

Análise Comparativa de Métodos  
Para Elaboração de Cartas de Declividade  
Aplicadas a Estudos do Meio Físico

OSVALDO COELHO PEREIRA NETO<sup>1</sup>  
MARIO VALERIO FILHO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Caixa Postal 515  
12201-970 São José dos Campos, SP, Brasil

**Abstract.** Integrated analysis of physical environment data as an aid to studies related to land classification techniques, urban planning, geotechny, and geo-environment need as information basis, a steepness chart. The present work has the objective of comparing three methods of steepness chart acquisition from the Ribeirão Cafezal hidrographic basin located among the municipalities of Londrina, Cambé and Rolândia in the state of Paraná, Brazil. Two out of the three methods utilised use a Geographical Information System developed by the National Institute os Space Research (INPE) staff, and the third one is based on analog abacus. In this paper, approaches inherent to the different methods are presented and discussed as well as the pratical aspects that are taking into account to obtain the steepness charts are analysed. The results show that the steepness charts produced at a scale of 1:50000 using the GIS methods present advantage in terms of time when compared with the abacus methods but with lower accuracy of the sharp borders of the steepness classes.

### Introdução

A bacia hidrográfica do Ribeirão Cafezal situa-se entre os municípios de Londrina, Cambé e Rolândia, ao norte do Estado do Paraná.

O uso de seu solo, quando não levado em consideração as suas propriedades fisicoquímicas nem o relevo (fator declividade), provoca um desgaste acentuado no mesmo.

O fator declividade retem um alto grau de importância nesse processo, sendo um dado do meio físico que subsidia estudos a um planejamento geoambiental da área.

Dada essa importância, este trabalho tem como objetivo analisar, dentre tres métodos utilizados, qual o mais preciso para gerar um mapa de declividade de terreno a partir de dados topográficos. O primeiro método foi manual e nos dois últimos usou-se o Sistema Geográfico de Informação (SGI/INPE).

### O SGI-Sistema Geográfico de Informação

O desenvolvimento de sistemas computacionais com aplicações gráficas para análise geoambiental vem crescendo

significativamente nas mais diversas áreas, como Cartografia, Análise de Recursos Naturais e Agricultura.

Sendo assim, o INPE desenvolveu o SGI - Sistema Geográfico de Informações, um banco de dados geográfico que permite adquirir, armazenar, combinar, analisar e recuperar informações codificadas espacialmente (Engespaço, 1989).

A estruturação do SGI começa pelo Projeto, onde todos os dados de interesse da região a ser estudada são reunidos, baseado em um referencial geográfico comum. O Projeto é dividido em uma série de Planos de Informação (PI), onde cada um dos quais registra um aspecto da realidade (topografia, tipo de solo, rodovias, rios) (figura 1) (Burrough, 1986). Cada PI pertence a uma das tres categorias seguintes:

- imagem espectral: obtida por satélite;

- polígonos: regiões que delimitam classes (temas) do PI;

- modelos numéricos de terreno (MNT).

Um MNT é definido como um modelo matemático tratável por computador, que representa a variação contínua de relevo no espaço (Burrough, 1986). O modelo é gerado a partir de amostras tridimensionais da superfície real, onde as coordenadas bidimensionais relacionam-se à posição de amostragem na superfície, e a coordenada Z está associada a característica que se quer modelar.

A amostragem através da digitalização de mapas é a mais utilizada no Brasil. Porém, como é uma amostragem irregular, é necessária a aplicação de um interpolador para gerar uma grade regular, o que diminui o tempo de processamento na fase seguinte de refinamento da grade (Gomes, 1989).

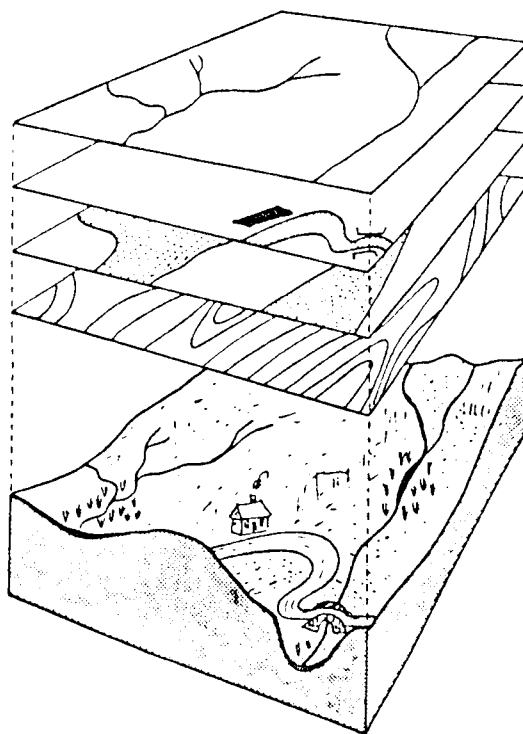


Figura 1: esquema demonstrando o conceito de Plano de Informação. (fonte: Burrough, 1986).

