

# ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO NÃO PONTUAL DE POLUENTES UTILIZANDO IMAGENS LANDSAT E SIG

REGINA TIEMY KISHI (1)  
JORGE A. SILVA CENTENO (1)  
ALFONSO RISSO (2)  
JOSE CARLOS R. NUNES (2)

(1) Núcleo Estadual de Meteorologia e  
Recursos Hídricos /CDCT/SEPLAN-AL  
R. Cincinato Pinto 503, Edif SETOR 2o. andar  
Centro - Maceió - AL

(2) Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento  
Remoto e Meteorologia/UFRGS  
Av. Bento Gonçalves 9500  
Campus do Vale - Porto Alegre - RS

RESUMO -- Nutrientes, como fósforo, podem conduzir à eutrofização de lagos e, portanto, suas fontes dentro da bacia são importantes de serem monitoradas. A finalidade deste estudo é aplicar técnicas de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas (SIG) para obter informações sobre as fontes difusas de poluentes e seu impacto em corpos de água. Isto é efetuado utilizando uma imagem Landsat - TM para estimar parâmetros sobre a cobertura e uso do solo e um SIG para combinar estes dados com outras informações como topografia e pedologia. O experimento descrito comprova a viabilidade do uso destas técnicas como ferramenta auxiliar para o manejo de bacias contribuintes a lagos e para a preservação ambiental destes corpos de água.

ABSTRACT -- Nutrients, as phosphorus, can cause eutrophication of lakes and, therefore, their sources within the basin must be monitored. The purpose of this study is to apply remote sensing and Geographic Information Systems (GIS) technologies to obtain information about non-point pollution from runoff and its impact in water bodies. This task is performed using a Landsat - TM image, to estimate land-cover parameters, and a GIS to combine them with other informations like topography and soils. The experiment described shows the feasibility of using these techniques as an ancilliary tool for watershed management and environmental protection of lakes.

## INTRODUÇÃO

Os lagos e lagoas distribuídos ao longo da superfície do planeta são considerados elementos de grande importância para a preservação da vida, por eles abrigarem uma vasta variedade de espécies em suas águas, como também por serem utilizados por outra grande parcela de animais como fonte de alimento e de água.

No Brasil, como acontece em outras regiões, os lagos são também fontes econômicas das quais a população ribeirinha, principalmente de baixa renda, é altamente dependente, através da atividade pesqueira. Estes corpos de água têm ao mesmo tempo

um uso menos nobre, como destino final de resíduos e poluentes originados das atividades agrícolas, industriais e domésticas.

Os materiais poluentes são frequentemente despejados diretamente nos lagos ou nos rios que fazem parte de sua rede de drenagem e, em outros casos, eles provêm de fontes não pontuais, decorrentes do uso dado às terras na bacia.

A identificação destas fontes difusas e seu impacto sobre o ecossistema lagunar constitui-se, portanto, em uma preocupação para as instituições de gerenciamento dos recursos hídricos. Esta tarefa não é de fácil execução, pois implica em medições

diretas em áreas extensas e onde o uso do solo é variado.

A estimativa dos poluentes é ainda mais difícil quando se lida com pequenas bacias, onde mesmo as medições de precipitação ou vazão não existem, e onde a utilização de técnicas de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas (SIG) tornam-se valiosas na estimativa de informações que possibilitem uma visão global através do registro de dados multiespectrais e sua combinação com outras fontes de informação.

Este é o caso da bacia da Lagoa Negra/RS, uma região de riqueza ecológica reconhecida, onde os esforços canalizados para analisar os impactos ecológicos da ação antrópica esbarram na carência de informações a respeito de sua bacia de drenagem.

A finalidade deste trabalho é demonstrar a viabilidade do uso efetivo de técnicas de sensoriamento remoto e SIG para avaliar a distribuição espacial de fontes não pontuais de poluentes e assim facilitar seu controle em bacias de lagos e lagoas. Embora esta metodologia possa ser estendida a vários tipos de poluentes, unicamente o fósforo é aqui analisado.

