem ser empregadas para a avaliação dos processos erosivos, constituindo-se em importante fonte de dados. Com vistas a estes aspectos, neste trabalho, as fotografias aéreas serão utilizadas com o objetivo de detalhar e complementar as informações obtidas através das imagens LANDSAT no que se refere à caracterização da erosão do solo.

O fenômeno de erosão do solo, segundo U.S.D.A. Soil Conservation Service (1948), representa uma aceleração do ritmo de erosão normal, através de mudanças introduzidas pela ação do homem.

De um modo geral, a erosão acelerada acarreta alterações na topografia através de descarnamentos, desmoronamentos, solapamentos, entulhamento de vales, etc. Este processo geomorfológico reflete-se principalmente na depauperação dos solos agricultáveis, conforme já constatado experimentalmente por diversos pesquisadores, dentre os quais pode-se citar Bertoni et alii (1972).

Considerando que a produção de alimentos é uma preocupação atual de órgãos governamentais e que esta é vinculada às condições de fertilidade do solo, deve haver uma atenção maior para os aspectos relacionados às práticas conservacionistas para minimizar os efeitos da erosão dos solos.

Neste contexto, para a melhor compreensão dos processos de erosão dos solos, torna-se necessário analisar os fatores condicionantes daqueles processos. Portanto, este trabalho visa, também, analisar alguns fatores que participam do desencadeamento da erosão dos solos, com ênfase em algumas variáveis que expressam o comportamento da topografia e a interferência antrópica, passíveis de serem observadas através das fotografias aéreas e imagens LANDSAT. Deve-se ressaltar ainda que alguns dados foram levantados através da utilização de car

tas topográficas, os quais serviram de apoio para a caracterização do fenômeno de erosão do solo na área de estudo.

O clima, em especial a precipitação, apesar de constituir-se em um importante fator na avaliação dos processos de erosão, não foi analisado em relação aos objetivos deste trabalho: na área de estudo, não se conta com dados compatíveis aos níveis de detalhe necessários para o tipo de estudo empreendido. Desta forma, o clima foi apenas considerado para a caracterização dos aspectos naturais da área de estudo.

Através da análise conjunta dos dados referentes aos processos de erosão do solo e de seus fatores condicionantes podem-se definir áreas com diferentes riscos à erosão.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - APLICAÇÃO DE DADOS DO SISTEMA LANDSAT PARA O ESTUDO DE EROSÃO DO SOLO

São poucos os trabalhos que utilizam o sistema LANDSAT no estudo de erosão do solo. Isto pode ser explicado, em parte, pelas características de resolução do sistema em operação, que o torna limitado, uma vez que os sinais de erosão são localizados e possuem, na maioria dos casos, pequena expressão espacial.

Um dos trabalhos pioneiros é o de Morrison e Cooley(1973) que utilizaram imagens do ERTS-1 (LANDSAT-1) para identificar e mapear os efeitos de um episódio de erosão acelerada no sudoeste do Arizona. Esta avaliação, entretanto, foi obtida indiretamente àtravés da variação da cobertura vegetal. Para a realização deste trabalho utilizaram transparências positivas de 70 mm, composições coloridas a partir do "Additive Color Viewer" (I^2S) e imagens na escala 1:250.000.Concluiram que a imagem MSS do canal 5 foi a que melhor definiu os canais de escoamento modernos. Verificaram que a largura dos canais deveria ser pelo menos 1/10 da sua extensão para que esses fossem perceptíveis e mapeáveis. Nas imagens de melhor qualidade, distinguiram canais cuja largura variava de 45 a 60 m, em função do alto contraste com as áreas adjacentes. Este alto contraste era produzido pela tonalidade escura da vegetação contra a tonalidade cinza-claro do leito dos canais em função da ausência de cobertura vegetal.

Por outro lado, Seevers et alii (1975) chamam a atenção para o fato de que as estimativas da densidade de vegetação, baseadas em dados de reflectância, podem sofrer interferências de fatores associados à própria vegetação e ao solo, quando a cobertura vegetal não cobre totalmente a superfície. Salientam que a reflectância da superfície sofre interferência do teor de umidade. Citando trabalho desenvolvido por Mathews e outros em 1973, esses autores ainda mostram que os teores de

argila, silte e matéria orgânica contidos nas camadas superficiais do solo influem também na reflectância da superfície.

Diversos autores têm mostrado que o canal 5 do LANDSAT é mais eficiente na análise da cobertura vegetal.

Lee et alii (1974), estudando áreas de floresta, concluíram que o canal 5 é o melhor para a coleta de grande número de informações relativas à cobertura vegetal.

Para Santos e Novo (1977) a qualidade de pastagens, no que se refere à cobertura de gramíneas, foi melhor verificada através da análise do canal 5. Também observaram que no decorrer da estação seca as pastagens com predominância de gramíneas ressentem-se da falta de água e suas respostas espectrais ficam afetadas pela reflectância do solo e do capim seco, os quais aparecem na imagem do canal 5 em tons de cinza-claro.

Westin e Lemme (1978), ao analisarem assinaturas espectrais em imagens LANDSAT para estudos de associações de solo e vegetação, observaram que existem diferenças tonais entre o canal 5 e 7 dentro de um mesmo tipo de uso da terra, devido à influência de associação de solo.

Aoki e Santos (1980), estudando a vegetação de cerrado na região do Distrito Federal através de análise visual e automática de dados LANDSAT, verificaram que, quanto ao aspecto tonal, o canal 5 foi o que apresentou maior separabilidade entre as classes de vegetação e que o canal 7 pode ser utilizado de forma complementar, principalmente quando se analisa o comportamento sazonal.

Diversos trabalhos têm apresentado e discutido a utilização de procedimentos automáticos para análise de dados LANDSAT, com ênfase em cobertura vegetal. Entretanto também são raros os trabalhos que têm sido realizados que utilizam esses procedimentos para análise de erosão dos solos através de imagens.

Por exemplo, Seubert et alii (1979) utilizaram análise automática de dados LANDSAT com o objetivo de delinear áreas que apresentavam solos erodidos sob condições de cultivo. Com o apoio de dados de campo e utilizando o sistema de classificação por máxima verossimilhança (maximum likelihood), esses autores identificaram nove classes espectralmente separáveis, conforme a densidade de cobertura vegetal. Definiram cinco classes com baixa densidade de cobertura vegetal que, com o apoio de dados de campo, foram associadas a diferentes graus de erosão do solo.

Stephens e Cihlar (1981) utilizaram procedimentos automáticos para avaliar a potencialidade de dados de sensoriamento remoto para monitorar erosão do solo em áreas cultivadas. Também esses autores utilizaram dados de densidade de cobertura vegetal para inferir áreas potenciais à erosão do solo, com o apoio de dados de campo e de fotografias aéreas. A análise automática foi realizada através de dois procedimentos: classificação por máxima verossimilhança (maximum likelihood) e processo de classificação unidimensional. Comparando estes dois tipos de procedimentos automáticos, com dados do LANDSAT-2, esses autores verificaram que a diferença na precisão de classificação entre os dois algoritmos foi inferior a 1% em todas as classes definidas.

Pela análise destes trabalhos referenciados verifica-se que as imagens LANDSAT apresentam limitações para a avaliação direta dos problemas de erosão do solo. Como já mencionado anteriormente, este fato deve-se à característica de resolução do sistema atual em operação, bem como à pequena expressão em área que as ravinas em geral possuem. Assim, justifica-se o emprego da cobertura vegetal, seu aspecto e estado vegetativo, como um eventual indicador das condições de erosão do solo.

2.2 - UTILIZAÇÃO DE FOTOGRAFIAS AÉREAS PARA LEVANTAMENTO DE EROSÃO DO SOLO

As fotografias aéreas têm sido amplamente utilizadas para levantamento de eventos que ocorrem na superfície terrestre.

Em trabalhos relativos ao estudo de erosão dos solos tem sido enfatizada a importância da utilização de fotografias aéreas não somente para a detecção desse fenômeno mas também para a sua análise.

Ao descrever métodos de avaliação dos graus de erosão na Rodésia, Keech (1968), através da interpretação de fotografias aéreas na escala 1:25.000, identificou três tipos de erosão: em lençol, linear e em ravinas. Também classificou as ravinas em ativas e inativas, bem como associou esses processos ao padrão de drenagem e uso da terra.

Rao (1975) utilizou fotografias aéreas na escala 1:32.000, em trabalho de mapeamento geomorfológico aplicado a levantamento de erosão, em uma pequena bacia hidrográfica no sul da Itália. Os mapas resultantes contêm informações sobre: litologia, geomorfologia, classes de declividade, processos erosivos, solos, dados hidrográficos, tipo de cobertura vegetal e uso da terra.

Diferentes critérios podem ser utilizados no levantamento dos processos de erosão dos solos, através de fotografias aéreas. Um critério amplamente utilizado é a interpretação das fotos a partir dos elementos e aspectos por elas apresentados. Como exemplo pode-se citar o trabalho desenvolvido por Bergsma (1978) que empregou este método de interpretação para mapear ocorrência de ravinas na porção central de Java.

Diversos outros autores têm demonstrado a importância da utilização de fotografias aéreas no estudo de problema de erosão do solo, dentre os quais podem-se destacar Buringh(1960), Belcher (1960), Frost (1960), Ray (1963), Stocking (1972) e Carson e Tam (1977).

2.3 - EROSÃO DO SOLO: CONCEITUAÇÃO E FATORES CONDICIONANTES

Segundo U.S.D.A. Soil Conservation Service (1948) os processos erosivos podem ser classificados em dois tipos: erosão natural ou geológica e a erosão do solo. A erosão natural constitui um processo inevitável, enquanto a erosão do solo é um processo anormal, resul

tante de desequilíbrio, em geral, provocado pela ação do homem. Este segundo tipo de erosão pode ser controlado através do conhecimento dos processos naturais que a acarretam e da consequente aplicação de práticas conservacionistas adequadas.

A erosão do solo pode ocorrer através de dois grandes grupos de processos: a erosão em lençol, através do escoamento laminar, e a erosão em sulcos (ravinamentos e voçorocas), a partir do escoamento concentrado (U.S.D.A. Soil Conservation Service, 1948).

A forma mais grave da erosão em sulcos é a voçoroca que, segundo Pichler (1953), resulta da ação conjugada do escoamento superficial das águas pluviais e do solapamento provocado pelas águas do lençol subterrâneo. Segundo este autor, para esta forma de erosão podem ser utilizados, indistintamente, os termos voçoroca ou boçoroca. Neste trabalho será adotado o termo voçoroca.

A voçoroca representa o estágio final do processo de erosão em sulco. Conforme Gorchkov e Yakouchova(Oka-Fiori e Soares,1976), o processo de desenvolvimento de uma voçoroca inicia-se com o aparecimento de um sulco na encosta devido ao escoamento das águas pluviais. Inicialmente este escoamento processa-se em filetes anastomosados e posteriormente concentra-se em pequenos canais preferenciais,resultando em sulcos que tendem a se aprofundarem através da erosão vertical. Com o solapamento das paredes e intenso entalhe vertical, o lençol de água subterrâneo é alcançado, caracterizando-se, então, a forma de voçoroca.

Fatores intervenientes nos processos de erosão do solo são acentuados por Wischmeier (1977), considerando a erosividade das chuvas, erodibilidade do solo, comprimento da vertente, declividade, cobertura vegetal e uso do solo e práticas conservacionistas.

Por sua vez, Selby (Toy, 1977) apresenta um modelo conceitual para avaliação da erosão do solo, onde apresenta a atuação dos

fatores clima, topografia, tipo de rocha, vegetação, características do solo e interferência do homem.

Baseado no modelo conceitual de Selby, Toy(1977)agrupou os fatores condicionantes da erosão em três grandes categorias: características climáticas, características da superfície e modificações do meio natural pelo homem.

Trabalhos publicados por Bertoni et alii (1975) e Lombardi Neto e Bertoni (1975a) têm demonstrado, também, a preocupação de pesquisadores brasileiros em avaliar quantitativamente a erosão dos solos.

Destaca-se, também, o trabalho de Lombardi Neto et alii (1980), no qual utiliza uma equação para o cálculo do valor médio anual do índice de erosão para diferentes áreas do Estado de São Paulo,a partir de dados de precipitação coletados em diversos pontos amostrais.

Essa revisão relativa ao fenômeno da erosão do solo permitiu, então, destacar os seguintes fatores que podem condicionar o aparecimento de ravinas e voçorocas: pluviosidade, tipo de formação superficial, declividade, extensão e forma das vertentes, tipo de cobertura vegetal e uso da terra.

A seguir serão apresentados trabalhos que têm analisado e avaliado os fatores acima referidos. Para este comentário foi seguida a ordenação proposta no modelo conceitual de Selby (Toy, 1977).

O fator clima influi principalmente na intensidade e duração das precipitações que afetam a taxa de escoamento superficial, que permite uma relação direta com a erosão do solo.

Um trabalho importante que analisa as relações entre clima e erosão foi realizado por Fournier (1960). Segundo este autor nem sempre o volume de precipitação explica as taxas de erosão do solo;

constatou fortes taxas de erosão anual em áreas de alto e baixo índice de pluviosidade.

Para melhor analisar a eficiência das precipitações como fator desencadeador de erosão do solo, Fournier (1960) propõe alguns índices obtidos através de: razão entre o total anual de precipitação e o número de dias chuvosos no ano e a razão entre a precipitação total da estação mais chuvosa e a pluviosidade anual. Estas razões fornecem uma noção da distribuição das chuvas no ano.

Stocking e Elwell (1976) consideram que o parâmetro mais importante para a caracterização do efeito erosivo das chuvas é o índice EI, onde E é a energia cinética e I é a intensidade de chuva máxima para um dado intervalo de tempo. Consideram o intervalo de 30 minutos como o melhor para previsão de perda do solo. Wischmeier e Smith(1958) já haviam analisado a precipitação em termos de sua energia cinética como função de sua intensidade para 30 minutos.

Por sua vez Barnett (1958), relacionando erosão do solo e intensidades máximas de chuvas com diferentes durações, observou que a intensidade máxima de chuva em 60 minutos foi a que forneceu melhor índice de correlação com erosão.

Lombardi Neto et alii (1980) propõe o estabelecimento do índice de erosão anual através de valores de precipitação média mensal e precipitação média anual. Visto que em trabalhos realizados por outros pesquisadores são utilizados dados de precipitação coletados por pluviógrafos, um dos méritos deste trabalho é mostrar que dados médios de precipitação podem também ser utilizados para a previsão de perdas de solo por erosão. Esta contribuição torna-se mais expressiva face às condições brasileiras de escassez de dados de pluviógrafos.

Outro fator condicionante da erosão do solo é a topografia, expressa pelas diferenças altimétricas, declividade, forma e extensão da vertente.

A forma do perfil da vertente pode influenciar na intensidade de erosão do solo. Este aspecto é evidenciado em trabalho desenvolvido por Meyer e Kramer (1969)que estudaram quatro formas de vertente (convexa, côncava, uniforme e complexa) para dois valores de declividade (5% e 10%)e mantiveram a mesma amplitude altimétrica de 7 metros. Concluíram que a forma convexa favorece mais a erosão do que a forma côncava e verificaram que o máximo de aprofundamento dos sulcos para cada tipo de vertente com 5% de declividade foi:

- vertente côncava - 6mm
- vertente uniforme - 9 mm
- vertente complexa - 14 mm
- vertente convexa - 42 mm

Para declividades de 10%, esses autores verificaram que os valores de aprofundamento dos sulcos foram maiores para cada tipo de vertente, seguindo a mesma ordenação. Observaram ainda que essas formas modificam-se após etapas sucessivas de erosão, tendendo à concavidade, o que acarreta, por sua vez, uma diminuição na taxa de erosão.

Uma análise abrangente de parâmetros do relevo, correlacionados com problemas de erosão, foi efetuada na Rodésia,por Stocking (1972)que levantou dados referentes aos seguintes parâmetros:

- densidade de drenagem;
- proximidade da erosão em relação à drenagem natural;
- ordem dos canais;
- declividade média;
- razão entre amplitude altimétrica e área da amostra;
- distância horizontal entre os dois pontos tomados para obter a amplitude altimétrica;

- razão entre os dois parâmetros anteriores;

- forma de vertente.

Para avaliar a participação de cada um deles na erosão dos solos, utilizou análise multivariada e verificou que o parâmetro mais significativo foi a declividade média.

Um elemento da topografia que não foi considerado por Stocking é o comprimento da vertente, que tem sido enfatizado por diversos outros autores como fator de grande importância, desde que influencia na energia cinética final do escoamento superficial.

Além da extensão da vertente, Toy (1977) dá ênfase ao ângulo de inclinação da vertente (declividade) como um elemento que afeta a taxa de erosão. Em termos gerais, a declividade influi na força de aceleração que age sobre as moléculas de água e acarreta maior taxa de escoamento superficial, consequentemente ocasionando maior taxa de erosão.

Outro fator que pode ser considerado como condicionante dos processos de erosão do solo é o tipo de rocha. Uma análise da relação entre tipo de rocha e processos erosivos foi realizada por Rao (1975) em trabalho desenvolvido em uma bacia hidrográfica no sul da Itália. Observou que em áreas de ocorrência de rochas metamórficas e ígneas predominava o rastejamento (creep), e a erosão em lençol ocorria em maior intensidade nas áreas de rochas sedimentares.

Toy (1977) interpreta a informação referente ao tipo de rocha no sentido litológico, pois o enfoque estrutural pode ser incluído no fator topográfico. Para este autor, a influência da rocha é indireta, através do condicionamento de certas características do solo.

Apoiando-se na observação de Toy (1977), a variação litológica, neste trabalho, deverá ser considerada como um fator indire

to da erosão, através das possíveis diferenças apresentadas por algumas características dos solos que ocorrem na área de estudo.

Ainda conforme Toy (1977) o solo pode influir na taxa de erosão através de suas características hidrológicas e geomorfológicas, respectivamente pela capacidade de infiltração e erodibilidade. Em 1930 Middleton (Bryan, 1968) denominou erodibilidade dos solos esse conjunto de características. Middleton pode ser considerado um dos pioneiros no estudo das relações entre propriedades físicas do solo e erosão. Em seu trabalho, por exemplo, analisou a razão entre teor de silte + argila no estado disperso e teor de silte + argila em amostra não-dispersada, que compõem a razão de dispersão. Considerou como solos erodíveis aqueles que apresentaram valores, dessa razão, acima de 15%.

Também Bryan (1968) salienta a importância de considerar as propriedades do solo na avaliação dos processos erosivos.

Outra característica física do solo que pode se mostrar importante na análise dos processos de erosão acelerada é a presença da fração areia.

Lombardi Neto e Bertoni (1975a), estudando a erodibilidade dos solos paulistas, concluíram que os solos com horizonte B textural são mais susceptíveis à erosão do que os solos com horizonte B latossólico. O método utilizado pelos autores baseou-se na determinação da relação de erosão, que é dada pela razão entre a relação de dispersão e a relação argila dispersa pela umidade equivalente. Conforme ainda Lombardi Neto e Bertoni (1975b) a tolerância de perda dos solos com horizonte B textural é menor que nos solos com horizonte B latossólico, porque estes são mais profundos, não apresentam diferença textural acentuada entre os horizontes A e B e possuem boa drenagem interna.

Com relação à fração areia, Queiroz Neto (1975) e Carvalho (1976) consideram a relação entre areia fina e areia grossa (areia fina/areia grossa) dos perfis de solo um dado que pode evidenciar o

grau de homogeneidade do material, uma vez que este grau implica em dificuldade de infiltração e drenagem interna. Queiroz Neto (1975) concluiu que os solos com horizonte B latossólico apresentam, em função daquela relação, homogeneidade maior que os solos com horizonte B textural.

A comparação entre as conclusões obtidas por Queiroz Neto (1975) e Lombardi Neto e Bertoni (1975a e 1975b) evidencia que a homogeneidade do material, que pode ser também traduzida em termos da relação areia fina/areia grossa, pode se constituir em um parâmetro do solo importante para a análise dos processos de erosão acelerada.

A cobertura vegetal é outro elemento considerado na maioria dos trabalhos relativos à avaliação das taxas de erosão do solo. Ela desempenha a função de retardar a erosão do solo (Toy, 1977).

A publicação do U.S.D.A. Soil Conservation Service(1948) já enfatiza a importância protetora que a cobertura vegetal desempenha face aos processos de erosão acelerada.

Os trabalhos desenvolvidos por Langbein e Schumm(1958), Keech (1968) e Stocking e Elwell (1976) salientam também o efeito de proteção ao solo proporcionado pela cobertura vegetal em relação ao poder erosivo das chuvas.

Butzer (1974) analisou o efeito de retardamento dos processos erosivos do solo exercido pela cobertura vegetal. Este autor apresenta dados comparativos do tempo teórico necessário para o desenvolvimento de erosão do solo para diferentes tipos de cobertura vegetal, sob condições naturais semelhantes. Observa que nas áreas sob cobertura florestal o tempo relativo necessário para a evolução da erosão é aproximadamente seis vezes maior do que nas áreas que apresentam cobertura de gramíneas.

Pode-se citar também o trabalho desenvolvido por Pereira (1974),em um pequeno vale da bacia do Tennessee. Este autor, através de experimento com reflorestamento, observou uma forte redução no escoamento superficial e na carga de sedimentos transportados em relação à situação anterior sob forte pressão de cultivo e pastoreio. Segundo esse autor a redução da vazão máxima foi da ordem de 90% e a carga de sedimentos transportados diminuiu 96%.

Através dos trabalhos acima mencionados pode-se observar a importância da cobertura vegetal natural como um elemento a ser considerado na avaliação dos processos de erosão do solo.

A intervenção do homem constitui um fator que deve ser considerado na avaliação dos processos de erosão do solo. Este fator refere-se principalmente à capacidade humana em modificar os outros fatores mencionados.

A substituição da cobertura vegetal natural provoca desequilíbrio em uma área. Este fato é bem evidenciado por Queiroz Neto (1978) ao analisar problemas de erosão acelerada no Estado de São Paulo. Comenta a intensificação daquele processo a partir da retirada da cobertura florestal original, especialmente nas áreas que apresentam solos muito arenosos.

Conforme Toy (1977), neste século, a influência antrópica foi quase que exclusivamente destrutiva, através da remoção da cobertura vegetal natural para o desenvolvimento da agricultura.Deve-se ressaltar que este fato é também bastante enfatizado por Queiroz Neto (1978).

O homem muitas vezes introduz, em uma região, culturas e práticas agrícolas que podem acarretar a ruptura do equilíbrio natural existente. Uma consequência desse desequilíbrio é a instalação de processos de erosão acelerada. Por outro lado,o homem também pode retardar esses processos através da aplicação de tecnologia e manejos adequados.

Butzer (1974) salienta que o uso da terra favorece a erosão do solo porque determina a ruptura dos ecossistemas,mantendo-os em estado permanente de desequilíbrio.

As práticas agrícolas impostas pelo homem e os reflexos na depauperação do solo já têm sido objeto de preocupação no trabalho do U.S.D.A. Soil Conservation Service (1948).

Os tipos de cultura agrícola influem nos processos de erosão do solo na medida em que exercem, entre outros, o papel de cobertura do solo em diferentes intensidades conforme características fito-morfológicas inerentes a cada cultura.

Uma tentativa de avaliar o desequilíbrio natural através da interferência antrópica foi realizada por Pontes (1977) que propõe valores entre 0 e 1,0 para indicar a estabilidade da paisagem natural face aos processos de erosão acelerada. Segundo este autor,a substituição da floresta natural por um ecossistema antrópico pressupõe a ocorrência de quatro situações genéricas:

- floresta natural para reflorestamento - estabilidade geral do sistema igual a 0,9;
- floresta natural para pastagem - índice de estabilidade igual a 0,45;
- floresta natural para agricultura - índice de 0,22;
- floresta natural para estradas e cidades - índice de estabilidade igual a 0,15 (possibilidade de erosão intensa).