Com base no MNT, o SGI procede ao cálculo de valores de declividade de terreno, com base no modelo Horn (1981), proposto em Burrough (1986).

Assunção et al (1989) obtiveram um mapa de declividade oriundo do fatiamento de um MNT. No entanto, a comparação entre esse PI "declividade" e a carta topográfica mostrou uma relação não muito eficiente entre a concentração de curvas de nível e as classes de declividade. Optaram, então, pela confecção manual do mapa através da utilização de um ábaco.

Quanto ao formato dos dados de um PI, Aronoff (1989) aborda dois modelos:

- modelo vetorial: feições do mundo real são representadas por pontos, linhas e polígonos, que definem seus limites. A posição de cada feição é definida por um sistema de coordenadas;

- modelo de varredura ou raster: o espaço é regularmente subdividido em células, onde a

localização de feições é definida pela posição da linha e coluna das células que a feição ocupa. A área que cada célula representa define a resolução espacial.

No que abrange as funções do SGI, o sistema de conversão realiza transformações de formato de dados. O algoritmo de Converter Resolução modifica o formato raster dos PI's destinados a cruzamento, deixando-os com o mesmo tamanho e a mesma resolução.

O sistema de manipulação de PI's permite gerar informações geográficas derivadas das já existentes. A função de Cruzar PI's o faz em até 10 planos simultâneos, com operações lógicas (E, OU, NÃO) entre as classes.

As operações de cruzamento devem ser definidas por um arquivo de regra em ASCII. Esse arquivo indica as combinações necessárias das classes a serem cruzadas para se obter as novas classes do PI-resultado (Engespaço, 1989).

### Área de Estudo

A bacia hidrográfica do Ribeirão Cafezal abrange parte dos municípios de Londrina, Cambé e Rolândia, ao norte do Estado do Paraná (figura 2), com uma área de aproximadamente 20 mil hectares.

Sua topografia varia de plana a ondulada, com cotas altimétricas entre 450 e 765 metros.

O clima, pela classificação de Köppen, determina uma condição Cfa, com médias de temperatura entre 16 e 23°C.

A precipitação média (período de 6 anos) varia de 60 mm (inverno/seca) a 180 mm (verão/chuva).

O revestimento florístico original da área é caracterizado

por uma floresta pluvial tropical, com índice de devastação da ordem de 96% (inventário realizado sobre fotos aéreas pelo ITC - Instituto de Terras e Cartografia - 1980).

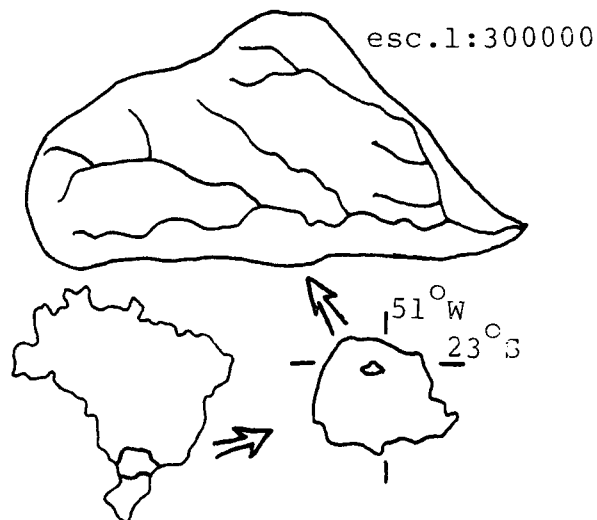


Figura 2: localização da área em estudo.

No seu sistema hidrográfico, a bacia é composta por 23 afluentes diretos e por 10 indiretos, distribuídos ao longo dos 40.250 metros de extensão do Ribeirão Cafezal.

