1. Classificação *INPE-COM.4/RPE*
C.D.U.:621.38SR:551.7(816.1)

2. Período

4. Critério de Distribuição:

interna [ ]

externa [X]

3. Palavras Chaves (selecionadas pelo autor)
MAPA GEOLÓGICO
SÃO PAULO
LANDSAT

5. Relatório nº
INPE-1437-RPE/012

6. Data
Março. 1979

7. Revisado por
Paulo Roberto Martini

8. Título e Sub-Título

MAPA GEOLÓGICO DE PARTE DO ESTADO DE SÃO PAULO BASEADO EM IMAGENS LANDSAT

9. Autorizado por
Nelson de Jesus Parada
Diretor

10. Setor *DSR/GMI* Código *30.311*

11. Nº de cópias *16*

12. Autoria *Gilberto Amaral*
Chan Chiang Liu
Raimundo Almeida Filho

14. Nº de páginas *20*

15. Preço

13. Assinatura Responsável

16. Sumário/Notas

Este relatório apresenta os resultados do Projeto Mapa Geológico do Estado de São Paulo, obtidos até esta data. No momento o Projeto já conta com 12 folhas geológicas concluídas 1:250.000, que cobrem cerca de 60% de área total do Estado, e um mapa fotogeológico 1:500.000 do restante. A utilização de imagens LANDSAT mostrou-se bastante adequada para o mapeamento geológico de regiões sedimentares. Como resultados principais foi possível a subdivisão da formação Bauru em três litofácies distintos, além da delineação de um conjunto de feições de caráter estrutural. Esses dados revestem-se de importância no estudo de reconstituições paleoambientais e, principalmente, no levantamento e avaliação das condições hidrogeológicas da região.

17. Observações

ÍNDICE

ABSTRACT ..... *iv*

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO 1

1.1 - Apresentação 1
1.2 - Justificativa da Escolha da Área 2
1.3 - Material e Métodos 3

CAPÍTULO II - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS 7

2.1 - Unidades Fotogeológicas 7
2.1.1 - Formação Botucatu 7
2.1.2 - Formação Serra Geral 7
2.1.3 - Formação Bauru 8
2.1.4 - Unidade Sedimentar Cenozóica 10
2.1.5 - Depósitos Aluvionais 10
2.2 - Estrutura 11
2.3 - Aspectos Hidrogeológicos 11

CAPÍTULO III - CONCLUSÕES 15

BIBLIOGRAFIA 17

ABSTRACT

This paper presents the preliminary results of the São Paulo state geological mapping program. Interpretation of LANDSAT images proved to be very efficient for acquisition and integration of Geological information on a Regional basis. The main results were:

- *Subdivision of the Bauru formation into three distinct lithofacies and delineation of structural features, yielding new information on paleoenvironmental reconstitution and hidrogeology.*
- *Delineation of several structural features and photogeological units in the precambrian basement at the eastern portion of the state.*

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1.1 - APRESENTAÇÃO

O Projeto "Mapa Geológico do Estado de São Paulo", tem como objetivo principal a integração dos dados geológicos disponíveis para o Estado, bem como a obtenção de informações em áreas pouco estudadas, com base na análise das imagens multiespectrais fornecidas pelos satélites da série LANDSAT.

O Projeto desenvolve-se em várias fases, iniciando pela coleta de dados pré-existentes e elaboração da base cartográfica, passando pela interpretação visual das imagens LANDSAT, montagem de mapas preliminares, reuniões com geológos que trabalharam ou estão trabalhando em regiões mais complexas e terminando pelos trabalhos de campo, concentrados em áreas mais controvertidas.

No momento, o Projeto já conta em 12 folhas geológicas concluídas, na escala de 1:250.000, cobrindo a região oeste do Estado e um mapa fotogeológico 1:500.000 para o restante.