Também Bertoni et alii (1972) analisaram a influência dos tipos de cultura na intensidade de erosão dos solos no Estado de São Paulo. Fizeram comparação entre as perdas de solo em áreas sob cobertura florestal e em áreas sob diferentes usos agrícolas. Observaram que nas áreas sob cobertura vegetal florestal a perda por erosão (0,004 ton/ha) foi inferior que nas áreas sob pastagem (0,4 ton/ha)e culturas

(cafezal 0,9 ton/ha e algodoal 26,6 ton/ha). Concluíram que as perdas por erosão variam com os tipos de solo, tipos de uso do solo, tipos de cultura e manejo dos restos culturais.

Cordeiro e Soares (1977), estudando a erosão em solos arenosos do SW do Rio Grande do Sul, observaram que pastagens com excessivo apascentamento tendem a ter suas capacidades de suporte diminuídas, favorecendo a erosão do solo.

Bjornberg et alii (1978) mostram que o voçorocamento desenvolve-se principalmente em aceiros, caminhos, cortes de estrada e onde a vegetação é rala e removida pela passagem do gado. Também Ab'Saber (1968) observa que as grandes ravinas e as voçorocas aparecem a partir de sulcos pioneiros de origem antrópica.

A avaliação dessa interferência pode ser feita através da identificação das áreas sob cultivo, pastagem e mesmo de áreas sob cobertura vegetal natural residual. Portanto, os dados relativos ao uso agrícola e aqueles de cobertura vegetal natural podem ser utilizados para compor um índice aproximado de cobertura vegetal do solo. Este índice pode se constituir em expressivo parâmetro na avaliação dos processos de erosão do solo, principalmente em área onde ocorre dinamismo de ocupação pelo homem.

A análise dos elementos aqui referenciados torna-se importante na medida em que a ruptura do equilíbrio provocado por alguns deles pode acarretar o desencadeamento dos processos de erosão acelerada em uma área. Portanto, esta análise torna-se útil uma vez que, além de fornecer dados para avaliação dos processos de erosão, possibilita melhor definição de áreas que se apresentam vulneráveis.

CAPÍTULO 3

MATERIAL E MÉTODO

3.1 - ÁREA DE ESTUDO

Para a realização deste trabalho, foi inicialmente selecionada a bacia do Ribeirão Anhumas, por se tratar de uma área que vem sendo submetida a intensos processos de erosão acelerada.

Esta bacia abrange aproximadamente 750 km² e possui expressão em área compatível com a escala dos produtos LANDSAT a serem analisados.

A bacia do Ribeirão Anhumas localiza-se na porção sudoeste do Estado de São Paulo, situando-se entre as coordenadas de 22°00' a 22°15' de latitude sul e 52° a 52°20' de longitude oeste(Figura 3.1).

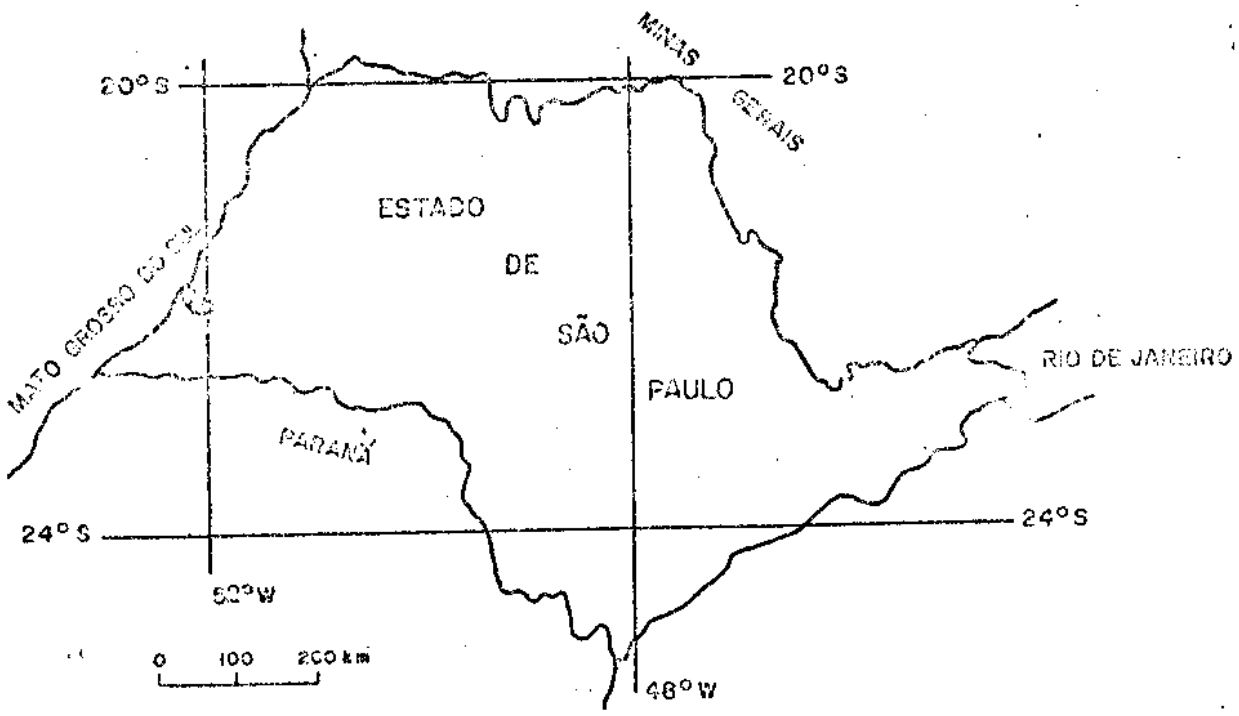

Fig. 3.1 - Localização da área de estudo.

Pertencendo à bacia do Alto Paraná, conforme definição de Almeida (1956), a área de estudo está contida na unidade geomorfológica denominada Planalto Ocidental Paulista (Pierre Monbeig, 1949, citado por Ab'Saber, 1956). Caracteriza-se por apresentar extensa cobertura sedimentar que reveste os derrames de basalto (Suarez, 1973). Este capeamento sedimentar é composto, em sua maior extensão, por arenitos da Formação Bauru e arenitos da Formação Caiuá, conforme mostra o mapa geológico da região sudoeste paulista, na escala 1:500.000, publicado por São Paulo. SOMA/DAEE (1979).

Conforme Soares e Landim (1976) esses arenitos encontram-se recobertos, em trechos, por material mais recente(Cenozóico) que, segundo Suarez (1973), não se enquadra nas características do Caiuá e Bauru.

Baker (Washburne, 1939) foi um dos primeiros a estudar os arenitos da Formação Caiuá no vale do rio Paraná, cuja denominação foi dada por Washburne. Diversos outros autores têm então estudado e discutido o problema de sua gênese e idade, dentre os quais pode-se citar Maack (Mezzalira, 1964), Scorza (1957), Almeida (1956), Landim e Fulfaro (1971), Freitas (1973), Suarez (1973) e Landim e Soares(1976).

Segundo o trabalho realizado por São Paulo. SOMA/DAEE (1979) a idade máxima desta formação é atribuída ao Eo-cretáceo e o seu limite superior ao Cretáceo Superior, podendo ser considerada, como do Cretáceo Médio. A sua origem é ainda controvertida; alguns autores consideram-na como de origem eólica-fluvial e outros adotam a origem deltaica. Ainda conforme este trabalho, a Formação Caiuá é constituída predominantemente por arenitos de granulação fina e média, com baixo teor de matriz (5 a 15%), os quais apresentam película de óxido de ferro ou limonita capeando os grãos. Em geral estes arenitos são friáveis, ocasionalmente contendo cimento calcífero, apresentando cor roxa-violeta passando para cores vermelhas escuras quando intemperizados.

As observações dos diversos autores já citados mostram que a posição desta formação é suprabasáltica e sotoposta aos arenitos da Formação Bauru.

A Formação Bauru foi estudada por vários autores,dentre os quais podem-se citar Washburne (1939), Barbosa e Almeida (Freitas, 1964), Almeida (1956), Arid (Suarez, 1973), Suguio (1973) e São Paulo. SOMA/DAEE (1979).

Através do mapa geológico São Paulo.SOMA/DAEE (1979) observa-se que, na área correspondente à bacia do Ribeirão Anhumas, a Formação Bauru ocorre em maior extensão do que a Caiuá. Nesse trabalho a Formação Bauru está dividida em três fácies: a porção inferior denominada Santo Anastácio e Ubirajara; a parte média, a fácies Taciba; e a parte superior, fácies Marília. Deve-se ressaltar que a fácies Santo Anastácio já fora identificada por Landim e Soares (1976).

Na bacia do Anhumas apresentam-se as fácies Santo Anastácio e Taciba, sendo esta de menor expressão em área, correspondendo, principalmente, às áreas das cabeceiras dos Córregos do Ouro e da Prata, formadores do Anhumas.

Os arenitos da fácies Santo Anastácio apresentam granulação fina predominante, com cobertura de película ferruginosa, conferindo-lhes, portanto, cor vermelho-escura. Estes arenitos ocorrem em formas tabulares, de espessura que varia entre 1 a 5 metros,apresentando, estratificação cruzada pouco pronunciada. Esta fácies teria origem fluvial meandrante de baixa energia e sua idade suposta é do Cretáceo Médio.

A fácies Taciba é composta por arenitos com predominância de granulação fina a muito fina. Apresenta bancos de lamitos de cor marrom-clara e arenitos que exibem cimentação carbonática. A origem suposta dessa fácies é também fluvial meandrante e a idade do Cretáceo Médio a Superior.

Capeando os arenitos do Cretáceo ocorrem depósitos Cenozóicos que, segundo Soares e Landim (1976), encontram-se principalmente em patamares formadores dos interflúvios intermediários da região, bem como nos baixos terraços e planícies aluviais atuais. São constituídos predominantemente de material arenoso inconsolidado.

A porção sudoeste do Estado de São Paulo foi submetida a esforços tectônicos em épocas quase contemporâneas e mesmo após ao vulcanismo basáltico, que propiciaram falhamentos verticais. Através de movimentos de adernamento posteriores, no sentido da borda da bacia para o interior, as linhas de fraqueza pré - Bauru foram reativadas. Este fato proporcionou retomada dos processos erosivos que, em parte, explica a presença de voçorocas que se instalaram nos sedimentos cenozóicos inconsolidados (São Paulo. SOMA/DAEE, 1979).

Com relação aos traços geomorfológicos gerais, Almeida (1956) caracteriza o Planalto Ocidental Paulista como plataformas estruturais, de relevo suavizado e com inclinação para os rios Paraná e Paranapanema. A este conjunto topográfico Ab'Saber (1969) qualifica de "baixos chapadões do oeste paulista". Este autor comenta que a drenagem do planalto apresenta um comportamento centrípeto em relação à calha do rio Paraná, em função da disposição periclinal das estruturas regionais.

O ribeirão Anhumas, e os rios principais das áreas vizinhas que escoam para o Paraná possuem traçado quase retilíneo e com direção geral W-NW, provavelmente condicionados por falhamentos orientados a NW, conforme sugere Almeida (1956). Por sua vez, os rios tributários possuem direção quase que ortogonal em relação aos eixos dos principais.

No extremo sudoeste do Estado, onde está inserida a bacia do ribeirão Anhumas, Soares e Landim (1976) identificaram quatro tipos de feições geomorfológicas:

- Alto do Pontal do Paranapanema - considerado por eles como remanescente da superfície sul-americana, constituído por are

nitos da Formação Caiuá e da Formação Bauru (fácies Santo Anastácio e Taciba). Na área de estudo, coincide com o topo das cabeceiras do ribeirão Anhumas que se eleva até 480 m. Na descrição feita por esses autores, esta superfície alcança cota altimétrica até 600 metros.

- Relevo de amplas encostas e rampas pouco drenadas - apresenta espessa cobertura coluvial, constituindo superfície com altitudes entre 250 a 600 metros.
- Baixos terraços - superfícies com altitudes de 250 metros.
- Planícies aluviais e de canais anastomosados - entre 240 e 250 metros.

Para esses autores, a drenagem atual é pouco ativa e constitui um sistema fluvial atual em equilíbrio.

Scorza (1957) salienta que o relevo nas áreas de ocorrência do arenito Caiuá é de colinas suaves, separadas por pequenos rios e muitas vezes por vales secos.

Quanto à condições climáticas, Monteiro (1973) comenta que a porção sudoeste está sujeita à dinâmica das massas de ar Tropical Atlântica e Polar Atlântica. São caracterizadas duas situações distintas que compreendem os períodos de inverno e verão.

No inverno, compreendido entre os meses de maio a agosto, há possibilidade de ocorrer duas situações. Uma se verifica quando há a ocorrência do avanço da massa Polar Atlântica que, em contato com o ar Tropical, dá origem às frentes frias (F.P.A.). Quando há uma diminuição de "abastecimento" de ar frio, a F.P.A. entra em frontólise e cede lugar à massa Tropical Atlântica que, sofrendo resfriamento basal, aumenta as condições de estabilidade e determina, em geral, uma redução da umidade. Neste período do ano as precipitações que ocorrem estão vinculadas ao avanço da F.P.A. (chuvas de origem frontal). Também neste período ocorrem quedas de temperatura que se verificam com a penetração da massa Polar Atlântica.

Conforme Monteiro (1973), no verão ocorre a predominância da atuação da massa Tropical Atlântica e consequentemente uma significativa redução dos avanços da massa Polar Atlântica. O autor evidencia que mesmo neste período do ano as precipitações estão vinculadas às perturbações pré-frontais. Analisando dados de pluviosidade, coletados entre 1941 e 1957, elaborou mapas de distribuição de isoietas para o Estado de São Paulo, na escala original 1:1.000.000. Estes mapas correspondem a anos padrões em termos de pluviosidade média, reduzida e elevada, considerando ainda os períodos chuvosos (outubro a março) e seco (abril a setembro).

Nestes mapas constataram-se as seguintes condições de pluviosidade média para a área de estudo:

- período seco (abril/set) - 200 - 300 mm
- período chuvoso (out/mar) - 800 - 1.100 mm

Além da quantidade de precipitação, outros parâmetros importantes a serem considerados na caracterização do clima são a pluviosidade máxima em 24 horas e o número de dias de chuva. Ainda segundo Monteiro (1973), a porção Sudoeste do Estado de São Paulo, para o período compreendido entre 1941 a 1952, apresenta os seguintes valores:

- pluviosidade máxima em 24 h:
  (média das máximas - mm)
  - período seco - 20 a 40;
  - período chuvoso - 60 a 80;
- número de dias de chuva:
  - período seco - 15 a 25;
  - período chuvoso - 50 a 75.

Conforme Suarez (1973), o mês mais quente é janeiro que apresenta temperatura média por volta de 26°C; e a temperatura do mês mais frio é superior a 18°C. Observa ainda que o clima da região, se

gundo a classificação de Koeppen, é mesotérmico de tipo Cwa com verão quente, com a existência de uma estação seca bem definida.

Quanto aos solos, na área de estudo ocorre a unidade Latossolo Vermelho-Escuro, fase arenosa (LEa), conforme Carta de Solos do Estado de São Paulo, elaborada em 1960 pela Comissão de Levantamento de Solos do S.N.P.A., do Ministério da Agricultura. Entretanto, através de observações de campo, constatou-se a presença de solo do tipo Podzolizado de Lins e Marília, que se encontra, em geral, na porção média das vertentes, associado à proximidade do substrato rochoso(arenitos da Formação Bauru). Por sua vez, os solos com horizonte B latossólico são mais expressivos em área, ocorrendo via de regra no topo das colinas e na porção inferior das vertentes.

A região do sudoeste do Estado de São Paulo é de ocupação relativamente recente, principalmente a partir da década de 1930, através da introdução da cultura do café que não teve a mesma intensidade que em outras áreas do Estado de São Paulo (Alegre, 1972). Originalmente a região era recoberta por vegetação do tipo floresta pluvial tropical (Suarez, 1973), que ocupava predominantemente as áreas de solo do tipo LEa, com algumas manchas de cerrado e cerradão(Sudo,1972). Atualmente esta cobertura vegetal natural somente é encontrada em áreas restritas, em consequência da ocupação pelo homem, através de pecuária e agricultura extensivas.

3.2 - MATERIAL

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados os seguintes materiais:

3.2.1 - PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

a) Fotografias Aéreas.

Foram utilizadas fotografias aéreas pancromáticas, na escala 1:25.000, de 1962 e 1972, referentes aos levantamentos aerofoto

gramétricos às expensas da Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo e do IBC respectivamente.

b) Imagens LANDSAT.

Imagens MSS do sistema LANDSAT, na escala 1:250.000 nos canais 5 e 7, referentes à órbita 220, ponto 27, passagem de 22 de novembro de 1981.

c) Fitas Compatíveis com Computador (CCTs).

Foram utilizadas CCTs com as mesmas especificações das imagens acima referenciadas.

3.2.2 - MATERIAL CARTOGRÁFICO

Os seguintes materiais cartográficos foram utilizados:

- Cartas Topográficas: Ribeirão Anhumas, Cuiabá Paulista, Marabá Paulista, Ariranha, Caraguatá e Presidente Epitáceo, na escala 1:50.000, publicadas pelo IBGE em 1975.
- Carta de Solos do Estado de São Paulo, na escala 1:500.000, elaborada pela Comissão de Levantamento de Solos (SNPA - Ministério da Agricultura) em 1960.
- Carta Geológica do Estado de São Paulo, na escala 1:1.000.000, publicada pelo Instituto Geográfico e Geológico do Estado de São Paulo em 1974.
- Mapa Geológico das Regiões Administrativas de Presidente Prudente e Marília (SP), na escala 1:500.000 (São Paulo.SOMA/DAEE, 1979).

3.2.3 - EQUIPAMENTO DE CAMPO

Para a realização do trabalho de campo foram utilizados materiais já convencionais para coleta de amostra de solo, dentre os quais destacam-se:

- trado,
- pá reta,
- bússola,
- clinômetro,
- trena,
- escala colorimétrica de Munsell,
- sacos plásticos para coleta de amostras de solo.

3.2.4 - ANALISADOR MULTIESPECTRAL DE IMAGENS

Para análise automática das imagens LANDSAT foi utilizado o Analisador Multiespectral de Imagens, também conhecido como Sistema IMAGE-100.

3.2.5 - OUTROS EQUIPAMENTOS

Em trabalho de gabinete utilizaram-se equipamentos, tais como: estereoscópios, lupas e materiais de escritório.

3.3 - MÉTODO

Para o desenvolvimento deste trabalho foram aplicados procedimentos que serão descritos a seguir.

3.3.1 - COLETA DE DADOS

Como um dos objetivos deste trabalho era verificar os possíveis fatores que expliquem a presença de erosão acelerada, na área de estudo, tornou-se necessária a aquisição de valores numéricos que

possibilitassem obter correlações entre esses diferentes fatores. Desta forma foram coletadas informações utilizando fotografias aéreas, cartas topográficas, trabalho de campo e imagens LANDSAT, que serão apresentados a seguir.

3.3.1.1 - AQUISIÇÃO DE DADOS ATRAVÉS DE FOTOGRAFIAS AÉREAS

Para esta fase utilizaram-se os seguintes procedimentos:

a) Definição de áreas de amostragem.

Para a definição de áreas de amostragem foi utilizada a técnica de amostragem em quadrículas, conforme sugestão de Evans(1972). Foi obtida uma rede de quadrículas, com dimensão 2 cm x 2 cm, que superposta às cartas topográficas definiu amostras de 1 km² no terreno.

A opção na forma de quadrículas visou a facilidade de definição das áreas amostrais no vídeo do sistema I-100, por ocasião da análise automática de imagens LANDSAT, uma vez que a definição de amostragens nesse sistema é através de formas quadrada e retangular.

Para a constituição das áreas de amostragem as quadrículas foram selecionadas considerando os seguintes critérios:

- sorteio com reposição para que houvesse garantia de igual probabilidade de ocorrência das quadrículas;
- número de quadrículas amostradas (147) equivalentes a 20% do total das que recobrem a área da bacia.

Após a definição da amostragem, cada quadrícula foi transferida para as fotos aéreas, com apoio na rede de drenagem e pontos notáveis observáveis nos dois documentos (cartas e fotos aéreas). Nas fotos, as quadrículas tiveram a dimensão de 4 cm x 4 cm, de forma a manter, aproximadamente, a área de 1 km x 1 km no terreno.

b) Definição da legenda.

A legenda foi elaborada a partir de inspeção inicial das fotos aéreas, caracterizando os seguintes aspectos: cobertura vegetal e uso da terra, erosão em sulcos e ravinas e formas de vertentes. A legenda foi definida através de simbologia conforme sugerem a I.G.U. (1968), Demek et alii (1969), Ceron e Diniz (1966), Stocking (1972), Rao (1975) e Queiroz Neto et alii (1977), com modificações.

c) Critérios para análise das fotografias aéreas.

Para análise das fotografias aéreas foram utilizados critérios convencionais, sugeridos por diversos autores, dentre os quais destacam-se Buringh (1960), Ray (1963) e Bergsma (1974):

- tonalidade,
- textura,
- forma,
- tamanho,
- contexto.

A observação dos elementos acima referenciados permitiu interpretar os alvos e os aspectos de superfície.

A interpretação foi feita a partir da análise dos elementos nas fotos de 1972 permitindo a elaboração de "overlays" relativos à cobertura vegetal e uso da terra, ocorrência de erosão em ravinas e formas de vertentes. Para as fotos de 1962, foram apenas analisadas a ocorrência de erosão em ravinas e a cobertura vegetal e uso da terra.

Os seguintes parâmetros foram obtidos através dessa interpretação: frequência de ravinas; tipos de cobertura vegetal/uso da terra e porcentagens de ocorrência; e forma de vertentes.

Os dados de frequência de ravinas foram coletados através da interpretação de fotografias aéreas de 1962 e 1972 e plotados em "overlays". Neste trabalho foram consideradas apenas as formas lineares de erosão representadas pelos sulcos, ravinas, voçorocas e suas cicatrizes. Apenas estas formas, já definidas por diversos autores como Bennett em 1955 e Richter em 1965 (Bergsma, 1974), foram consideradas devido à dificuldade em avaliar a erosão em lençol através de fotografias aéreas e pelo fato de que a ocorrência de erosão em sulcos pressupõe que a erosão em lençol já se tenha verificado.

Para a obtenção destes dados foram considerados indistintamente os sulcos, ravinas e voçorocas, aqui denominados ravinas, sem levar em conta profundidade, largura e extensão.

Conforme Belcher (1960) o levantamento do número de ravinas e sulcos é útil porque fornece indícios da textura e permeabilidade dos materiais, componentes do solo. Segundo Buringh (1960) o número de ravinas é um dado que dá subsídios para a classificação e abordagem estatística dos problemas de erosão de uma área.

A Figura 3.2 apresenta um "overlay" obtido da interpretação de fotografias aéreas referentes a 1972. Nele pode-se observar a distribuição de ravinas dentro de uma quadrícula amostral. Os dados de frequência de ravinas (Fr) foram obtidos da contagem das ocorrências para cada quadrícula.

