

UTILIZAÇÃO DE IMAGENS PRETO-E-BRANCAS E COMPOSIÇÕES COLORIDAS, TM/LANDSAT,
NA ANÁLISE DE ÁREAS COM DIFERENTES CLASSES DE DECLIVIDADE

N.F.Koffler*
R.Angulo Filho**
C.A.Vettorazzi**

*Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Universidade Estadual Paulista
Caixa Postal, 178 - 13.500 - RIO CLARO, SP, Brasil

**Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"
Universidade de São Paulo
Caixa Postal 09- 13.400 - PIRACICABA, SP, Brasil

RESUMO

Foi feita a análise de áreas com diferentes classes de declividade (A = 0-3%, B=3-8%, C=8-16% e D=16-30%) com a finalidade de se verificar a potencialidade de imagens preto-e-brancas (canais 3,4 e 5) e uma composição colorida (canais 2,3 e 4), TM/LANDSAT, na escala 1:100.000, para planejamento agrícola. Devido à ausência de visão tridimensional, o trabalho baseou-se nas relações quantitativas entre índices de drenagem (frequência de rios e densidade de drenagem) - determinados a partir de imagens, e expressão do relevo (declividade média) extraída de cartas planialtimétricas na escala 1:50.000. Fotografias aéreas verticais na escala 1:35.000 foram utilizadas para fins comparativos.

Concluiu-se que o uso dessas imagens para mapear classes de declividade através do padrão de drenagem é viável, embora as características regionais tenham limitado para diferenciar mais facilmente as áreas com declividade A e B de áreas com declividade C e D. Outra conclusão é de que não houve diferença estatística entre os dados obtidos através das imagens nos canais 3, 4 e 5 dos obtidos da composição colorida.

ABSTRACT

The analysis of areas with different slope classes (A=0-3%, B=3-8%, C=8-16% and D=16-30%) was made with the purpose of verifying the TM/LANDSAT black and white (bands 3, 4 and 5) and a color composition (bands 2, 3 and 4) images (1:100,000 scale), potentiality in agricultural planning. Due to the absence of tridimensional viewing, the work was based on quantitative relations between drainage indexes (river frequency and drainage density) determined on the images, and a relief index (average slope) extracted from planialtimetric topographic charts (1:50,000 scale). Aerial photographs on a 1:35,000 scale were utilized for comparisons.

The conclusion was that the utilization of these images in mapping slope classes through drainage network it was feasible, though the characteristics of the analysed region caused an easier differentiation between areas of the A and B classes and those of C and D classes. Another conclusion is that there was not statistical difference between the data obtained from the bands 3, 4 and 5 images and those obtained from the color composition image.

1. INTRODUÇÃO

No planejamento de áreas agrícolas, o mapeamento das classes de declividade do terreno fornece informações básicas para a determinação das possibilidades de mecanização das operações agrícolas e riscos de erosão das terras, auxiliando na escolha do tipo de ocupação a ser desenvolvida.

liando na escolha do tipo de ocupação a ser desenvolvida.

A forma mais precisa de se classificar uma área em função da declividade tem sido através de levantamentos planialtimétricos detalhados.

Para planejamento a nível regional, cartas topográficas elaboradas por entidades públicas - também podem ser utilizadas, sendo sua precisão dependente da sua escala e da equidistância vertical entre as curvas de nível.

Por outro lado, o uso de fotografias aéreas permite a compartimentação da topografia através da visão estereoscópica. Este é um processo mais rápido, embora menos preciso, sendo a classe de declividade das áreas delimitadas calculada a partir de amostras em cartas planialtimétricas existentes, ou estimada através da experiência do fotointérprete na correlação imagem x terreno.

Atualmente, estão disponíveis para os planejadores imagens da superfície da Terra obtidas por satélites como o LANDSAT-5 e o SPOT-1, com qualidade que se aproxima das fotografias aéreas. Esse material tem sido utilizado principalmente para investigações preliminares de grandes áreas.

A intenção do presente trabalho, foi analisar imagens obtidas pelo sensor TM (Thematic Mapper) do LANDSAT-5, em papel fotográfico, nos canais 3, 4 e 5 e uma composição colorida de rotina (canais 2, 3 e 4), quanto à possibilidade de se extrair informações sobre expressão do relevo.

2. REVISÃO DE LITERATURA:

Segundo LUEDER (1959), o padrão de drenagem e o relevo são os mais consistentes e confiáveis indicadores das condições do terreno disponíveis para o fotointérprete.

Para RAY & FISCHER (1960), as informações quantitativas obtidas de fotografias aéreas - proporcionam medidas relativas ou absolutas - úteis para caracterizar formas do terreno em termos objetivos, mais consistentes do que as denominações descritivas mais comumente utilizadas, como suave ondulado ou forte ondulado - por exemplo, que podem levar a erros de interpretação.

Embora classicamente os estudos quantitativos fossem baseados na análise de pequenas - bacias hidrográficas, RAY & FISCHER (1960) concluíram que amostras de 10 Km² podem fornecer informações mais consistentes quando se relaciona a densidade da drenagem à litologia.

