

RESULTADOS PRELIMINARES DA INTERPRETAÇÃO AUTOMÁTICA DE DADOS DO MSS-LANDSAT,
APLICADA A ESTUDOS DE ÁREAS DE REJEITO DE CARVÃO, NA REGIÃO DE CRICIÚMA,
ESTADO DE SANTA CATARINA, BRASIL

H.J.H. Kux e D. de M. Valeriano

Instituto de Pesquisas Espaciais

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

Caixa Postal 515, 12200 - São José dos Campos, SP, Brasil

RESUMO

A região carbonífera do sul de Santa Catarina é considerada uma das áreas mais poluídas do Brasil. Este trabalho apresenta a metodologia e os resultados preliminares da aplicação de dados digitalizados do MSS-LANDSAT para o monitoramento das áreas de rejeitos de mineração de carvão e as suas consequências ambientais para esta região.

ABSTRACT

The coal mining district from Southern Santa Catarina State is considered one of the most polluted regions in Brazil. This study presents the methodology and the preliminary results of the application of digitized MSS-LANDSAT data to monitor the coal refuse areas and its environmental consequences to this region.

1. INTRODUÇÃO

A utilização de dados do MSS-LANDSAT para o monitoramento de atividades de mineração de carvão e de recuperação ambiental teve um grande desenvolvimento, na década passada, principalmente nos E.U.A.. Isto é explicável por dois motivos: 1) pela aprovação, no início da década passada, de uma detalhada e severa legislação ambiental específica para áreas de mineração, o "Surface Mining Control and Reclamation Act"; 2) pela possibilidade de utilização de dados multiespectrais do MSS-LANDSAT, juntamente com dados "convencionais" (fotos aéreas pancromáticas, coloridas ou infravermelhas) de Sensoriamento Remoto, para o efetivo controle das atividades de recuperação ambiental, tais como: recomposição vegetal sobre áreas de rejeitos, remoção de bacias de decantação de finos, etc. Isto foi demonstrado pelo grande volume de publicações e relatórios de pesquisa que comprovaram a viabilidade de utilização das técnicas de interpretação automática de dados do MSS-LANDSAT, para os problemas específicos de recuperação ambiental em áreas de mineração de carvão, como p. ex. ALEXANDER et alii (1973); HUGHES et alii (1975); WOBBER et alii (1975); FISH (1977); RUSSELL (1977); ANDERSON and TANNER (1978); MAMULA (1978); BAYNE and LAWRENCE (1979). Trabalhos realizados através de interpretação automática de dados de "scanners" multiespectrais permitem identificar classes com um grau de detalhamento bastante refinado, devido à sua melhor resolução espacial (comparada com a do MSS-LANDSAT) e ao uso de um número maior de faixas espec

trais para aquisição de informações. Exemplos deste tipo de abordagem encontram-se em: SPISZ (1978), TANNER (1979), SPISZ and DOOLEY (1980) e IRONS et alii (1980).

Nas áreas de mineração de carvão do Brasil (Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul) não foram, até o momento, realizados trabalhos sistemáticos de monitoramento da atividade de mineração de carvão e da consequente degradação ambiental, através de técnicas de Sensoriamento Remoto, tal como vêm sendo realizados nos E.U.A.. Dentro desta perspectiva, o "Projeto Carvão", do qual o presente trabalho apresenta os primeiros resultados, propõe-se introduzir, pesquisar e desenvolver metodologias de Sensoriamento Remoto voltadas essencialmente para os problemas ambientais de correntes da mineração na Bacia Carbonífera Sul Catarinense e áreas adjacentes. Como nesta região os rejeitos piritosos de carvão podem ser considerados as principais fontes emissoras de poluentes do solo, da água e do ar, procurou-se, neste trabalho, mapear a extensão das áreas de rejeito nas proximidades da cidade de Criciúma, até as cidades de Siderópolis e Cocal (Figura 1), considerando-se que esta é a região de mineração mais antiga e, portanto, com problemas ambientais mais graves.