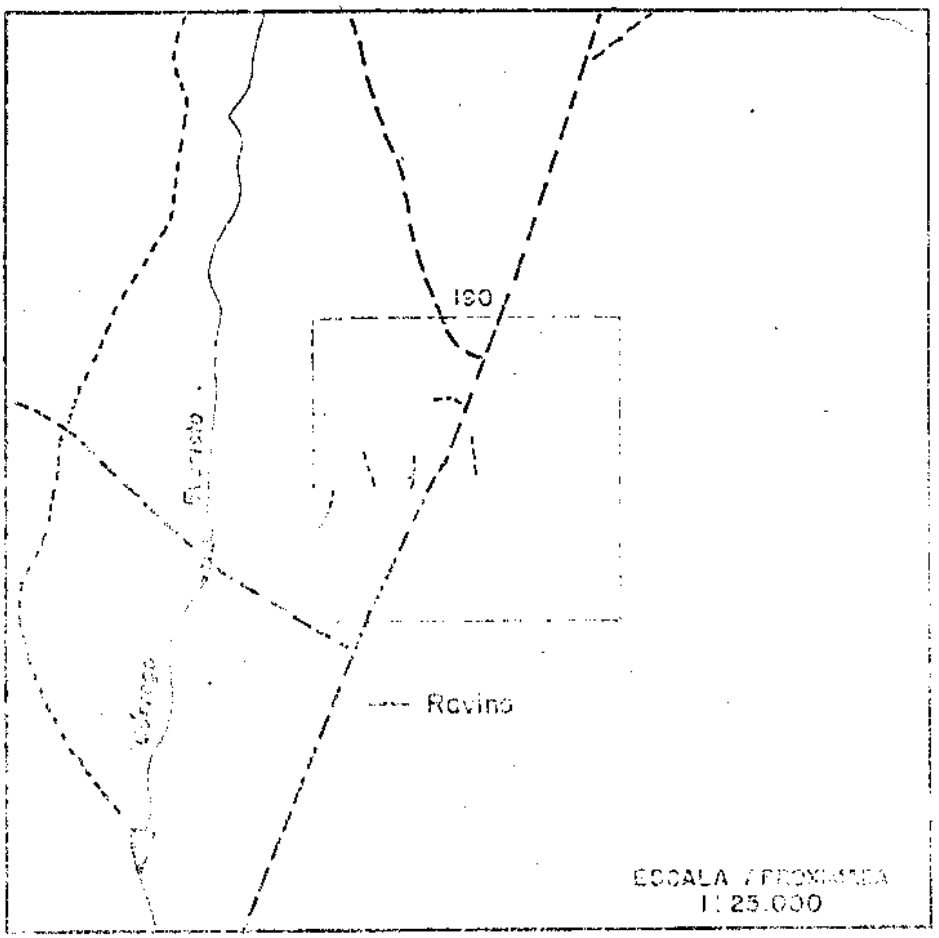

Fig. 3.2 - Exemplo de interpretação de erosão do solo em ravinas através de fotografias aéreas.

Com relação aos tipos de cobertura vegetal/uso da terra e porcentagens de ocorrência, a influência exercida pela vegetação natural e ocupação humana, através das atividades agrícolas e pecuária, nos processos de erosão do solo, tem sido apresentada por diversos autores como Bertoni et alii (1972), Butzer (1974), Stocking (1972), Toy (1977) e outros.

As informações referentes ao tipo de cobertura vegetal/uso da terra, para cada quadrícula amostral, foram obtidas das fotos aéreas de 1972 e 1962, utilizando legenda pré-estabelecida. Os seguintes tipos de cobertura vegetal/uso e respectivos símbolos associados foram empregados: mata (M), pasto sujo (Ps), pasto (P) e áreas sob cultivo

ou que apresentaram resíduos de cultivo (Cl). As áreas que apresentaram várzeas foram definidas como pasto sujo. A caracterização dessas categorias de cobertura vegetal/uso da terra foi feita segundo Ceron e Diniz (1966), Bertoni et alii (1972) e Serra Filho et alii (1975).

A Figura 3.3 ilustra quadrícula amostral que contém interpretação da cobertura vegetal/uso da terra para 1972.

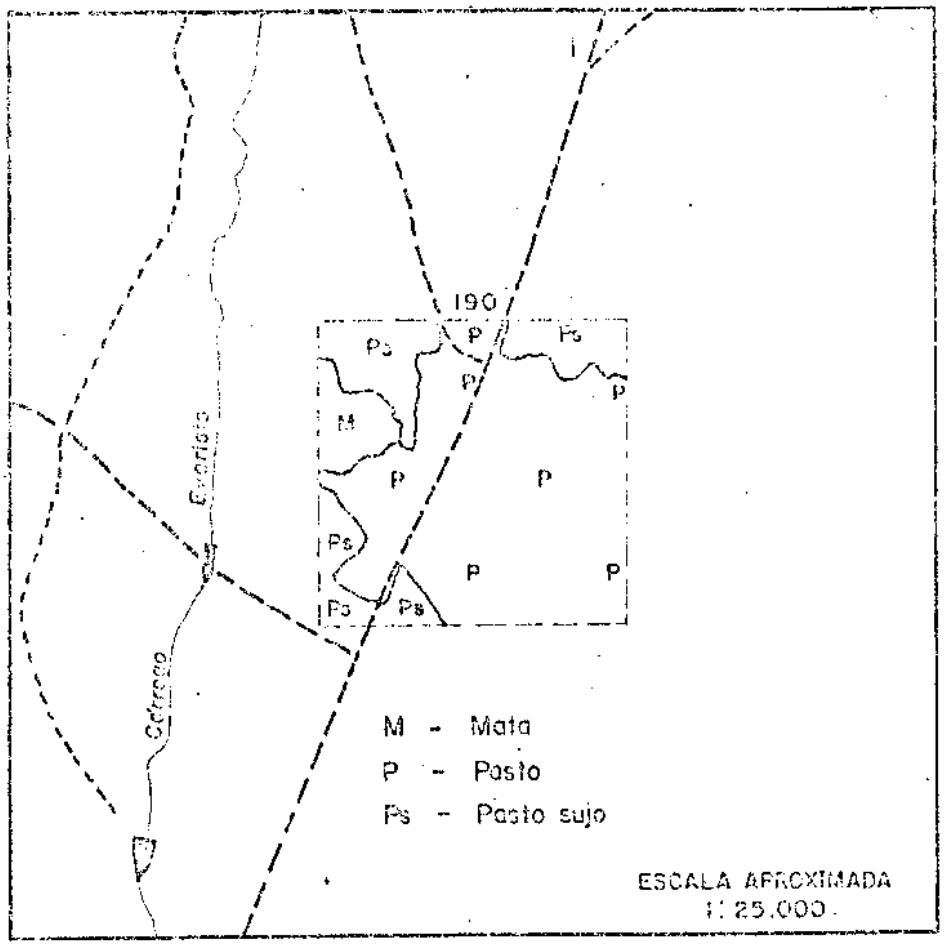

Fig. 3.3 - Exemplo de interpretação da cobertura vegetal/uso da terra através de fotografias aéreas.

Para cada quadrícula analisada foram obtidas as porcentagens de ocorrência de cada tipo de cobertura/uso com o auxílio de uma grade de pontos (equidistantes 0,5 cm). Através destes dados foi possível observar os tipos dominantes nas diferentes quadrículas para os referidos anos, os quais serviram de base para compor um quadro da influência das alterações de cobertura vegetal/uso no processo de erosão acelerada.

A forma das vertentes representou uma tentativa de avaliar a influência deste elemento no processo de erosão do solo. Este aspecto tem sido considerado importante por diversos autores, tais como Meyer e Kramer (1969) e Stocking (1972).

Neste trabalho, as vertentes inseridas nas quadrículas amostrais foram interpretadas através das fotos aéreas de 1972, sendo assinaladas em "overlay" as rupturas convexas e côncavas, conforme ilustra a Figura 3.4.

A superposição dos "overlays" referentes à ocorrência de ravinas sobre os das rupturas de vertentes possibilitou a observação da frequência de ravinas conforme o elemento da vertente. O termo elemento é empregado para caracterizar um setor da vertente no qual a curvatura permanece aproximadamente constante, conforme Young (Christofoletti, 1974).

O posicionamento de uma ravina ou de sua maior extensão em um dado elemento da vertente foi o critério adotado para considerá-la como pertencente ao setor convexo ou côncavo. Os dados de frequência de ravinas por tipo de vertente foram também considerados para análise conjunta com outros dados considerados.

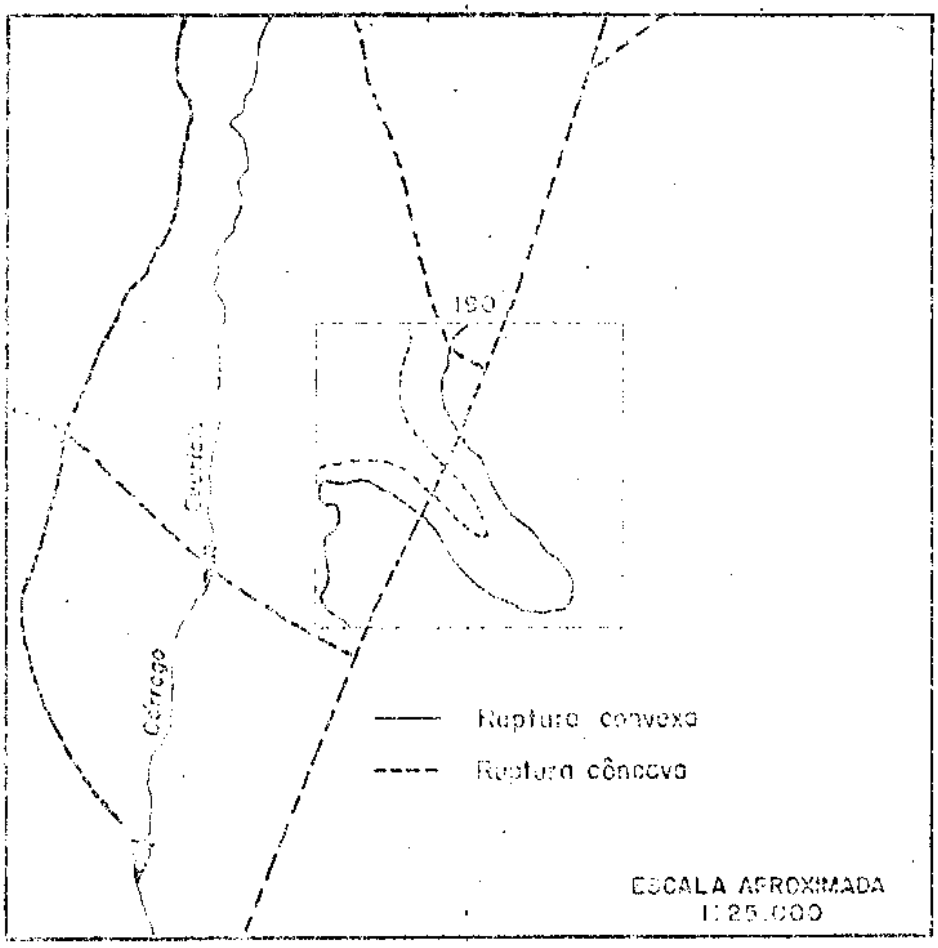

Fig. 3.4 - Exemplo de interpretação das formas de vertente através de fotografias aéreas.

3.3.1.2 - AQUISIÇÃO DE DADOS ATRAVÉS DE CARTAS TOPOGRÁFICAS

Foram utilizadas cartas topográficas na escala 1:50.000, do IBGE, e os seguintes dados foram obtidos para cada quadrícula amostral:

a) Declividade.

Como já foi mencionado anteriormente, a declividade é um fator que pode também condicionar os processos de erosão acelerada.

Dentre os autores que se têm se preocupado com a análise das características das vertentes, e em especial a declividade, destaca-se Strahler (1956). Segundo esse autor, a análise quantitativa da vertente possibilita o melhor entendimento da sua geometria e dos tipos de processos de modelação. Ele analisa as declividades das vertentes através de cartas topográficas, utilizando a relação da diferença altimétrica das curvas de nível e seus respectivos espaçamentos. Observa, ainda, que as cartas de declividade podem ser úteis em estudos de erosão, sendo possível, através delas, inferir áreas de fornecimento de sedimentos em uma bacia hidrográfica.

Os dados de declividade foram obtidos para cada quadrícula amostral através de medidas diretas nas cartas topográficas, utilizando o método das áreas homogêneas proposto por Raisz e Henry(1937).

Uma equipe técnica da Secretaria de Economia e Planejamento de São Paulo (São Paulo. SEP, 1979) propôs uma técnica de avaliação da declividade com utilização de um ábaco e definição de classes significativas de declividade, adotadas neste trabalho. Esta técnica mostrou-se eficiente principalmente para áreas que possuem feições de relevo semelhantes àquelas encontradas no sudoeste paulista.

Para cada quadrícula amostral foi obtido o valor médio ponderado de declividade, em porcentagem, em função da expressão em

área de cada faceta homogênea. Esses valores foram posteriormente transformados em graus de declividade.

b) Densidade hidrográfica.

Este índice, definido por Horton em 1945(Christofoletti, 1974), pode ser utilizado como indicador das condições de permeabilidade dos solos (Zinke, 1960), bem como do grau de dissecação do relevo, pois a maior proximidade dos canais evidencia interflúvios mais estreitos.

Peltier, citado por Christofoletti (1974), observa também que a densidade hidrográfica ou frequência de rios pode ser utilizada como um indicativo da declividade média de uma área. Ainda segundo Christofoletti (1974) a frequência de rios exprime a capacidade de gerar novos cursos d'água, representando o comportamento hidrográfico de determinada área. Este índice é expresso pela razão entre o número de rios e área considerada.

Neste trabalho, os valores de densidade hidrográfica por quadrícula foram obtidos das cartas topográficas, mostrando-se coerentes com os verificados nas fotografias aéreas. A coleta destes dados teve como objetivo a verificação da ocorrência de alguma relação entre esse índice e o processo de erosão em ravinas.

c) Extensão de vertentes.

A extensão da vertente é outro elemento importante a ser considerado por ocasião da avaliação dos processos de erosão do solo. Conforme U.S.D.A. Soil Conservation Service (1948) ela influencia o processo de erosão dos solos, uma vez que a velocidade de escoamento superficial da água pluvial aumenta com o comprimento da vertente.

Outros autores, tais como Bergsma (1974), Toy (1977) e Queiroz Neto (1978), têm também considerado a importância deste parâme

tro face aos problemas de erosão do solo. Wischmeier (1977), na equação universal de perda dos solos, para a previsão da média anual de erosão, considera a extensão de vertentes como fator comprimento de declive.

Os valores de extensão de vertentes foram obtidos a partir dos seguintes procedimentos: a)determinação da vertente de maior expressão em área na quadrícula; b) medida da distância entre o ponto de maior valor altimétrico à montante da quadrícula e o fundo do vale contido na quadrícula ou imediatamente à juzante dela; c)transformação dos valores de centímetro para metro. Este valor foi considerado representativo para a quadrícula.

3.3.1.3 - AQUISIÇÃO DE DADOS ATRAVÉS DE TRABALHO DE CAMPO

O trabalho de campo foi realizado em duas etapas com objetivos diferentes. O *primeiro*, realizado em julho de 1980, teve como objetivo um primeiro contacto com a área de estudo, bem como a coleta de amostras de solo em dezoito quadrículas selecionadas a partir dos dados obtidos através de fotointerpretação, facilidade de acesso e posicionamento no contexto da bacia. Estas quadrículas foram identificadas no campo com o apoio de cartas topográficas e fotos aéreas.

As amostras de solo foram coletadas à profundidade de 0,40 m a 0,60 m, conforme procedimentos já convencionais (Lemos e Santos, 1976) e amostrado um ponto para cada quadrícula, situado na porção média da vertente considerada principal. O material foi submetido à análise granulométrica em laboratório da seção de Pedologia do Instituto Agronômico do Estado de São Paulo (Campinas), com especial interesse nas frações areia fina e areia grossa. Através destes dados foram obtidos valores de razão entre porcentagem de areia fina e areia grossa para cada quadrícula.

A textura dos materiais constituintes do solo é também considerada um parâmetro importante quando se avaliam os processos de erosão acelerada. A intensidade de erosão do solo pode estar, muitas ve

zes, refletindo as condições texturais de uma formação superficial. Queiroz Neto (1975) e Carvalho (1976) enfatizaram a utilização da razão entre a porcentagem de ocorrência de areia fina e areia grossa como elemento que revela a maior ou menor homogeneidade do material constituinte do solo. A importância da textura do solo em relação à intensidade de erosão foi apresentada por Belcher (1960).

Os valores obtidos da razão para cada quadrícula e respectivas classes texturais foram também utilizados na composição de um quadro de associações entre os valores das diferentes variáveis consideradas.

O *segundo* trabalho de campo foi realizado na primeira quinzena de novembro de 1981 e teve como objetivo a coleta de informações relativas à densidade de cobertura vegetal. Este período foi selecionado face à possibilidade de encontrar a vegetação verde com sua densidade mínima de cobertura do solo, uma vez que o referido período caracteriza-se por ser a transição entre as estações seca e chuvosa para a área de estudo. As datas de passagem do LANDSAT-2 (4 e 22 de novembro de 1981) condicionaram também a realização do trabalho de campo desde que as informações de cobertura vegetal seriam utilizadas como suporte para a análise dos dados MSS/LANDSAT.

Para esta etapa foram selecionadas quatorze quadrículas amostrais tendo em vista as visitadas no primeiro trabalho de campo e considerando a disponibilidade de tempo necessário para coletar informações referentes à cobertura vegetal, de forma a garantir um mínimo de variação em termos de densidade, uma vez que os dados seriam relacionados com as informações registradas nas imagens LANDSAT. A localização destas quadrículas pode ser observada na Figura 3.5.

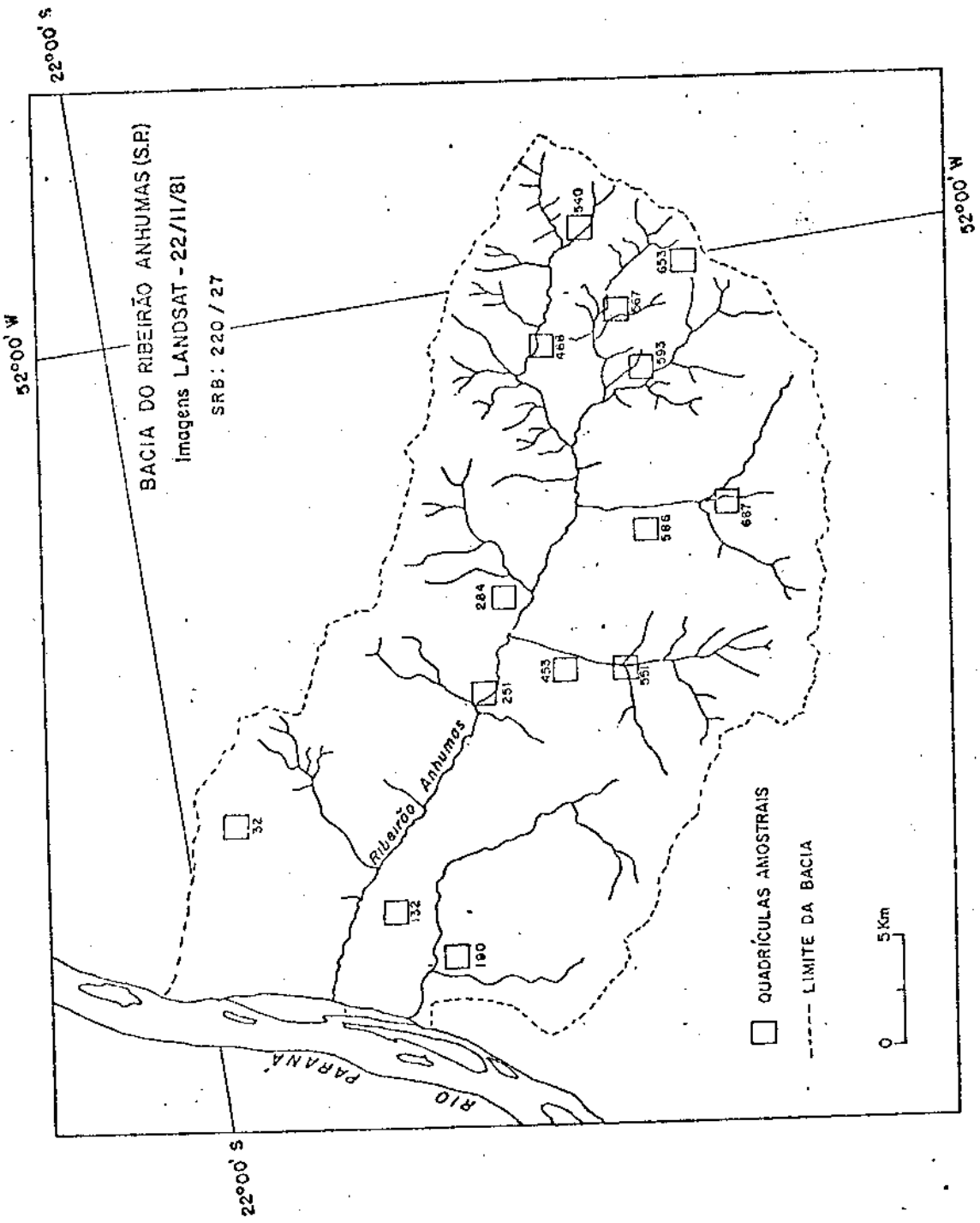

Fig. 3.5 - Localização das quadrículas amostrais visitadas no trabalho de campo.

Nesta fase, os procedimentos, que também se encontram descritos em Pinto et alii (no prelo), foram:

- Localização das quadrículas amostrais com apoio de cartas topográficas, fotos aéreas, bússolas e feições geográficas notáveis no terreno.
- Demarcação das quadrículas amostrais através de balisas.
- Seleção de três estações amostrais por quadrícula de dimensão 100 m x 100 m, para coleta de informações, em função da representatividade dos tipos de cobertura vegetal. O posicionamento destas estações teve como apoio fichas de campo onde cada quadrícula estava orientada conforme coordenadas das cartas topográficas e subdividida em 100 estações como mostra a Figura 3.6. Este procedimento foi realizado para garantir, posteriormente, a localização destas estações por ocasião da análise dos dados LANDSAT e confronto com as informações de campo.
- Avaliação da densidade de cobertura vegetal, em cada estação amostral, através de três lançamentos de um quadrado amostral, de dimensão de 50 cm x 50 cm (Figura 3.7), conforme metodologia empregada por Chiarini et alii (1967). Deve-se ressaltar que estas medidas foram realizadas para as estações com ocorrência de pastagens (predominância de gramíneas) e com culturas em estágio inicial de crescimento. Foram coletados dados referentes à porcentagem de ocorrência de cobertura dos tipos verde (V), palha (P) e solo exposto (SE), os quais foram anotados em fichas de campo apropriadas (Tabela 3.1). Para as estações com cobertura vegetal/uso definidos como pasto sujo, onde a ocorrência de elementos de porte arbustivo e arbóreo era predominante, foram realizadas seções transversais (paralelas, equidistantes e em número de quatro para cada estação) para avaliar o adensamento desses elementos.

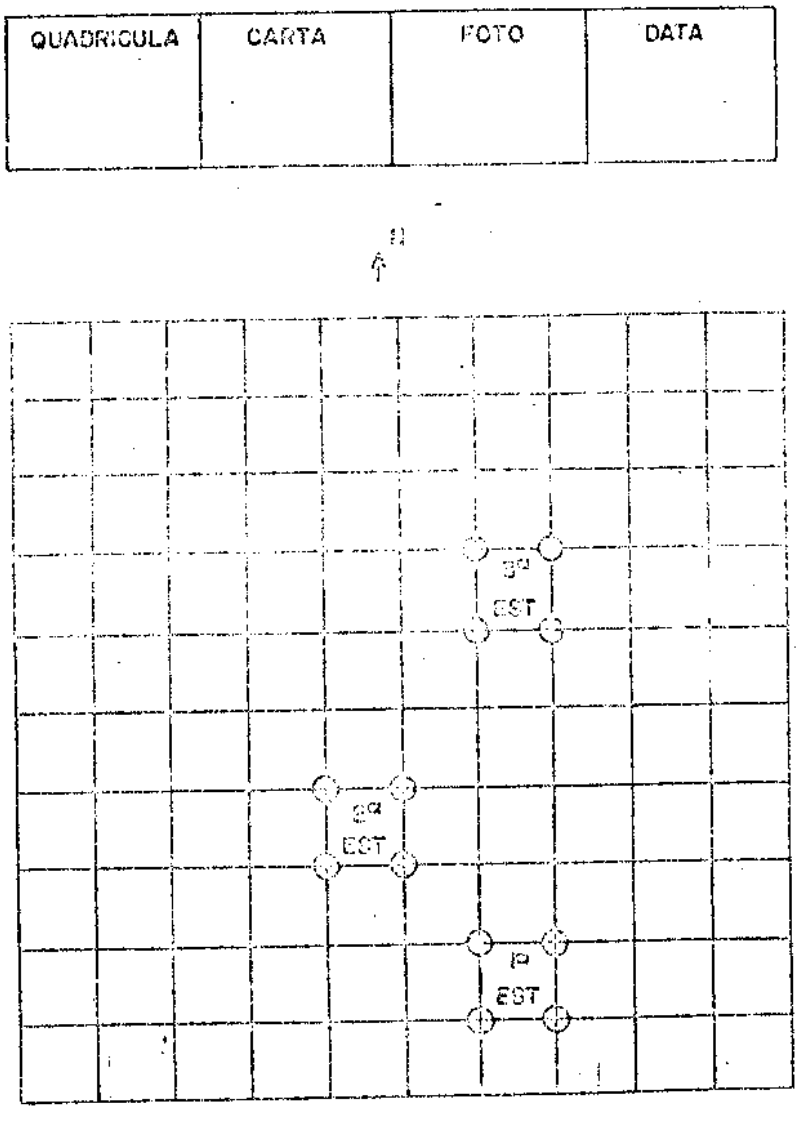

Fig. 3.6 - Ficha de campo que mostra o posicionamento de estações amostrais em uma quadrícula.