#### AREA DE ESTUDO

A bacia da Lagoa Negra faz parte do complexo sistema lagunar da planície costeira do Rio Grande do Sul. A Lagoa Negra, que deve seu nome à cor de suas águas, está localizada entre as coordenadas 30°20' e 30°24' latitude sul e 51°02' e 50°56' longitude oeste, dentro do Parque Estadual de Itapoã, no município de Viamão, R.S. - Brasil. O Parque de Itapoã é fruto de uma iniciativa no sentido de se criar uma área de lazer no local, e ao mesmo tempo de preservar suas condições ambientais, em função da variedade de espécies que habitam esta região.

A bacia de drenagem da Lagoa Negra, de aproximadamente 35 Km<sup>2</sup>, localiza-se principalmente ao norte da lagoa, ocupando os terrenos da vertente do Morro da Grota, vertente sudeste da Coxilha das Lombas e pela planície cultivada com arroz irrigado.

Quanto à sua vegetação, ao norte, o terreno é plano, e sofreu um processo de reforma agrária que alterou suas feições naturais, transformando-o em área destinada ao cultivo de arroz irrigado e a criação de gado (Volkmer Ribeiro, 1981). Nessa margem também foram observados locais com bosques

de eucaliptos e um pequeno capão de mata nativa. O morro da Grota é coberto por vegetação natural.

#### REDE DE DRENAGEM

A lagoa Negra encontra-se em uma área de topografia predominantemente plana, na planície soerguida de Viamão, onde não existem rios ou riachos significativos. Assim sendo, torna-se difícil estimar a vazão que entra na lagoa proveniente do escoamento superficial através de medições diretas. A solução aqui adotada faz uso da modelagem numérica do terreno da bacia para estimar estas entradas de vazão. Devido à pequena porção da bacia tributária localizada ao sul e ao leste da lagoa, estas regiões foram desprezadas na estimativa do escoamento superficial.

O primeiro passo foi a identificação e delimitação das sub-bacias tributárias que desembocam nas margens da lagoa.

No presente estudo, utilizou-se o modelo numérico do terreno (MNT), uma discretização regular da altimetria da região pesquisada, para representar a topografia da bacia da Lagoa Negra e através dele estimar os limites destas sub-bacias.

Utilizou-se para isto o sistema SGI/INPE, no qual foram digitalizadas as curvas altimétricas dos mapas do exército na escala 1:50.000. Interpolou-se o modelo numérico do terreno no mesmo equipamento, a partir destes pontos, usando um interpolador local de média móvel. Este algoritmo discretiza a área pesquisada através de uma matriz bidimensional, onde a cada elemento é atribuído um valor que é função da cota e da distância dos pontos de cota conhecida mais próximos. A importância, ou peso, dado a cada um deles está associado ao inverso da distância entre ele e o ponto interpolado.

Segundo a metodologia descrita em Risso & Chevallier (1991), foram estimados os caminhos da água sobre a superfície do MNT utilizando o gradiente local e a orientação estimados para cada um dos elementos da matriz de altitudes. Conhecidos estes caminhos, foram identificadas as células no extremo superior dos mesmos, que coincidem com os limites das bacias, e os extremos inferiores, próximos às margens da lagoa, que são os exutórios de cada bacia.

A figura 1 mostra as bacias identificadas pelo método acima descrito. Foram consideradas 23 bacias, ficando parte da área total da bacia da

Lagoa Negra fora deste grupo. Isto se deve ao fato destes pontos ficarem dentro de bacias muito pequenas, que foram desconsideradas, mas que, numa análise mais detalhada, poderão ser incluídas. O modelo numérico do terreno que foi utilizado como base para a delimitação espacial das sub-bacias foi interpolado com resolução espacial de 200x200 metros.

#### CLASSIFICAÇÃO DE IMAGEM DE SATELITE

A aplicação dos processos de classificação de imagens de satélite tem sido amplamente utilizada no estudo dos recursos naturais, tornando-se uma ferramenta importante no estudo de bacias hidrográficas. Muitos pesquisadores como Tao & Kouwen (1989) e Paiva Filho et alii (1988) utilizaram esta técnica para obter informações a respeito da cobertura e uso do solo, mostrando objetivos atingidos e o poder deste auxílio.