FRANÇA (1968) adaptou a metodologia de - Ray e Fischer ao estudo de solos, obtendo bons resultados com o uso da densidade de drenagem e de outros parâmetros utilizados pela análise quantitativa de STRAHLER (1964).

Posteriormente KOFFLER (1976b) utilizando amostras com áreas variáveis entre 10 e 100 Km² concluiu que a caracterização quantitativa de um padrão de drenagem e a sua comparação com outros podem ser efetuadas através de índices

de drenagem, independentemente do tamanho da amostra, desde que seja representativa. DEMÉTRIO (1977), em trabalho semelhante, confirmou essa conclusão. CHRISTOFOLETTI (1980) afirmou - que o aumento da declividade do terreno provoca um aumento nos valores de textura topográfica e densidade de drenagem.

Com o objetivo de relacionar índices de drenagem obtidos em fotografias aéreas com declividade determinada em cartas topográficas, - KOFFLER (1982) concluiu que o método de determinação da declividade média adaptado de WENTWORTH (1930) é de fácil aplicação, apresentando resultados equivalentes quando comparado a um método mais preciso porém mais complexo.

Além das fotografias aéreas e das cartas planialtimétricas, as imagens LANDSAT também - têm-se mostrado úteis para o estudo da superfície do terreno. KOFFLER (1976a) verificou que características como densidade de drenagem e - textura topográfica puderam ser avaliadas qualitativamente, através da textura fotográfica das imagens MSS do LANDSAT-3.

COVRE et alii (1986) analisando imagens TM do LANDSAT-5, na escala 1:100.000, quanto à caracterização das redes de drenagem através de - índices quantitativos, obtiveram resultados semelhantes aos extraídos de fotografias aéreas - convencionais, na escala 1:60.000, demonstrando a viabilidade do emprego daquele tipo de imagem orbital em trabalhos desta natureza.

3. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo corresponde a um quadrante de imagem TM/LANDSAT e sua localização, em relação às coordenadas geográficas, pode ser observada na figura 1.

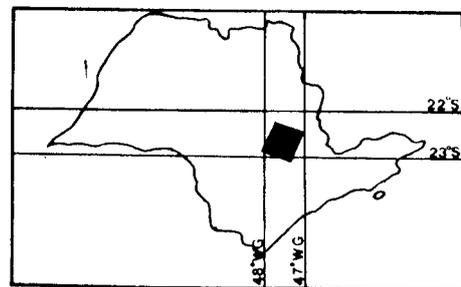


Fig.1 - Localização da área de estudo

Nesta região estão incluídos, total ou parcialmente, municípios importantes para a economia do estado de São Paulo, como Piracicaba, - Americana, Limeira, Rio Claro e outros.

O uso da terra na área de estudo é constituído predominantemente, pela cultura de cana-de-açúcar, citros, pastagem e algumas culturas - anuais como algodão e milho.

A topografia regional, segundo OLIVEIRA et alii (1979), é constituída de maneira geral por

colinas de formas suavizadas, com relevo predominantemente suave ondulado a ondulado, com declividades inferiores a 7%. Nas áreas onde ocorre o diabásio as vertentes apresentam, geralmente, lançantes longos, enquanto nas áreas onde o substrato é representado por rochas sedimentares a topografia é mais movimentada e a rede de drenagem mais densa. Ocorrem também áreas com relevo fortemente ondulado onde as declividades das vertentes ultrapassam 16%.

O clima da área, segundo o sistema de Köppen, é identificado como do tipo Cwa, ou seja, clima mesotérmico de inverno seco.

Em termos de solos, há uma grande variação de unidades presentes na área de estudo, com destaque para os podzólicos vermelho-amarelos, latossolos (roxo, vermelho-escuro e vermelho-amarelo) e litossolos. Especificamente nas áreas escolhidas para estudo em detalhe com respeito às classes de declividade, os solos predominantes são os seguintes, segundo OLIVEIRA et alii (1977 e 1981) e PRADO et alii (1981):

Classe A (0-3%): Latossolo Vermelho-Escuro álico textura média ou argilosa; Latossolo Vermelho-Amarelo Húmico álico textura média ou argilosa e Latossolo Roxo eutrófico ou distrófico.

Classe B (3-8%): Latossolo Vermelho-Amarelo álico textura média ou argilosa; Latossolo Vermelho-Escuro álico textura média ou argilosa.

Classe C (8-16%): Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico ou álico textura arenosa/média; Litossolo substrato sedimentos da formação Tubarão e Cambissolo distrófico textura média.

Classe D (16-30%): Podzólico Vermelho-Amarelo álico textura arenosa/média e Litossolos eutróficos e distróficos textura indiscriminada substrato arenito Botucatu - Pirambóia.

O presente estudo foi desenvolvido sobre imagens orbitais multiespectrais obtidas através do sensor "Thematic Mapper" (TM), instalado no satélite LANDSAT-5. Empregaram-se cópias em papel, em preto-e-branco, na escala 1:100.000, da passagem de 6 de julho de 1984 (WRS 220/76, quadrante B). Foram utilizados os canais 3 (630-690nm), 4 (760-900nm) e 5 (1550-1750nm), e uma composição colorida, também na escala 1:100.000 e mesma passagem, dos canais 2 (520-600nm), 3 (630-690nm) e 4 (760-900nm), (composição de rotina), com processamento realizado nos laboratórios do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE).