Fig. 3.7 - Quadrado amostral utilizado na avaliação de densidade de cobertura vegetal.

O conhecimento de campo mostrou que, na bacia como um todo, sete classes poderiam ser definidas em termos de densidade de cobertura vegetal, a saber: áreas de mata natural, pasto muito sujo e pasto sujo (ambos apresentando substrato graminóide, mas com presença de elementos arbustivos e até mesmo de porte arbóreo dominantes), áreas de pasto plantado com pequena densidade de solo exposto, áreas de pastagem plantada que apresentam grande densidade de solo exposto, áreas cultivadas (mamona, milho e algodão em estágios iniciais de crescimento) também apresentando grande porcentagem de solo exposto e áreas de solo preparado.

TABELA 3.1

EXEMPLO DE FICHA DE CAMPO UTILIZADA NA ANOTAÇÃO DE PORCENTAGENS DOS TIPOS DE COBERTURA

QUADRÍCULA: 567

1ª ESTAÇÃO									2ª ESTAÇÃO									3ª ESTAÇÃO								
1º lançamento			2º lançamento			3º lançamento			1º lançamento			2º lançamento			3º lançamento			1º lançamento			2º lançamento			3º lançamento		
P	V	SE	P	V	SE	P	V	SE	P	V	SE	P	V	SE	P	V	SE	P	V	SE	P	V	SE	P	V	SE
50	50	0	60	40	0	5	75	20	40	50	10	5	5	90	0	100	0	0	70	30	10	10	80	60	0	40
60	40	0	60	40	0	60	40	0	30	60	10	35	30	35	60	40	0	0	80	20	5	0	95	80	10	10
10	90	0	80	20	0	60	40	0	30	60	10	10	30	60	60	30	10	10	90	0	5	0	95	80	20	0
30	70	0	20	80	0	80	15	5	10	40	50	10	10	80	5	15	80	0	100	0	10	75	15	0	100	0
95	5	0	0	50	50	60	40	0	0	10	90	10	50	40	20	10	70	0	60	40	0	100	0	20	80	0
95	5	0	95	5	0	40	60	0	85	5	10	30	60	10	20	80	0	0	100	0	5	0	95	40	0	60
80	20	0	80	20	0	80	10	10	30	50	20	20	70	10	50	50	0	0	100	0	5	0	95	30	10	60
40	60	0	40	60	0	80	20	0	30	50	20	80	20	0	70	30	0	10	90	0	10	70	20	70	20	10
10	90	0	85	10	5	95	5	0	10	60	30	10	50	40	30	15	55	0	100	0	30	70	0	20	80	0
20	80	0	20	5	75	40	50	10	75	5	20	20	10	70	15	40	45	10	90	0	70	30	0	10	90	0
60	40	0	10	60	30	80	20	0	75	5	20	70	30	0	20	80	0	0	100	0	30	10	60	80	0	20
70	30	0	5	40	55	80	20	0	40	40	20	40	60	0	70	30	0	0	100	0	5	5	90	80	10	10
5	95	0	0	50	50	90	10	0	30	50	20	20	80	0	80	20	0	0	100	0	10	30	60	90	10	0
5	95	0	0	25	75	70	30	0	40	30	30	10	90	0	30	30	40	10	90	0	30	60	10	50	50	0
5	95	0	20	30	50	75	25	0	20	10	70	80	20	0	50	50	0	0	100	0	75	15	10	10	90	0
40	60	0	10	40	50	40	50	10	10	90	0	30	70	0	40	60	0	0	100	0	10	60	30	30	70	0
50	50	0	70	30	0	40	60	0	15	80	5	20	80	0	40	60	0	0	100	0	20	5	75	20	80	0
5	95	0	10	10	80	40	60	0	40	40	20	50	30	20	70	30	0	0	100	0	30	20	50	95	5	0
5	95	0	0	30	70	50	50	0	15	80	5	80	10	10	70	20	10	10	90	0	40	60	0	60	40	0
30	70	0	10	30	60	70	30	0	10	10	80	70	30	0	60	30	10	0	100	0	40	50	10	0	90	10
70	30	0	20	30	50	40	60	0	10	50	40	30	70	0	50	50	0	0	100	0	20	80	0	70	30	0
40	60	0	30	30	40	20	80	0	20	60	20	30	70	0	20	80	0	0	90	10	10	30	60	40	10	50
5	95	0	20	50	30	20	80	0	10	20	70	40	60	0	60	40	0	0	80	20	20	30	50	40	0	60
30	70	0	10	60	30	80	20	0	60	10	30	90	10	0	50	50	0	0	90	10	20	80	0	20	10	70
5	95	0	20	50	30	20	80	0	30	5	65	85	15	0	20	80	0	20	80	0	0	100	0	10	20	70
$\bar{X}$ 36,6	63,4	0	31,0	35,8	33,2	56,6	41,2	2,20	30,6	38,8	30,6	39,0	42,4	18,6	42,4	44,8	12,8	2,8	92,0	5,2	20,4	39,6	40,0	44,2	37,0	18,8

P → cobertura tipo palha

V → cobertura verde

SE → solo exposto

3.3.1.4 - AQUISIÇÃO DE DADOS ATRAVÉS DE IMAGENS LANDSAT

Nesta fase foram utilizados dados MSS/LANDSAT contidos em fitas compatíveis com computador (CCTs) referentes à órbita 220, ponto 27, passagem de 22 de novembro de 1981, com vistas à análise automática através do sistema IMAGE-100 (General Electric Company, 1975).

Muitos trabalhos têm descrito e comentado a utilização de procedimentos automáticos para análise de dados LANDSAT para avaliar variações da cobertura vegetal. A análise desses trabalhos tem demonstrado que o processo mais utilizado para classificação é o de máxima verossimilhança (Seubert et alii, 1979; Hernandez Filho e Shimabukuro,1978; Aoki e Santos, 1980; e Stephens e Cihlar, 1981). Entretanto, Stephens e Cihlar (1981) analisaram também a eficiência do processo de classificação do tipo unidimensional na determinação de diferentes tipos de cobertura vegetal e observaram diferença de precisão de classificação inferior a 1% entre este tipo de procedimento e o sistema de classificação por máxima verossimilhança.

Neste trabalho foi utilizado o algoritmo de classificação "Cluster Synthesis" (General Electric Company, 1975) implementado no sistema IMAGE-100, considerando apenas o canal 5. A utilização deste algoritmo teve como objetivo verificar a potencialidade desta opção na determinação de diferentes classes de densidades de cobertura vegetal com apoio de dados de campo.

Inicialmente a imagem foi ampliada para a escala 1:150.000, no vídeo do sistema IMAGE-100, tendo como referência a posição central da área de estudo. Procedeu-se, então, à delimitação da bacia com base na rede de drenagem (canais 4, 5 e 7) apresentada no vídeo.

Por sua vez, a área da bacia foi ampliada para a escala 1:50.000, através da partição em cinco módulos. Os módulos foram analisados separadamente, uma vez que abrangiam todo o espaço útil do vídeo. Em cada módulo foram posicionadas e demarcadas as respectivas quadrícu

las amostrais visitadas na segunda fase do trabalho de campo. A Figura 3.8 ilustra um módulo apresentado no vídeo do I-100 e as respectivas quadrículas demarcadas.

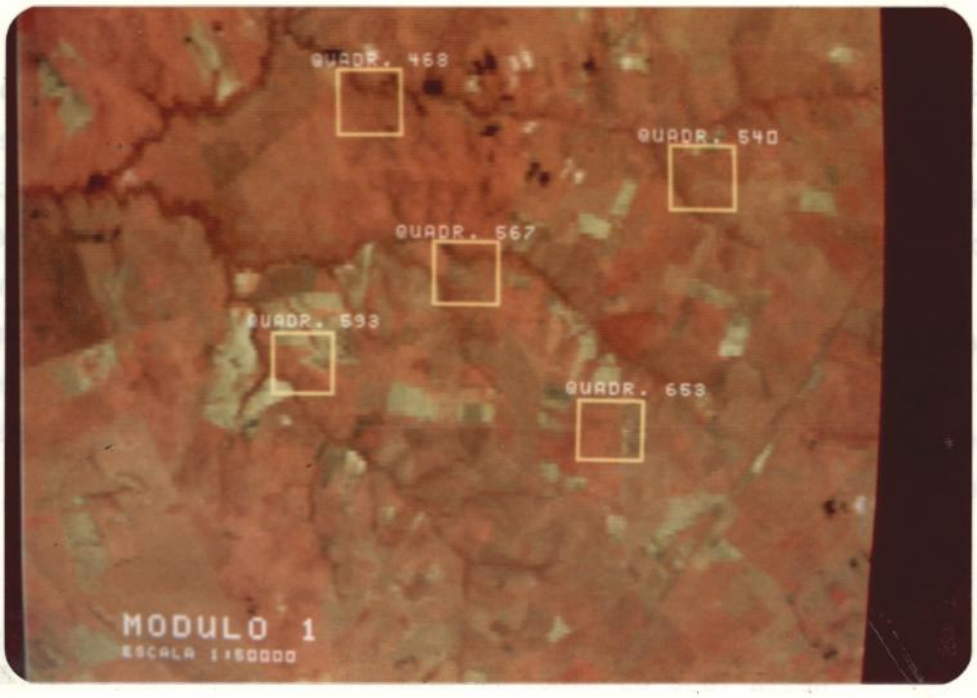

Fig. 3.8 - Apresentação de um módulo no vídeo do Sistema IMAGE-100.

Para cada módulo foi definido o valor máximo e mínimo de nível de cinza, através do programa "Single Cell" (General Electric Company, 1975), adotando como área de treinamento todo o módulo com resolução de 256 níveis de cinza.

Em seguida utilizou-se o algoritmo "Cluster Synthesis", onde os intervalos de nível de cinza foram definidos interativamente (opção manual) com o suporte do conhecimento de campo, referente aos tipos de cobertura vegetal/uso para as quadrículas amostrais.

Após a inspeção de todo o módulo e definição das classes de nível de cinza, utilizou-se o programa "Slicer" (General Electric

Company, 1975) para associar as classes aos temas disponíveis no Sistema IMAGE-100 e apresentação no vídeo através de cores. Foram gerados mapas alfanuméricos (printouts), um para cada módulo, na escala aproximada 1:12.500, através da impressora de linhas do sistema. Nestes mapas, os símbolos foram associados às classes de nível de cinza.

Na análise automática dos dados LANDSAT, diversos trabalhos têm mostrado e discutido a utilização de correção dos efeitos da atmosfera para melhorar a qualidade das imagens. Diferentes procedimentos para efetuar este tipo de pré-processamento têm sido apresentados. Por exemplo, Robinove et alii (1981) subtraíram de cada canal níveis de cinza considerados como espalhamento, a partir da análise do canal 7 que teoricamente é considerado possuir o nível mínimo de espalhamento. Neste trabalho este procedimento foi utilizado mas não foi considerado, uma vez que o valor referente ao canal 7 mostrou-se elevado em relação aos demais canais.

3.3.2 - ANÁLISE INTEGRADA DOS DADOS

Nesta fase os dados referentes à frequência de ravinas (Fr), extensão de vertentes (Ev), densidade hidrográfica (Dh), declividade média (Decl) e cobertura vegetal/uso (pasto (P), pasto sujo (Ps), áreas de cultivo (Cl) e mata (M), para as 147 quadrículas amostrais selecionadas, foram submetidos à análise estatística paramétrica.

Conforme diversos autores, dentre os quais Steel e Torrie (1960) e Stocking (1972), a análise estatística multivariada pode fornecer subsídios que possibilitam identificar quais variáveis, consideradas independentes, explicam ou caracterizam-se como mais fortes condicionadoras do surgimento ou das variações de intensidade de um evento, denominado variável dependente.

Neste trabalho como um dos objetivos é avaliar a ocorrência do processo de erosão em ravinas na área da bacia do Ribeirão Anhumas e como os parâmetros do relevo e cobertura vegetal/uso interferem

nesse processo, foi calculado o coeficiente de correlação múltipla,sendo considerada a frequência de ravinas (Fr) como variável dependente e as demais como variáveis independentes. Como este tipo de análise pressupõe que os dados possuam uma distribuição próxima à normal (Steel e Torrie, 1960), foi realizada uma transformação logarítmica dos dados brutos.

Os dados de frequência de ravinas e cobertura vegetal/uso dominantes, obtidos através das fotos aéreas de 1962 e 1972,referentes a 33 quadrículas amostrais selecionadas, foram analisados através de tabela como o objetivo de avaliar a interferência da mudança da cobertura vegetal/uso no processo de erosão do solo, na área de estudo.Também foram considerados, nesta tabela, dados referentes à declividade média, extensão de vertentes, densidade hidrográfica e frequência de ravinas por tipo de vertente, para se observar a tendência de associação destes dados com os valores de frequência de ravinas. Para a seleção destas quadrículas, levaram-se em consideração os valores elevados de frequência de ravinas e a presença de voçorocas, observadas na interpretação das fotos aéreas de 1972, bem como as quadrículas visitadas nos trabalhos de campo.

Por sua vez, as quatorze quadrículas visitadas no segundo trabalho de campo foram analisadas em outra tabela, considerando dados de frequência de ravinas e cobertura vegetal/uso para 1962 e 1972, diferença de frequência de ravinas (ΔFr), declividade média e dados de razão entre porcentagem de areia fina e areia grossa e respectivas classes texturais, com o objetivo de observar a susceptibilidade ao processo de erosão acelerada para cada quadrícula.

Os dados obtidos através da análise automática de imagens LANDSAT (algoritmo Cluster Synthesis) foram relacionados com os dados de cobertura vegetal/uso coletados no trabalho de campo. Obtiveram-se coeficientes de correlação entre esses dados e ajustaram-se retas de regressão com o objetivo de avaliar o nível de associação entre classes de níveis de cinza na imagem (CCT) e densidade de cobertura vegetal.

As regressões encontradas foram submetidas ao teste F (Steel e Torrie, 1960; e Davis, 1973), para avaliação da significância das referidas regressões. O teste F é considerado adequado quando se utiliza número pequeno de observações (Davis, 1973).

Associando as classes de níveis de cinza obtidas através de análise automática de imagens e dados de declividade média, elaborou-se uma escala de riscos à erosão para as quadrículas amostradas no segundo trabalho de campo.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

4.1 - RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DOS DADOS COLETADOS POR FOTOGRAFIAS AÉREAS, CARTAS TOPOGRÁFICAS E TRABALHO DE CAMPO

Os dados para as 147 quadrículas amostrais analisadas, referentes à frequência de ravinas (Fr), cobertura vegetal/uso(pasto(P), pasto sujo (Ps), culturas (Cl) e mata (M))coletados através das fotos aéreas de 1972 e extensão de vertentes (Ev), densidade hidrográfica(Dh) e declividade (Decl), obtidos a partir das cartas topográficas, encontram-se listados no Apêndice A.

Através desses dados foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson das referidas variáveis, definindo-se a frequência de ravinas como variável dependente. Os coeficientes encontram-se na Tabela 4.1.

TABELA 4.1

COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS ANALISADAS

VARIÁVEL DEPENDENTE / VARIÁVEL INDEPENDENTES	Fr
Ev	- 0,451
Dh	0,412
Decl	0,510
P	0,385
Ps	- 0,083
Cl	0,188
M	- 0,509

Através da Tabela 4.1, pode-se observar que a declividade é a variável que apresenta o maior valor de correlação no conjunto das variáveis analisadas. Entretanto, o valor baixo para esta correlação (0,510) pode ser devido ao fato de se ter considerado a declividade média da quadrícula. Se fossem considerados os valores de declividade para os diferentes setores de cada quadrícula e suas respectivas frequências de ravinas, provavelmente obter-se-ia um valor mais alto de correlação entre as duas variáveis. Como a quadrícula constituiu a menor célula de trabalho, nesta fase, fez-se necessário a utilização de um dado considerado representativo, optando-se desta forma pelo valor médio de declividade.

O mesmo pode-se dizer da variável extensão de vertente (E_v), que apresenta correlação inversa baixa (-0,451), uma vez que para esta variável foi considerada a medida referente à vertente de maior expressão na qual cada quadrícula estava inserida. Também neste caso, se fossem considerados os valores das vertentes no contexto de cada quadrícula, talvez pudesse ser obtido melhor coeficiente de correlação. Esta opção foi adotada com o objetivo de se obter um valor representativo para cada quadrícula. Diversos trabalhos, como o de Bertoni (1959), têm mostrado experimentalmente que, em condições semelhantes de cobertura vegetal/uso e declividade, o aumento da extensão de vertente acarreta maior perda de terra por erosão. Entretanto, na área da bacia do Ribeirão Anhumas, a relação observada entre extensão de vertente e erosão do solo em ravinas apresentou-se inversa devido ao fato de que, em geral, as vertentes mais extensas estão associadas a valores de declividade mais baixos e possivelmente apresentam menor susceptibilidade à ocorrência de processos lineares de erosão do solo.

Por sua vez, o valor de correlação entre os dados de densidade hidrográfica (Dh) e frequência de ravinas também apresentou-se baixo. Isto pode ser explicado pelo fato de, no conjunto da bacia do Ribeirão Anhumas, grande parte das quadrículas analisadas encontrarem-se inseridas em setores de baixos valores de frequência de rios. Por outro lado também esse valor de correlação pode estar evidenciando que

a variável densidade hidrográfica deve ser considerada um fator indireto do processo de erosão do solo, uma vez que a maior ou menor densidade hidrográfica é refletida através da largura dos interflúvios e consequentemente através da extensão das vertentes e declividade.

Também os dados referentes aos diversos tipos de cobertura vegetal/uso apresentaram valores de coeficiente de correlação baixos. Isto pode ser explicado pelo fato de que a variável frequência de ravinas foi considerada para o total de cada quadrícula, sem contudo ser especificada conforme os setores com diferentes tipos de cobertura vegetal/uso. Entretanto, da análise das quatro categorias consideradas pode-se observar que a cobertura vegetal do tipo mata (M) foi a que apresentou valor mais elevado de correlação (-0,509). Este dado evidencia o caráter de proteção que esse tipo de cobertura exerce sobre o solo.

A cobertura vegetal/uso do tipo pasto (P) apresenta também correlação baixa (0,385), sugerindo que o processo de erosão do solo ocorre em intensidades diferentes neste tipo de cobertura/uso, apresentando apenas uma leve tendência a aumentar com a presença de pastagem. Também os valores baixos para as variáveis pasto sujo (-0,083) e cultivo (0,188) parecem sugerir que, no contexto desta análise, a erosão do solo pode estar também presente em diferentes intensidades nesses dois tipos de cobertura vegetal/uso, sem mostrar uma tendência mais definida.

A cobertura vegetal/uso tem sido considerada um importante fator condicionante da erosão do solo. Este fator tem-se mostrado mais significativo na medida em que a interferência do homem tem provocado transformações naquela cobertura, resultanto na intensificação daqueles processos.

Com o objetivo de observar se as mudanças de cobertura vegetal/uso interferem na intensidade do processo de erosão em ravinas, 33 quadrículas interpretadas através das fotos aéreas de 1962 e 1972

foram analisadas. Nesta análise foram considerados dados de frequência de ravinas (Fr) e cobertura vegetal/uso dominante (COB.DOM.) para 1962 e 1972, diferença de frequência de ravinas (ΔFr) para esses dois anos, declividade média (Decl), extensão de vertente (Ext.Vert.), densidade hidrográfica (Dh) e frequência de ravinas (referente ao ano de 1972) conforme o tipo de vertente (convexa-Cx ou côncava-Cc). Estes dados encontram-se listados na Tabela 4.2, que foi elaborada conforme a ordenação crescente dos valores de frequência de ravinas referentes a 1972.

A partir da Tabela 4.2 os dados de frequência de ravinas foram agrupados em cinco classes conforme mostrado a seguir:

0	- inexistente
1 ├——— 7	- fraca
7 ├——— 14	- moderada
14 ├——— 21	- forte
≥ 21	- muito forte.

Com base nestas classes e na análise da Tabela 4.2 verifica-se que as classes de frequência de ravinas dos tipos forte e muito forte, em geral, estão associadas a declividades superiores a 4°. O gráfico da Figura 4.1 mostra a distribuição de frequência referente a cinco classes adotadas, observando-se um sensível aumento, em termos de frequência, para as classes que expressam maior degradação do solo, quando se comparam os dados de 1962 e 1972.

TABELA 4.2

DADOS DAS VARIÁVEIS ANALISADAS PARA 33 QUADRÍCULAS AMOSTRAIS

Q	Fr/1962	Fr/1972	ΔFr	COB.DOM.1962 %	COB.DOM.1972 %	DECL. (°)	EXT.VERT (m)	Dh.	Fr/TIPO VERT.
333	0	3	3	M (100)	M(67)/Ps(13)	2°	1850	0	3 cx
529	6	3	3	Ps(80)/P(20)	P(64)/Ps(36)	2°	850	3	3 cx
132	0	5	5	M (100)	Ps(85)/P(15)	1°	2300	0	5 cx
190	0	5	5	M (84)/P(16)	P(64)/Ps(16)	2°30'	1550	0	4 cx
32	0	7	7	M (91)	P(64)/P (36)	1°	2100	0	7 cx
200	0	7	7	Ps(60)/P(34)	P(66)/Ps(34)	2°	900	0	4 cx
153	0	8	8	M (98)	Ps(89)/P(11)	2°	700	0	6 cx
586	0	10	10	Ps(64)/M(36)	Ps(53)/Cℓ(27)	2°	1550	0	6 cx
136	1	10	9	P (69)/Ps(31)	P (88)/Ps(12)	2°30'	1350	1	8 cx
178	5	10	5	P (83)/Ps(12)	P (78)/Ps(15)	3°	800	1	6 cx
157	8	10	2	P (73)/Ps(19)	P (95)	4°	1450	1	7 cx
523	3	11	8	M (59)/P (27)	P (50)/Ps(50)	2°	950	0	11 cx
540	3	12	9	P (48)/Ps(39)	Ps(52)/Cℓ(25)	7°	350	4	2 cx
426	9	12	3	Ps(81)/P (19)	Ps(61)/Cℓ(22)	7°	400	2	7 cx
284	0	13	13	P (76)/M (22)	Cℓ(53)/Ps(32)	3°30'	1850	0	5 cx
556	1	13	12	M (80)/P (11)	Cℓ(71)/P (29)	5°	300	3	12 cx
141	6	14	8	P (70)/Ps(28)	P (89)/Ps(11)	4°	400	3	6 cx
653	2	15	13	Ps(47)/P (44)	Cℓ(48)/P (27)	4°30'	600	2	7 cx
251	4	15	11	Ps(95)	P (89)	4°30'	1050	2	7 cx
319	5	15	10	Ps(84)/P (13)	Cℓ(59)/Ps(41)	4°30'	1100	1	7 cx
674	7	17	10	P (53)/C (45)	Cℓ(52)/P (33)	8°	150	3	10 cx
527	12	17	5	P (76)/Ps(19)	Ps(64)/P (17)	6°	500	1	12 cx
281	19	20	1	P (78)/Ps(14)	P (74)/Ps(20)	4°	2050	2	12 cx
551	4	21	17	P (59)/Ps(34)	P (93)	9°	400	3	17 cx
468	6	22	16	P (83)	P (77)	7°30'	200	4	14 cx
455	12	22	10	P (53)/Ps(47)	Ps(59)/P (41)	4°	300	3	20 cx
667	0	25	25	Ps(75)/P (15)	P (70)/Cℓ(30)	5°30'	1150	2	15 cx
418	5	26	21	P (56)/Ps(44)	Ps(53)/P (47)	4°	700	1	18 cx
624	4	27	23	P (44)/Ps(26)	Cℓ(48)/P (27)	5°30'	200	2	15 cx
567	3	29	26	Ps(81)/P (13)	Cℓ(53)/P (33)	5°	350	4	26 cx
593	7	34	27	Ps(52)/P (48)	P (92)	7°30'	300	4	23 cx
644	8	34	26	Cℓ(81)/P (11)	P (87)	8°30'	350	3	21 cx
621	16	38	22	Ps(59)/P (41)	P (49)/Ps(42)	9°	400	3	28 cx

Q = Quadrícula
Fr = Frequência de ravinas
ΔFr = Diferença de frequência de ravinas
COB.DOM. = Cobertura dominante

Decl. = Declividade
Ext.Vert. = Extensão de Vertente
Dh = Densidade Hidrográfica
Fr/Tipo Vert. = Freq. de ravinas/ Tipo de Vertente.