2. DESCRIÇÃO SUCINTA DA ÁREA DE ESTUDOS E COLOCAÇÃO DOS PROBLEMAS DE POLUIÇÃO

A região em torno de Criciúma, cuja ocupação com pequenos núcleos coloniais remonta

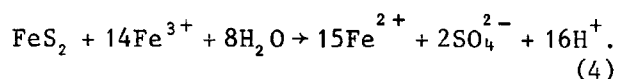
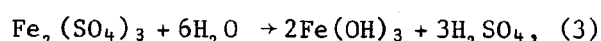
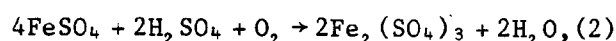
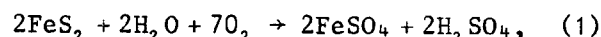
a mais de cem anos, é atualmente uma área em acentuado processo de urbanização. (População do Município de Criciúma em 1980: 110.000 hab.; densidade demográfica: 403 hab./km²). A população tem crescido, nos últimos anos, a uma taxa média anual de 3%; espera-se um aumento ainda maior nos próximos anos, quando diversas indústrias pesadas deverão ser instaladas nos arredores de Criciúma. Este processo de urbanização é devido, em parte, ao fechamento de minas antigas, pouco produtivas e, em parte, à emigração de áreas rurais causada, entre outros motivos, pela baixa produtividade das culturas anuais, terrenos predominantemente colinosos, lixiviação e erosão dos solos, etc. Em virtude da falta de mananciais com vazão suficiente nas proximidades e da poluição dos rios da região, a água potável de Criciúma provém de uma captação do rio Guarapari, localizada 60 km a W da cidade.

Segundo Cardoso et alii (1981), as minas e coqueiras expelem diariamente nos rios da região um total de 110.000 m³ de dejetos líquidos, cujos valores de pH variam entre 2 e 3, com teores de sulfato de 7000 miligramas/litro e de ferro de 2000 miligramas/litro. Juntamente com os dejetos líquidos, a drenagem da região recebe uma carga de finos (siltes e argilas) provenientes de áreas de rejeitos, o que tem causado assoreamento ao longo dos rios, tornando frequentes as inundações das várzeas durante o período de cheias.

Devido a um elevado teor de impurezas, como cinzas, p. ex., o carvão da Bacia Carbonífera Sul Catarinense precisa passar por um longo processo de beneficiamento, resumido abaixo (LENZ, 1977): o material proveniente da mina, conhecido como "run of mine" (ROM), sofre uma pré-lavagem, sendo dividido, por densidade, em duas frações. A primeira compreende um volume variável de rejeitos piritosos (com até 20% de piratas) e perdas; corresponde a aproximadamente 70% do volume total de ROM. A segunda, com um conteúdo médio de cinzas em torno de 28%, denominada "carvão pré-lavado" (CPL), é transportada por ferrovia ao Lavador Central de Capivarí, próximo à cidade de Tubarão. Após britagem e lavagem, esta fração é dividida em duas partes aproximadamente iguais: a primeira consiste em carvão metalúrgico (com 18,5% de cinzas e 1,8% de enxofre); a segunda, em carvão-vapor (com aproximadamente 40% de cinzas e 3% de enxofre), que é queimada na Usina Termoeletrica Jorge Lacerda, localizada na Vila Capivarí. Os valores citados são médias válidas para as melhores camadas de carvões betuminosos de Santa Catarina; localmente os valores para rejeitos, cinzas e enxofre podem ser mais elevados. Uma parte dos rejeitos piritosos

originados do processo de beneficiamento (250.000 toneladas/ano de resíduos de pirita com 44% de S) é usada como matéria-prima numa fábrica de ácido sulfúrico, localizada junto ao porto carbonífero de Imbituba (PUTZER, 1977).

Durante os processos de lavagem mencionados, o enxofre contido na pirita (FeS₂) sofre diversas modificações na presença da água e do ar (BARTON, 1978). Assim tem-se que:



Na Equação 1 o íon de sulfato é originado por uma oxidação de dissulfeto de ferro; na Equação 2 o ferro ferroso torna-se ferro férrico não-hidrossolúvel. Quando a concentração de ácido sulfúrico diminui na água, o ferro férrico é hidrolisado a hidróxido de ferro, (Equação 3), o qual origina a coloração vermelho-amarelada nos rios ácidos. Outra reação possível de pirita com água é a sua oxidação pelo ferro férrico (Equação 4). De acordo com Barton (1978), a interrupção prolongada ou o término das atividades de mineração pode aumentar a intensidade destas reações produtoras de ácidos se não houver drenagem ou bombeamento d'água. Esta situação é frequentemente encontrada nas proximidades de Criciúma.