No presente trabalho são mostrados os resultados preliminares já alcançados (vide mapa em anexo). As imagens LANDSAT constituiram-se em excelentes ferramentas para o mapeamento e integrações geológicas regionais, pois permitem uma visão sinótica de extensas áreas e são compatíveis com a escala de trabalho. Na região ora em foco elas possibilitaram, por exemplo, a subdivisão da formação Bauru em três litofácies distintos, comprovados por verificação de campo e análises sedimentalógicas.

Para a porção do Estado correspondente à faixa de afloramentos paleozóicos da Bacia do Paraná e seu embasamento pré-cambriano, o produto da interpretação das imagens, na escala 1:500.000 está

sendo atualmente analizado e comparado com os trabalhos prévios disponíveis para aquela região. Nesta tarefa estão colaborando os seguintes bolsistas do CNPq: Álvaro P. Crosta, Claúdio Riccomini e Teodoro I.R. de Almeida.

1.2 - JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DA ÁREA

O estado de São Paulo possui uma grande tradição no reconhecimento e mapeamento geológicos de seu território. As atividades nesse sentido, iniciaram praticamente no final do século passado, com a criação da Comissão Geográfica e Geológica, hoje em fase de reorganização, com a separação das atividades geológicas e geográficas, a primeira ligada à Secretaria da Agricultura (Instituto Geológico) e a segunda à Secretaria do Planejamento. O antigo Instituto Geográfico e Geológico desenvolveu intenso trabalho de reconhecimento geológico e mapeamento até meados da década dos 60. Desde princípios do século, duas entidades, o Departamento de Minas da Escola Politécnica e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas, ambos da Universidade de São Paulo, vem prestando sua contribuição. Ao final da decada dos 50, com a criação do curso de Geologia junto ao antigo Departamento de Mineralogia e Petrografia, ambos da então Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da USP, houve um novo ímpeto nas atividades geológicas do Estado. Com a reforma universitária ocorrida entre 1969 e 1970, todas as disciplinas geológicas, tanto da Faculdade de Filosofia como da Escola Politécnica, se reuniram para a constituição do atual Instituto de Geociências. Paralelamente a isso, o Departamento Nacional da Produção Mineral, a Petrobrás, o Departamento de Águas e Energia Elétrica e a Superintendência para o Desenvolvimento do Litoral Paulista executavam ou promoviam estudos geológicos na área do Estado. Mais recentemente, com a criação do curso de Geologia em Rio Claro e com a instalação da Agência de São Paulo da CPRM, houve um novo avanço nesses trabalhos.

Como decorrência das atividades daquelas organizações houve a produção de um grande número de trabalhos. Com isso teve-se

uma boa idéia da constituição geológica do Estado, bem como uma identificação dos principais problemas. Entretanto, notava-se ainda uma carência de mapas geológicos, em escala adequada, para boa parte do Território. Além disso, mapas executados por diferentes autores, em diferentes épocas e com objetivos distintos, apresentam-se bastante divergentes, prejudicando as tentativas de integração dos mesmos. Ainda hoje, áreas importantes do Estado possuem apenas trabalhos de reconhecimento.

Esses foram os principais fatos que animaram os autores a propor o presente programa, que objetiva, a curto prazo, o mapeamento e a intregação geológica de dados no Estado, baseado fundamentalmente na interpretação de imagens dos satélites da série LANDSAT, apoiada por análise bibliográfica, reconhecimento de campo e contatos pessoais.

1.3 - MATERIAL E MÉTODOS

O Estado de São Paulo é coberto por 19 cenas do satélite LANDSAT, cada uma cobrindo uma área de aproximadamente 35.000Km^2. Estas são de excelente qualidade e praticamente sem problemas de cobertura de nuvens. As melhores imagens foram coletadas no período de junho a agosto (entre 1972 e 1973), quando as condições climáticas são melhores. Além disso, nessa época, o ângulo de iluminação é da ordem de 30°, o que propicia um excelente realce das feições morfológicas, especialmente na faixa pré-cambriana. Mais ainda, as colheitas já foram feitas e o solo está em fase de preparação para plantio. Com isso existem boas exposições de solo, o que facilita a interpretação tonal, principalmente no canal 5. Imagens coletadas no período de novembro a março, apesar de frequentemente apresentarem problemas de nebulosidade, podem auxiliar bastante a interpretação fotogeológica.