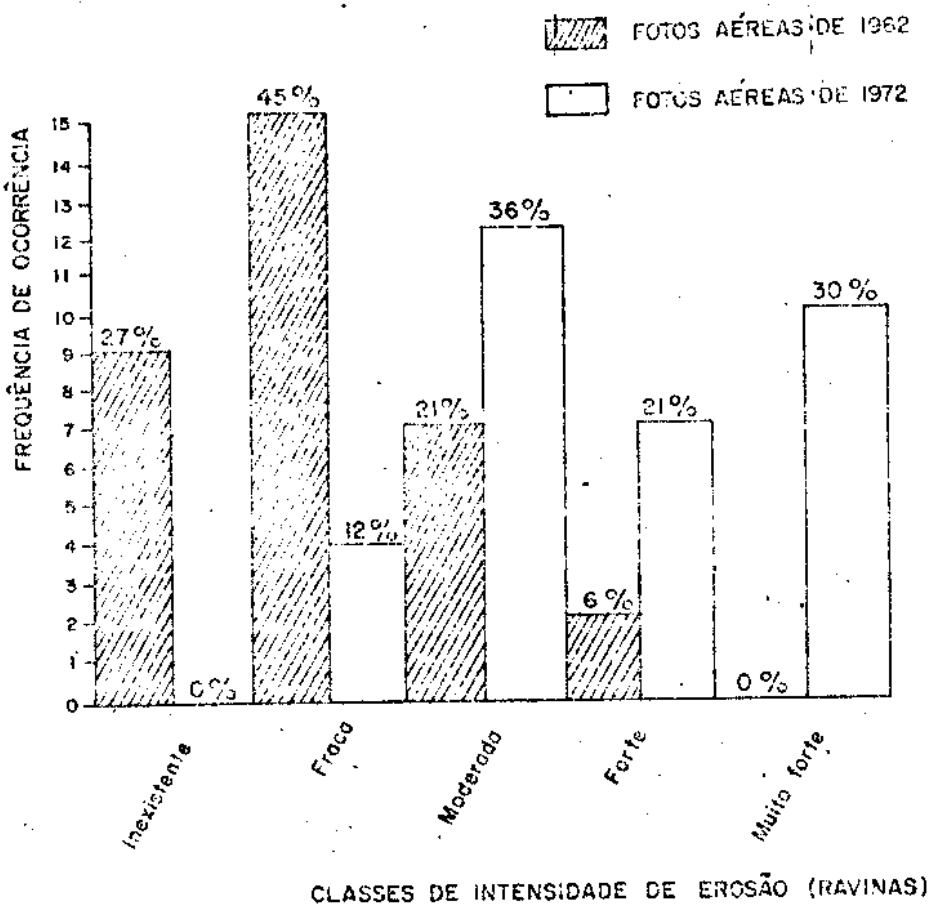

Fig. 4.1 - Distribuição de frequência das classes de intensidade de erosão.

Através da Tabela 4.2 pode-se observar nítida relação entre aumento da frequência de ravinas de 1962 para 1972 e mudança de tipo de cobertura vegetal/uso dominante, fato este que sugere susceptibilidade à erosão. Isto vem ao encontro da proposição de Pontes(1977) que sugere graus de estabilidade menores da paisagem à medida que se transforma a cobertura vegetal florestal, de uma área, para pastagem e agricultura. Este aspecto é também apresentado por Bertoni et alii (1972), onde observam que a perda de solo por erosão em áreas sob cobertura vegetal florestal é cerca de 10 vezes menor do que em áreas sob pastagem. Por sua vez as culturas propiciam perda maior de solo em intensidades diferentes conforme as características de cada tipo de cultivo.

Como exemplo da influência de mudanças da cobertura vegetal/uso no processo de erosão em ravinas pode-se citar a quadrícula nº 567, inserida na Tabela 4.2. Esta quadrícula apresenta cerca de 80% de sua área sob condição de pasto sujo (Ps) em 1962, sendo identificadas apenas três ravinas. Entretanto, a condição de dominância de áreas cultivadas (Cℓ), no caso resíduos de cultivo, em 1972, provocou o aparecimento de 29 ravinas.

Em contrapartida, determinados tipos de cultura podem proporcionar maior proteção ao solo que as pastagens. Isto pode ser observado através da quadrícula 644 (Tabela 4.2), que em 1962 apresentou 8 ravinas sob dominância de cultivo de café e em 1972 a frequência de ravinas elevou-se para 34 sob condições de pastagem (P). Deve-se ressaltar ainda que esta quadrícula possui declividade média de 8°30'que, para o contexto da bacia em estudo, é considerado um valor elevado.

A Figura 4.2 mostra um exemplo da distribuição dos tipos de cobertura vegetal/uso dominante para 1962 e 1972 com base nos dados da Tabela 4.2.

Um aspecto que não foi considerado neste trabalho, mas poderá constituir-se em importante elemento na análise do processo de erosão em ravinas é o tempo de permanência de um determinado tipo de cobertura vegetal/uso que pode ser observado através de sequência temporal de fotografias aéreas.

Muitas quadrículas analisadas através das fotos de 1962 e 1972 apresentaram continuidade aparente de dominância do tipo pastagem (P) e aumento de frequência de ravinas. Entretanto, a ausência de documentação aerofotográfica em anos intermediários a esse período não permitiu avaliar com eficiência a intensidade do processo de transformação da cobertura vegetal/uso.

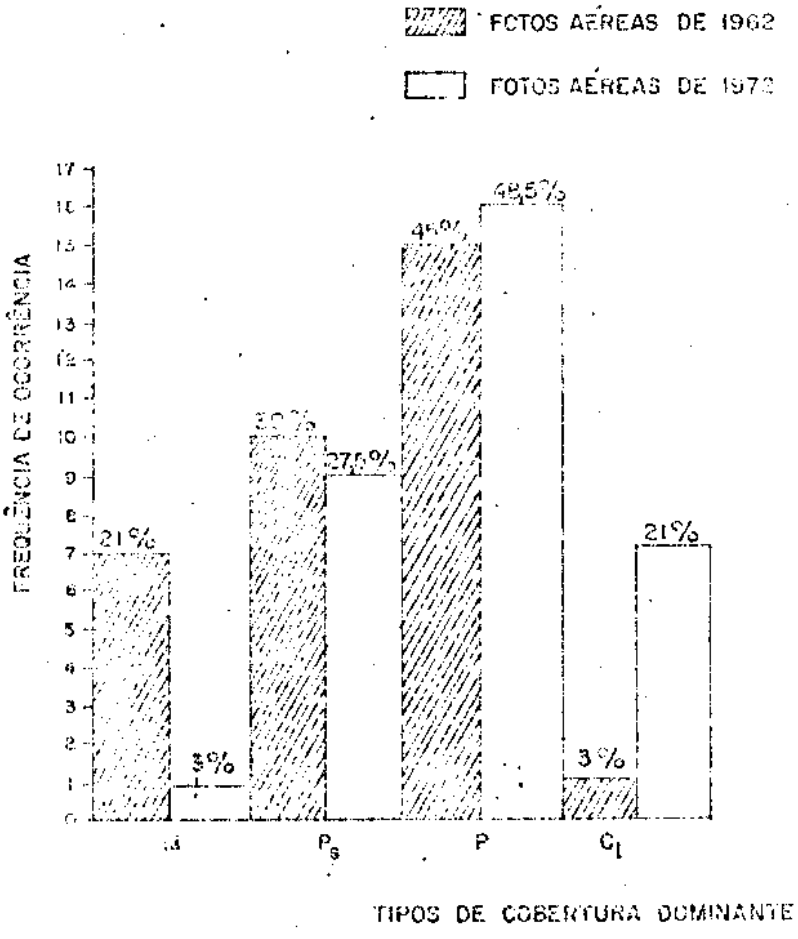

Fig. 4.2 - Distribuição dos tipos de cobertura vegetal para 1962 e 1972.

Outro aspecto não considerado e que também pode influenciar na intensidade dos processos de erosão do solo são as práticas agrícolas e o manejo dos restos de cultura. Bertoni et alii (1972) chamam a atenção para a importância destes aspectos para a conservação do solo, assim também como Cordeiro e Soares (1977) levam em consideração a intensidade de apascentamento no caso de pastagens. Este fator é considerado na proposta de Wischmeier e Smith (Wischmeier, 1977), como práticas conservacionistas e no modelo conceitual de Selby(Toy,1977), como interferência do homem.

A erosão em ravinas observadas em 1962 e 1972 (Tabela 4.2) mostra também uma certa tendência em aumentar com a declividade. Isto fica mais evidenciado ao se observarem os dados de frequência de ravinas para 1972, onde valores superiores a 13 estão associados, na maior parte dos casos, à declividade igual ou superior a 4^0. A suavização da tendência observada entre estas duas variáveis provavelmente deve-se ao critério adotado para coleta dos valores de declividade. Ainda deve-se ressaltar que, em geral, os valores de declividade na bacia do Ribeirão Anhumas são relativamente baixos quando comparados com os existentes em outros compartimentos geomorfológicos do SE do Brasil.

Para melhor análise e possíveis associações com outras informações, os dados de declividade foram agrupados em quatro classes obtidas a partir das sugeridas por Marques (1971), devidamente adaptadas ao contexto da área de estudo. As seguintes classes foram adotadas:

$1^0 30'$ >	-	fraca
$1^0 30'$ ├——3^0	-	fraca a moderada
3^0 ├————7^0	-	moderada
7^0 ├————14^0	-	moderada a forte

Conforme Marques (1971), a primeira classe é aquela que não oferece limitações para práticas agrícolas. As áreas incluídas na segunda e terceira classes são aquelas que podem ser trabalhadas meca

nicamente, mas já com adoção de sistemas de curva de nível. A quarta classe refere-se às áreas que ainda podem ser trabalhadas mecanicamente, em curvas de nível, mas com limitações e cuidados especiais.

Os dados de extensão de vertente (Ev) e densidade hidrográfica (Dh), inseridos na Tabela 4.2, apresentam uma associação mais fraca com os valores de frequência de ravinas (Fr), do que o tipo de cobertura vegetal/uso dominante e declividade média.

A fraca associação dos dados de extensão de vertentes com a frequência de ravinas, também já mostrada na Tabela 4.1, conforme comentado anteriormente pode ser explicada pelo fato de que foi computado o valor referente à vertente principal de cada quadrícula. Diversos autores, tais como U.S.D.A. Soil Conservation Service (1948), Wischmeier e Smith (Wischmeier, 1977) e Toy (1977), mostraram que vertentes mais extensas são mais sensíveis à erosão quando outros fatores tais como declividade, cobertura vegetal e características texturais do solo são considerados uniformes. Na realidade o que se verifica é que vertentes mais curtas tendem a possuir potencialidade maior à erosão, uma vez que se encontram geralmente associadas a valores maiores de declividade. Esta tendência pode ser também observada através da Tabela 4.2, mesmo que de forma suavizada face ao critério de medida adotado neste trabalho.

Com relação aos dados de densidade hidrográfica, seria de esperar que o aumento deste índice sugerisse maior potencialidade à erosão, uma vez que implicaria em interflúvios mais estreitos e portanto vertentes mais curtas acompanhadas de valores de declividade mais elevados. No caso da área em estudo, dois aspectos podem ser considerados na tentativa de explicar a fraca associação entre densidade hidrográfica e frequência de ravinas. Um aspecto é que na bacia do Ribeirão Anhumas predominam formações superficiais com características texturais fundamentalmente arenosas (solo predominante do tipo LEa), conforme amostras coletadas em trabalho de campo. O segundo aspecto, que de certa forma é consequência do primeiro, é que, na bacia em ques

tão, a densidade hidrográfica pode ser considerada fraca quando comparada com outras áreas. Os setores da bacia onde esses valores são mais elevados apresentam afloramentos do arenito Bauru. A rocha, menos permeável, constitui nível de base para o lençol de água subterrâneo, conforme observado no campo. Esses afloramentos ocorrem com maior frequência próximo aos interflúvios divisores da bacia.

A forma da vertente foi outro tipo de informação coletada através da interpretação das fotos aéreas de 1972 e também considerada na Tabela 4.2. Através da inspeção das fotografias aéreas e observação de campo verificou-se que no conjunto da bacia do Ribeirão Anhumas predominam vertentes do tipo convexo-côncavas, no sentido do topo para a base, em geral suavizadas e amplas; a amplitude altimétrica entre o topo dos interflúvios e o fundo dos vales é inferior a 60 metros. O elemento convexo é, preferencialmente, mais extenso e a ruptura côncava ocorre, geralmente, mais próxima ao fundo dos vales. Segundo Young (Christofoletti, 1974) a presença de convexidade longa e suave é consequência do transporte de material cuja intensidade é relacionada somente à declividade. Por sua vez, Penteado (1974) comenta que a maior parte das vertentes apresenta formas convexo-côncavas, com ou sem segmentos retilíneos intercalados. Este autor observa ainda que num sistema morfoclimático de dominância de morfogênese bioquímica o perfil normal de uma encosta, em vias de regularização, é convexo no topo e côncavo na base, e a concavidade basal da vertente tende a crescer em direção ao topo quando o cavamento dos vales é mais lento do que a evolução das encostas.

Através da Tabela 4.2 pode-se verificar que a maior concentração de ravinas ocorre na porção convexa das vertentes (C_x). Este fato está em concordância com a afirmação de Meyer e Kramer (1969) de que as vertentes convexas são formas mais sensíveis à erosão do que as vertentes côncavas, uma vez que a primeira forma tenderia a evoluir para a forma côncava através dos processos de erosão, fato este também comentado por Penteado (1974).

Com o objetivo de verificar as potencialidades à erosão das quatorze quadrículas visitadas no segundo trabalho de campo, elas foram analisadas separadamente através da Tabela 4.3. Nesta tabela foram inseridos dados referentes à frequência de ravinas para 1962 e 1972, diferença de frequência de ravinas entre esses dois anos (ΔFr), cobertura vegetal/uso dominante para os respectivos anos, declividade média, razão entre porcentagem de areia fina e areia grossa (AF/AG) e respectivas classes texturais. Deve-se salientar que os valores de AF/AG obtidos no primeiro trabalho de campo compreendem dez observações na Tabela 4.3, uma vez que apenas 10 quadrículas visitadas no primeiro trabalho de campo voltaram a ser visitadas no segundo.

TABELA 4.3

DADOS DAS VARIÁVEIS ANALISADAS PARA 14 QUADRÍCULAS AMOSTRAIS

DECL. (º)	Q	Fr/1962	Fr/1972	ΔFr	COB.DOM.1962 (%)	COB.DOM.1972 (%)	CLASSES TEXTURAIS	AF/AG
1º	32	0	7	7	M (91)/Ps(9)	Ps(64)/P(36)	ARENO BARRENTO	1,21
1º	132	0	5	5	M (100)	Ps(85)/P(15)	ARENOSO	0,60
2º	586	0	10	10	Ps(64)/M(36)	Ps(53)/Cℓ(27)	ARENO BARRENTO	1,30
2º30'	190	0	5	5	M (84)/P(16)	P (64)/M(17)	ARENOSO	1,20
3º30'	284	0	13	13	P (36)/M(22)	Cℓ(53)/Ps(32)	-	-
4º	453	12	22	10	P (53)/Ps(47)	Ps(59)/P (41)	ARENO BARRENTO	1,19
4º30'	653	2	15	13	Ps(47)/P (44)	Cℓ(48)/P (27)	FINO ARENOSO	4,18
4º30'	251	4	15	11	P (95)	P (90)	ARENOSO	1,26
5º	567	3	29	26	Ps(81)/P (23)	Cℓ(53)/P (33)	FINO ARENOSO	9,33
5º30'	667	0	25	25	Ps(75)/P (15)	P (70)/Cℓ(30)	-	
7º	540	3	12	9	P (48)/Ps(39)	Ps(52)/Cℓ(25)	FINO ARENO BARRENTO	2,15
7º30'	468	6	22	16	P (83)	P (76)	FINO ARENOSO	5,29
7º30'	593	7	34	27	Ps(50)/P (50)	P (92)	-	
9º	551	4	21	17	P (59)/Ps(34)	P (93)	-	

AF/AG - Areia fina/Areia grossa
COB.DOM. - Cobertura Dominante
Fr - Frequência de ravinas
Q - Quadrícula
Decl. - Declividade
ΔFr - Diferença de frequência de ravinas

Na Tabela 4.3 as quadrículas encontram-se ordenadas conforme os valores crescentes de declividade média, com o objetivo de visualizar melhor a relação desta variável com a frequência de ravinas, bem como também a influência das demais variáveis. Da análise desta tabela fica também evidenciada a influência da declividade e da mudança de cobertura vegetal/uso na variação da frequência de ravinas para 1962 e 1972. Por outro lado, os dados relativos à razão entre porcentagem de areia fina e areia grossa não apresentaram a tendência esperada, isto é, um aumento de frequência de ravinas associado a aumento da referida razão. Valores maiores dessa razão significariam a presença de teores dominantes da fração areia fina que influenciaria na ocorrência de maior escoamento superficial das águas pluviais e provavelmente maior frequência de ravinas. Esta quase ausência de tendência entre as duas variáveis pode ser explicada pelo reduzido número de observações de campo e também devido ao critério de coleta adotado. Entretanto, a classificação textural das referidas amostras permite observar uma associação entre aumento de declividade e de frequência de ravinas com a passagem do tipo arenoso para fino-arenoso.

A associação conjunta dos dados da Tabela 4.3 pode sugerir a indicação das quadrículas mais susceptíveis à erosão em ravinas, com especial atenção aos dados de densidade de cobertura vegetal e declividade.

4.2 - RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA ANÁLISE AUTOMÁTICA DE DADOS LANDSAT

Os dados contidos em imagens LANDSAT foram analisados através de procedimento automático, utilizando fitas compatíveis com computador (CCTs) e o sistema IMAGE-100, conforme já mencionado na seção 3.3.1.4. Nessa análise utilizou-se um procedimento unidimensional de classificação, o algoritmo "Cluster Synthesis".

Este algoritmo de análise automática foi utilizado como uma opção alternativa para classificação de dados contidos em imagens LANDSAT, utilizando somente um canal do MSS. Neste trabalho foram ana

lisadas as informações contidas no canal 5, uma vez que é o canal que tem-se mostrado mais eficiente para estudos da cobertura vegetal e uso da terra como tem sido evidenciado por Seubert et alii (1979), Santos e Novo (1977), Hernandez Filho e Shimabukuro (1978), Aoki e Santos (1980) e Stephens e Cihlar (1981).

Como também já mencionado na seção 3.3.1.4, a área de estudo foi subdividida em cinco módulos e cada módulo analisado separadamente.

A análise automática foi iniciada através do módulo 1, ampliado para a escala 1:50.000, no vídeo do sistema IMAGE-100, tendo como base as informações de campo contidas nas quadrículas 468,540,567, 593 e 653.

Através do algoritmo "Single Cell", foram obtidos os valores máximo e mínimo de nível de cinza na área de estudo. O valor de nível de cinza mínimo considerado foi 19 e o valor máximo 155, adotando-se resolução de 256.

Em função deste conhecimento, sete classes foram definidas utilizando a opção manual de partição de classes do sistema IMAGE -100, com base nos níveis de cinza extremos anteriormente definidos e associadas a temas disponíveis nesse sistema (Tabela 4.4).

TABELA 4.4

CLASSES DE NÍVEIS DE CINZA OBTIDAS ATRAVÉS DE INTERPRETAÇÃO AUTOMÁTICA DE DADOS LANDSAT

CLASSES/TEMAS	INTERVALOS DE NÍVEL DE CINZA
CLASSE 1	19 - 27
CLASSE 2	28 - 44
CLASSE 3	45 - 52
CLASSE 4	53 - 69
CLASSE 5	70 - 86
CLASSE 6	87 - 103
CLASSE 7	104 - 155

Através do algoritmo "Slicer" estas classes foram definidas no vídeo do sistema IMAGE-100, associando cores a cada uma delas. Estas informações foram transpostas para um mapa alfanumérico (print-out) obtido através da impressora de linhas do sistema.

Os módulos 1, 2 e 3 não apresentaram a classe 2 e a análise desses módulos foi realizada com o suporte das quadrículas 468, 540, 567, 593 e 653 para o módulo 1; 453, 551, 586 e 667 para o módulo 2; 251 e 284 para o módulo 3; 132 e 190 para o módulo 4; e 32 para o módulo 5.

O posicionamento das classes, nas referidas quadrículas, mostrou grande coerência com as informações de campo.

Na obtenção dos mapas alfanuméricos, as classes de nível de cinza ou temas foram associadas a diferentes símbolos como mostra a Tabela 4.5.

TABELA 4.5

SÍMBOLOS ASSOCIADOS ÀS CLASSES DE NÍVEIS DE CINZA (TEMAS)

TEMAS	SÍMBOLOS
TEMA 1	@
TEMA 2	%
TEMA 3	#
TEMA 4	*
TEMA 5	$
TEMA 6	o
TEMA 7	+

Os mapas alfanuméricos obtidos, com suas respectivas quadrículas amostrais demarcadas, foram analisados com o suporte das informações de cobertura vegetal/uso coletadas no trabalho de campo.

Através dos mapas foi possível obter o número total de ocorrência de cada tema (símbolos) para as quadrículas analisadas (Tabela 4.6).

TABELA 4.6

OCORRÊNCIA DOS SÍMBOLOS (TEMAS) NAS QUADRÍCULAS ANALISADAS NO SISTEMA IMAGE-100

SÍMBOLO(TEMA)	Nº TOTAL DE OCORRÊNCIA	%
@	388	2,4
%	1092	6,8
#	5563	34,4
*	6050	37,4
$	1981	12,2
0	897	5,5
+	213	1,3

Da análise de cada quadrícula obtiveram-se dados de frequência de cada tema, os quais foram associados às informações de porcentagem referente a cada tipo de cobertura do solo (verde (V), palha (P) e solo exposto (SE)), bem como à cobertura dominante (COB.DOM) para cada estação amostral. Estes dados encontram-se listados na Tabela 4.7. Nesta tabela os dados de frequência dos temas referentes à quadrícula 132, não foram consignados, uma vez que as estações não puderam ser amostradas devido à dificuldade de penetração, por se constituir em área de pasto muito sujo, com grande densidade de arbustivas e herbáceas. Desta forma, somente alguns trechos da área puderam ser visitados para se obter uma noção de cobertura vegetal na quadrícula. Os valores de cobertura vegetal média foram estimados a partir dos pontos alcançados e da observação da área através de um ponto mais elevado nas proximidades.

