UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

APLICAÇÃO DE MÉTODOS QUANTITATIVOS ESPACIAIS
A DADOS GEOLÓGICOS DA BACIA DE SÃO PAULO

Harmi Takiya

Orientador: Prof. Dr. Paulo Milton Barbosa Landim

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar

SÃO PAULO
1991

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

APLICAÇÃO DE MÉTODOS QUANTITATIVOS ESPACIAIS
A DADOS GEOLÓGICOS DA BACIA DE SÃO PAULO

Harmi Takiya

Orientador: Prof. Dr. Paulo Milton Barbosa Landim

DEDALUS - Acervo - IGC

30900005769

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMISSÃO EXAMINADORA

nome

ass.

Presidente:

Dr. P.M.B.Landim

Examinadores:

Dr. S.B.Suslick

Dr. C.Riccomini

SÃO PAULO

1991

À minha filha Agata

"Água do meu Tietê,
Onde me queres levar?
- Rio que entras pela terra
E que me afastas do mar..."

(Fragmento de A MEDITAÇÃO SOBRE O TIETÊ)

Mário de Andrade in Lira Paulistana

ÍNDICE

	página
RESUMO	i
ABSTRACT	iii
AGRADECIMENTOS	v
CAPÍTULO 1	
INTRODUÇÃO	1
1.1 Justificativas e objetivos	1
1.2 Localização da área estudada	2
CAPÍTULO 2	
FONTES DE INFORMAÇÃO, MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADAS	4
2.1 Levantamento e coleta de dados	4
2.2 Exame dos dados coletados	6
2.3 Análise de laboratório	7
2.4 Análise estatística	8
2.5 Métodos de estimativa e interpolação de valores	11
2.5.1 Inverso da potência da distância	11
2.5.2 Geoestatística	14
2.5.2.1 Variável regionalizada	14
2.5.2.2 Semivariograma	16
2.5.2.3 Krigeagem	23
CAPÍTULO 3	
CONTEXTO GEOLÓGICO	31
3.1 Quadro geológico regional	31
3.2 Evolução dos conhecimentos sobre a Bacia de São Paulo	35
3.3 Bacia de São Paulo	47
3.3.1 Considerações Gerais	47
3.3.2 Estratigrafia	48
3.3.2.1 Sistema de leques aluviais associados à planície de rios entrelaçados	49
3.3.2.2 Sistema lacustre	51
3.3.2.3 Sistema fluvial meandrante	52
3.3.2.4 Sistema fluvial entrelaçado	55
3.3.2.5 Coberturas colúvio-aluviais neo-cenozóicas	58

3.3.2.6 Coberturas quaternárias	59
3.3.3 Hidrotermalismo	62
3.3.4 Evolução tectono-sedimentar	63

CAPÍTULO 4

RESULTADOS OBTIDOS	65
4.1 Mapa geológico	65
4.2 Mapas de contorno estrutural	66
4.3 Mapas de isópacas, isólitas e porcentagem	75
4.4 Discussão dos resultados	82

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES	90
------------	----

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94
----------------------------	----

ESTE TEXTO CONTÉM 33 FIGURAS NUMERADAS SEQUENCIALMENTE

ANEXOS

- A - Mapa geológico
- B - Mapa de localização dos poços utilizados no contorno estrutural
- C - Mapa de contorno estrutural e de erros associados à estimativa de valores
- D - Mapa de contorno estrutural e de erros associados à estimativa de valores com divisão em compartimentos tectônicos
- E - Mapa de contorno estrutural e de erros associados à estimativa de valores, áreas 1 + 2
- F - Mapa de localização dos poços utilizados nas curvas de isópacas isólitas e porcentagem
- G - Mapa de isópacas da espessura de sedimentos
- H - Mapa tridimensional da espessura de sedimentos
- I - Mapa de isópacas de espessura de sedimentos (Datum = 710 m)
- J - Mapa tridimensional de espessura de sedimentos (datum = 710 m)
- K - Mapa de isólitas de areia (Datum = 710 m)
- L - Mapa de isólitas de argila (Datum = 710 m)
- M - Mapa de isólitas de conglomerado (Datum = 710 m)
- N - Mapa de porcentagem de areia (Datum = 710 m)

- O - Mapa de porcentagem de argila (Datum = 710 m)
- P - Mapa de porcentagem de conglomerado (Datum = 710 m)
- Q - Mapa base de localização de drenagens e logradouros

RESUMO

Métodos geoestatísticos (semivariograma e krigeagem) e clássicos (inverso do quadrado da distância - I.Q.D.) foram utilizados no tratamento de 805 dados selecionados a partir de 3197 boletins de sondagens, pertencentes ao Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE e à Companhia do Metropolitano de São Paulo - METRÔ.