Para análise comparativa foram utilizadas fotografias aéreas na escala nominal de 1:35.000, pancromáticas, provenientes da cobertura realizada em 1978 pela Terrafoto Atividades de Aerolevantamentos S/A, para a Secretaria de Economia e Planejamento do Estado de São Paulo.

Informações cartográficas foram extraídas

de cartas planialtimétricas na escala 1:50.000 produzidas pelo IBGE, com equidistância vertical de 20 metros, folhas de Americana, Araras, Cosmópolis, Itirapina, Limeira, Piracicaba e Rio Claro.

Foram utilizados os seguintes equipamentos principais: lente de aumento com luminária acoplada (para observação das imagens TM/LANDSAT), estereoscópio de reflexão WILD ST-4 com oculares para aumento 3x (para observação das fotografias aéreas), e curvímetro.

Com base em indicações do SOIL SURVEY STAFF (1962) e MINISTÉRIO DA AGRICULTURA (1979), foram definidos os limites para as classes de declividade utilizadas neste trabalho e que ocorrem na área de estudo:

CLASSE	DECLIVIDADE (%)	RELEVO
A	0 - 3	Plano
B	3 - 8	Suave ondulado
C	8 - 16	Ondulado
D	16 - 30	Ondulado a forte ondulado

Para estas classes de declividade, o MINISTÉRIO DA AGRICULTURA (1979) classifica os graus de limitação ao uso da terra pela susceptibilidade à erosão ou por impedimentos à mecanização da seguinte forma:

CLASSE DE DECLIVIDADE	GRAU DE LIMITAÇÃO
A	nulo
B	ligeiro
C	moderado
D	moderado a forte

Para a caracterização das áreas pertencentes às quatro classes de declividade, foram selecionadas amostras sobre as cartas topográficas, identificando-se cada classe a partir do intervalo horizontal entre as curvas de nível. Para isso foram escolhidas áreas topograficamente homogêneas, dentro de cada classe.

As amostras utilizadas tiveram formato circular, com 10 Km² de área para as classes A, B e C, e de 5 Km² para a classe D, devido à sua ocorrência em áreas relativamente pequenas. Essas amostras foram demarcadas nas cartas topográficas, fotografias aéreas e imagens LANDSAT, de modo que ocupassem exatamente a mesma posição.

Nas cartas topográficas foi determinada a declividade média, segundo o método proposto por WENTWORTH (1930), adaptado por KOFFLER (1982) para amostras circulares. Este método baseia-se no número de curvas de nível interceptadas por linhas dispostas nas direções Norte-Sul, Leste-Oeste, Noroeste-Sudeste, Nordeste-Sudoeste e respectivas paralelas, dentro da

amostra (Figura 2). O cálculo da declividade - (dW) é efetuado pela fórmula:

$$dW = E \cdot N/636,6$$

onde E é a equidistância vertical das curvas de nível em metros e N é o número médio de curvas interceptadas por quilômetro.

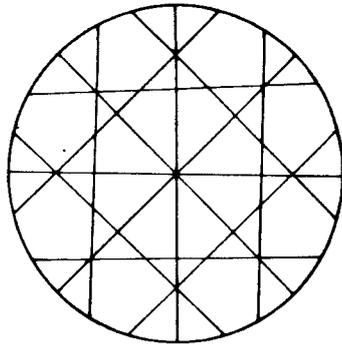


Fig. 2 - Modelo da amostragem de WENTWORTH (1930) adaptada por KOFFLER (1982).

Nas imagens TM/LANDSAT e nas fotografias aéreas foram analisadas as redes de drenagem - através dos índices densidade de drenagem (D) e frequência de rios (F), conforme o método de desenvolvido por RAY & FISCHER (1960) e ampliado por SOUZA (1975):

$$D = L/A \quad \text{e} \quad F = N/A$$

onde L é o comprimento total de rios em Km, N é o número total de rios e A é a área da amostra circular, em Km².

Nas fotografias aéreas o traçado das redes de drenagem seguiu o método tradicional, - com uso da visão estereoscópica. Para as imagens TM/LANDSAT preto-e-brancas a rede de drenagem foi traçada com auxílio dos 3 canais empregados (3, 4, 5), uma vez que cada banda do espectro eletromagnético ofereceu uma distinta contribuição; o resultado final consistiu da reunião das informações dos 3 canais. Na composição colorida a rede de drenagem foi traçada diretamente no "overlay" colocado sobre a imagem.

Os resultados obtidos foram analisados -

quanto a sua significância pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Para adequar os dados à análise estatística paramétrica, estes receberam a transformação \sqrt{x} . O delineamento utilizado foi o de parcelas subdivididas, inteiramente casualizadas, com três repetições para cada tratamento.