Com base nos dados de ocorrência total dos temas nas quadrículas amostrais (Tabela 4.6) e nos dados de porcentagem de cobertura vegetal média (Tabela 4.7) foram obtidas as porcentagens de ocorrência dos temas nas quadrículas e respectivos valores de porcentagem média da cobertura apresentados na Tabela 4.8.

TABELA 4.7

FREQUÊNCIA ABSOLUTA DOS TEMAS PARA OS DIFERENTES TIPOS DE COBERTURA ANALISADOS

MÓDULO	QUAD.	ESTAÇÃO	TEMA	FREQ.DO TEMA	% COB.VEGETAL	COB. DOM.
1	468	1ª	#	22	V - 41,0	P
			@	3	P - 58,0	
					SE - 1,0	
		2ª	#	25	V - 52,5	V
					P - 45,1	
					SE - 2,4	
		3ª	#	23	V - 60,0	V
			@	2	P - 34,0	
					SE - 6,0	
	540	1ª	#	20	V - 90,0	V
			*	5	SE - 10,0	
		2ª	#	14	V - 49,8	V
			*	11	P - 46,2	
					SE - 4,0	
		3ª	#	25	V - 48,0	V
					P - 30,0	
					SE - 22,0	
	567	1ª	*	25	V - 47,0	V
					P - 41,0	
					SE - 12,0	
		2ª	$	19	V - 42,0	V
			*	6	P - 37,0	
					SE - 21,0	
		3ª	$	23	V - 56,2	V
			*	2	P - 22,5	
					SE - 21,3	

(continua)

Tabela 4.7 - Continuação

MÓDULO	QUAD.	ESTAÇÃO	TEMA	FREQ.TEMA	% COB.VEGETAL	COB.DOM.
1	593	1ª	$ +	15 10	SE-100	SE
		2ª	# *	14 11	V - 54,7 P - 33,5 SE - 11,8	V
		3ª	# *	12 13	V - 54,3 P - 25,7 SE - 20,0	V
	653	1ª	# * $ 0	2 13 6 4	V - 1,5 P - 38,5 SE - 60,0	SE
		2ª	$ 0	13 12	V - 0,3 P - 40,6 SE - 59,1	SE
		3ª	* $	12 13	V - 38,6 P - 45,5 SE - 15,9	P
		4ª	# *	8 17	V - 90,0 SE - 10,0	V
2	551	1ª	* $ 0 +	6 4 6 9	V - 2,1 P - 0,13 SE - 97,77	SE
		2ª	@ # *	6 14 5	V - 13,6 P - 19,8 SE - 66,6	SE
		3ª	* $ 0	15 8 2	V - 13,5 P - 1,5 SE - 85,0	SE

(continua)

Tabela 4.7 - Continuação

MÓDULO	QUAD.	ESTAÇÃO	TEMA	FREQ.DO TEMA	COB. MÉDIA	COB. DOM.
2	453	1ª	*	10	V - 31,0	P
			$	15	P - 35,8	
					SE - 33,2	
		2ª	*	16	V - 51,0	V
			$	9	P - 8,7	
					SE - 40,3	
		3ª	*	25	V - 70,0	V
					P - 5,0	
					SE - 25,0	
	667	1ª	*	13	V - 38,2	SE
			$	12	P - 16,8	
					SE - 45,0	
		2ª	*	21	V - 44,1	V
			$	4	P - 15,6	
					SE - 40,3	
		3ª	#	4	V - 26,0	SE
			*	18	P - 20,0	
			$	3	SE - 54,0	
	586	1ª	#	12	V - 58,0	V
			*	13	P - 19,4	
					SE - 22,6	
		2ª	$	19	V - 53,0	V
			0	6	P - 12,0	
					SE - 35,0	
		3ª	$	25	V - 60,0	V
					P - 19,0	
					SE - 21,0	

(continua)

Tabela 4.7 - Continuação

MÓDULO	QUAD.	ESTAÇÃO	TEMA	FREQ.DO TEMA	COB. MÉDIA	COB. DIN.
3	251	1ª	# *	3 22	V - 61,7 P - 19,2 SE - 19,1	V
		2ª	*	25	V - 15,4 P - 52,0 SE - 32,6	P
		3ª	*	25	V - 21,7 P - 35,5 SE - 42,8	SE
	284	1ª	# *	15 10	V - 83,4 P - 12,4 SE - 4,2	V
		2ª	# *	23 2	V - 37,8 P - 3,5 SE - 58,7	SE
		3ª	# *	14 11	V - 90,0 SE - 10,0	V
4	190	1ª	% # *	2 18 5	V - 90,0 SE - 10,0	V
		2ª	% *	15 10	V - 90,0 SE - 10,0	V
		3ª	# *	3 22	V - 90,0 SE - 10,0	V
	132	1ª	% #		V - 90,0 SE - 10,0	V
		2ª	% #		V - 90,0 SE - 10,0	V

(continua)

Tabela 4.7 - Conclusão

MÓDULO	QUAD.	ESTAÇÃO	TEMA	FREQ.DO TEMA	COB. MÉDIA	COB. DOM.
4	132	3ª	% ##		V - 90,0 SE - 10,0	V
5	32	1ª	* $ 0	4 6 15	V - 38,2 P - 21,2 SE - 40,6	SE
		2ª	0	25	SE -100,0	SE
		3ª	* $ 0	10 10 5	V - 40,7 P - 8,0 SE - 51,3	SE

TABELA 4.8

PORCENTAGEM DE OCORRÊNCIA DOS TEMAS E DE COBERTURA VEGETAL NAS DIFERENTES QUADRÍCULAS ANALISADAS

MÓDULO	QUAD.	% DE OCORRÊNCIA DOS TEMAS	% MÉDIA DA COBERTURA
1	468	@ - 52,0 # - 17,0 * - 0,3	V - 51,0 P - 46,0 SE - 3,0
	540	@ - 8,0 # - 14,0 * - 5,0 $ - 1,0 0 - 1,0 + - 3,0	V - 63,0 P - 25,0 SE - 12,0
	567	@ - 9,0 # - 9,0 * - 8,0 $ - 5,0	V - 48,0 P - 34,0 SE - 18,0
	593	@ - 3,0 # - 7,0 * - 4,0 $ - 6,0 0 - 24,0 + - 80,0	V - 36,0 P - 20,0 SE - 44,0
	653	@ - 1,0 # - 7,0 * - 8,0 $ - 11,0 0 - 4,0 + - 2,0	V - 33 P - 31,0 SE - 36,0

(continua)

Tabela 4.8 - Continuação

MÓDULO	QUAD.	% DE OCORRÊNCIA DOS TEMAS	% MÉDIA DE COBERTURA
2	551	@ - 1,0 # - 4,0 * - 10,0 $ - 8,0 0 - 14,0 + - 9,0	V - 10,0 P - 7,0 SE - 83,0
	453	# - 3,0 * - 14,0 $ - 7,0	V - 51,0 P - 16,0 SE - 33,0
	667	# - 2,0 * - 13,0 $ - 13,0	V - 37,0 P - 17,0 SE - 46,0
	586	# - 0,5 * - 7,0 $ - 33,0 0 - 8,0	V - 57,0 P - 17,0 SE - 26,0
3	251	@ - 1,0 # - 3,0 * - 12,0 $ - 10,0 0 - 6,0	V - 33,0 P - 35,0 SE - 32,0
	284	# - 17,0 * - 3,0	V - 70,0 P - 6,0 SE - 24,0

(continua)

Tabela 4.8 - Conclusão .

MÓDULO	QUAD.	% DE OCORRÊNCIA DOS TEMAS	% MÉDIA DA COBERTURA
4	190	@ - 25,0 % - 29,0 ## - 6,0 * - 6,0	V - 90,0 SE - 10,0
	132	% - 71,0 ## - 6,0 * - 0,5	V - 90,0 SE - 10,0
5	32	## - 2,0 * - 9,0 $ - 5,0 0 - 43,0 + - 6,0	V - 26,0 P - 10,0 SE - 64,0

Através da Tabela 4.7 foi também possível obter a frequência de ocorrência de cada tema e respectiva porcentagem, conforme a dominância dos tipos de cobertura vegetal: verde (V), palha (P) e solo exposto (SE). A Tabela 4.9 apresenta esses dados conforme os três tipos de cobertura dominante encontrados.

TABELA 4.9

FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA DE TEMAS PARA OS DIFERENTES TIPOS DE COBERTURA DOMINANTE ANALISADOS

COB.DOM.	TEMA	FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA	% DE OCORRÊNCIA
VERDE	@	2	0,3
	%	17	3
	#	206	36
	*	245	43
	$	99	17
	0	6	1
PALHA	@	3	3
	#	22	22
	*	47	47
	$	28	28
SOLO EXPOSTO	@	6	2
	#	43	13
	*	111	34
	$	77	24
	0	69	21
	+	19	6

A frequência absoluta de ocorrência de cada tema no total das estações amostrais, observada através das Tabelas 4.7 e 4.9, encontra-se listada na Tabela 4.10.

TABELA 4.10

FREQUÊNCIA ABSOLUTA DOS TEMAS PARA AS ESTAÇÕES AMOSTRAIS

TEMA	FREQUÊNCIA ABSOLUTA
@	11
%	17
#	271
*	403
$	204
0	75
+	19

Na tentativa de analisar a distribuição dos temas conforme as três categorias de cobertura vegetal dominante, os dados da Tabela 4.9 foram utilizados para compor um gráfico, o qual é apresentado na Figura 4.3.

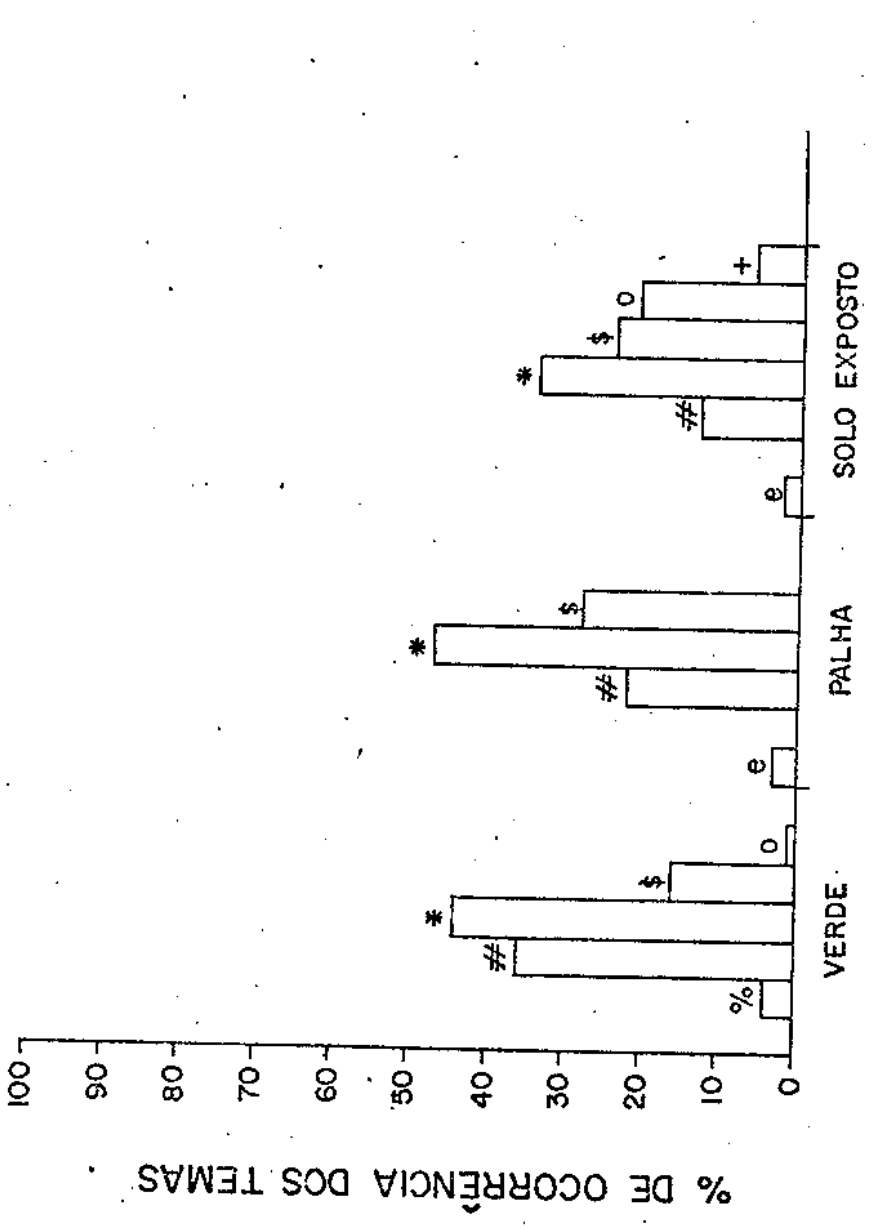

Fig. 4.3 - Frequência de ocorrência de diferentes temas obtidos na classificação automática de dados, conforme os tipos de cobertura.

Através da Figura 4.3, pode-se observar que o tema representado pelo símbolo * ocorre praticamente de forma preferencial nas três categorias de cobertura, sendo portanto uma classe de nível de cinza com pouco poder discriminatório para os três tipos de cobertura dominante.

Outro gráfico também foi construído para se observar a associação entre a frequência de ocorrência dos temas e os três tipos de cobertura dominante. Este gráfico, que é apresentado na Figura 4.4,mostra a distribuição dos dados de frequência total de ocorrência de cada tema por categoria de cobertura dominante, obtidos a partir das Tabelas 4.9 e 4.10.

A disposição dos gráficos da Figura 4.4, conforme a ordenação das classes de níveis de cinza (temas) da mais escura para a mais clara, mostra um comportamento decrescente da cobertura dominante do tipo verde, à medida que se associam temas representativos de classes de níveis de cinza mais claros. A classe de nível de cinza mais escuro,representada pelo símbolo @, não foi considerada devido a sua pouca representatividade nas estações amostrais visitadas no trabalho de campo. Entretanto, o conhecimento de campo demonstrou que as manchas de ocorrência daquele tema nos mapas alfanuméricos realmente coincidem com áreas residuais de mata natural, ainda existentes na bacia do Ribeirão Anhumas.

A análise da Figura 4.4 ainda demonstra que determinadas classes de níveis de cinza podem ser agrupadas face à participação de cada tipo de cobertura vegetal dominante. Desta forma as classes de nível de cinza representadas pelos símbolos % e # podem ser agrupadas devido à maior participação da cobertura dominante do tipo verde.Já as classes que associam os símbolos * e $ podem ser aglutinadas em função do equilíbrio de ocorrência entre as coberturas do tipo verde e solo exposto e baixa frequência do tipo palha. Observou-se também a possibilidade de agrupamento das classes representadas pelos temas O e +, que apresentaram maior frequência de ocorrência da cobertura tipo solo exposto.

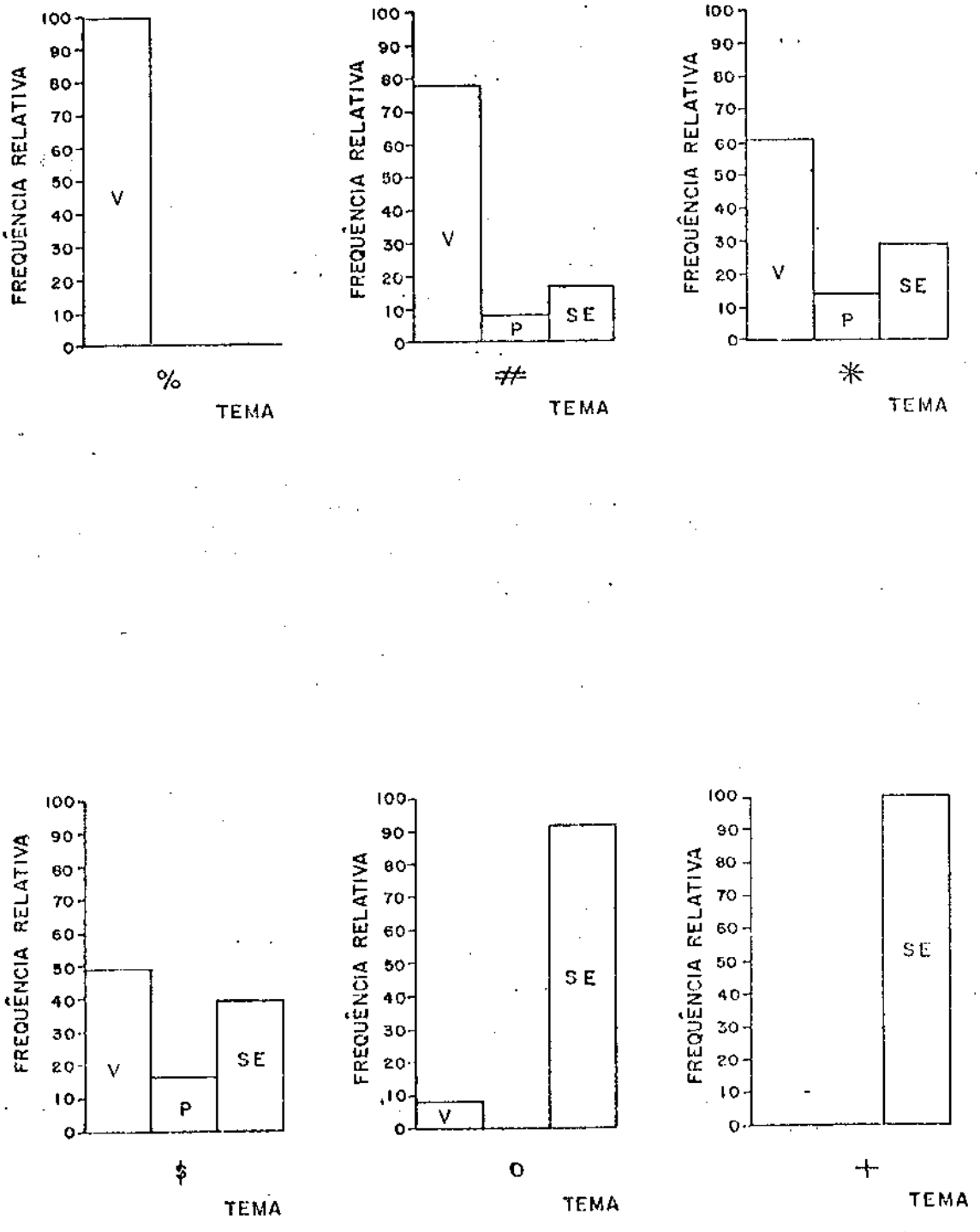

Fig. 4.4 - Distribuição de diferentes temas obtidos na classificação automática em relação aos tipos de cobertura.

Com o objetivo de associar a presença das classes de níveis de cinza (temas) e as porcentagens de ocorrência dos diferentes tipos de cobertura vegetal (verde, palha e solo exposto), algumas opções foram testadas para se obter um índice de cobertura vegetal que pudesse ser considerado adequado. Para tanto, combinações dos valores de porcentagem média dos três tipos de cobertura, encontrados na Tabela 4.8, foram testadas com o objetivo de definir um valor representativo do índice de cobertura da área. As seguintes combinações foram verificadas: V/SE, V/P+SE e V+P/SE. Os valores obtidos através destas combinações foram associados aos dados de porcentagem de ocorrência de cada classe de nível de cinza (temas) isolada e na forma agrupada, conforme sugere a análise do gráfico da Figura 4.4. Os valores de porcentagem de ocorrência dos temas, na forma isolada, foram obtidos diretamente da Tabela 4.8. Entretanto, os dados para os temas agrupados foram obtidos através da razão entre a frequência desses temas em cada quadrícula (Tabela 4.8) e o total da frequência de cada grupo para as quatorze quadrículas (Tabela 4.11).

TABELA 4.11

FREQUÊNCIA ABSOLUTA DOS TEMAS AGRUPADOS PARA AS 14 QUADRÍCULAS ANALISADAS

TEMAS AGRUPADOS	FREQUÊNCIA ABSOLUTA
%, #	6655
*, $	8031
0, +	1110

A Tabela 4.12 apresenta as porcentagens de ocorrência de cada grupo de temas para as quadrículas analisadas.

TABELA 4.12

PORCENTAGEM DE OCORRÊNCIA DOS TEMAS AGRUPADOS NAS QUADRÍCULAS ANALISADAS

TEMAS / QUADRIC.	% de (%, #)	% de (*, $)	% de (0, +)
468	14,0	0,3	-
540	12,0	4,0	1,0
567	8,0	8,0	-
593	6,0	4,0	35,0
653	6,0	8,0	4,0
551	3,0	10,0	13,0
453	2,0	12,5	-
667	2,0	13,0	-
586	0,5	13,0	6,0
251	3,0	11,0	4,0
284	14,0	2,5	-
190	10,0	5,0	-
132	17,0	0,4	-
32	2,0	8,0	36,0

A associação entre os valores de índice de cobertura(para as três opções encontradas, V/SE, V/P+SE,V+P/SE, e os dados de porcentagem de ocorrência dos temas (Tabela 4.12), foi analisada através da aplicação do coeficiente de correlação de Pearson. Para tanto, os

dados relativos aos temas foram considerados como variáveis independentes e os índices de cobertura como dependentes.

Dos valores encontrados, as melhores correlações foram entre os dados dos temas agrupados e os valores de índice de cobertura a partir da razão V+P/SE, ambos transformados pela raiz quadrada. Esta transformação foi adotada conforme sugerem Steel e Torrie (1960), numa tentativa de tornar a distribuição dos dados próxima à normal. Os valores desses coeficientes são apresentados na Tabela 4.13.

TABELA 4.13

COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE OS TEMAS AGRUPADOS E O ÍNDICE DE COBERTURA VEGETAL

VARIÁVEIS	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO
$\sqrt{\%, \#} \times \sqrt{\frac{V+P}{SE}}$	0,70
$\sqrt{*, \$} \times \sqrt{\frac{V+P}{SE}}$	- 0,74
$\sqrt{0, +} \times \sqrt{\frac{V+P}{SE}}$	- 0,68

Os valores dos coeficientes de correlação encontrados são baixos, provavelmente devido ao número relativamente pequeno de observações. Mas a análise da Tabela 4.13 mostra que existe uma coerência na associação entre as classes de níveis de cinza obtidas através de imagem LANDSAT e os dados de cobertura vegetal coletados no campo, para as quadrículas amostrais.

A relação entre as classes de níveis de cinza, representadas pelos temas % e #, e índice de cobertura vegetal (V+P/SE) apresenta-se na forma direta, uma vez que essas classes, genericamente, referem-se à cobertura vegetal do tipo pasto sujo, com pequena expressão de solo exposto. Entretanto, a associação das classes de níveis de cinza intermediárias (temas * e $) e índice de cobertura vegetal apresenta-se na forma inversa devido à presença de cobertura verde, mas com a presença mais expressiva de solo exposto à medida que se passa da classe de nível de cinza 53 - 69 (tema *) para a classe 70 - 86 (tema $). Por sua vez, a relação entre as classes de nível de cinza de 87 - 103 e 104 - 155 (temas 0 e + respectivamente) e índice de cobertura vegetal também apresenta-se inversa devido ao fato de essas classes associarem-se às áreas de cultivo recente (com grande porcentagem de solo exposto) e solo preparado, conforme observado no trabalho de campo.

Os dados de cada grupo de classes de níveis de cinza e índice de cobertura vegetal foram lançados em gráficos, e verificaram-se comportamentos aproximadamente lineares, o que ensejou a adoção de modelos lineares para cada caso. A partir da definição das respectivas equações, foram traçadas as retas e calculados os valores estimados de índices de cobertura. Através destes dados foram definidos os limites de confiança a um nível de 0,05 e plotadas as respectivas curvas de confiança. As Figuras 4.5, 4.6 e 4.7 mostram os referidos gráficos.