Outro tipo de refugo da atividade de mineração de carvão, os rejeitos "estéreis", constituem o material de cobertura das camadas carboníferas nas minerações a céu aberto. Este tipo de mineração predomina de Siderópolis para o norte, onde estas camadas se localizam muito próximas à superfície do solo. O seu potencial poluidor é bem menor que aquele dos rejeitos piritosos, já que contribuem principalmente com finos (argilas e siltes) para as bacias de drenagem, e para o assoreamento dos rios da região.

Considerando o Plano do Carvão Nacional uma previsão realista (RAMOS, 1982), espera-se, para 1985, uma produção anual total da ordem de 17 milhões de toneladas de CPL. A Bacia Carbonífera Sul Catarinense certamente participará com pelo menos dois terços deste total, ou seja, com aproximadamente 12 milhões de toneladas/ano de CPL. Esta produção corresponderá a pelo menos 24 milhões de toneladas de rejeitos (não se incluíram os dejetos líquidos de minerações) com imprevisíveis consequências ambientais.

3. MATERIAIS

- Fotografias aéreas infravermelhas coloridas, tomadas em agosto de 1978 pela AEROFOTO CRUZEIRO DO SUL S.A., na escala 1:45.000.
- Mapas de rejeitos de minerações de carvão compilados pelos técnicos da ECP (Firma ENGENHEIROS CONSULTORES & PROJETISTAS).
- Fita compatível com o computador (CCT), órbita 178, ponto 32, datada de 24.04.78.
- Analisador de imagens multiespectrais da GENERAL ELECTRIC CO. (Sistema IMAGE-100).

4. MÉTODOS

Nas duas seções seguintes serão sucintamente descritos os procedimentos usados para o pré-processamento de dados e para a sua interpretação automática pelo sistema IMAGE-100.

4.1 - CORREÇÃO DE EFEITOS ATMOSFÉRICOS

Para minimizar os efeitos atmosféricos de retroespalhamento da radiação solar e da reflexão da radiação difusa do céu no alvo, foram aplicados os seguintes procedimentos, conforme comunicação pessoal de R.P.Lyon:

- Uma área localizada na extremidade da "Serra Geral" de Santa Catarina (algumas dezenas de quilômetros a oeste da área em estudo), onde ocorrem vales encaixados e profundos e, portanto, com extensas áreas sombreadas na imagem, foi ampliada para a escala 1:100.000 no display do IMAGE-100.
- Usando-se um algoritmo "cluster synthetizer" (GENERAL ELECTRIC COMP., 1975), aqueles "pixels" cujos valores do canal 7 variavam entre 0 e 1, numa resolução de 255, foram alarmados e atribuídos a um dos temas do sistema IMAGE-100.
- Este tema foi usado como amostra em um algoritmo de extração de parâmetros em célula única ("single-cell parameter extraction algorithm" da GENERAL ELECTRIC COMP., 1975); e os valores médios destes "pixels" foram subtraídos de toda a imagem para cada canal.

4.2 - CORREÇÃO RADIOMÉTRICA

Para eliminar os efeitos de bandeamento ("stripping") ocasionados pelas diferentes

respostas dos sensores do MSS-LANDSAT da mesma banda espectral, foi aplicado à imagem um procedimento de rotina baseado em um operador local.

O operador compara a média local de uma linha X com a média local da linha X-1, e se a diferença for maior do que um determinado limiar será somada ao ponto da linha X. Para evitar a propagação de erros, um outro limiar é estabelecido no sistema, o qual estipula um limite a ser somado a cada ponto (DUTRA et alii, s.d.).