A classificação digital é um processamento visando substituir a interpretação visual (subjetiva) por decisões objetivas, auxiliando o analista nas situações onde ele tenha uma interpretação muito vaga ou ambígua de um determinado elemento (pixel) da cena.

O processo de classificação multiespectral atribui um pixel a uma das várias possíveis classes (tipos de alvos) pré-determinados, conhecidos na cena: O produto final derivado deste processo é um mapa temático onde cada pixel está representado como membro de uma classe determinada.

No presente trabalho, uma imagem multiespectral LANDSAT - TM foi classificada através do método da máxima verossimilhança gaussiana para estimar a área ocupada por vários tipos de cobertura superficial do solo na bacia da Lagoa Negra.

O algoritmo da máxima verossimilhança utiliza funções discriminantes, que são calculadas como função dos níveis de cinza médios de cada classe e suas respectivas matrizes de variância - covariância, para estimar a classe mais provável para cada pixel. Este algoritmo foi escolhido por ele considerar a rotação espectral das classes através da matriz de variância - covariância.

As bandas TM-3, TM-4 e TM-5 da imagem LANDSAT - TM do dia 26/06/87 foram utilizadas para efetuar a classificação. Utilizou-se para isto o sistema de processamento de imagens SITIM-150. As classes consideradas na classificação foram: Cobertura

vegetal natural, áreas cultivadas, pastagem, solo nu e solo remexido.

Devido à geometria própria do sistema LANDSAT, esta imagem necessitou ainda ser espacialmente registrada com cartas topográficas para corrigir sua distorção em relação ao norte geográfico.

#### ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Escoamento superficial é aquela porção da precipitação que se direciona para os corpos d'águas como um fluxo superficial ou sub-superficial.

Antes de um escoamento superficial ocorrer, a precipitação deve satisfazer as demandas de evaporação, interceptação, infiltração, estoque superficial e detenção superficial e detenção em canais ou em depressões.

Os fatores afetando o escoamento podem ser divididos dentro de fatores associados com a precipitação e aqueles associados com a bacia de drenagem.

Duração, intensidade e distribuição da chuva na bacia influenciam a taxa e o volume de escoamento. A infiltração diminuirá com o decorrer da chuva, assim uma tempestade de curta duração pode não produzir um escoamento, no entanto, uma tempestade de mesma intensidade, mas de longa duração resultará em escoamento.

Geralmente, a taxa e volumes máximos de escoamento ocorre quando a bacia toda contribui. Embora uma intensa tempestade em uma porção da bacia possa resultar em um maior escoamento que uma moderada tempestade sobre a bacia inteira.

Fatores da bacia afetando o escoamento superficial são: tamanho, declividade, geologia e cobertura superficial.

A geologia ou o solo determinam em um alto grau a taxa de infiltração, e assim afetam o escoamento superficial. Vegetação e prática agrícola também influenciam a infiltração. A vegetação retarda o fluxo e aumenta a detenção superficial reduzindo a taxa de pico do escoamento. Trabalhos antrópicos, tais como, diques, represas, pontes e bueiros, todos influenciam na taxa do escoamento.

Métodos de estimativa do escoamento superficial necessariamente negligenciam alguns fatores e simplificam a influência de outros.

A estimativa do volume escoado proveniente de cada sub-bacia a partir de uma

determinada precipitação foi realizada através do Método do Soil Conservation Service (SCS), um modelo originalmente desenvolvido para regiões agrícolas.

Neste método usa-se três variáveis para determinar o escoamento superficial direto: a precipitação, a umidade anterior e o complexo hidrológico solo-vegetação. A estimativa é dada pela equação:

$$Q = (P - 0,2 * S)^2 / (P + 0,8 * S)$$

para  $P \geq 0,2 * S$

Onde:

Q - volume do escoamento direto (mm)

P - precipitação da tormenta (mm)

S - um parâmetro de retenção da bacia

Por conveniência na avaliação antecedente da umidade, condições do solo, uso da terra e práticas de conservação, o U.S. Soil Conservation Service (Estados Unidos, 1967) introduz o número da curva (NC) e define:

$$S = 25400 / NC - 254$$

Os solos são classificados dentro de quatro grupos hidrológicos, designados por A, B, C e D, de acordo com o potencial de escoamento, onde A tem o potencial mais baixo e D, o mais alto.