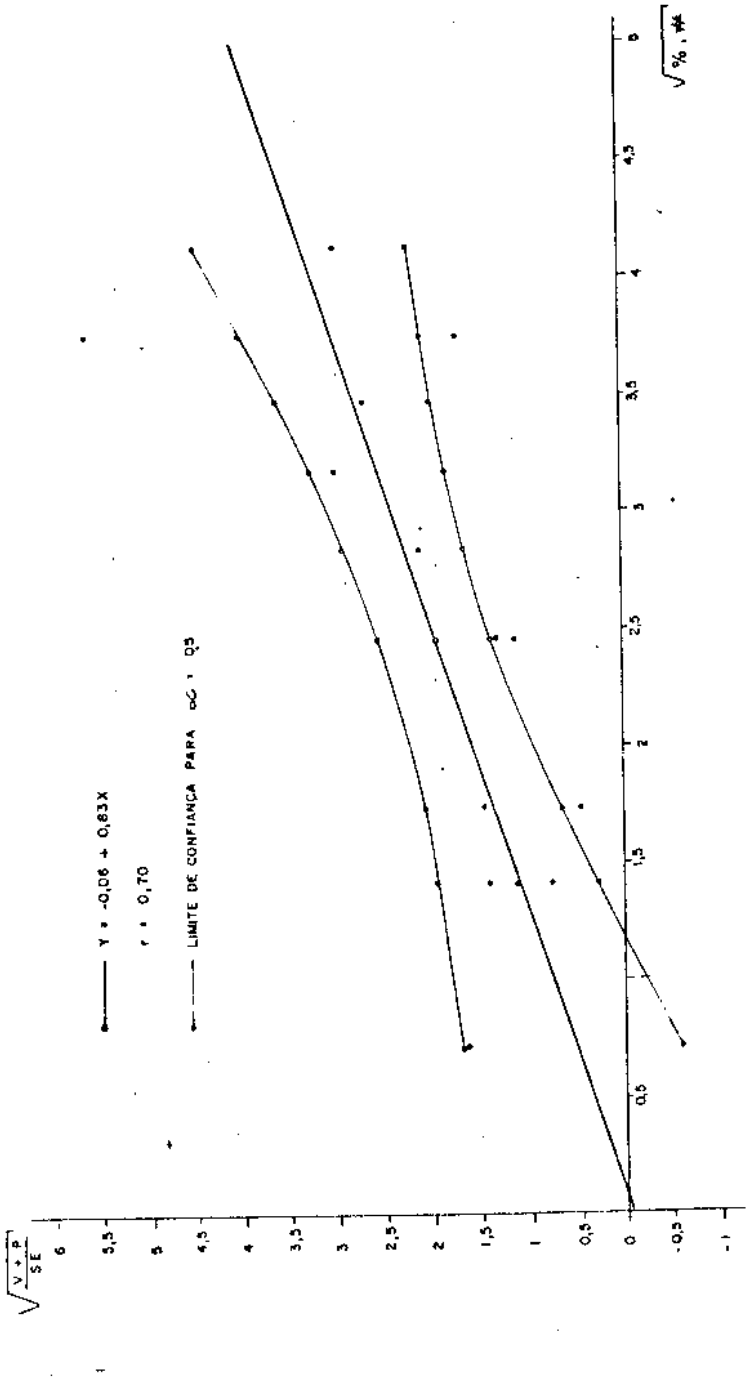

Fig. 4.5 - Relação entre temas agrupados, obtidos através da interpretação automática, e índice de cobertura vegetal.

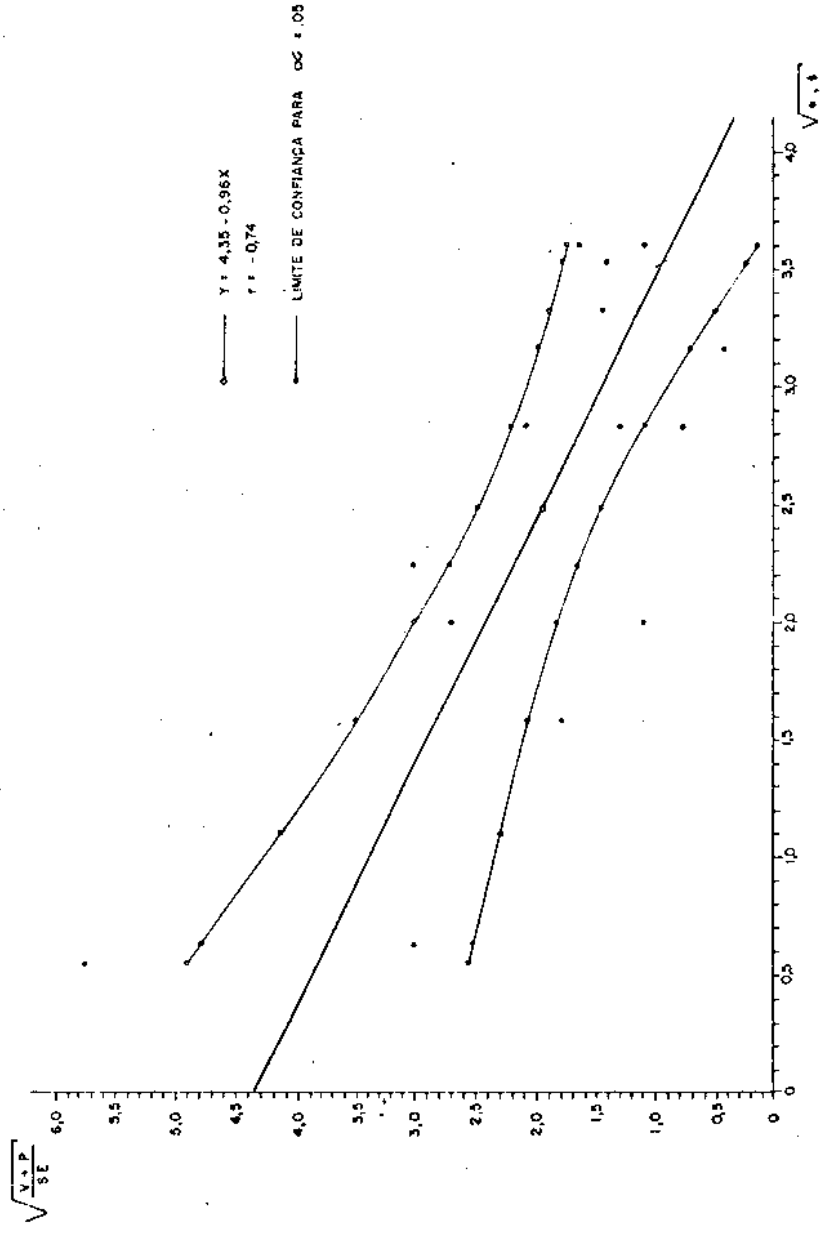

Fig. 4.6 - Relação entre temas agrupados, obtidos através de interpretação automática, e índice de cobertura vegetal.

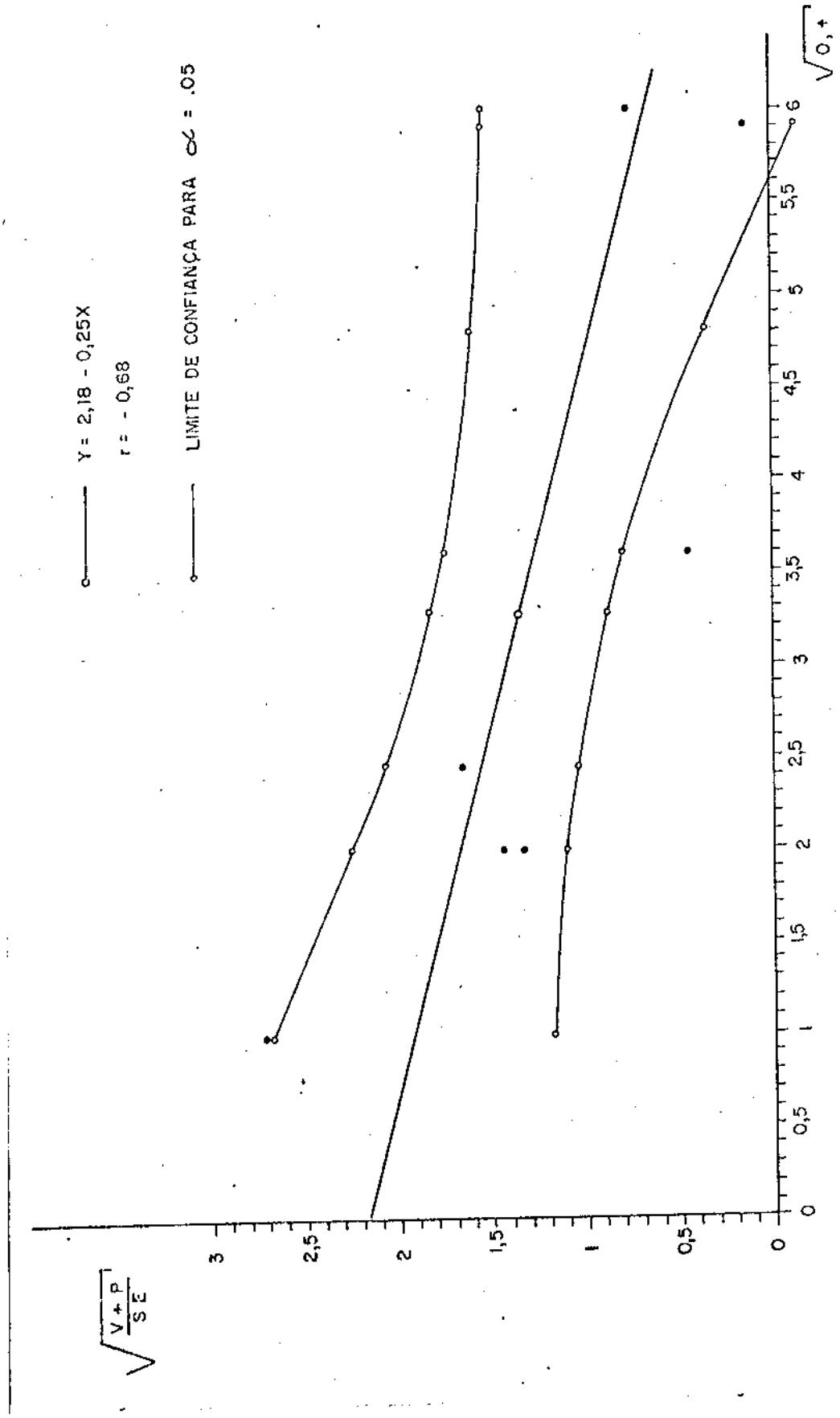

Fig. 4.7 - Relação entre temas agrupados, obtidos através de interpretação automática, e índice de cobertura vegetal.

Com o objetivo de testar a significância das regressões obtidas, os dados foram submetidos à análise de variância (teste F), conforme Steel e Torrie (1960) e Davis (1973), para cada caso. O teste F parte da premissa que para a hipótese nula (H_0) a variação de x não determina variação em Y e para esta hipótese o valor de F calculado é menor que o valor de F tabelado. A outra hipótese (H_1) é que a regressão de x em y existe quando o valor de F calculado é maior que F tabelado.

Para o primeiro e segundo casos, $\sqrt{\%, \#}$ x $\sqrt{V+P/SE}$ e $\sqrt{*, \$}$ x $\sqrt{V+P/SE}$, os valores de F calculado apresentaram-se maiores que F tabelado (para $\nu_1 = 1$, $\nu_2 = 12$ e $\alpha = 0,05$), implicando a rejeição de H_0 e admissão que as respectivas regressões são significativas.

Para o terceiro caso, $\sqrt{0, +}$ x $\sqrt{V+P/SE}$, o valor de F calculado foi menor que F tabelado (para $\nu_1 = 1$, $\nu_2 = 5$ e $\alpha = 0,05$), resultando na aceitação de H_0 e implicando que a regressão não é significativa. Para este caso deve-se ressaltar que o referido agrupamento foi composto de apenas 7 dados conforme mostra a Tabela 4.12, fato este que deve ter influenciado no resultado. Entretanto, a análise da distribuição das classes de níveis de cinza referentes aos temas 0 e + nas quadrículas amostrais, inseridas nos mapas alfanuméricos, e o confronto com as informações de campo, demonstra a forte associação da ocorrência dessas classes com a presença de alta porcentagem de solo exposto.

Da análise dos gráficos das Figuras 4.5, 4.6 e 4.7 observa-se que os dados coletados parecem ser insuficientes para a definição de modelos que representem melhor a associação de classes de níveis de cinza e índice de cobertura vegetal. A observação conjunta dos resultados acima referenciados demonstra que seria desejável a análise de um número maior de observações para que a quantificação reproduzisse com mais fidelidade a situação verificada no trabalho de campo. Por outro lado, também, a ausência de pré-processamento, na análise automática dos dados contidos nas CCTs/LANDSAT, do tipo correções geométri

cas e da interferência da atmosfera deve ter influenciado nos resultados. A importância destas correções já tem sido discutida por diversos autores, dentre os quais pode-se destacar Seubert et alii(1979),Marsh e Lyon (1980), Kowalik (1981) e Stephens e Cihlar (1981). A ausência de correção geométrica também deve ter interferido no posicionamento preciso das estações amostrais no contexto de cada quadrícula amostral e das próprias quadrículas, uma vez que foram transferidas das cartas topográficas para a imagem. A observância destes requisitos provavelmente poderia resultar em coeficientes de correlação mais elevados e melhor ajuste das retas de regressão.

4.3 - RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA ANÁLISE AUTOMÁTICA DOS DADOS LANDSAT, FOTOS AÉREAS, CARTAS TOPOGRÁFICAS E TRABALHO DE CAMPO

Através da análise das Tabelas 4.2 e 4.3 e dos dados de correlação entre frequência de ravinas e demais variáveis consideradas (declividade, extensão de vertente, densidade hidrográfica e tipos de cobertura vegetal da Tabela 4.1), verifica-se que os dados de declividade são os que se associam melhor aos dados de frequência de ravinas. Embora não se tenha conseguido estabelecer modelos quantitativos de predição de densidade de cobertura vegetal em relação à ocorrência dos temas (símbolos), a experiência demonstra que qualitativamente existe uma associação entre níveis de cinza e cobertura vegetal, cuja variação pode ser um indicador para a análise da erosão laminar e em sulcos. Assim sendo, as classes de níveis de cinza foram associadas às classes de declividade para compor uma escala relativa de riscos à erosão (Tabela 4.14). Para esta escala foram utilizados os dados referentes as quatorze quadrículas amostradas no trabalho de campo.

TABELA 4.14

ESCALA DE RISCOS À EROSÃO

CLASSE DE NÍVEL DE CINZA(MSS-5)	TEMA	CLASSE DE RISCO	CLASSES DE DECLIVIDADE	GRAU DE RISCO
19 - 27	@	1	< $1^{o}30'$	1 a
			$1^{o}30'$ ⊢— 3^{o}	1 b
			3^{o} ⊢— 7^{o}	1 c
			7^{o} ⊢— 14^{o}	1 d
28-44; 45-52	%, #	2	< $1^{o}30'$	2 a
			$1^{o}30'$ ⊢— 3^{o}	2 b
			3^{o} ⊢— 7^{o}	2 c
			7^{o} ⊢— 14^{o}	2 d
53-69; 70-86	*, $	3	< $1^{o}30'$	3 a
			$1^{o}30'$ ⊢— 3^{o}	3 b
			3^{o} ⊢— 7^{o}	3 c
			7^{o} ⊢— 14^{o}	3 d
87-103;104-155	0, +	4	< $1^{o}30'$	4 a
			$1^{o}30'$ ⊢— 3^{o}	4 b
			3^{o} ⊢— 7^{o}	4 c
			7^{o} ⊢— 14^{o}	4 d

A escala de risco basicamente compõe-se dos dados de cobertura vegetal, aqui representados pelas classes de níveis de cinza e respectivos temas agrupados (classes de risco) e a subdivisão em graus relaciona-se às classes de declividade média, considerando a susceptibilidade à erosão do solo, principalmente através dos sulcamentos. Portanto, esta escala aumenta da classe 1 para a 4 e do grau a para d. As áreas sob o tipo 1a representam o menor risco e as referentes ao tipo 4d associam o maior risco à erosão, em função da cobertura vegetal e declividade média. Deve-se ressaltar ainda que a cobertura vegetal do tipo mata natural, representada pela classe de nível de cinza de 19 a 27 (tema ⓐ), foi incluída nesta escala principalmente pela sua importância em termos de proteção ao solo face aos processos de erosão, embora sua presença na bacia em estudo, nos dias atuais, resume-se a pequenas áreas.

Para ilustrar este procedimento foram selecionadas quatro quadrículas visitadas no trabalho de campo, na tentativa de mostrar os diferentes graus de risco à erosão (Figura 4.8). A localização destas quadrículas pode ser observada na Figura 3.5.

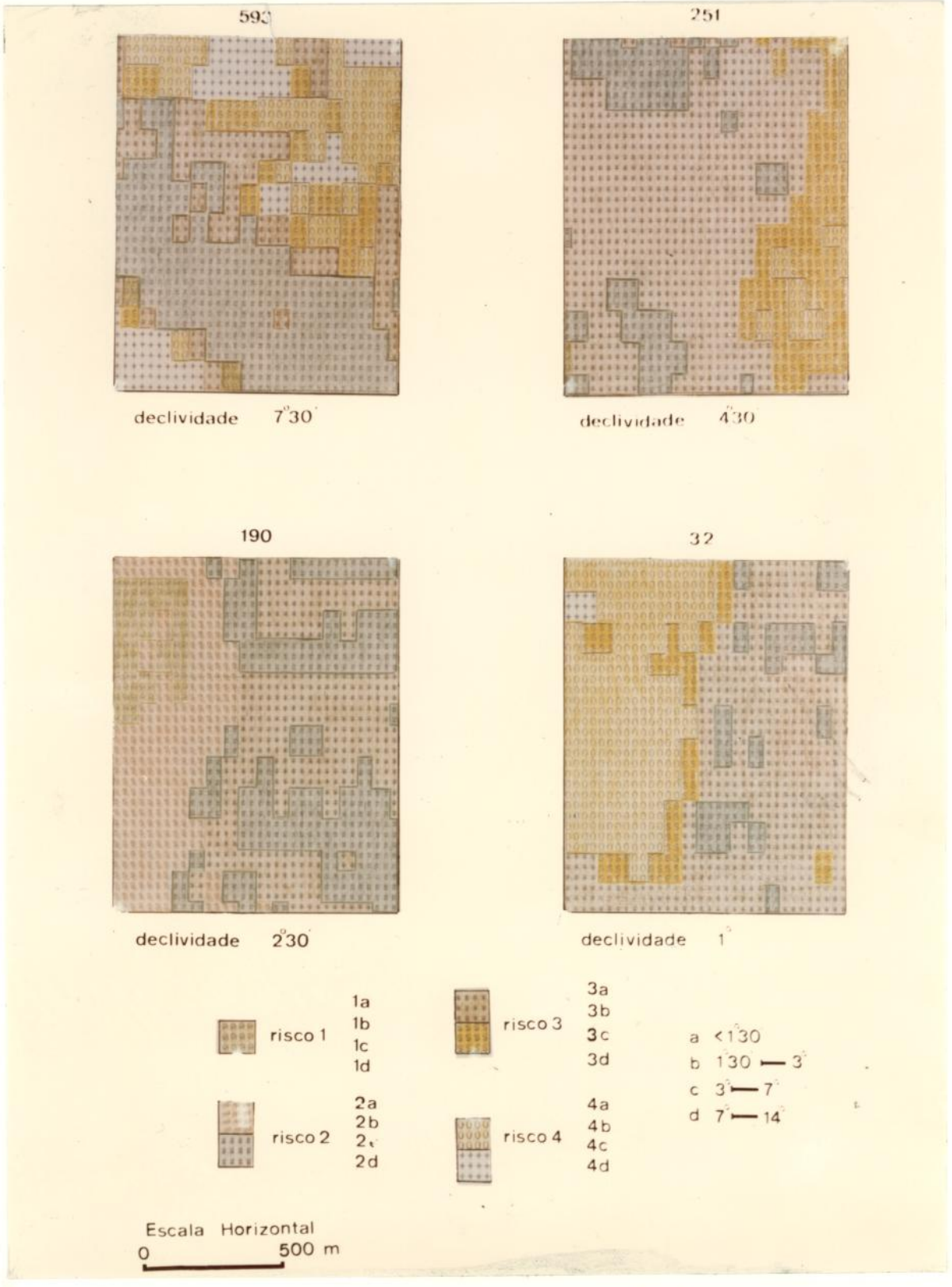

Fig. 4.8 - Exemplo de 4 quadrículas amostrais com escala de riscos à erosão.

As seguintes quadrículas foram selecionadas:

593 - insere-se na classe de declividade de 7° a 14°, uma vez que apresenta declividade média de 7°30'; possui os maiores graus de risco à erosão (tipo d), conforme a densidade de cobertura vegetal, mostrada na legenda da Figura 4.8.

251 - apresenta declividade média de 4°30'; inclui-se, portanto, no grau c, possuindo desta forma áreas que apresentam graus inferiores de risco à erosão em relação à quadrícula 593.

190 - possui declividade média de 2°30', associando-se ao grau de risco do tipo b, apresentando, portanto, riscos menores do que as duas quadrículas anteriores.

32 - é a que possui menor valor de declividade média (1°), inserindo-se no grau a, implicando menores riscos à erosão.

A escala de riscos à erosão aqui proposta poderia ser enriquecida por outras informações que seriam úteis para definir melhor os graus, neste caso apenas definidos pela declividade média. Por exemplo, se fossem computados valores representativos de frequência de ravinas para cada classe de declividade e mesmo dados de extensão de vertentes, a caracterização da escala de riscos à erosão poderia tornar-se mais precisa, principalmente no que se refere às transições.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos através da análise dos dados coletados em imagens LANDSAT, cartas topográficas, fotografias aéreas e trabalho de campo, chegou-se às seguintes conclusões.

A análise temporal das fotografias aéreas permitiu a observação dos tipos de cobertura vegetal/uso que podem propiciar maior intensificação do processo de erosão dos solos na forma de ravinas.

A análise das fotos aéreas de 1962 e 1972 permitiu verificar que, para a maior parte das quadrículas amostrais, nas áreas que apresentam pastagem plantada a ocorrência de erosão em ravinas foi mais acentuada do que nas áreas sob cobertura vegetal/uso do tipo pasto sujo.

A erosão do solo pode ser avaliada apenas indiretamente através de imagens MSS/LANDSAT, devido à resolução do sistema que limita a identificação desse fenômeno.

O principal parâmetro fornecido pelas imagens para avaliação indireta do processo de erosão do solo é a variação na densidade de cobertura vegetal expressa a partir de padrões de níveis de cinza verificados através da análise da imagem MSS no canal 5, o qual tem-se mostrado ser o mais eficiente.

A utilização de dados LANDSAT contidos em fitas compatíveis com computador (CCTs) através de análise automática permite inferir áreas com diferentes riscos à erosão a partir da definição de variações de cobertura vegetal/uso, com o apoio de dados de declividade média coletados em cartas topográficas.

O emprego do algoritmo de classificação "Cluster Synthesis" é uma opção viável para análise indireta de problemas de erosão do solo desde que se possa contar com o apoio de dados de campo.

A análise conjunta dos dados coletados neste trabalho permite verificar que o processo de erosão do solo, na área da bacia do Ribeirão Anhumas, possui uma vinculação forte com os fatores: interferência antrópica, através das transformações impostas à cobertura vegetal, e declividade. O estado de equilíbrio frágil em que a área parece se encontrar pode ser rompido com a intervenção irracional do homem, expressa através do uso da terra ou de práticas agrícolas inadequadas.