Quanto a divisão fundiária, a bacia é composta por médios e minifúndios, predominando as propriedades agrícolas situadas na faixa de 10 a 20 hectares.

### Material

A base de dados foi composta por:

- mapa topográfico escala 1:10000 do ITC; curvas de nível eqüidistantes de 5 metros;
- carta de declividade escala 1:50000, do Departamento de Geografia, Terras e Colonização do Paraná, elaborado por ábaco analógico.

Como material de apoio teve-se:

- base cartográfica escala 1:50000 e 1:100000 do IBGE -

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;  
- fotos aéreas de 1980, escala 1:45000.

Os mapas de declividade foram gerados e armazenados para manipulação no Sistema Geográfico de Informações (SGI/INPE).

### Metodologia

Foram gerados mapas de declividade de uma área representativa da bacia por tres métodos diferentes e, posteriormente, comparados e analisados à nível de tempo dispendido ao método e precisão de mapeamento, tendo-se uma idéia da relação custo/benefício para cada um deles.

As classes de declividade usadas nos tres métodos seguiram o padrão já utilizado na área, pelo Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Londrina, e são as seguintes:

- classe 1: 0 - 2,5%;
- classe 2: 2,5 - 5%;
- classe 3: 5 - 10%;
- classe 4: 10 - 20%;
- classe 5: maior de 20%.

No primeiro método, elaborou-se um mapa de declividade através de um ábaco analógico (figura 3) aplicado manualmente direto sobre os dados topográficos, obtendo as classes de declividade por via direta (Biasi, 1970). Esse mapa foi armazenado no sistema via digitalização, seguida de aplicação de algoritmos de ajuste de linhas, poligonalização e rasterização (este último necessário para a fase de cruzamento dos planos de informação - PI's).

No segundo método, os dados de declividade foram gerados no sistema SGI a partir de um MNT. A fase de entrada dos dados de curvas de nível da carta topográfica foi via mesa

digitalizadora, juntamente com inserção de cotas altimétricas via teclado. Depois disso gerou-se uma grade regular que posteriormente foi refinada para obter uma imagem declividade.

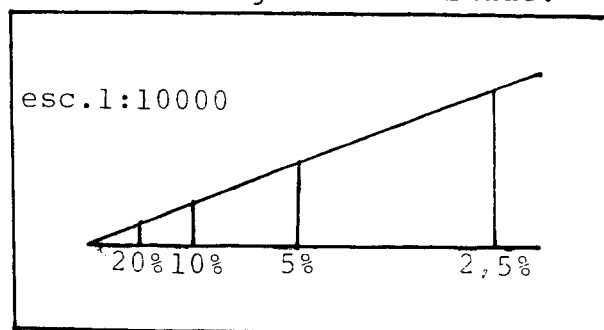


Figura 3: ábaco utilizado na confecção do mapa de declividade

Há necessidade de conversão dos valores de porcentagem de declividade, pois o fator declividade é calculado no sistema em radianos. Com os novos valores, procedeu-se ao fatiamento do MNT, obtendo-se o segundo mapa.

No terceiro método, também usou-se o SGI, tendo-se, porém, uma diferença na metodologia de entrada dos dados no sistema. Confeccionou-se, primeiramente, uma grade com malha de 1 cm<sup>2</sup>. Esta foi colocada diretamente sobre a carta topográfica (esc. 1:10000), resultando em células de 1 hectare de terreno. Em cada célula registrou-se a quantidade de curvas de nível que as transpassavam, aplicando a cada valor peso 5 (ex: célula onde passam 2 curvas = valor 10). Essa grade de valores foi transformada em arquivo ASCII e, posteriormente, transportado para ambiente SGI. Após o refinamento da grade, a imagem declividade foi fatiada, obtendo-se o terceiro mapa.

Tem-se, então, tres PI's para o sistema, assim nomeados:

- PI decl: declividade via ábaco;
- PI dcsf: declividade por SGI com fatiamento;

- PI dcqf: declividade via grade com fatiamento.

Calculou-se, para análise posterior, as áreas das classes de declividade de cada PI.

A etapa seguinte abrangeu a conversão e manipulação desses tres PI's, através de algoritmo de conversão de resolução e cruzamento no sistema. Esta etapa teve por objetivo obter um novo PI com novas informações (novas classes), resultante da intersecção dos PI's existentes.