Para o presente estudo foram utilizadas as seguintes cenas, na escala 1:500.000:

L 173231/124350 de 19/08/1973
L 173231/124415 de 19/08/1973
L 173428/12430 de 24/09/1973
L 173392/12444 de 19/08/1973
L 173213/12511 de 21/02/1973
L 173231/124440 de 19/08/1973
L 173339/12495 de 27/06/1973
L 172123/12504 de 23/11/1972
L 173232/12570 de 12/03/1973
L 172106/12564 de 06/11/1972
L 173247/12402 de 27/03/1973

em cópias em papel branco e preto, para os canais 5 e 7. Esse conjunto de imagens, compreendido entre as órbitas 178 e 220 e os pontos 26 e 29, abrange a totalidade da formação Bauru no estado de São Paulo e nas porções vizinhas dos estados do Paraná, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Goiás.

A metodologia usada pode ser subdividida nos seguintes passos:

a - Identificação e traçado de feições culturais (cidades, estradas) e grade de coordenadas.

b - Traçado do padrão de drenagem com o maior detalhamento possível.

c - Identificação e delineação das feições geomorfológicas.

d - Delimitação de unidades de textura homogênea em cada canal.

e - Integração e decisão.

No presente estudo não foram usadas imagens coloridas compostas nem interpretação automática, por serem desnecessárias. Em geral foram usados dois "overlays" de papel plástico tipo "Duplex Ultraphan", um para a drenagem e outro para as demais feições. Quando necessário foram usados "overlays" adicionais. Dado o grau de detalha

mento e resolução das imagens, as diferentes feições foram traçadas com lapiseiras com minas coloridas ou canetas com tinta nankim.

Na delineação de unidades de textura homogênea, foram analisados aspectos tais como: tonalidade, densidade e tipo dos elementos de textura, padrão do uso do solo, relevo e padrões de drenagem. Desta maneira percebe-se que a interpretação manual de imagens de satélites é conduzida da mesma maneira que para fotografias aéreas convencionais, apenas que a escala é menor e que mais de uma imagem é disponível para uma mesma área. Um fato importante a ser considerado é o de que as imagens orbitais permitem uma visão sinótica de uma vasta região, possibilitando a identificação dos grandes traços estruturais e delineação das principais unidades fotogeológicas, de maneira bastante rápida.

CAPÍTULO II

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A análise das imagens, conduzida de acordo com os critérios acima estabelecidos, resultou na identificação de 7 unidades fotogeológicas principais, na região oeste do Estado, indicadas no mapa em anexo.

2.1 - UNIDADES FOTOGEOLÓGICAS

2.1.1 - FORMAÇÃO BOTUCATU

A primeira unidade fotogeológica, ocupando posição estratigráfica inferior, ocorre na região do alto rio Tietê, na forma de uma pequena mancha, dentro dos limites da área mapeada. É caracterizada por baixa densidade de drenagem, relevo recortado por escarpas e uso do solo para atividades agropecuárias (caracterizado por grandes polígonos de delimitação de pastagens). As imagens do canal 7 realçam as feições morfológicas, permitindo o traçado das escarpas. No canal 5 estas são mostradas por uma linha escura, devido à maior densidade de vegetação. O padrão de drenagem e do uso do solo são melhor identificados neste canal.

A interpretação das feições observadas permitiu inferir que esta unidade refere-se à formação Botucatu, o que foi posteriormente verificado em campo. Esta formação é constituida predominantemente por arenitos puros, de granulação média a fina, bem selecionados e com estratificação cruzada bem desenvolvida, indicando ambiente eólico de sedimentação.