4.3 - ANÁLISE DA VERDADE TERRESTRE

Os principais dados de verdade terrestre disponíveis para a região foram diversos mapas de rejeitos de mineração. Neste estudo, as seguintes classes destes mapas foram usadas:

- | | | |
|-----------------------|---|--|
| 1) Rejeitos estéreis | [| 1.1) ativos; |
| | | 1.2) abandonados e sem vegetação; |
| | | 1.3) abandonados e cobertos com vegetação. |
| 2) Rejeitos piritosos | [| 2.1) ativos; |
| | | 2.2) abandonados e sem vegetação; |
| | | 2.3) abandonados e cobertos com vegetação. |

Além disso, foi feito um trabalho de campo preliminar, a nível de reconhecimento dos problemas, que permite caracterizar visualmente os dois tipos de rejeitos, estéreis e piritosos.

4.4 - CLASSIFICAÇÃO TEMÁTICA DE DADOS DO MSS-LANDSAT

Inicialmente procedeu-se a uma classificação não-supervisionada cujo objetivo foi a compartimentação da área em classes espectralmente semelhantes. Para isto usou-se um algoritmo de agregamento ("cluster"), o "Média K" (DUTRA et alii, s.d.).

Este algoritmo de agregamento, implementado no sistema IMAGE-100 do INPE, inicia contando os "pixels" que ocupam cada cela num espaço de quatro canais. Estas celas são ordenadas de forma decrescente, de acordo com o número de "pixels" nelas contidos.

As primeiras K celas serão os K centros iniciais do algoritmo. Calculam-se então as distâncias euclidianas entre estes centros e o resto das celas. Através de uma rotina de vizinho mais próximo, cada cela é atribuída a um dos centros. Os valores médios de cada ca

nal para cada população serão os novos centros e toda a interação é repetida. Um número mínimo de celas é dado para que uma população seja considerada como tal. Este procedimento terminará quando um determinado número de interações for alcançado ou quando a distância entre o novo centro e o anterior for inferior a um determinado limiar. O vetor médio e a matriz de covariância das populações entram num algoritmo de "máxima verossimilhança" (VELASCO et alii, 1979) para classificar toda a imagem.

Considerando-se que o objetivo principal deste estudo foi identificar e localizar somente as áreas relacionadas com a atividade de mineração de carvão, fizeram-se amostragens nas áreas de interesse, cujos "pixels" obtidos foram utilizados como universo para a determinação não-supervisionada das classes, para a qual foram pedidos 6 centros.

A classificação obtida apresentou, em todas as classes, erros de inclusão e omissão. A etapa seguinte consistiu na utilização de mapas de depósitos de rejeitos como verdade terrestre, e na classificação não-supervisionada para a orientação de amostragens num procedimento supervisionado (Lyon and Prelat, 1978), usando-se o algoritmo acima mencionado (Velasco et alii, 1979).

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A classificação supervisionada não permitiu obter as mesmas classes que constam nos mapas de rejeitos usados (Seção 4.3). Isto se explica pela pequena diferença da resposta espectral entre, p. ex., as classes 2.2. e 2.3., devido a uma vegetação, geralmente do tipo graminóide, que ocorre sobre as áreas de rejeito, sem no entanto determinar sua cobertura efetiva. Resulta daí o erro de inclusão. Por outro lado, os rejeitos do tipo 1.3. foram erroneamente classificados como "florestas", quando de fato se tratava de rejeitos estéreis sobre os quais foi efetuada de forma aleatória uma tentativa de recuperação ambiental pelo plantio de *Eucalyptus*.

Assim sendo, para diminuir tais erros de inclusão e melhor localizar as áreas de rejeitos, na classificação final, foram consideradas somente as seguintes classes:

- áreas com rejeitos piritosos;
- áreas com rejeitos estéreis;
- áreas residenciais urbanas;
- áreas industriais;
- corpos d'água.

As áreas com rejeitos, quando não capeadas por vegetação, foram bem identificadas e localizadas com uma classificação interna relativamente boa. Assim, rejeitos com extensão mínima de até 3 ha. foram localizados, e aqueles com maior extensão foram registrados com suas formas e tamanhos reais.

A classificação interna das áreas de rejeitos estabeleceu um compromisso, pois melhorando-se a classificação dos rejeitos esteíreis incorre-se em erros de inclusão dos rejeitos piritosos e vice-versa. Esta similaridade entre ambas as classes é devida:

- ao fato de haver certa quantidade de carvão misturada com os rejeitos esteíreis, provenientes de camadas carboníferas sem interesse econômico;
- ao fato de haver carvão esparramado pelo chão nas estradas de serviço das minerações, junto aos rejeitos esteíreis;
- ao efeito de escurecimento, devido às sombras causadas pelos montes cônicos de rejeitos esteíreis;
- à combustão espontânea das áreas de rejeitos piritosos, que deixa na superfície a parte inerte do carvão a qual se assemelha aos rejeitos esteíreis.