4. RESULTADOS e DISCUSSÃO

As Figuras 3 a 6 mostram o traçado das redes de drenagem das amostras representativas - de cada classe de declividade estudada, nas fotografias aéreas e correspondentes imagens TM/LANDSAT preto-e-brancas e composição colorida.

Na Tabela 1 encontram-se os valores médios e respectivos erros padrões dos índices - levantados: declividade média (dW) extraída - das cartas topográficas, frequência de rios - (F35) e densidade de drenagem (D35) obtidas a partir das fotografias aéreas, e valores análogos extraídos das imagens TM/LANDSAT preto-e-brancas (F100 e D100) e composição colorida - (Fc100 e Dc100).

Pode-se observar a tendência dos dados em formar apenas 2 extratos distintos segundo as classes de declividade A + B e C + D, provavelmente condicionadas pelas características dos tipos de solo existentes na região estudada. Entretanto, para todas as imagens analisadas - os índices de drenagem cresceram normalmente - com o aumento da declividade do terreno, se bem que de forma um pouco atenuada nas imagens TM/LANDSAT (Figuras 7 e 8).

Constatou-se uma perda de informações sobre a rede de drenagem traçada a partir das - imagens LANDSAT, em relação as obtidas nas fotografias aéreas, o que era esperado devido à grande diferença de escalas entre os dois tipos de imagem.

As diferenças foram maiores nas classes - de declividade C e D, sendo pouco evidentes - nas classes A e B, caracterizadas por redes de drenagem com rios mais longos e em menor número, o que facilitou a identificação dos canais em imagens de escala pequena. Dentre os índices de drenagem, as maiores diferenças foram -

TABELA 1

VALORES MÉDIOS E RESPECTIVOS ERROS PADRÕES DOS ÍNDICES DE RELEVO E DE DRENAGEM

CLASSE DE DECLIVIDADE	DECLIVIDADE MÉDIA (dW)%	Fotografia Aérea		Imagens TM/LANDSAT			
		F35	D35	F100	D100	Fc100	Dc100
A	2,3 ± 0,12	0,6 ± 0,06	0,5 ± 0,09	0,4 ± 0,06	0,4 ± 0,07	0,6 ± 0,09	0,4 ± 0,03
B	4,7 ± 0,37	0,8 ± 0,17	0,9 ± 0,21	0,8 ± 0,13	0,9 ± 0,18	0,9 ± 0,22	0,9 ± 0,20
C	13,5 ± 0,62	17,2 ± 3,01	4,8 ± 0,52	7,9 ± 0,73	3,4 ± 0,23	8,3 ± 0,87	3,9 ± 0,18
D	19,5 ± 0,97	21,4 ± 2,40	5,7 ± 0,07	13,0 ± 1,42	4,4 ± 0,18	13,3 ± 0,68	5,1 ± 0,22

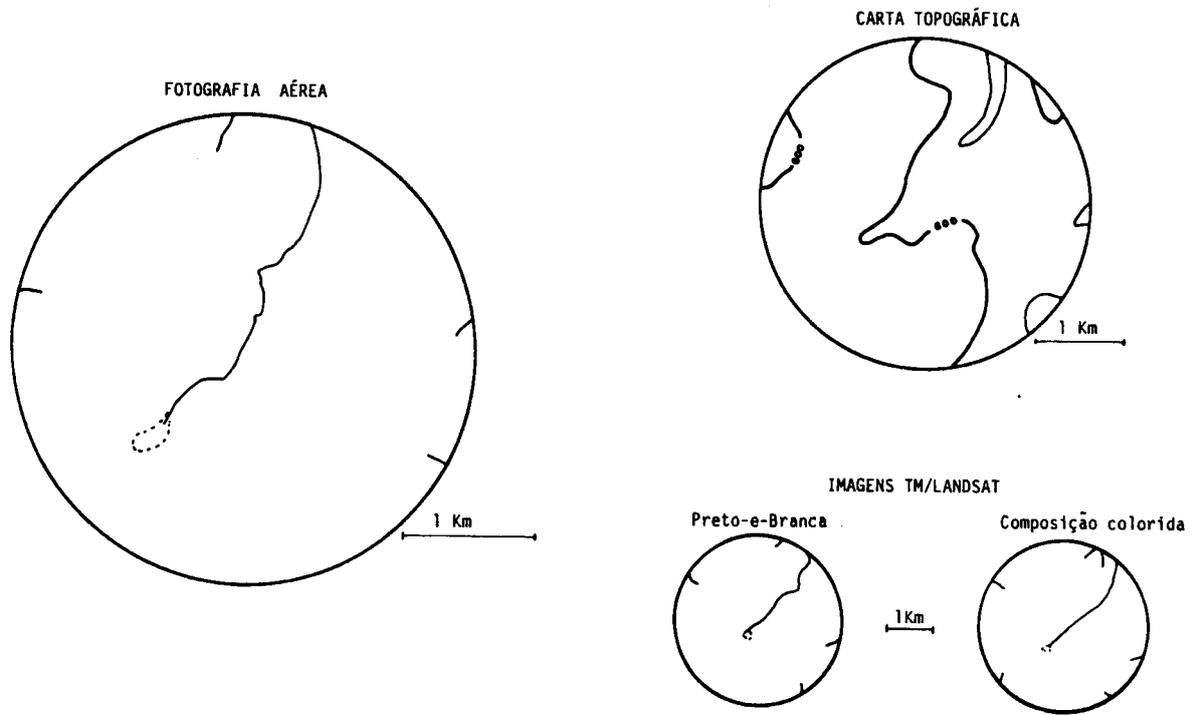


Fig. 3 - Amostras circulares representativas da rede de drenagem e do relevo da classe de declividade A.