A região estudada corresponde à porção centro-oeste da Bacia de São Paulo, mais precisamente localizada entre as coordenadas (UTM) 320 a 350km (E) e 7380 a 7410km (N).

São aqui apresentados mapas de contorno estrutural, isópacas, isólitos e porcentagem dos sedimentos terciários da Bacia de São Paulo, além de um mapa geológico, todos em escala 1:100.000.

A partir das informações já existentes sobre a área e da análise dos mapas e perfis elaborados, pôde-se reconhecer cinco unidades, delimitadas no mapa geológico, conforme seguem:

- Formação Resende (Tf): constituída predominantemente por depósitos rudáceos proximais (Tff) e lamíticos distais (Tfl) de sistemas de leques aluviais. Na borda norte da bacia, sua espessura ultrapassa 200m;

- Depósitos correlacionáveis à Formação Tremembé (Tl): formados por sedimentos argilo-siltosos lacustres, com espessuras de até 60m, encontrados sob os aluviões atuais do rio Tietê, na região da Barra Funda;

- Formação São Paulo (Tm): apresentando freqüentemente depósitos areno-silto-argilosos, e, secundariamente, conglomerados, relacionados a sistema fluvial meandrante, atingindo espessuras que ultrapassam uma centena de metros;

- Formação Itaquaquecetuba (Te); constituída em maior proporção por sedimentos areno-conglomeráticos de até 130m de espessura, que ocorrem sob os aluviões atuais dos rios Pinheiros e Tietê;

- Coberturas colúvio-aluviais quaternárias(Q): representadas por sedimentos argilo-areno-conglomeráticos, em geral com até 10 metros de espessura.

Atribui-se idade paleogênica às formações Resende e São Paulo e aos depósitos correlacionáveis à Formação Tremembé. Diversas evidências apontam para a hipótese da Formação Itaquaquecetuba ser mais jovem do que as unidades mencionadas, embora, ainda não conclusiva.

Os mapas de contorno estrutural do topo do embasamento mostram possíveis compartimentações tectônicas na área estudada, definindo quatro blocos com aumento de cotas médias de Norte para Sul, atingindo de 650 até 709m, o que evidencia basculamento de blocos para noroeste.

Os mapas de isópacas indicam maiores espessuras de sedimentos (mais de 200m) para a borda norte da bacia (próximo a Guarulhos) e na sua região leste (Móoca, Tatuapé, Vila Formosa), em concordância com as áreas de menores cotas do topo do embasamento, conforme verificadas no mapa de contorno estrutural.

Com o auxílio do mapa de porcentagem de argila delimitaram-se os depósitos correlacionáveis à Formação Tremembé, evidenciando a presença de um paleolago de aproximadamente 2km². Os mapas de porcentagem de areia, isópacas e de isólitas de argila foram fundamentais na determinação da ocorrência dos sedimentos da Formação Itaquaquecetuba.

Em termos da paleogeografia da Bacia de São Paulo, verificou-se que as paleodrenagens exibem boa coincidência com as feições geomorfológicas atualmente observadas, principalmente, com relação aos aluviões dos rios Tamanduateí e Pinheiros.

Abstract

Geostatistical (semivariogram and kriging) and classic (inverse square-root distance) methods were used to analyse data from 805 wells selected from 3197 borehole descriptions prepared by the Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE and the Companhia do Metropolitano de São Paulo - METRÔ for the central-western portion of the São Paulo Basin, Brazil.

Isopach, isolith and conglomerate, sand and clay percentage maps of the Tertiary sediments, together with structural contour maps and a geological map at a 1:100.000 scale, are presented. From previously available information and the analysis of the maps and cross-sections elaborated in this work, five lithostratigraphic units were recognized and delimited on the geological map, as follows:

- Resende Formation (Tf), consisting of proximal rudaceous (Tff) and distal mudstone (Tfl) deposits of alluvial fan systems, which can exceed 200 m in thickness on the northern border of the basin;
- Deposits correlatable with the Tremembé Formation (Tl), comprising lacustrine silty-clayey sediments, up to 60 m thick, present below quaternary alluvial deposits of the Tietê River, in the Barra Funda neighborhood;
- São Paulo Formation (Tm), with clayed-silty-sandy deposits and subordinate conglomerates, related to a meandering fluvial system, with thicknesses exceeding 100 m;
- Itaquaquecetuba Formation (Te), largely conglomeratic-sandy sediments, up to 130 m thick, underlying the present alluvial deposits of the Pinheiros and Tietê rivers;
- Quaternary colluvial-alluvial cover (Q), represented by conglomeratic-sandy-clayed sediments, usually up to 10 meters thick.