Tomou-se o PI decl como sendo a verdade terrestre, procedendo ao cruzamento deste com o PI dcsf e depois, o mesmo com o PI dcqf, obtendo-se dois PI's-resultado: PI cz1 e PI cz2, respectivamente.

Como tem-se 5 classes em cada PI de entrada, obteve-se 25 classes em cada PI-resultado. Cada área foi quantificada e posteriormente analisada, computando-se os valores em duas matrizes de relação entre a verdade terrestre e cada um dos outros dois planos. Foram calculadas as porcentagens de acerto e os erros de omissão e inclusão dos PI's relacionados (figura 4), conforme as equações adaptadas de Mendonça (1980), abordadas na metodologia de Donzeli et al (1983):

- porcentagem de acerto de classificação da classe i:

$$PA_i = (ACC_i / AR_i) \cdot 100$$

- porcentagem de erro de omissão da classe i:

$$EO_i = 100 - PA_i$$

- porcentagem de erro de inclusão da classe i:

$$EI_i = ((AC_i - ACC_i) / (AT - AR_i)) \cdot 100$$

- porcentagem total de acerto:

$$PAT = \sum_{i=1}^N w_i \cdot PA_i = \sum_{i=1}^N (ACC_i - AT)$$

- porcentagem de erro de omissão total:

$$EOT = 100 - PAT = \sum_{i=1}^N w_i \cdot EO_i$$

onde:

AT = área total;

AR = área real (verdade terrestre);

AC = área classificada pelo SGI;

ACC = área corretamente classificada;

N = número de classes de declividade;

w = fator de ponderação =  $AR_i / AT$ .

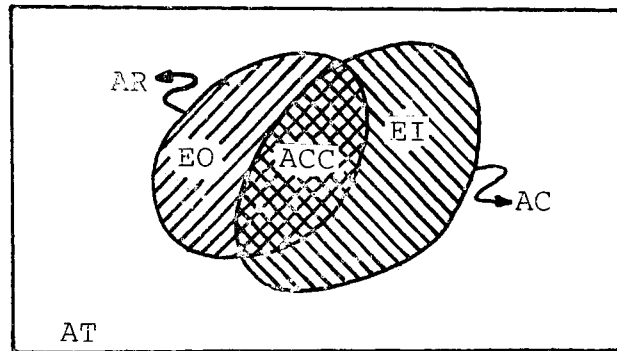


Figura 4: esquema demonstrativo dos elementos utilizados na avaliação e comparação dos dados (adaptado de Mendonça, 1980).

## Resultados e Discussão

As áreas de cada classe de declividade dos tres mapas obtidos são mostradas na Tabela 1.

Os valores dos índices calculados para os dois cruzamentos, bem como as respectivas áreas corretamente classificadas (ACC) de cada classe, são mostrados nas Tabelas 2 e 3.

Nota-se, em primeiro plano, a maior porcentagem de acerto de classificação (PA) na classe 4 em ambos os cruzamentos.

Isso se deve a resolução da grade tomada no trabalho (30mX30m). Tomando-se o plano XY da carta topográfica, os locais onde tem-se distância de 30m

entre duas curvas de nível coincidem com a área da classe 4 de declividade. Portanto, ao interpolar os dados para se obter a grade, os valores tornam-se mais corretos próximo a esses pontos, ou seja, o erro torna-se menor na classe 4.

Quanto ao erro de inclusão (EI), nota-se uma mudança na tendência da classe 4, onde o erro é o maior no cruzamento 2 e decresce no cruzamento 1, sendo o maior erro da classe 3. Retomando a fórmula para cálculo do EI, tem-se que o denominador ( $AT - AR_i$ ) é de igual valor para ambos os cruzamentos; logo, a resposta está no numerador ( $AC_i - ACC_i$ ). O aumento na área classificada (AC) como classe 4 no PI dcqf foi muito maior do que no PI dcsf, quando comparados com a área real (AR). Isso acarreta um maior valor no numerador do EI, aumentando a porcentagem do erro.

No tocante ao fator "tempo dispendido" nos três métodos, esse tempo não foi cronometrado, mas afirma-se que o primeiro método (via ábaco) é o mais demorado, sendo o segundo (via digitalização de curvas de nível) e o terceiro (via grade) cerca de 30% e 40% mais rápidos que o primeiro, respectivamente.