A despeito destas restrições, a classificação das áreas de rejeitos apresentou os seguintes resultados:

- 1) A classe "rejeitos esteíreis" descreveu bem a usina a céu aberto próxima a Siderópolis. Através da comparação visual entre a classificação da imagem MSS-LANDSAT e as fotografias aéreas, pode-se notar que erros de omissão ocorreram nas áreas com recuperação natural, cobertas com gramíneas e arbustos, e nas áreas com tentativas de recuperação artificial, cobertas com *Eucalyptus*. Esta classe também está presente nas áreas de rejeitos piritosos e geralmente ocupa a periferia da área de rejeitos.
- 2) As áreas de rejeitos piritosos foram bem representadas pela classe correspondente, exceção feitas às suas bordas, onde predomina a classe de rejeitos esteíreis. Isto provavelmente é devido à característica de amaciamento causada pelo procedimento de correção radiométrica.

A classe "áreas residenciais urbanas" teve uma boa performance em Criciúma, incluindo os aglomerados urbanos menores (União, Rio

Maina, Metropolitana e São Marcos) que se estendem caoticamente ao longo do principal eixo de mineração, com direção geral SE-NW. A cidade de Siderópolis foi bem identificada e poucos erros de inclusão foram notados em áreas de mineração a céu aberto abandonadas.

A classe "áreas industriais" identificou a maior parte das grandes indústrias de Criciúma, bem como a indústria de cerâmica próxima a Cocal.

A classe correspondente a corpos d'água foi detectada somente nas áreas de rejeitos. Nas minerações a céu aberto, as trincheiras abandonadas, abertas para a retirada das camadas carboníferas, tornaram-se lagos em forma acanalada com águas ácidas. A presença de água nas áreas de rejeitos piritosos às vezes indica a existência de antigas bacias de decantação abandonadas.

6. CONCLUSÕES

Considerando-se que este trabalho constitui o primeiro passo para a utilização de dados digitalizados do MSS-LANDSAT no monitoramento de áreas de rejeitos de mineração de carvão no Brasil, os objetivos propostos foram plenamente alcançados.

Os resultados preliminares demonstram que é possível fazer a discriminação das áreas de rejeitos em relação ao "background"; tais resultados serão de grande utilidade num posterior estudo de análise multitemporal na região.

A confusão existente entre as duas classes de rejeitos de carvão pode ser resolvida através de estudos detalhados em áreas de rejeitos selecionadas, para categorizar as principais classes existentes nestas áreas. A propósito, esta será a próxima etapa do projeto em andamento, a ser desenvolvida em duas usinas a céu aberto: uma em operação e outra abandonada. Além disso, será feito um estudo detalhado sobre uma área de rejeitos piritosos, a ser escolhida.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos Senhores Nilton Rodrigues, Joaquim Arantes de Bem e Adhyles Bortot da FATMA (Fundação de Amparo à Tecnologia e ao Meio Ambiente, órgão do Estado de Santa Catarina) a generosa acolhida e colaboração na realização dos trabalhos de campo; ao Sr. Ronaldo Graça Couto da ECP (Firma Engenheiros Consultores Proje-tistas), em especial deferência por ceder mapas inéditos das áreas de rejeitos no sul de Santa Catarina, à equipe que com ele tra-