A Paleogene age is attributed to the Resende and São Paulo Formations and to the deposits correlatable with the Tremembé Formation. Although not conclusive, different evidence supports the hypothesis that the Itaquaquecetuba Formation is younger than the other units.

The structural contour maps of the top of the basement show possible tectonic compartments in the studied area, defined by four blocks with average altitude that increasing from 650 m in the north to 709 m in the south, which seems to corroborate a regional northwest tilting previously suggested by other authors.

The isopach maps indicate greater sediment thicknesses (more than 200 m) toward the northern border of the basin (around Guarulhos) and in the eastern region (Móoca, Tatuapé, Vila Formosa), in agreement with the lower altitude of the top of the basement, as verified on the structural contour map.

The deposits correlatable with the Tremembé Formation were delimited by means of the clay percentage map, which revealed the presence of a paleolake with approximately 2 Km² in area. The sand percentage, isopach and clay isolith maps were fundamental in determining the presence of the Itaguaquecetuba Formation.

The paleodrainage pattern of the São Paulo Basin shows a close relationship with present geomorphologic features, especially with respect to the alluvial deposits of the Tamanduateí and Pinheiros rivers.

AGRADECIMENTOS

A autora gostaria de manifestar seus mais sinceros agradecimentos a todos que, de alguma forma, auxiliaram na elaboração deste trabalho, desculpando-se antecipadamente por eventuais omissões dado o número de pessoas que prestaram sua colaboração.

Em primeiro lugar, expresso meu reconhecimento e estima ao Prof. Dr. Paulo Milton Barbosa Landim pela orientação e acompanhamento dedicados durante todo o desenvolvimento do trabalho.

Ao Prof. Dr. Cláudio Riccomini pelas valiosas sugestões apresentadas e acompanhamento deste estudo, inclusive nas etapas de campo, meus mais sinceros agradecimentos.

Sem o auxílio dos colegas geólogos José Eduardo Campos, Gerônimo A. Rocha do Departamento de Energia Elétrica-DAEE e Hugo Cássio Rocha da Companhia do Metropolitano de São Paulo-METRÔ teria sido quase que impossível a coleta de dados de sondagens aqui utilizados.

As análises palinológicas foram efetuadas pelo Prof. Dr. Jean Pierre Ybert, a quem a autora consigna seus agradecimentos.

Aos Profs. Ricardo Sturaro, Maria Rita C. Chang, Hung K. Chang do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP-Rio Claro, Gilberto Amaral e Armando R. Zauppa do Instituto de Geociências da UNICAMP, José A. Quintanilha da Escola Politécnica, Kenitiro Suguio, Setembrino Petri, Armando Márcio Coimbra, Murilo Rodolfo Lima e Jorge K. Yamamoto, Thomas R. Fairchild do Instituto de Geociências da USP, manifesto meu apreço pelo apoio e sugestões oferecidos em diferentes etapas deste trabalho.

As análises granulométricas foram realizadas pela técnica Elaine A. S. Sinfrônio e o tratamento estatístico desses resultados efetuados pela estagiária Rita Parisi Conde. A essas pessoas sou muito grata.

Registro meus agradecimentos aos colegas do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S. A.-IPT, José Quintanilha, Lúcia Dozzi e Mário Otávio Costa que auxiliaram no

cálculo dos parâmetros estatísticos básicos, indicando programas específicos processados nesta instituição.

Manifesto meu apreço a Ivone Keiko Sonoki pelo valioso auxílio prestado na área de computação.

Ao Srs. Jayme Alves de Silva, Dalton Machado da Silva e à Sra. Sonia Gomes Costa Vieira, agradecimentos pelos trabalhos de gráfica e xerocópias realizados.