Ragan & Jackson (1980) propõem uma metodologia para a escolha do número da curva associado a este método a partir de imagens de satélite.

No presente trabalho, a informação a respeito do uso e cobertura do solo foi estimada a partir da imagem temática resultante da classificação pelo método da máxima verossimilhança e introduzida no SGI como um plano de informação.

Outro parâmetro necessário no modelo SCS é o tipo do solo da área de estudo. Ele foi obtido do Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Rio Grande do Sul, de 1973. O mapa pedológico foi digitalizado como outro plano de informação no SGI.

Estes dois planos de informação foram cruzados no SGI, junto com um terceiro contendo as 23 sub-bacias identificadas previamente, do qual resulta um plano contendo as várias combinações de solo e cobertura vegetal em cada sub-bacia, do que se deriva o número da curva para cada uma delas e, conseqüentemente, a estimativa do escoamento.

## AValiação DE PRODUÇÃO DE FOSFORO

A contribuição de nutrientes, resultante das atividades humanas sobre a superfície do terreno, pode contribuir nos processos de eutrofização de lagoas. O conhecimento de áreas potencialmente perigosas quanto à produção de nutrientes resulta em benefícios econômicos e sociais, mas é uma tarefa complexa.

Alguns modelos têm sido concebidos para estimar este tipo de fontes poluidoras, entre eles encontram-se o ANSWERS (Areal Non-Point Source Watershed Environmental Response Simulation) e o CREAMS (Chemical, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems). A análise aqui apresentada não pretende chegar ao nível de detalhe destes modelos, e sim está orientada a uma primeira identificação das áreas onde a produção de nutrientes é maior e que portanto devem receber maior atenção.

Os nutrientes se originam no próprio solo e estão presentes no ciclo natural da vegetação. Em campos agrícolas, sua concentração na camada superficial do solo é aumentada através da aplicação de fertilizantes. A vegetação absorve a quantidade necessária de nutrientes para seu desenvolvimento. O Excesso pode ser transportado através do escoamento superficial e eventualmente depositados nos lagos.

Pesquisas descritas em bibliografias estimam valores médios da produção de poluentes em função do uso dado à terra. Alguns dos autores se baseiam na concentração média de substâncias no escoamento proveniente da área homogênea. Outros autores preferem estimar a produção anual de poluentes por unidade de área unicamente como função do uso e a cobertura superficial do solo (Borges et alii, 1990).

No presente estudo, a produção de fósforo por unidade de área em cada bacia é estimada com base na concentração deste nutriente no volume escoado, calculado pelo método do Soil Conservation Service. A quantidade (em massa) de poluentes (M) é dado pelo produto do volume escoado (Vol) vezes a concentração do poluente (C):

$$M = C * Vol$$

Neste trabalho considera-se unicamente o fósforo, mas outras substâncias podem receber um tratamento similar. Os valores serão apresentados

em termos de massa de fósforo por unidade de área de cada bacia.

Vários são os autores que estimaram os valores da concentração "C" para fósforo, entre os quais pode-se citar Haith & Tubbs (1981), Characklls et alii, (1979), Haith & Dougherty (1976) e Harm et alii (1974). A partir destes autores, e em função dos tipos de cobertura e usos do solo encontrados nas sub-bacias da Lagoa Negra, optou-se por atribuir os valores relacionados na tabela 1 às classes consideradas.

TABELA 1 - Concentração de fósforo (mg/l) para as classes consideradas. (Valores obtidos a partir de Characklls et al., Harm et al., Haith & Tubbs e Haith & Dougherty)

| CLASSE                    | C (mg/l) |
|---------------------------|----------|
| Cobertura vegetal natural | 0.039    |
| pastagens                 | 0.490    |
| terras cultivadas         | 1.050    |
| solo nu                   | 3.700    |
| terra remexida            | 6.300    |

Como é natural, em cada sub-bacia co-existem áreas de várias classes, pelo que o valor utilizado em cada uma delas foi ponderado em função da parcela de área ocupada pelas classes, segundo a seguinte fórmula:

$$c(j) = \frac{\sum_{i=1}^5 (c(i) * A(i,j))}{\sum_{i=1}^5 A(i,j)}$$

onde (i) é o valor da concentração para a classe "i" e A(i,j) é a área ocupada pela classe "i" na bacia "j". Novamente, as áreas ocupadas por cada classe foram derivadas da imagem temática da classificação da imagem multiespectral LANDSAT-TM.