balha, por fornecer valiosas informações sobre a região em estudo; ao Prof. Dr. H. Putzer, da BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE/Rep. Federal da Alemanha, por fornecer informações bibliográficas diversas e gentilmente a utilização da Figura 1 para publicação.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDER, S.S.; DEIN, J. & GOLD, D.P. - The use of ERTS-1 MSS data for mapping stripmining and acid mine drainage in Pennsylvania. In: NASA. *Symposium on Significant Results Obtained from the ERTS-1; Proceedings of a symposium held at New Carrollton, MD, Mar. 5-9, 1973.* Washington, DC, 1973, v.1A, p. 569-575. (NASA SP-327).
- ANDERSON, J.E. & TANNER, C.E. *Remote monitoring of coal strip mine rehabilitation.* Las Vegas NV, U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 1978.
- BARTON, P. The acid mine drainage. In: NRIAGU, J.O., *Sulfur in the environment.* New York, John Wiley & SONS, 1978. p. 2, p. 313-358.
- BAYNE, J.N.; LAWRENCE, H. *Application of satellite data to surface mine monitoring in selected counties of South Carolina.* s.l. Bureau of Mines, U.S. Department of Interior, 1979.
- CARDOSO, J.; KRONBAUER, M.; COELHO, I.F.; ARAÚJO, V. *Dê a mão à natureza! Santa Catarina, Fundação de Amparo à Tecnologia e ao Meio Ambiente, 1981. 79 p.*
- DUTRA, L.V.; MOREIRA, J.C.; II, F.A.M. *Manual de usuários dos sistemas de tratamento de imagens digitais.* São José dos Campos, INPE. no prelo.
- FISH, B.R. *A feasibility analysis of the employment of satellite imagery to monitor and inspect surface mining operations in western Kentucky.* Greenbelt, MD, NASA, Goddard Space Flight Center, 1977. v.1.
- GENERAL ELECTRIC. *Image-100; user manual.* Daytona Beach, 1975.
- HUGHES, T.H.; DILLION, A.C.; DRUMMOND, S.E. & HOOKS, W.G. - *Assessment of practicality of remote sensing techniques for a study of the effects of strip mining in Alabama.* University of Alabama, 1975.
- IRONS, J.R.; LACHOWSKI, H. & PETERSON, C. *Remote sensing of surface mines: a comparative study of sensor systems.* Proceedings. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 14., San Jose/Costa Rica, 1980. *Proceedings.* Ann Arbor, ERIM, 1980, v.2, p. 1041-1053.

- LENZ, R. *Uma avaliação geológica e econômica das potencialidades carboníferas dos Estados de São Paulo, Paraná e Santa Catarina (Norte, Centro e Sul) com propostas detalhadas para futuras prospecções.* Brasília, DNPM, 1977. Tomo 1-5. Relatório inédito.
- LYON, R.J.P.; PRELAT, A. *Application of the Stanford Remote Sensing Laboratory (STANSORT) system in monitoring of surface coal mines using LANDSAT digital data.* Stanford, CA, Stanford University, 1978.
- MAMULA, N. Remote sensing methods for monitoring surface coal mining in the northern Great Plains. *U.S. Geological Survey Jour. Research*, 6(2):149-160, 1978.
- PUTZER, H. Die brasilianischen Steinkohlen-Lagerstätten und ihre optimalen Nutzungsmöglichkeiten. *Geol. Jahrbuch*, D23:3-18, Hannover 1977.
- RAMOS, B.W. Carvão: situação e perspectivas. *Revista Ciências da Terra*, (2):47-49, 1982.
- RUSSELL, O.R. *Application of LANDSAT-2 data to the implementation and enforcement of the Pennsylvania surface mining conservation and reclamation act.* Greenbelt, MD, NASA - Goddard Space Flight Center, 1977.
- SPISZ, E.W. *Application of multispectral scanner data to the study of an abandoned surface coal mine.* Washington, DC, NASA, 1978. (NASA TM-78912).
- SPISZ, E.W.; DOOLEY, J.T. *Assessment of satellite and aircraft multispectral scanner data for strip-mine monitoring.* Washington, DC, NASA, 1980. (NASA TM-79268).
- TANNER, C.E. *Computer processing of multispectral scanner data over coal strip mine.* Washington, DC, EPA, 1979. (EPA Publication nº 600/7-79-080).
- VELASCO, F.R.D.; PRADO, L.O.C.; SOUZA, R.C. M. *Sistema Maxver; manual do usuário.* São José dos Campos, INPE, 1979. INPE, 1979. (INPE-1315-NTI/110).
- WOBBER, F.J.; RUSSELL, O.R. & DEELY, D.J. Multiscale aerial and orbital techniques for management of coal-mined lands. *Photogrammetria*, 31(4):117-133, 1975.