Aos colegas companheiros e amigos de pós-graduação, Sílvia F. Gaion, Cátia F. Barbosa, Míriam Nóbile Diniz, Mariselma F. Zaine, Cristina Simonetti, Francisco Pinheiro Lima, Rafael G. Martins Neto, Sérgio B. Citroni, Gianna M. Garda, Alex U. G. Peloggia, Maria Luiza M. de Carvalho e Silva e Sandra de F. Oliveira, agradeço a amizade, o companheirismo e, também, as sugestões oferecidas durante a realização deste trabalho.

Especiais agradecimentos a meus pais e irmãos pelo apoio, ao meu marido e companheiro, Sérgio Kleinfelder Rodriguez, pelo incentivo carinho e também pelos trabalhos de desenho e digitação tão pacientemente por ele efetuados.

Ao Departamento de Águas e Energia Elétrica, à Companhia do Metropolitano de São Paulo e à FURNAS - Centrais Elétricas S.A., agradeço pela permissão do uso de dados e relatórios. Sem esse apoio este trabalho sem dúvida teria sido incompleto.

A assistência financeira a este trabalho foi efetuada pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq - Processo 131446/88-6) e pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP - Processo 89/2964-6). À essas instituições expresso minha gratidão.

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

1.1 Justificativas e Objetivos

A existência de um grande número de dados de sondagens disponíveis, aliada ao fato destes não terem sido submetidos a análises mais sistemáticas, e ainda devido à presença de controvérsias acerca da evolução tectono-sedimentar da Bacia de São Paulo, levaram à concepção do presente estudo. Ele objetiva a aplicação de métodos geoestatísticos, além da metodologia estatística clássica, a dados de cota do embasamento e espessura de sedimentos, na elaboração de mapas de contorno estrutural, isólitais - mapas de isoespessuras de uma determinada litologia- e mapas de porcentagem de areia, argila e conglomerado do pacote sedimentar terciário da bacia.

Os mapas de isólitais podem indicar variação de fácies. Já o mapa de contorno estrutural, aliado aos dados de superfície, podem auxiliar na interpretação de feições estruturais presentes na área.

O presente estudo foi acompanhado do reconhecimento geológico regional da bacia e da coleta de dados em afloramentos considerados representativos das diferentes litofácies.

Espera-se que a análise dos mapas obtidos venha, de um lado, a contribuir para o melhor conhecimento do arcabouço estrutural, dos sistemas deposicionais e da evolução tectono-sedimentar da bacia, e de outro, em questões referentes ao planejamento de sua ocupação como por exemplo no modelamento de aquíferos, ainda precário na área, bem como nas obras de engenharia, cada vez mais inevitáveis na cidade de São Paulo.

1.2. Localização da área estudada

A área em estudo corresponde à porção centro-oeste da Bacia de São Paulo, mais precisamente posicionada entre as coordenadas (UTM) 320 a 350km (E), e 7380 a 7410km (N) (Figura 1). Encontra-se totalmente urbanizada, devido ao crescimento cada vez mais acelerado da cidade, o que torna bastante difícil o reconhecimento dos sedimentos da bacia em superfície.

Figura 1 Mapa de localização da área estudada (modificado de COIMBRA, 1983, p.263)

CAPÍTULO 2

FONTES DE INFORMAÇÃO, MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADAS

2.1. Levantamento e coleta de dados

Esta fase do trabalho consistiu, basicamente, em três etapas, que correspondem: ao exame preliminar do material bibliográfico-cartográfico sobre o assunto; à análise, seleção e ao tratamento de dados de sondagens; e aos levantamentos de campo para o reconhecimento regional da bacia, acompanhados de eventual coleta de amostras.

A etapa de campo não seguiu cronologia determinada, sendo efetuadas várias visitas à área, em diferentes fases do estudo, visando à descrição litológica e caracterização de fácies sedimentares, à coleta de dados estruturais e obtenção de amostras. Fez-se ainda o acompanhamento de duas sondagens realizadas na Cidade Universitária - USP. Em apenas uma delas, perfurada pelo Centro de Estudos de Águas Subterrâneas da USP (CEPAS), teve-se a oportunidade de descrever e coletar amostras em testemunhos bem preservados.

Quanto ao levantamento de dados foram consultados 3197 boletins geológicos de sondagens, pertencentes ao Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE, e à Companhia do Metropolitano de São Paulo - METRÔ, tendo sido utilizados para a confecção de mapas.

A maior parte de tais boletins , totalizando 3097 perfís, pertence ao DAEE, e refere-se a perfurações de poços para água subterrânea, realizadas por diversas empresas no período de 1945 a 1986, na região da Grande São Paulo.