### Conclusões

Comparando-se diretamente os dois cruzamentos na sua totalidade, ve-se que o PI dcsf ofereceu melhor semelhança à realidade do que o PI dcqf. O valor da porcentagem total de acerto de classificação (PAT) do cruzamento 1 chegou a quase 70%, enquanto no cruzamento 2, o PAT praticamente se igualou ao EOT em 50%.

Com relação a rapidez dos métodos, o fator "tempo dispendido" deve ser levado em

conta nas condições em que o trabalho foi desenvolvido.

Um microcomputador com maior velocidade de processamento deve aumentar a diferença de rapidez entre o primeiro método e os dois últimos. Por outro lado, uma grade gerada com maior refinamento deve diminuir a diferença, principalmente quanto ao terceiro método, pois a fase de entrada de dados varia com o refinamento da grade (p.e.: uma grade 30mX30m tem 9 vezes mais dados que uma 100mX100m).

### Recomendações

A nível de precisão dos dados, recomenda-se gerar as grades com resoluções menores. No segundo método poderia, ao invés de 30mX30m, ser gerada uma grade de 10mX10m, coincidindo então com a classe 5 de declividade; provavelmente melhoraria a classificação das áreas.

Essa resolução já seria inviável ao terceiro método, pois uma célula de 10mX10m representa uma grade de 1mmX1mm na carta topográfica de escala 1:10000; poderia gerar a grade de 0,5cmX0,5cm (50mX50m) e depois refinar para 10mX10m.

Diminuindo a resolução das grades, demanda mais tempo de computação dos dados. Para equilibrar isso, torna-se necessário equipamento moderno com maior rapidez de processamento dos dados

### Referências

- S. Aronoff, Geographic information systems: a management perspective, Ottawa, WDL Publication, 1989.
- G.V.de Assunção, A.R. Formaggio and D.S. Alves, Mapa de aptidão agrícola das terras e uso adequado das terras: uma

- abordagem usando SGI e imagens de satélite, São José dos Campos, INPE, 1989 (INPE-4827-PRE/1458).
- M.de Biasi, Carta de declividade de vertentes: confecção e utilização, *Boletim de Geomorfologia da USP*, 21: 8-13, 1970.
- P.A. Burrough, Principles of Geographical Information Systems for land resources assessment, New York, Oxford University Press, 1986.
- P.L. Donzeli, M. Valerio Fº, F.P. Nogueira, A Perez Fº and N.F. Koffler, Imagens orbitais e de radar na definição de padrões fisiográficos aplicados ao solo, *Rev. Bras. Ciência Solo* 7: 89-94, 1983.
- Engespaço, SGI-Sistema de Informação Geográfica: manual do usuário, São José dos Campos, 1989.
- W. Gomes, Amostragem e interpolações em modelos digitais de terreno, São José dos Campos, INPE, 1989 (INPE-5041-TDL/404).
- B.K.P. Horn, Hill shading and the reflectance map, *Proc. IEEE*, 69(1): 14-47, 1981.
- F.J. Mendonça, Uso de dados do Landsat para avaliação de áreas ocupadas com cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, São José dos Campos, INPE, 1980 (INPE-1713-TDL/023).

Tabela 1: Quantificação das áreas das classes dos 3 mapas obtidos.

classes	AR decl (ha)	AC dcsf (ha)	AC dcqf (ha)
1	381.42	305.46	311.49
2	466.38	459.36	487.53
3	1081.80	1208.61	1032.48
4	1283.76	1359.18	1544.49
5	288.63	169.38	126.00

Tabela 2: Índices do cruzamento cz1 (decl X dcsf).

classes	ACC (ha)	PA (%)	EO (%)	EI (%)	PAT (%)	EOT (%)
1	234.81	61.74	38.29	2.25		
2	266.94	57.38	42.62	6.32		
3	800.19	74.16	25.84	16.79	69.77	30.23
4	1003.41	78.36	21.64	15.92		
5	127.26	44.20	55.80	1.30		

Tabela 3: Índices do cruzamento cz2 (decl X dcqf).

classes	ACC (ha)	PA (%)	EO (%)	EI (%)	PAT (%)	EOT (%)
1	137.88	36.08	63.92	5.57		
2	159.12	34.12	65.88	10.82		
3	465.03	42.92	57.08	23.46	49.58	50.42
4	827.10	64.31	35.69	32.37		
5	59.04	20.42	79.58	2.08		