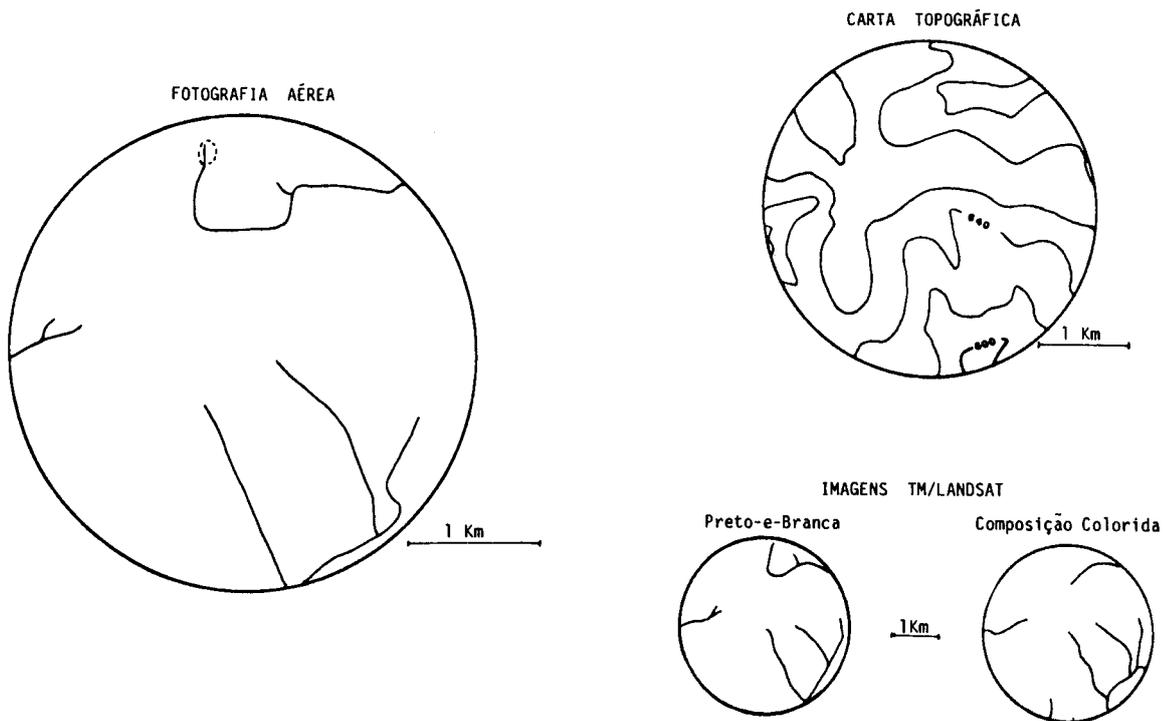


Fig. 4 - Amostras circulares representativas da rede de drenagem e do relevo da classe de declividade B.