Observe-se que, embora o número de informações obtidas seja elevado, a qualidade dos dados, no tocante à precisão, em descrições sob a óptica geológica, é muito precária, ainda não sendo possível a análise direta dos testemunhos de sondagem, os quais, segundo informações obtidas nas empresas perfuradoras, já terem sido totalmente destruídos. Por essa razão, tornou-se necessária uma rigorosa seleção de dados, com base nos seguintes critérios: a) perfís cuja descrição litológica foi propriamente realizada por geólogos; b) perfurações executadas por companhias de reconhecida capacidade técnica; c) preferência pelos dados cujas descrições originais pudessem ser diretamente consultadas. Desse modo, do total de 3097 perfís selecionaram-se 792.

As perfurações realizadas para o Metrô, por apresentarem o caráter eminentemente geotécnico, estão limitadas a pequenas profundidades. Assim, dos 100 boletins de sondagens consultados, 13 foram selecionados.

Na elaboração dos mapas, as coordenadas geográficas e as cotas de superfície dos poços utilizados foram obtidas nos boletins do DAEE, a partir das locações de poços plotadas no "Mapa Cidades do Brasil", em escala 1:12.500, com curvas de nível de 10 em 10 metros e, ainda, dos arquivos pertencentes ao

METRÔ, no caso das perfurações de responsabilidade deste órgão.

O tratamento dos dados foi efetuado através de métodos geoestatísticos (semivariograma e krigeagem) e clássicos (IQD), descritos no item 2.5.

A tabela 1 mostra resumidamente a quantidade de informações consultadas e selecionadas em cada uma das empresas visitadas.

EMPRESA	BOLETINS CONSULTADOS	BOLETINS SELECIONADOS
DAEE	3097	792
METRO	100	13
TOTAL	3197	805

Tabela 1 - Totais de boletins de sondagens consultados e selecionados

2.2. Exame dos dados coletados

A partir de dados compilados dos mapas de COUTINHO (1980), IPT (1986) e RICCOMINI (1989), acrescidos de informações coletadas em levantamentos de campo, elaborou-se o mapa geológico, apresentado em escala 1:100.000 (ANEXO A).

Os mapas de contorno estrutural, isópacas, isólitas e porcentagem de sedimentos terciários foram confeccionados com

dados provenientes do DAEE e METRÔ, também apresentados na escala 1:100.000. Ainda a partir dessas informações foram executados dois perfis geológicos, com direções NE e NW.

2.3. Análises de laboratório

A análise estatística, o cálculo dos semivariogramas e dos valores estimados por krigeagem foram efetuados através de programas específicos de geoestatística desenvolvidos pelo Laboratório de Geomatemática da UNESP- Rio Claro. O pacote *SURFER*, elaborado pela *GOLDEN SOFTWARE*, foi empregado na interpolação de valores. Foram utilizados para a execução desses programas os microcomputadores (16 bits) do Centro de Processamento de Dados do Instituto de Geociências da USP. Os histogramas foram elaborados no microcomputador TEKTRONIX 4052 do Departamento de Geomatemática do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. (IPT).

Em acompanhamento à equipe de Arqueologia da Secretaria da Cultura da Prefeitura Municipal de São Paulo às escavações para obras viárias executadas no Vale do Anhangabaú, teve-se a oportunidade de coletar duas amostras para análises palinológicas, provenientes de turfa argilo-arenosa de coloração cinza escura, de provável idade holocênica, extraídas das porções inferior e superior deste depósito de aproximadamente 1.5m de espessura.

A preparação das amostras e a análise do material polínico foram efetuadas pelo Dr. JEAN PIERRE YBERT (ORSTOM - FRANÇA), no Laboratório de Palinologia do Quaternário do IG-USP. Foi remetida ainda, para o *National Science Foundation Accelerator Facility for Isotope Dating*, na Universidade do Arizona (EUA), parte da mesma amostra coletada na porção superior do pacote de turfa, para datação radiométrica- ^{14}C (em execução).

2.4. Análise estatística

A análise estatística básica, compreendendo o cálculo da média, variância, desvio-padrão, assimetria e curtose, além da elaboração de histogramas, consiste em uma etapa importante de qualquer estudo geomatemático, onde são avaliados, entre outros, o tipo de distribuição da variável em questão, sua dispersão em relação a um valor médio, ou então, seus possíveis desvios. Esses conceitos são mencionados e aplicados em diversos textos na área de geociências (e.g. AGTEMBERG, 1974; SUSLICK, 1978, 1986; LANDIM, 1979, 1988; REMACRE, 1984; STURARO, 1988).