Como a vocação principal da área de estudo em termos agrícolas é para pecuária de corte, as pastagens plantadas possuem grande expressão de ocupação, fazendo da Bacia do Ribeirão Anhumas, como um todo, uma área potencialmente erodível.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A.N. Os baixos chapadões do Oeste Paulista. *Geomorfologia*, nº 17, 1969.

——— As boçorocas de Franca. Separata da *Revista da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Franca*, nº 2, 27 p., 1968.

——— A terra Paulista. *Boletim Paulista de Geografia*, (23):5-38, 1956.

ALEGRE, M. População e povoamento. In: Encontro Nacional de Geógrafos, 1, Presidente Prudente, 1972. *Guias de Excursões*. São Paulo, Associação dos Geógrafos Brasileiros, 1972, p. 36-77.

ALMEIDA, F.F.M. O Planalto Basáltico da Bacia do Paraná. *Boletim Paulista de Geografia*, (24):5-34, 1956.

AOKI, H.; SANTOS, J.R.dos *Estudo da vegetação de cerrado na área do Distrito Federal, a partir de dados orbitais*. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto. São José dos Campos, INPE, 1980. (INPE 1730-TDL/026).

BARNETT, A.P. How intense rainfall affects runoff and soil erosion. *Agriculture Engineering*, 38:703-707, Nov, 1958.

BELCHER, D.J. Photo interpretation in engineering. In: American Society of Photogrammetry. *Manual of photographic interpretation*. Washington, 1960. cap. 6, p. 403-456.

BERGSMA, E. Field boundary gullies in the Serayu River Basin, Central Java. *ITC Journal*, (1):104-121, 1978.

——— Soil erosion toposequences on aerial photographs. In: INTERNATIONAL SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY. *Remote Sensing and Photo Interpretation;* Proceedings of a Symposium held in Alberta, Canada, Oct. 7-11, 1974. Bunff, AB, The Canadian Institute of Surveying, 1974, v. 1, p. 314-328.

BERTONI, J. O espaçamento dos terraços em culturas anuais, determinado em função das perdas por erosão. Bragantia, 18(10):113-140, out., 1959.

BERTONI, J.; PASTANA, F.I.; LOMBARDI NETO, F.; BENATTI JR., R. *Conclusões gerais das pesquisas sobre conservação do solo no Instituto Agronômico*. Campinas, Instituto Agronômico, 1972. 56 p. (Circular nº 20).

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F.; BENATTI JR., R. *Metodologia para a determinação de perdas por erosão*. Campinas, Instituto Agronômico, 1975. (Circular nº 44).

BJORNBERG, A.J.S.; PARAGUASSU, A.B.; GANDOLFI, N.; RODRIGUES, J.E. Estudo de problemas erosivos: boçorocas. *Notícia Geomorfológica*, 18 (36):111-119, dez. 1978.

BRYAN, R.B. The Development use and efficiency of indices of soil erodibility. *Geoderma*, (2):5-26, 1968.

BURINGH, P. The Application of aerial photographs in soil surveys. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. *Manual of photographic interpretation*. Washington, 1960, cap. 11, App. A, p. 633-666.

BUTZER, K.W. Accelerated soil erosion: A problem of man land relationships. In: ASSOCIATION OF AMERICAN GEOGRAPHERS. *Perspectives on environment*. Manners and Mikesel, 1974, p. 57-59.

CARSON, M.A.; TAM. S.W. The land conservation conundrum of eastern Barbados. *Annals of the Association of American Geographers*, 67 (2):185-203, June 1977.

CARVALHO, A. *Solos da região de Marília - relações entre a pedogênese e a evolução do relevo*. Tese de Doutoramento, São Paulo, USP.F,F. L.C.H., Departamento de Geografia, 1976. 163 p.

CERON, A.O.; DINIZ, J.A.F. O uso das fotografias aéreas na identificação das formas de utilização agrícola da terra. *Revista Brasileira de Geografia*, 28(2):65-77, abr./jun., 1966.

CHIARINI, J.V.; VERDADE, F.C.; BORGONOVI, M.; AMARAL, A.Z.; AUDI, R. Pastagens em alguns municípios paulistas e estudo da área basal e sombreamento. Bragantia, 26(2):19-30, fev., 1967.

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. São Paulo, EDUSP, 1974.

CORDEIRO, C.de.; SOARES, L. de C. A erosão nos solos arenosos da Região Sudoeste do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Geografia*, 39(4):82-150, out./dez. 1977.

DAVIS, J.C. Statistics and data analysis in Geology. New York, John Wiley, 1973.

DEMEK, J.; GELLERT, J.F.; SCHOLZ, E. Legend to the international geomorphological map of Europe. *Studia Geographica*, (4):53-66, 1969.

EVANS, I.S. General geomorphometry derivates of altitude and descriptive statistics. In: CHORLEY, R. *Spatial analysis in geomorphology*. London, Harpers and Row 1972. cap. 2, p. 17-20, 1972.

FOURNIER, F. *Climat et erosion*. Paris, Press Universitaires de France, 1960.

FREITAS, R.O. Geologia e Petrologia da Formação Caiuá no Estado de São Paulo. *Boletim do Instituto Geográfico e Geológico*;(50):122p., 1973.

——— Grupo Bauru. In: INSTITUTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO. *Geologia do Estado de São Paulo*. São Paulo, 1964. (Boletim nº 41).

FROST, R.E. Photo interpretation of soils. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. *Manual of photographic interpretation*. Washington, 1960. cap. 5, p. 343-402.

GENERAL ELECTRIC COMPANY. *IMAGE-100: interative multispectral image analysis system;* user manual. Daytona, 1975.

GREGORY, K.J.; WALLING, D.E. Drainage basin form an process; a geomorphological approach. In: *Drainage basin measurements*. London, Edward Arnoud, 1973. Part A, p. 37-86.

HERNANDEZ FILHO, P.; SHIMABUKURO, Y.E. *Estabelecimento de metodologia para avaliação de povoamentos florestais artificiais, utilizando-se dados do LANDSAT*. Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações. São José dos Campos, INPE, 1978. (INPE 1271-IPT/089).

INTERNATIONAL GEOGRAPHICAL UNION (IGU). The unified key to the detailed geomorphological map of the world. *Folia Geographica;* Series Geographica-Physica, (2):40, 1968.

KEECH, M.A. Soil erosion survey techniques. Separata de *Proceeding & Transactions of the Rhodesia Scientific Association,* 53:13-16, 1968.

KOWALIK, W.S. *Atmospheric correction to LANDSAT data for limonite discrimination.* PhD.-Thesis, Stanford, Stanford University, Jan., 1981.

LANDIM, P.M.B.; FULFARO, V.J. Nota sobre a gênese do arenito Caiuá, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25., São Paulo, 1971. *Anais.* São Paulo, Associação Brasileira de Geologia, 1971, v. 2,p.277-280.

LANDIM, P.M.B.; SOARES, P.C. Estratigrafia da Formação Caiuá. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29., Belo Horizonte, 1976. *Anais.* São Paulo, Associação Brasileira de Geologia, 1976, v. 2, p. 195-206.

LANGBEIN, W.B.; SCHUMM, S.A. Yield of sediment in relation to mean annual precipitation. *Transactions, American Geophysical Union,* 39(6):1076-1084, Dec. 1958.

LEE, Y.J.; OSWALD, E.T.; HARRIS, J.W.E. A preliminary evaluation of ERTS imagery for forest land management in British Columbia. In: CANADIAN SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, 2., Guelph, ON, 1974. *Proceedings.* Otawa, Canadian Remote Sensing Society, 1974, v. 1, p. 88-101.

LEMOS, R.C.; SANTOS, R.S. *Manual de método de trabalho de campo.* Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Instituto Agronômico, 1976.

LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. Erodibilidade de solos paulistas. *Boletim Técnico do Instituto Agronômico de Campinas,* (27), 1975a, 12 p.

——— Tolerância de perdas de terra para Solos do Estado de São Paulo. Boletim Técnico Instituto Agronômico de Campinas, (28), 1975b, 12 p.

LOMBARDI NETO, F.; SILVA, I.R.; CASTRO, O.M. *Potencial de erosão das chuvas do Estado de São Paulo.* Campinas, Instituto Agronômico, 1980. (mimeografado). Trabalho apresentado no Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conservação do Solo, 3; Recife, 28 de julho a 1 de agosto de 1980.

MARQUES, J.Q.A. Manual brasileiro para levantamento da capacidade de uso da terra. Rio de Janeiro, Escritório Técnico de Agricultura Brasil-Estados Unidos, 1971.

MARSH, S.E.; LYON, R.J.P. Quantitative relationships of near-surface spectra to LANDSAT radiometric data. *Remote Sensing of Environment*, 10:241-261, 1980.

MEYER, L.D.; KRAMER, L.A. Erosion equations predict land slope development. *Agriculture Engineering*, 50:522-523. 1969.

MEZZALIRA, S. Formação Caiuá. In: INSTITUTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO. *Geologia do Estado de São Paulo.* São Paulo, 1964. (Boletim nº41).

MONTEIRO, C.A.F. *A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo.* São Paulo, USP, 1973.

MORRISON, R.B.; COOLEY, M.E. Application of ERTS-1 multispectral imagery to monitoring the present episode of accelerated erosion in Southern Arizona. In: NASA. *Symposium on Significant Results Obtained from the Earth Resources Technology Satellite-1;* Proceedings of a Symposium held at New Carrallton, MD, Mar. 5-9, 1973. Washington, DC, 1973, v. 1, Section A, p. 283-290. (NASA SP 327).

NASA. LANDSAT data users - handbook. Greenbelt, Goddard Space Flight Center, 1976.

OKA-FIORI, C.; SOARES, P.C. Aspectos evolutivos das voçorocas. *Notícia Geomorfológica*, 16(32):114-124, dez. 1976.

PENTEADO, M.M. *Fundamentos de Geomorfologia.* Rio de Janeiro, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1974.

PEREIRA, H.C. *Land Use and water resources:* in temperate and tropical climates. London; Cambridge University Press, 1974.

PICHLER; E. Boçorocas. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, 2(1):3-16, maio 1953.

PINTO, S.A.F.; NOVO, E.M.L.M.; NIERO, M. Metodologia de coleta de dados radiométricos de campo em diferentes tipos de cobertura do solo. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 2., Brasília, 10 a 14 de maio de 1982. No prelo.

PONTES, A.B. *Controle da erosão na região Noroeste do Estado do Paraná*. Rio de Janeiro, Ministério do Interior, Dept. Nacional de Obras de Saneamento, 1977.

QUEIROZ NETO, J.P. *Pedogênese no Planalto Atlântico. Contribuição à interpretação paleogeográfica dos solos da Mantiqueira Ocidental*. Tese de Livre-Docência, São Paulo, USP,F.F.L.C.H., Departamento de Geografia, 1975.

——— Les Problemes de l'erosion acceleree dans L'Etat de Sao Paulo, Bresil. Separata da *Geo-ECO-TROP.*, 2:205-220, 1978.

QUEIROZ NETO, J.P.; JOURNAUX, A.; PELLERIN, J.; CARVALHO, A. Formações superficiais da Região de Marília. *Sedimentologia e Pedologia*, (8) 1977.

RAISZ, E.; HENRY, J. An average slope map of Southern New England, *Geographical Review*, 27:467-472, 1937.

RAO, D.P. Applied geomorphological mapping for erosion surveys: The example of the Oliva Basin, Calabria. *ITC Journal*, (3):341-351, 1975.

RAY, R.G. *Fotografias aéreas na interpretação e mapeamento geológico*. Trad. por Jesuino Felicíssimo Jr. do original U.S.Geological Survey Profissional Paper 373, 1960. São Paulo, Instituto Geográfico e Geológico, 1963.

ROBINOVE, C.J.; CHAVEZ Jr., P.S.; GEHRING, D.; HOLMGREN, R. Arid land monitoring using LANDSAT albedo difference images. *Remote Sensing of Environment*, 11(2):133-156, may, 1981.

SANTOS, A.P.; NOVO, E.M.L.M. *Uso de dados do LANDSAT-1 na implantação, controle e acompanhamento de projetos agropecuários no Sudoeste da Amazônia Legal.* Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações. São José dos Campos, INPE, jan., 1977. (INPE-1044-TPT/056).

SÃO PAULO. SECRETARIA DE ECONOMIA E PLANEJAMENTO (SEP). *Cartas de declividade no planejamento: Concepção e problemas de sua redação.* São Paulo, 1979.

SÃO PAULO. SECRETARIA DE OBRAS E MEIO AMBIENTE. Departamento de Águas e Energia Elétrica. (SOMA/DAEE). *Estudo de águas subterrâneas. Regiões Administrativas 10 e 11. Presidente Prudente e Marília.* São Paulo, 1979. v. 1, p. 87-108.

SCORZA, E.P. *Fenômenos Erosivos no Arenito Caiuá, Noroeste do Estado do Paraná.* Rio de Janeiro. D.N.P.M. Divisão de Geologia e Mineralogia, out., 1957. (Notas Preliminares e Estudos, nº 103).

SEEVERS, P.M.; DREW, J.V.; CARLSON, M.P. Estimating vegetative biomass from LANDSAT-1. In: NASA. *Earth Resources Survey;* Proceeding of a Symposium held at Houston, 1975. Washington, D.C., 1975, v. 1-A, p. 1-8. (NASA TMX-58168).

SERRA FILHO, R.; CAVALLI, A.C.; GUILLAUMON, J.R.; CHIARINI, J.V.; NOGUEIRA, F.P.; IVANCKO, C.M.A.M.; BARBIERI, J.L.; DONZELLI, P.L.; COELHO, A.G. de S.; BITTENCOURT, I.; HIGA, P.S.; KENGEN, S.; OGAWA, H.; AOKI, H. Levantamento da cobertura vegetal natural e do reflorestamento do Estado de São Paulo. *Boletim Técnico do Instituto Florestal,* (11):1-53, out., 1975.

SEUBERT, C.E.; BAUMGARDNER, M.F.; WEISMILLER, R.A.; KIRSCHNER, F.R. Mapping and estimating areal extend of severely eroded soils of selected sites in Northern Indiana. In: MACHINE PROCESSING OF REMOTELY SENSED DAT, Purdue, IN, 1979. *Proceedings.* West Lafayette, IN, Purdue University, LARS, 1979. p. 234-238.

SOARES, P.C.; LANDIM, P.M.B. Depósitos cenozóicos na região Centro-Sul do Brasil. *Notícia Geomorfológica,* 16(31):17-39, jun. 1976.

STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H. *Principles and procedures of statistics with special reference to the biological sciences.* New York, McGraw-Hill, 1960.

STEPHENS, P.R.; CIHLAR, J. The Potential of remote sensing to monitor soil erosion on cropland. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 15., Ann Arbor, MI, 1981. *Proceedings.* Ann Arbor, MI, ERIM, 1981, p. 1-11.

STOCKING, M.A. Relief analysis and soil erosion in Rhodesia using multivariate techniques. *Zeitschrift fllr Geomorphologie,* 16(4): 432-443, 1972.

STOCKING, M.A.; ELWELL, H.A. Rainfal erosivity over Rhodesia. *Transactions, Institute of British Geographers,* 1(2):231-245, 1976.

STRAHLER, A.N. Quantitative slope analysis. *Bulletin of the Geological Society of America,* 67:571-596, 1956.

SUAREZ, J.M. *Contribuição à Geologia do Extremo Oeste do Estado de São Paulo.* Tese de Doutoramento. Presidente Prudente, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Presidente Prudente, 1973. 91p.

SUDO. H. Geomorfologia. In: ENCONTRO NACIONAL DE GEÕGRAFOS, 1. Presidente Prudente, 1972. *Guias de Excursão.* São Paulo, Associação dos Geõgrafos Brasileiros, 1972, p. 19-23.

SUGUIO, K. *Formação Bauru, calcários e sedimentos detríticos associados.* Tese de Livre Docência. São Paulo, USP, Instituto de Geociências, 1973. 2 v.

TOY, T.J. Introduction to the erosion process. In: ——— *Erosion: research techniques, erodibility and sediment delivery.* Norwich, England, Geo Abstracts, 1977. p. 7-18.

U.S.D.A. SOIL CONSERVATION SERVICE. *Guide for soil conservation surveys.* Washington, 1948.

WASHBURNE, C.W. *Geologia do petróleo do Estado de São Paulo.* Tradução de Joviano Pacheco. Rio de Janeiro, D.N.P.M., 1939.

WESTIN, F.C.; LEMME, G.D. LANDSAT spectral signatures: studies with soil associations and vegetation. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 44(3):315-325, Mar., 1978.

WISCHMEIER, W.H. Soil erodibility by rainfall and runoff. In: Toy, T.J. *Erosion: Research Techniques, Erodibility and Sediment delivery*. Norwich, England, Geo Abstracts, 1977, p. 45-56.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Transactions, American Geophysical Union*, 39(2): 285-291. Apr. 1958.

ZINKE, P.J. Photo interpretation in hydrology and watershed management. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. *Manual of photographic interpretation*. Washington, 1960, cap. 10, p.539-560.

APÊNDICE A

DADOS REFERENTES ÀS VARIÁVEIS FREQUÊNCIA DE RAVINAS, EXTENSÃO DE VERTENTES, DENSIDADE HIDROGRÁFICA, DECLIVIDADE MÉDIA E TIPOS DE COBERTURA VEGETAL/USO(PASTO,PASTO SUJO,CULTURAS E MATA),PARA 147 QUADRÍCULAS AMOSTRAIS

*** LEGENDA ***
A = NUMERO DA QUADRICULA
B = FREQUENCIA DE RAVINAS
C = EXTENSAO DE VERTENTES (M)
D = DENSIDADE HIDROGRAFICA
E = DECLIVIDADE MEDIA (%)
F = PASTO (%)
G = PASTO SUJO (%)
H = CULTURAS (%)
I = MATA (%)

A	B	C	D	E	F	G	H	I
19	00	6650	0	01.64				100
22	04	6700	0	03.54		100		
30	00	6650	0	03.07				100
32	07	2100	0	01.56	36	64		
34	15	2950	0	01.39		53	47	
43	04	8250	0	01.04	37	63		
46	08	1750	0	01.39		30	70	
47	05	2300	0	01.19			100	
62	21	0550	7	15.16	63	37		
68	02	2700	0	03.38		77		23
72	09	0700	1	06.64	79	21		
75	06	0650	6	16.96	63	37		
78	14	0300	2	12.96	100			
80	14	1200	1	05.78	40	60		
83	10	2700	0	02.97	20	80		
98	32	2700	1	06.71	80	20		
101	06	1550	1	04.33	31	69		
103	18	0800	1	08.94	100			
107	06	0650	1	04.46		100		
121	04	1550	0	01.06	100			
123	09	0650	0	02.12	100			
130	04	0750	0	04.41	54	46		
132	05	2300	0	02.13		100		
134	07	1350	1	05.12	30	70		
136	10	1350	1	04.51	100			
139	03	1200	0	03.15	70	30		
141	14	0400	3	07.46	100			
149	05	1600	2	04.72		100		
153	08	0700	0	04.10		100		
157	10	1450	1	06.62	100			
176	04	1450	0	03.20	66	34		
178	10	0800	1	05.71	80	20		
181	08	0500	0	03.81	30	70		
190	05	1550	0	04.18	60	20		20
194	04	1450	1	06.05		65		35
200	07	0900	0	03.42	64	36		
203	06	0450	1	09.75	25			75

209	06	0500	2	03.19		37	63	
215	05	2900	0	02.92	100			
219	06	3100	0	03.41	52	48		
230	15	1400	0	03.07		40	60	
246	06	3000	0	03.90	80	20		
251	15	1050	2	08.08	100			
259	14	0450	3	09.06		100		
266	03	1500	0	03.87		36		64
268	00	0950	1	06.37				100
270	07	3600	0	01.27	21	79		
272	06	2600	0	03.55	100			
274	07	1200	0	03.46	20	80		
279	02	3200	2	05.27	36	64		
281	20	2050	2	07.35	100			
284	13	1850	0	06.12		47	53	
292	12	1850	0	01.38		100		
294	23	0750	0	03.57	42	58		
304	03	3250	0	02.37	100			
308	00	1550	0	02.86				100
312	01	2800	0	02.86		43	57	
327	37	0700	3	14.81	100			
331	12	0450	1	05.01	70		30	
333	04	1850	0	02.95	33			67
336	08	1000	0	03.20		33		67
344	09	1100	1	07.64		100		
347	03	0450	1	08.00	50	50		
352	21	0850	1	08.57	38	62		
359	18	0550	2	08.73	74	26		
372	04	0700	0	01.65		73		27
376	00	0950	2	04.44				100
396	35	0600	8	19.38	51	49		
397	33	0700	4	12.76	100			
400	20	0450	5	16.96	80		20	
405	12	1600	0	03.04		32	45	23
410	12	0450	3	09.30		46		54
415	15	1850	0	04.05		38		62
418	26	0700	1	06.92	51	49		

422	05	1100	0	02.11		58		42	
426	12	0400	2	12.60		78	22		
428	19	0200	5	12.22	100				
431	09	0600	5	15.85	100				
435	07	0600	7	18.84	100				
438	40	0150	5	16.64	100				
447	00	2450	0	03.31				100	
453	10	0300	3	06.60	41	59			
455	00	1400	0	03.29		100			
459	11	0450	2	02.91	33	67			
461	13	0550	3	10.62		48	52		
465	14	0850	2	04.26	48	30	22		
468	22	0200	4	12.91	100				
471	21	0250	2	12.40	58	22	20		
475	08	0400	4	09.33	60	40			
482	04	0750	2	05.99				100	
484	16	0400	0	02.71		33		67	
492	05	2250	0	05.56		100			
498	06	0800	1	05.59	35	44		21	
507	34	0250	5	17.81	80	20			
519	11	0550	1	06.71	73			27	
523	11	0950	0	03.00	50	50			
527	17	0500	1	10.74	32	68			
529	03	0850	0	03.17	64	36			
533	26	0450	3	14.84	61	39			
536	15	0500	5	16.14	100				
538	03	1400	1	05.18	100				
540	12	0350	4	12.57	20	54	26		
541	02	0250	4	10.68	80	20			
543	03	1000	1	04.37	67	33			
547	00	0150	1	08.73				100	
551	21	0400	3	16.14	100				
556	13	0300	3	08.94	29		71		
560	31	0700	1	05.95	32	68			
562	11	1700	0	13.40	69	31			
565	16	0350	5	15.12	80	20			
567	29	0350	4	08.96	47		53		

569	29	0400	2	14.78	78	22		
571	13	0500	4	14.40		80	20	
578	10	0150	6	18.89	53			47
584	13	0450	0	03.39	100			
586	10	1550	0	03.05	20	53	27	
588	14	1050	0	03.20	57	43		
590	47	0300	2	13.04	100			
593	34	0300	5	13.44	100			
600	15	0500	3	08.14	64		36	
602	10	0900	3	08.51	45	55		
608	15	0200	4	14.99	40	60		
610	25	0450	2	08.22	100			
614	04	1400	0	05.22	80	20		
621	38	0400	3	16.02	53	47		
624	27	0200	2	09.95	28	23	49	
627	17	0800	4	15.32		69	31	
637	19	0850	0	03.60	68	32		
639	11	0150	1	07.83	55		45	
644	34	0350	3	15.28	100			
653	15	0600	2	07.89	27	25	48	
655	13	0200	4	10.50	100			
660	05	0150	9	21.72	67	33		
667	25	1150	2	09.59	70		30	
674	17	0150	3	14.48	48		52	
689	12	0700	2	10.64			100	
695	06	0650	0	02.60	100			
700	15	0350	4	13.63		23	77	
708	02	0700	0	05.66		40		60
712	12	0600	1	09.69	53		47	
716	13	0500	1	06.40	43		57	
721	05	0150	3	11.02		63	37	
732	19	0500	3	10.62			100	
734	24	0800	1	06.33			100	
736	10	0350	2	08.08	100			
737	12	0700	2	07.15	100			
742	13	0200	5	12.71		33	67	