Assim, através da combinação da informação a respeito da precipitação, da concentração associada a cada bacia e o plano contendo as sub-bacias da Lagoa Negra foi possível avaliar o grau com que cada uma delas é fonte potencialmente poluidora.

Os resultados, para uma chuva intensa de 52mm e período de retorno de 2 anos, foram agrupados em cinco faixas de produção de fósforo por unidade de área, as quais são mostradas na figura 2.

Os valores obtidos são numericamente altos, em comparação àqueles observados na bibliografia, mas diferenciam claramente as bacias.

Os menores valores estão associados às sub-bacias cuja cobertura vegetal natural é melhor. Entre elas estão as bacias da região ocidental, nas imediações do Morro da Grota.

As bacias com terreno menos acidentado, onde se encontra maior atividade agrícola, são as que apresentam valores altos. Elas se localizam nas margens norte da lagoa, especialmente em seu braço menor.

Os maiores valores relativos estão associados a bacias onde encontram-se áreas de solo remexido para fins agrícolas, onde o transporte de poluentes pelo escoamento superficial torna-se mais fácil.

A bacia número 22, apesar de desembocar no braço menor da lagoa não apresenta valores altos devido ao fato de grande parte de sua área estar ocupada por cobertura natural.

#### CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia descrita neste trabalho confirma a viabilidade da utilização de sensoriamento remoto no estudo da produção difusa de poluentes.

Através do uso de imagens multi-espectrais e SIG podem ser estimados alguns parâmetros associados a esta forma de poluição e ainda pesquisar e analisar a distribuição espacial das áreas mais críticas.

A presente é uma primeira abordagem simplificada, motivo pelo qual os valores obtidos devem ser analisados com cautela. Seu cálculo necessita estimativas da concentração de fósforo na vazão escoada, dados estes que ainda são precários no país, e que têm grande variabilidade espacial. A concentração de poluentes é função de vários fatores como o regime pluviométrico, as culturas e a cobertura vegetal do solo, o tipo do solo e as práticas agrícolas locais, motivo pelo qual o uso de valores obtidos em outras regiões nem sempre é o mais apropriado. No entanto, para fins de uma análise qualitativa podem ser utilizados, com as devidas limitações.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- CHARACKLLS, W.R.G. et al.. 1979. Rainfall Quality, Land Use and Runoff Quality. Journal of the Environmental Engineering Division, New York, V. 105, p.416-419.

- ESTADOS UNIDOS. Bureau of Reclamation. 1967. Diseno de presa pequenas. México. Continental. 639p. Apêndice A.
- HAITH, D.A. & Dougherty, J.V.. 1976. Nonpoint Source Pollution from Agricultural Runoff. Journal of the Environmental Engineering Division, New York, p.1055-1069.
- HAITH, D.A. & Tubbs, L.J.. 1981. Watershed Loading Functions for Nonpoint Sources. Journal of the Environmental Engineering Division, New York, p.121-137.
- HARM, L.L. et al.. 1974. Physical and Chemical Quality of Agricultural Land Runoff. Journal Water Pollution Control Federation, Washington, V. 46, p.2460-2470.
- PAIVA FILHO, Augusto et alii.. 1988. Utilização de Imagens LANDSAT-TM no Inventário Hidro-energético da Bacia do Rio Paraíba do Sul. IV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. p.645-653.
- RAGAN, R.M. & Jackson, T.J.. 1980. Runoff Synthesis Using LANDSAT and SCS Model. Journal of the Hydraulics Division, p.667-678.
- RISSE, A. & Chevallier, P.. Uso de um Modelo Numérico do Terreno para a Obtenção dos Parâmetros Topográficos da Equação Universal de Perda de Solo Modificada. IX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Rio de Janeiro, 1991.
- TAO, Tao & Kouwen, Nicholas. 1989. Remote Sensing and Fully Distributed Modelling for Flood Forecasting. Journal of Water Resources Planning and Management, V. 115, No. 6, Nov-1989, p.811-823.
- VOLKMER-RIBEIRO, C.. 1981. Limnologia e a Vegetação de Macrófitas na Lagoa Negra, Parque Estadual de Itapuã, Rio Grande do Sul. Iheringia: Botânica, Porto Alegre, No. 27, p.41-68.