A existência de uma quantidade elevada de dados dispostos simplesmente em tabelas, torna a sua compreensão bastante dificultada; fazendo-se necessário então, o agrupamento desses, por exemplo, na forma de histogramas, para melhor visualização do ponto de vista de sua distribuição, segundo intervalos de

classes.

Os histogramas mostram ainda, graficamente, o tipo de distribuição de dados, que podem ser obtidos ainda, pelos métodos de SMIRNOV-KOLMOGOROV ou Qui-Quadrado (χ^2).

Para os histogramas aqui apresentados, utilizou-se número de classes igual a 10.

A melhor maneira de representar uma série de dados é descrevê-los em termos numéricos, e para tanto foi utilizado o método dos momentos, segundo o qual pode-se calcular a média, variância, assimetria e curtose.

A média, ou primeiro momento em torno de zero, é definida segundo:

$$\bar{x} = m'_1 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2.1)$$

A variância, ou segundo momento centrado na média, é um parâmetro utilizado para se verificar a distribuição dos valores em torno da média. É obtida por:

$$\sigma^2 = m'_2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)} \quad (2.2)$$

Tem-se o desvio padrão (σ), extraíndo-se a raiz quadrada da variância.

A assimetria (A_s) representa o grau de afastamento da média em relação à moda e à mediana; enquanto que a curtose (K) mostra o grau de achatamento da curva. Esses parâmetros são determinados, respectivamente, a partir do 3º e 4º momentos

centrados na média, pelas expressões:

$$m'3 = \sum_{i=1}^n x_i^3/n - 3x(\sum_{i=1}^n x_i^2/n) + 2x^3 \quad (2.3)$$

$$m'4 = \sum_{i=1}^n x_i^4/n - 4x(\sum_{i=1}^n x_i^3/n) + 6x^2(\sum_{i=1}^n x_i^2/n) - 3x^4 \quad (2.4)$$

A partir de 2.3 e 2.4, tem-se:

$$As = (m'3/m'2)^{3/2} \quad (2.5)$$

$$K = (m'4/m'2)^2 \quad (2.6)$$

Para curvas com distribuição teórica do tipo "normal", a assimetria e curtose apresentam valores em torno de 0 e 3, respectivamente. Tabelas com valores críticos de assimetria e curtose para níveis de significância mais usuais, em função do número de indivíduos "n", são apresentadas por PEARSON & HARTLEY (1966, *apud* PRESTON, 1970), as quais são utilizadas no presente estudo.

2.5 MÉTODOS DE ESTIMATIVA E INTERPOLAÇÃO DE VALORES

2.5.1. Inverso da potência da distância

O Inverso da Potência da Distância, também denominado de Método de Shepard (PETTINATI, 1983) é um método clássico de interpolação de valores bastante utilizado em diversas áreas das geociências. Consiste em interpolar valores em locais escolhidos, a partir de um certo número de dados mais próximos (N). Quanto mais perto estiver o ponto daquele a ser interpolado, maior será sua influência sobre o valor a ser calculado. É definido pela equação:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i \cdot W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (2.7)$$

$$\text{sendo } W_i = 1/D_i^p \quad (2.8)$$

onde:

Z = valor do ponto interpolado

Z_i = valor observado no ponto i

W_i = ponderador

D_i = distância entre o ponto i e o ponto a ser interpolado

p = potência da distância

n = número de pontos circunvizinhos ao ponto a ser interpolado

Conforme pode ser verificado na equação (2,7), o ponderador W_i terá valores maiores quanto menor for a distância dos pontos próximos àquele a ser interpolado. A potência " p " também pode definir o peso do ponderador W_i , que será tanto maior quanto mais elevada seja a potência (SAMPSON, 1975). O valor da potência adotado neste estudo foi $p = 2$, portanto utilizou-se o Inverso do Quadrado da Distância (IQD).