2.1.2 - FORMAÇÃO SERRA GERAL

A segunda unidade fotogeológica ocorre na região do alto rio Tietê e ao longo dos rios Grande e Paranapanema. Ela é caracte

rizada por um relevo moderado (escarpado apenas em seus contato com a Unidade anterior), densidade média de drenagem, vegetação natural bastante densa, intenso uso agrícola e pastoril e forte tonalidade escura no canal 7.

A análise de suas feições permitiu inferir que se tratava de rochas basálticas da Formação Serra Geral que formam extensos derrames na bacia. A tonalidade escura no canal 7 é devida à exposição de solos ricos em ferro, elemento este que apresenta forte absorção na região do infravermelho.

2.1.3 - FORMAÇÃO BAURU

A formação Bauru ocupa mais de 80% da região em foco. A análise das imagens permitiu reconhecer três unidades fotogeológicas dentro dessa formação, que trabalhos de campo posteriores indicaram tratar-se de três litofácies distintos, todos estretanto, pertencentes à formação Bauru. SUGUIU et. al (1977) denominaram-nos de litofácies Araçatuba, São José do Rio Preto e Marília, nomes emprestados das regiões onde eles apresentam maior distribuição.

2.1.3.1 - LITOFÁCIES ARAÇATUBA

Esta unidade corresponde ao litofácies mais inferior da formação Bauru, em contato direto com os basaltos da formação Serra Geral. Ela se apresenta ao longo dos vales dos grandes rios da região, como o rio Grande, Tietê, rio do Peixe e principalmente na regio do Pontal do Paranapanema.

O litofácies Araçatuba caracteriza-se pela densidade de drenagem relativamente baixa, na porção oeste, aumentando para leste. As tonalidades em ambos os canais são geralmente claras, o que indica escassez de cobertura vegetal, ou solo de tonalidades claras sendo exposto. O relevo é moderado e a pecuária é a única modalidade de uso do solo. Na região entre Araçatuba e o rio Tietê, a tonalidade

no canal 7 apresenta-se mais escura e há uma aumento pronunciado na densidade de drenagem. Além disso são identificadas inúmeras lagoas, em dimensões geralmente menores que 500 m., levando a crer a existência de rochas mais impermeáveis.

Esse litofácies caracteriza-se no campo pela existência de siltitos de colocação vermelha, passando lateralmente a arenitos siltosos de coloração vinho e algum bancos de arenito de granulação média, com estratificação cruzada. Para a região do rio Paraná e Pontal do Paranapanema, essa unidade apresenta características de ser mais arenosa e parece passar gradualmente para o que é mapeado no estado de São Paulo como formação Caiuá, do Cretáceo.

2.1.3.2 - LITOFÁCIES SÃO JOSÉ DO RIO PRETO

Esta unidade ocorre na forma de extensos platôs que constituem os divisores de águas das grandes bacias hidrográficas da região, como aquelas dos rios Grande, São João dos Dourados, Tietê, Aguapeí, Peixe e Paranapanema. Ela se caracteriza por densidade de drenagem um pouco maior que a unidade anterior, relevo mais ondulado, vegetação natural mais densa e intenso uso do solo para atividade agrícola (textura poligonal fina). Este solo, quando exposto, mostra tonalidades claras em ambos os canais, indicando alta reflectância naquelas regiões espectrais, o que indica que é arenoso. Verificações de campo indicaram tratar-se de arenitos finos a médios, com cimento argiloso e localmente calcífero.

2.1.3.3 - LITOFÁCIES MARÍLIA

Esta unidade representa o litofácies mais novo da formação Bauru, ocorrendo na região de Garça e Marília. Ela é caracterizada por um relevo escarpado, alta densidade de drenagem, vegetação natural densa e limitado uso do solo para atividades agrícolas. Nas áreas de relevo mais acidentado a densidade de drenagem é mais baixa devido ao encaixe dos canais.