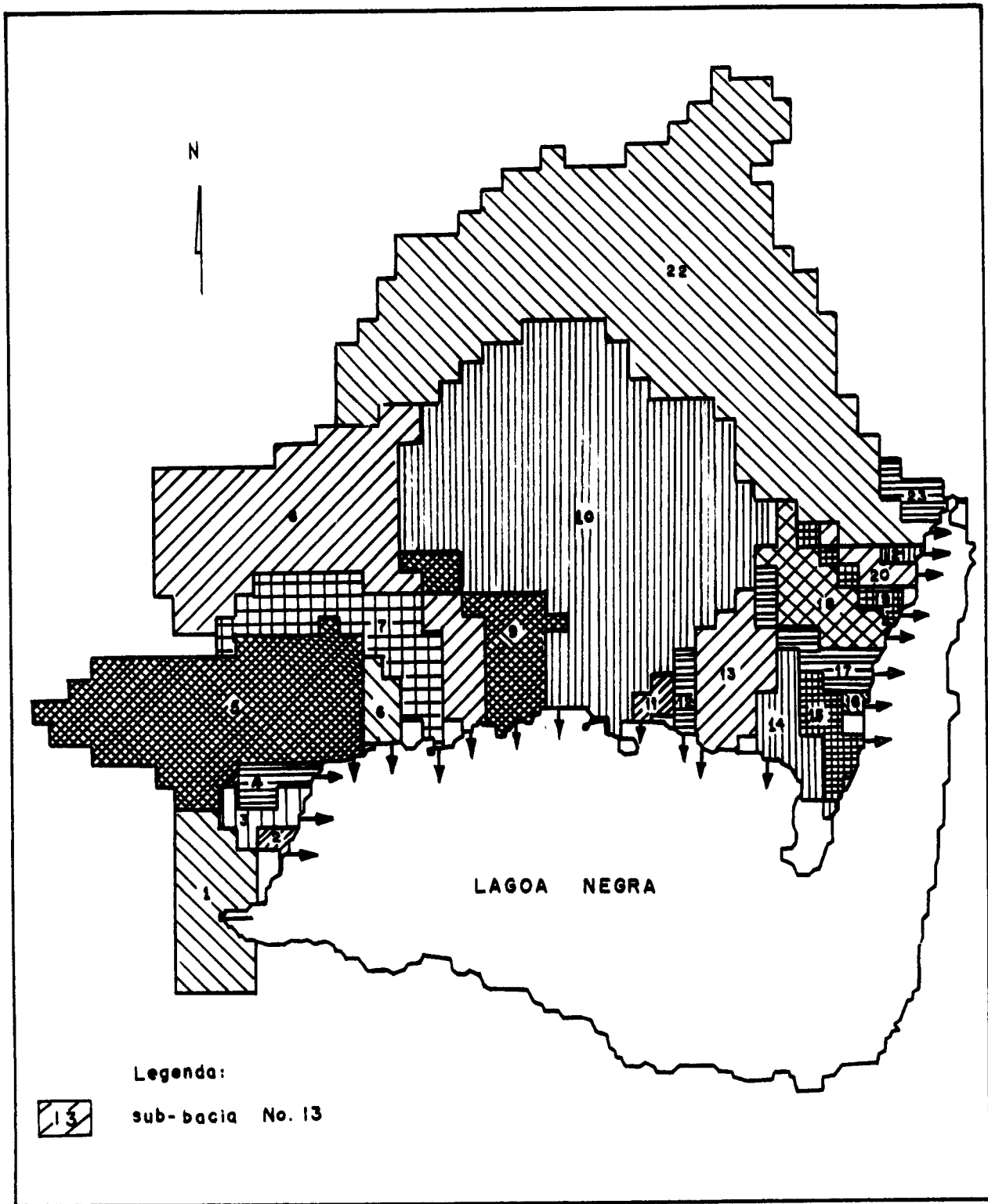


FIGURA 1 - Sub-bacias da Lagoa Negra delimitadas por processos digitais.