CIDADES

- 1 - IMBITUBA
- 2 - LAGUNA
- 3 - TUBARÃO
- 4 - CAPIVARI
- 5 - ORLEÃES
- 6 - LAURO MÜLLER
- 7 - URUSSANGA
- 8 - COCAL
- 9 - CRICIÚMA
- 10 - UNIÃO
- 11 - RIO MAINA
- 12 - METROPOLITANA
- 13 - SÃO MARCOS
- 14 - SIDERÓPOLIS

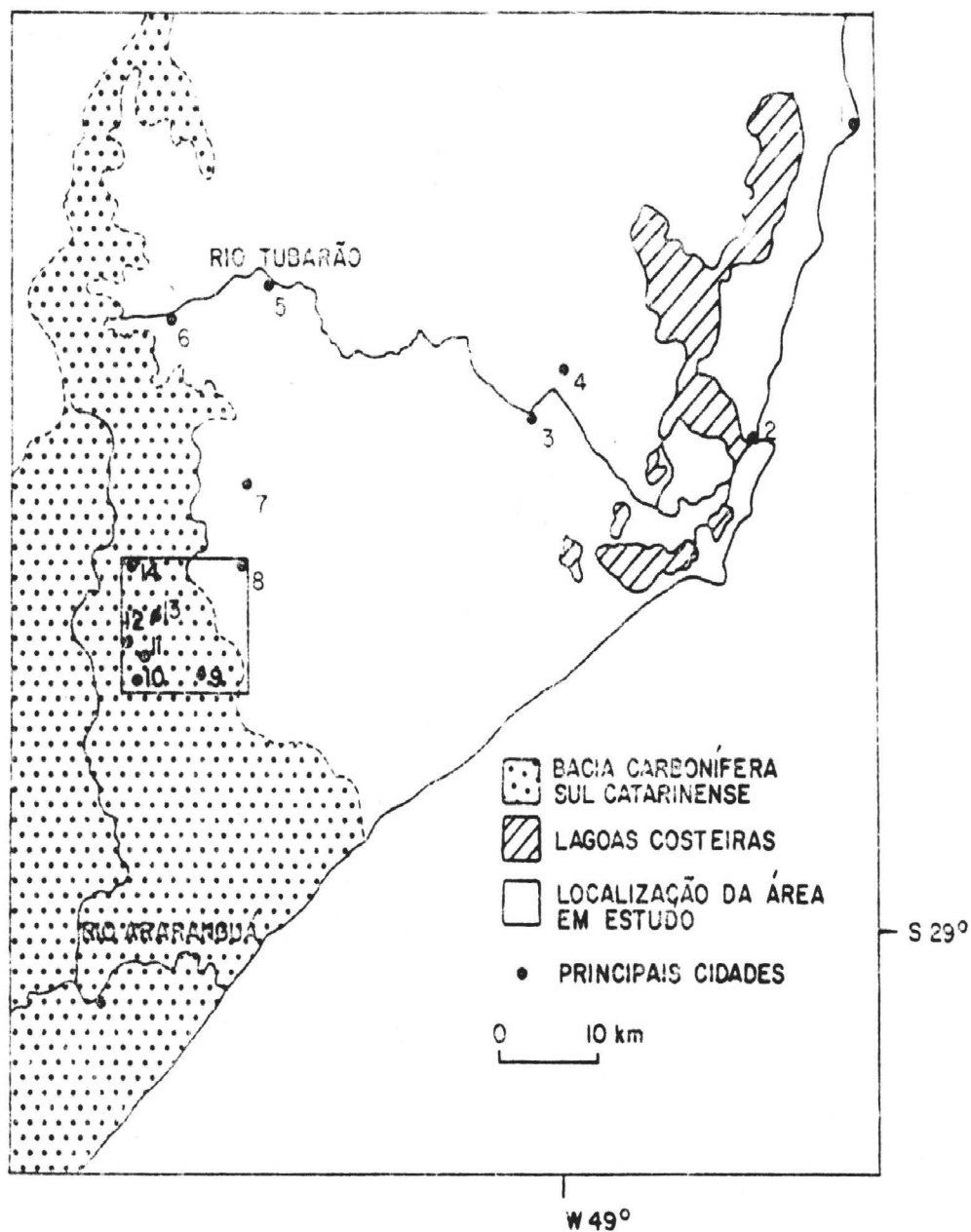