Verificações de campo indicaram o litofácies Marília como constituido de arenitos argilosos com cimento calcífero e nódulos carbonáticos.

2.1.4 - UNIDADE SEDIMENTAR CENOZÓICA

Esta unidade fotogeológica parece corresponder a finas sequências de sedimentos clásticos, predominantemente grosseiros que acompanham a orientação geral do rio Paranapanema. Dados de campo indicam que sua espessura média é de cerca de 5 m., podendo, entretanto, atingir 10 m em situações especiais. Sedimentológicamente são constituídas de camadas de areia geralmente grosseiras, níveis conglomeráticos e, mais raramente, camadas de siltitos arenosos. Na região do Pontal do Paranapanema esses depósitos parecem gradar lateralmente para os sedimento arenosos associados ao vale do rio Paraná e, em algumas situações, confundidos com a formação Caiuá (base do litofácies Araçatuba).

Esses depósitos parecem estar associados a processos fluviais relativamente recentes pois acompanham o atual sistema de drenagem. Sua granulação grosseira sugere a existências de processos torrenciais que se instalaram na região, ainda desconhecidos.

Sua caracterização nas imagens LANDSAT foi baseada no fato de apresentar baixa densidade de drenagem e extensa cobertura vegetal natural (matas mais cerrado). A característica mais marcante é o seu restrito uso do solo, discrepante do padrão geral da região. Aparentemente o solo desenvolvido sobre essa unidade é de baixa fertilidade, o que limita sua utilização agrícola e até mesmo pastoril.

2.1.5 - DEPÓSITOS ALUVIONARES

A última unidade está restrita a calha dos principais rios da região, ou a locais de bloqueios de drenagem. Caracteriza-se por textura tracejada orientada fina, tonalidade escura em ambos os

canais e seu uso visível para atividade agrícola ou pecuária. Seu padrão de ocorrência permite interpretá-la como devida a depósitos aluvionais, igualmente comprovados em verificações de campo.

2.2 - ESTRUTURA

Um aspecto importante, obtido da interpretação das imagens LANDSAT, refere-se a um nítido padrão de lineamentos que afeta as unidades acima descritas, com exceção da última. Em diversos casos esses lineamentos estão associados a mudanças bruscas no sentido dos canais de drenagem, no padrão de drenagem, na textura ou relevo. Em diversas situações observadas no campo ou em perfurações para água, esses lineamentos parecem corresponder a falhamentos pré e post.- Bauru, e fraturamentos associados. Pequenas manchas isoladas das unidades fotogeológicas da formação Bauru, em posição aparentemente anômala, parecem estar associadas a alguns desses lineamentos. Em várias situações, essas estruturas parecem ter condicionado o desenvolvimento faciológico da formação Bauru, e, consequentemente, o padrão de circulação das águas subterrâneas. Os dados estruturais obtidos são preliminares, e merecem um estudo mais aprofundado, dada a sua importância.

2.3 - ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS

Dadas as características geológicas da área mapeada, os recursos minerais de interesse econômico ali encontrados são as argilas, que ocorrem indistintamente nos três litofácies da formação Bauru.

Por se tratar de uma região já densamente povoada, com atividade econômica básica voltada para a agricultura e pecuária, os recursos hídricos assumem ali grande importância, quer para o abastecimento das cidades, quer para a irrigação. Dentro deste quadro, a maior importância do mapa geológico ora discutido, refere-se à sua aplicabilidade para a avaliação do potencial hidrogeológico da região, que perfaz cerca de 60% da área total do Estado e apresenta uma popu

lação estimada da ordem de 6 milhões de pessoas. A quase totalidade das cidades da região são abastecidas geralmente com água subterrânea. Esta, devido às suas características, é mais barata pois independe de tratamento antes de ser distribuida. Assim, um mapa geológico detalhado poderá permitir uma melhor avaliação de problemas tais como:

- disponibilidade ou potencialidade dos aquíferos
- possibilidade de contaminação dos aquíferos
- fatores estruturais controladores de pressão e vasão
- capacidade de recarga.