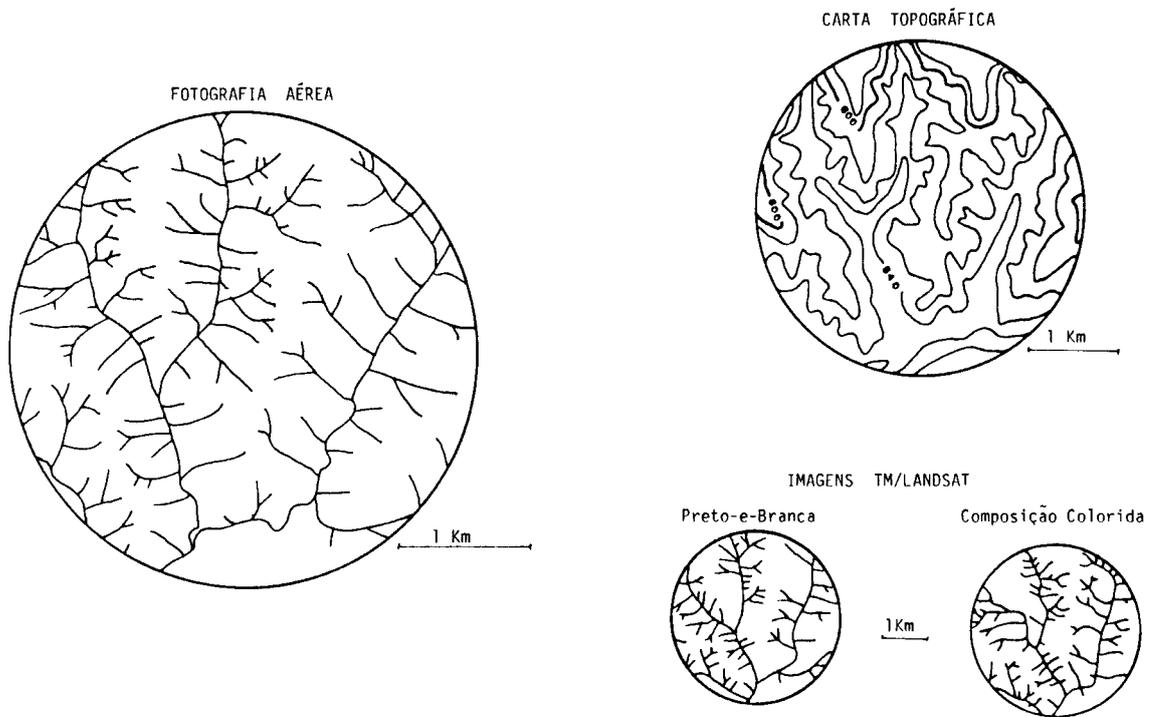


Fig. 5 - Amostras circulares representativas da rede de drenagem e do relevo da classe de declividade C.

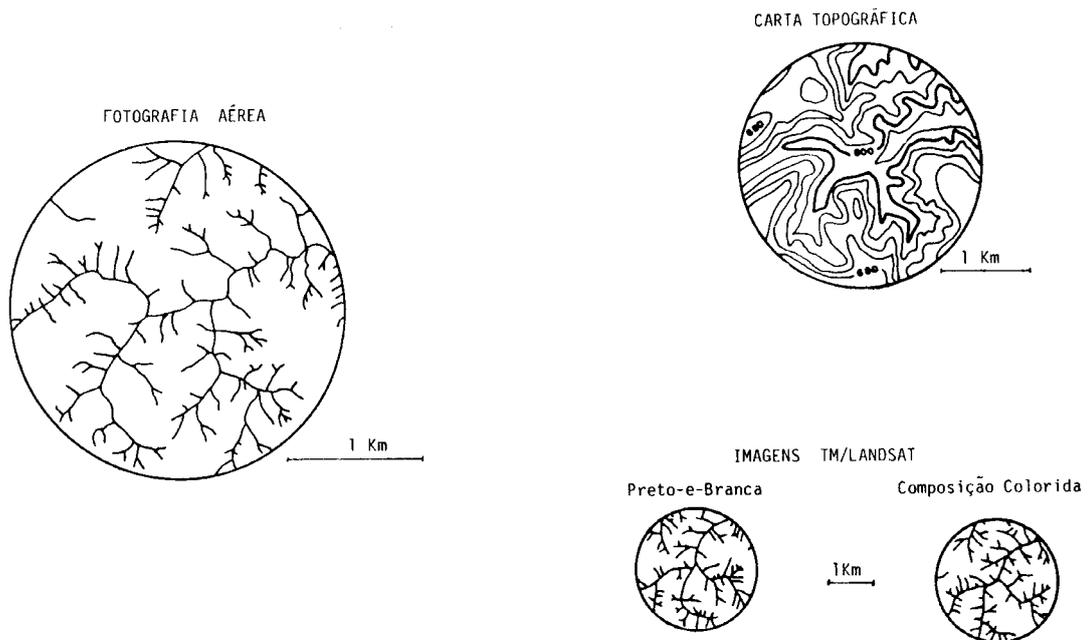


Fig. 6 - Amostras circulares representativas da rede de drenagem e do relevo da classe de declividade D.

encontradas para frequência de rios do que para densidade de drenagem, o que indica uma grande perda de canais de 1ª ordem, normalmente de pequeno comprimento, difíceis de identificar em imagens de pequena escala.

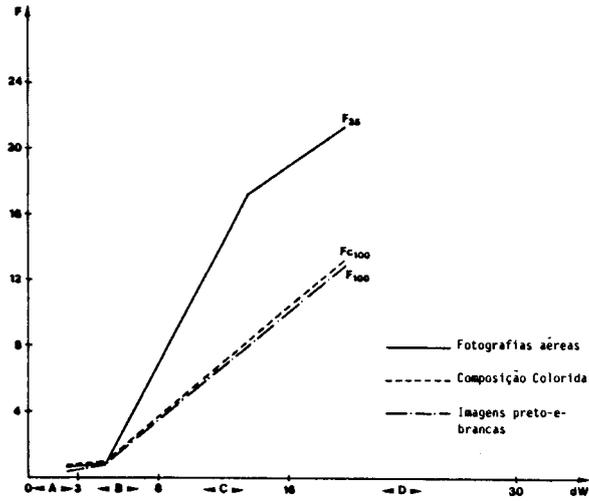


Fig. 7 - Variação da frequência de rios (F) em função da declividade média (dW).