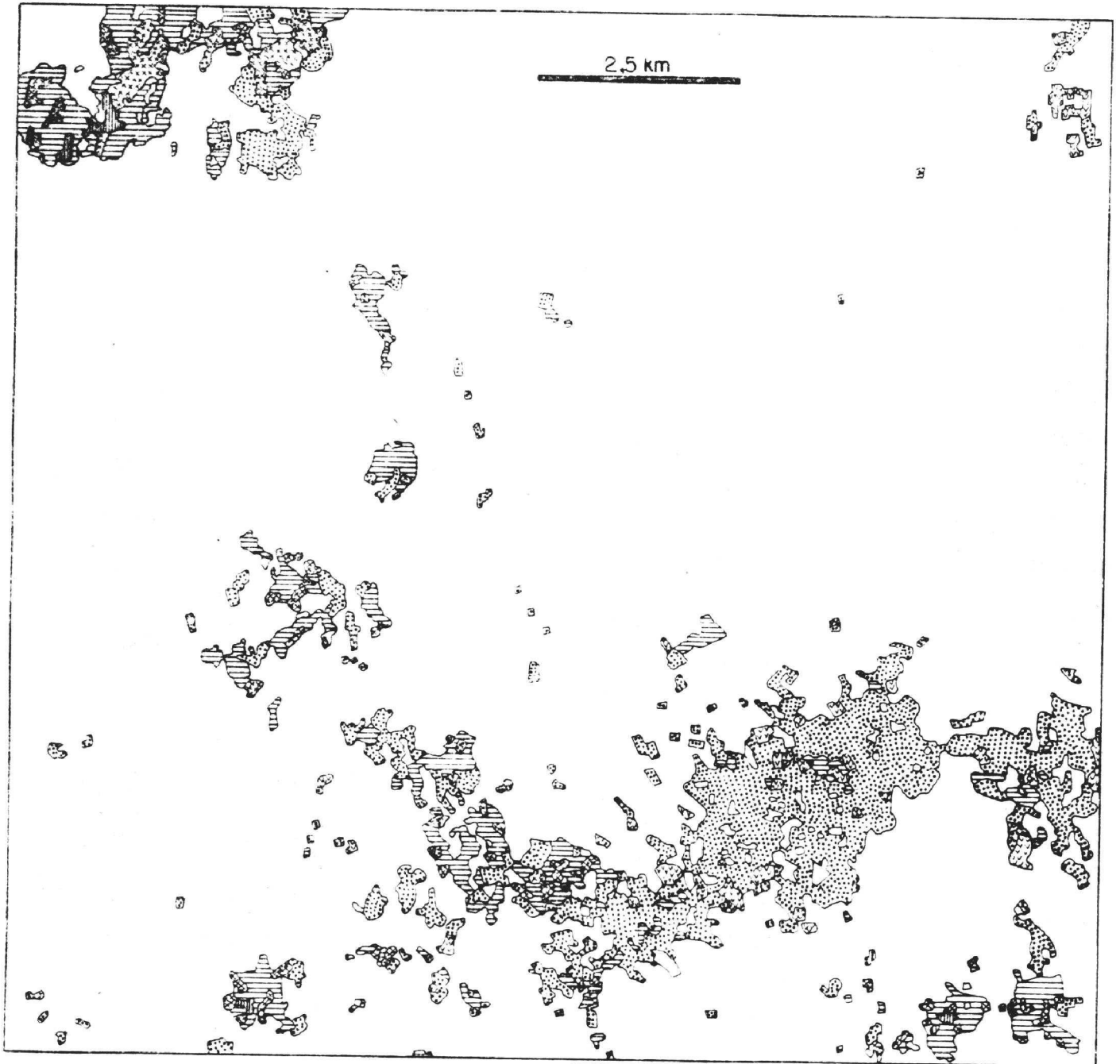


Fig. 1 - Localização da área em estudo e das principais cidades na região.



LEGENDA




-  A URBANA - INDUSTRIAL
-  A URBANA - RESIDENCIAL
-  REJEITO PIRITOSO
-  REJEITO ESTÉRIL
-  ÁGUA

Fig. 2 - Classificação temática da área em estudo.