Os aquíferos mais importantes são aqueles ligados à formação Bauru. Eles são do tipo saturação, não havendo indícios de aquíferos artesianos. Assim sendo, a recarga é aparentemente rápida e portanto sujeita à contaminação por resíduos industriais e urbanos.

Das três unidades da formação Bauru, o litofácies Araçatuba, em especial suas variações faciológicas mais grosseiras (Caiuá), é o que apresenta as melhores características hidrogeológicas. Ele ocorre em maior porfundidade, tem maior porosidade e permeabilidade e não apresenta cimento calcífero. Assim sendo, sua água é mais adequada, tanto em termos de vasão quanto de qualidade. Além disso é menos suceptível à contaminação, pelo menos biológica, devido à sua distância da superfície. Com exceção das cidades de grande porte, tais como Bauru, Marília, Garça, Lins, Araçatuba, Presidente Prudente, Jales, Fernandópolis e São José do Rio Preto, as demais são abastecidas principalmente com água retirada do litofácies Araçatuba.

O litofácies intermediário (São José do Rio Preto) apresenta problemas de vasão e qualidade da água pois a distribuição do conteúdo em argila é bastante irregular. A água dele retirada é geralmente dura, imprópria para o consumo humano ou industrial, sendo boa apenas para irrigação. No litofácies Marília, esses problemas são ainda mais sérios e êle não é investigado para água subterrânea, exceto em situações muito especiais.

As cidades maiores da região são abastecidas com água retirada da formação Botucatu, são poços geralmente bastante profundos, necessitando-se na maioria das vezes perfurar uma capa de basaltos, da ordem de 1000 m, que se sobrepõe a essa formação, requerendo portanto, altos investimentos.

Os lineamentos identificados nas imagens LANDSAT tem permitido uma análise estrutural mais detalhada, objetivando definir o comportamento espacial da formação Serra Geral e de suas relações com a formação Botucatu. Com isso procura-se definir situações onde a formação Botucatu esteja mais próxima à superfície, a fim de diminuirem os custos de perfuração. Além disso, esses estudos visam definir os possíveis gradientes hidrodinâmicos nesta unidade, para avaliação de recarga e vasão.

CAPÍTULO III

CONCLUSÕES

A utilização de imagens dos satélites LANDSAT mostrou-se bastante adequada para o mapeamento geológico de uma região sedimentar. Como resultado, foi possível o reconhecimento, em escala regional, dos três litofácies principais que constituem a formação Bauru, no estado de São Paulo. Além disso, foi possível a delineação de um conjunto de feições, possivelmente de caráctér estrutural, que poderá ter grande importância em reconstituições paleoambientais e em estudos hidrogeológicos.

BIBLIOGRAFIA

AMARAL, G. Padrões Fotogeológicos dos Litofácies da Formação Bauru no Estado de São Paulo, Como Observados em Imagens LANDSAT. In: *Atlas do Iº Simpósio de Geologia Regional*. São Paulo, 1977. V.1, p.439-449

AMARAL, G.; LIU, C.C. e ALMEIDA Fº, R. Aplicação de Imagens dos satélites LANDSAT à integração geológica regional no Estado de São Paulo. In: *Atlas do Iº Simpósio de Geologia Regional*. São Paulo, 1977. vol. 1, p. 226-230.

SOGUIU, K.; FÚLFARO, V.J. AMARAL, G. e GUIDORZI, L.A. Comportamentos Estratigráficos da Formação Bauru nas Regiões administrativas 7 (Bauru), 8 (São José do Rio Preto) e 9 (Araçatuba) no Estado de São Paulo. In: *Atlas do Iº Simpósio de Geologia Regional*. São Paulo, 1977. vol. 1, p. 231-247.