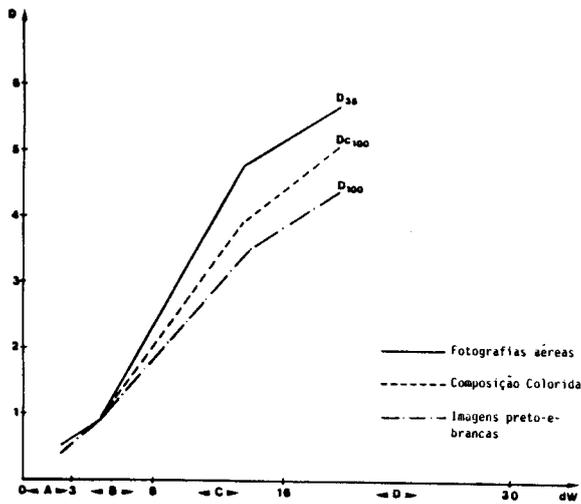


Fig. 8 - Variação da densidade de drenagem (D) em função da declividade média (dW).

Para densidade de drenagem a composição colorida TM/LANDSAT ficou em posição intermediária, evidenciando uma melhor identificação dos canais quanto ao seu comprimento, quando comparada às imagens TM/LANDSAT preto-e-brancas. No caso da frequência de rios, os resultados dessas imagens são praticamente equivalentes.

A seguir, são apresentadas as tabelas referentes à aplicação do teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A Tabela 2 mostra que nas classes de declividade A e B os valores de frequência de rios obtidos nas imagens LANDSAT não diferiram

dos correspondentes extraídos das fotografias aéreas. Nas classes C e D as imagens TM/LANDSAT não diferiram entre si, embora tenham apresentado diferença significativa em relação às fotografias aéreas.

TABELA 2

ANÁLISE DE CONTRASTES PARA FREQUÊNCIA DE RIOS, ENTRE FOTOGRAFIAS AÉREAS E IMAGENS TM/LANDSAT, PARA AS CLASSES DE DECLIVIDADE (VALORES NA ESCALA \sqrt{x})

Tratamento	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D
Fotografia Aérea	0,77 a	0,88 a	4,12 a	4,61 a
Imagem P & B	0,63 a	0,91 a	2,80 b	3,59 b
Imagem Colorida	0,75 a	0,92 a	2,87 b	3,65 b

$\Delta = 0,396$

Quanto a densidade de drenagem, verifica-se pela Tabela 3, que os três tipos de imagens diferiram nas classes de declividade C e D, não diferindo na classe B. Na classe A as imagens TM/LANDSAT preto-e-brancas diferiram das fotografias aéreas, e a composição colorida não diferiu de nenhuma das duas.

TABELA 3

ANÁLISE DE CONTRASTES PARA DENSIDADE DE DRENAGEM, ENTRE FOTOGRAFIAS AÉREAS E IMAGENS TM/LANDSAT, PARA AS CLASSES DE DECLIVIDADE (VALORES NA ESCALA \sqrt{x})

Tratamento	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D
Fotografia Aérea	0,72 a	0,94 a	2,18 a	2,38 a
Imagem P & B	0,60 b	0,96 a	1,84 c	2,09 c
Imagem Colorida	0,66 ab	0,95 a	1,96 b	2,25 b

$\Delta = 0,122$

Pela análise das Tabelas 4 e 5, verifica-se que nas fotografias aéreas temos um comportamento semelhante entre as classes A/B e C/D, diferenciando A e B de C e D, tanto para frequência de rios como para densidade de drenagem. Nas imagens TM/LANDSAT preto-e-brancas o comportamento é distinto das fotografias aéreas; em termos de frequência temos $A = B \neq C \neq D$ e para densidade $A \neq B \neq C = D$. No caso da composição colorida a frequência de rios tem comportamento semelhante à das imagens TM/LANDSAT preto-e-brancas ($A = B \neq C \neq D$) enquanto a densidade de drenagem comporta-se como nas fotografias aéreas ($A = B \neq C = D$).

TABELA 4

ANÁLISE DE CONTRASTES PARA AS CLASSES DE DECLIVIDADE, DENTRO DE FOTOGRAFIAS AÉREAS E DE IMAGENS TM/LANDSAT, QUANTO A FREQUÊNCIA DE RIOS (VALORES NA ESCALA \sqrt{x}).

Tratamento	F35	F100	F100 (C.)
Classe A	0,77 a	0,63 a	0,75 a
Classe B	0,88 a	0,91 a	0,92 a
Classe C	4,12 b	2,80 b	2,87 b
Classe D	4,61 b	3,59 c	3,65 c

$\Delta = 0,657$

TABELA 5

ANÁLISE DE CONTRASTES PARA AS CLASSES DE DECLIVIDADE, DENTRO DE FOTOGRAFIAS
AÉREAS E DE IMAGENS TM/LANDSAT, QUANTO A DENSIDADE DE DRENAGEM (VALORES NA
ESCALA 1:35.000).