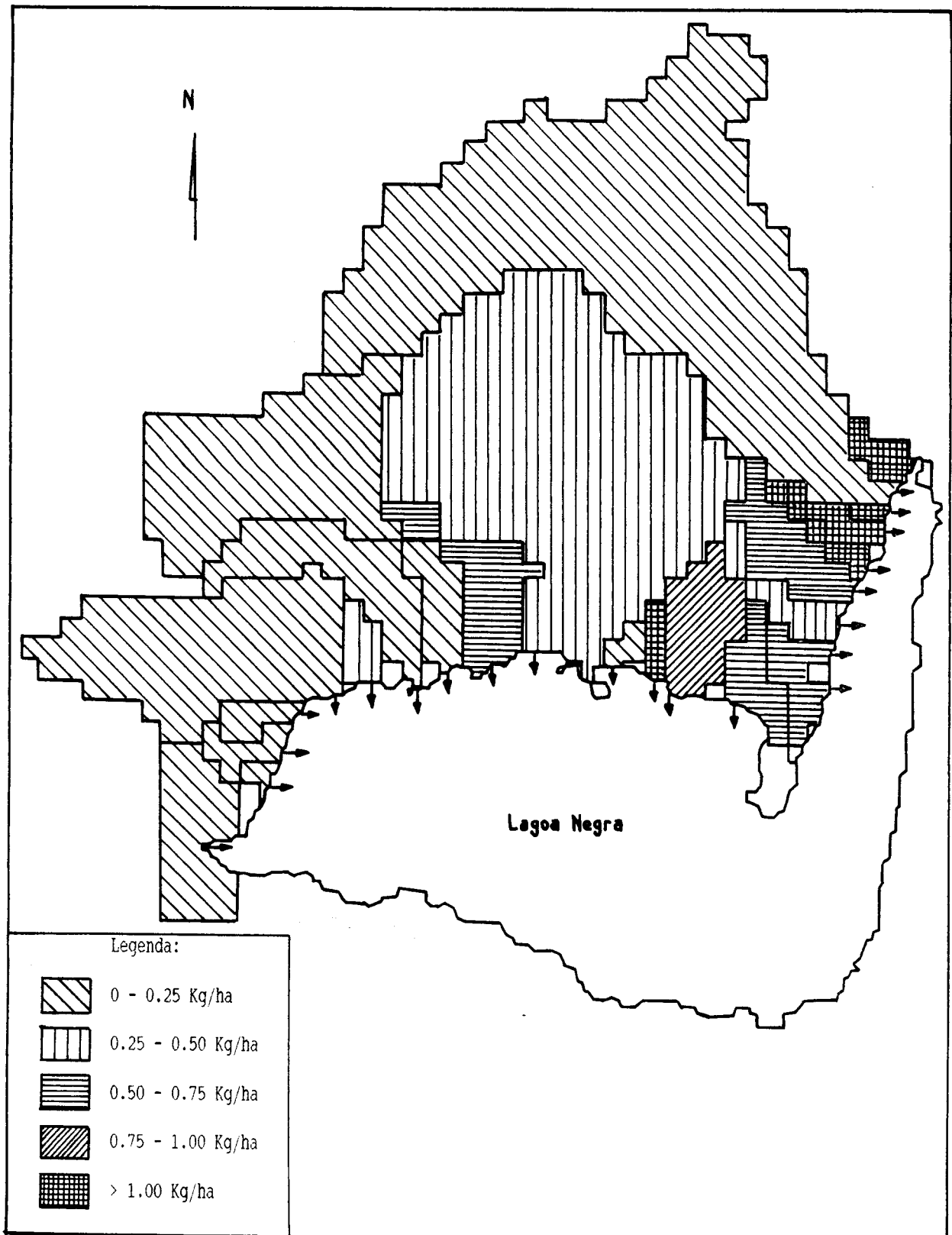


FIGURA 2 - Sub-bacias da Lagoa Negra agrupadas em faixas de produção de fósforo por unidade de área.