Tratamento	035	0100	0100(C.)
Classe A	0,72 a	0,60 a	0,66 a
Classe B	0,94 a	0,96 b	0,95 a
Classe C	2,18 b	1,84 c	1,96 b
Classe D	2,38 b	2,09 c	2,25 b

$\Delta = 0,309$

Embora a análise estatística tenha demonstrado a possibilidade de se separar as 4 classes de declividade nas imagens TM/LANDSAT, através dos índices de drenagem, os valores muito próximos encontrados para as classes A e B ou C e D na região, indicam que para os trabalhos de mapeamento regional seja bastante confiável a separação por meio visual de áreas com declividades das classes A e B de áreas C e D. Isto já seria suficiente para planejamento agrícola pois, de um modo geral, as áreas com declividade A ou B tem sido consideradas aptas para agricultura em geral (quando avaliada a declividade isoladamente), enquanto áreas com declividades C ou D seriam mais recomendadas para culturas de ciclo longo que expõem menos o solo aos processos erosivos.

5. CONCLUSÕES

As imagens TM/LANDSAT de escala 1:100.000 pouco se diferenciaram das fotografias aéreas de escala 1:35.000 na avaliação das classes de declividade do terreno, com base no traçado das redes de drenagem.

Dentre os tipos de imagens LANDSAT analisados, a composição colorida apresentou comportamento semelhante às imagens preto-e-brancas, indicando que podem substituí-las em trabalhos desta natureza, com a vantagem de dispensar a interpretação simultânea de imagens de diferentes canais.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COVRE, M., P.S. RIEDEL & J.C.N. EPIPHÂNIO, 1986. Análise quantitativa da drenagem através de imagens TM/LANDSAT e fotografias aéreas. In: Anais do Simpósio Latino Americano de Sensoriamento Remoto, 10-15 de agosto de 1986, Gramado, RS, Brasil, Vol. 1, p. 280.
- CHRISTOFOLETTI, A., 1980. Geomorfologia, 2a. ed. São Paulo, Ed. Edgard Blücher, 188pp.
- DEMÉTRIO, V.A., 1977. Variação de características de redes de drenagem em função da escala das fotografias aéreas verticais. Piracicaba, ESALQ/USP, 107pp. (Dissertação de Mestrado).
- FRANÇA, G.V. 1968. Interpretação fotográfica de bacias e de redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba. Piracicaba, ESALQ/USP, 136pp. (Tese de Doutorado).
- GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1982. Mapa Geológico do Estado de São Paulo, Folha de Campinas. Secretaria de Obras e do Meio Ambiente e Universidade Estadual Paulista. Escala 1:250.000.
- KOFFLER, N.F., 1976a. Utilização de imagens aerofotográficas e orbitais no estudo do padrão de drenagem em solos originados do Arquivo Bauru. São José dos Campos, INPE, 167pp. (Dissertação de Mestrado).
- KOFFLER, N.F., 1976b. Análise aerofotográfica da influência da área de amostragem circular na caracterização quantitativa do padrão de drenagem. São José dos Campos, INPE, 20pp.
- KOFFLER, N.F., 1982. Análise de relevo a partir de índices de drenagem obtidos com fotografias aéreas. Boletim de Geografia Teórica, 12 (23/24):69-76.
- LUEDER, D.R., 1959. Aerial photographic interpretation - Principles and applications. New York, McGraw-Hill, 462pp.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 1979. Aptidão agrícola das terras de São Paulo. Secretaria Nacional de Planejamento Agrícola, Brasília, Binagri, 114pp. (série Aptidão Agrícola das Terras, nº 20).
- OLIVEIRA, J.B., J.R.F. MENK & C.L. ROTTA, 1977. Levantamento semidetalhado dos solos do Estado de São Paulo. Quadrícula de Campinas. Secretaria de Agricultura e Abastecimento, Instituto Agrônomo. Escala 1:100.000.
- OLIVEIRA, J.B., J.R.F. MENK & C.L. ROTTA, 1979. Levantamento pedológico semidetalhado dos solos do Estado de São Paulo. Quadrícula de Campinas. Rio de Janeiro, IBGE, 169pp.
- OLIVEIRA, J.B., J.R.F. MENK, J.L. BARBIERI, C.L. ROTTA & W. TREMACOLDI, 1981. Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo. Quadrícula de Araras. Secretaria de Agricultura e Abastecimento, Instituto Agrônomo. Escala 1:100.000.
- PRADO, H., J.B. OLIVEIRA & C.L.F. ALMEIDA, 1981. Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo. Quadrícula de São Carlos. Secretaria de Agricultura e Abastecimento, Instituto Agrônomo. Escala 1:100.000.
- RAY, R.G. & W.A. FISCHER, 1960. Quantitative photography: a geological research tool.

- Photogrammetric Engineering, 26(1):143-150.
- SOIL SURVEY STAFF, 1962. Soil survey manual. Washington, USDA, 503pp. (Handbook 18).
- SOUZA, M.L.P., 1975. Fotointerpretação das redes de drenagem de três solos com horizonte B latossólico ocorrentes no município de Ponta Grossa-PR. Piracicaba, ESALQ/USP, - 133pp. (Dissertação de Mestrado).
- STRAHLER, A.N., 1964. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In: CHOW, V.T. Handbook of applied hydrology. New York, McGraw-Hill, Sec. 4, p. 11.
- WENTWORTH, C.K., 1930. A simplified method of determining the average slope of land surfaces Am. J. Sci. 20(117):184-194.