É necessário ainda, definir um raio de abrangência (R), em torno do qual estará o ponto a ser interpolado, o qual, na maioria das vezes, é escolhido de forma empírica. No entanto PETTINATI (1983), considera que o valor R seja igual ao alcance (a), definido pelo semivariograma (ver item 2.5.2.2.). Já SHEPARD (1968) apresenta a seguinte equação para o cálculo do valor do raio de abrangência (R):

$$R = (7A / \pi N)^{1/2} \quad (2.9)$$

onde:

A = área do maior polígono inscrito nos dados

N = nº total de pontos

O valor de N também é escolhido, geralmente, de forma aleatória. Normalmente são utilizados de 4 até 16 pontos mais próximos (HOWARTH, 1983).

Um valor n_i pode ser ainda definido em cada quadrante, octante, ou qualquer outra divisão do círculo abrangido por R , de forma que:

$$N = \sum n_i \quad (2.10)$$

onde:

n_i = nº de pontos por sub-áreas

K = nº de sub-áreas do círculo formado pelo raio de abrangência

Podem ser escolhidos ainda, os pontos vizinhos que irão ser utilizados no cálculo do valor a ser interpolado, fixando-se apenas N ou n_i , sem considerar um raio de abrangência (Método Global de Interpolação).

No entanto existem algumas restrições com relação a este método de procura de vizinhos próximos, pois poderão ser considerados pontos além da zona de influência, sem alguma relação com o ponto a ser interpolado, ou mesmo pontos agrupados próximos àquele a ser interpolado poderão ser adotados em detrimento de outros mais distantes, mas que propiciariam uma interpolação mais representativa em área (YAMAMOTO, 1986).

Neste trabalho, considerou-se um raio de abrangência $R = 2$, baseado principalmente nos semivariogramas elaborados. Utilizou-se ainda número de pontos $n_i = 2$ para cada quadrante abrangido pelo raio de influência, perfazendo um total de 8

pontos vizinhos ($N = 8$).

2.5.2. Geoestatística

2.5.2.1. Variável Regionalizada (V.R.)

A teoria das variáveis regionalizadas foi desenvolvida por MATHERON (1963), consistindo numa etapa posterior e complementar aos estudos de depósitos minerais por meio das variáveis aleatórias.

As variáveis regionalizadas mostram em comum uma dupla identidade, ou seja, são aleatórias pelo fato de que os valores observados variam consideravelmente de um ponto para outro no espaço e, possuem comportamento espacial, de aspecto mais geral, que reflete uma certa representação funcional (JOURNEL & HUIJBREGTS, 1978).

As principais características de uma variável regionalizada compreendem (OLEA, 1975):

- localização : representa o espaço geométrico no qual a variável é suscetível de apresentar valores definidos em cujo interior será estudada sua variação;
- continuidade : a variação espacial de uma V.R. pode ser

estudada através de uma flutuação entre os valores de amostras vizinhas. Esta flutuação reflete o grau de dependência que existe entre um valor e outro;

- anisotropia : é caracterizada quando o semivariograma apresenta diversos comportamentos (variabilidade) em diferentes direções . Este fenômeno é também conhecido como zonalidade.

A função de densidade de probabilidades que governa a ocorrência da variável regionalizada precisa ser conhecida, pelo menos parcialmente, para obtenção de resultados práticos com o uso da geoestatística. A complexidade das V.R. exclui a formação de um modelo teórico, deixando, como única solução, a determinação empírica ou relativa das probabilidades.

Como uma V.R. é o resultado único de uma função casual, torna-se possível fazer inferências estatísticas baseando-se em apenas uma amostra. Para resolver tal impasse, a geoestatística utiliza uma restrição estacionária chamada de "hipótese intrínseca", a qual permite o uso de resultados de uma V.R. por estimativa, através do método dos momentos.

O comportamento de uma V.R. pode flutuar portanto, desde uma situação francamente estacionária até uma outra em que ocorra uma estacionaridade apenas nas vizinhanças de uma zona restrita, cujos valores esperados oscilem de maneira regular nessa vizinhança (LANDIM, 1988). Para o estudo das V.R. duas importantes ferramentas são necessárias: o semivariograma e a krigagem.

2.5.2.2. Semivariograma

O semivariograma mostra o grau de variabilidade e da dependência espacial entre amostras ao longo de um suporte específico. Para sua construção são usados os valores obtidos, assumindo-se uma ergodicidade nos incrementos (LANDIM, 1988).

Para se obter um semivariograma é necessário dispor de um conjunto de valores dentro de um mesmo suporte geométrico, em que $y(x_1), y(x_2), \dots, y(x_i), \dots, y(x_n)$, são realizações de uma V.R., tendo uma mesma função intrínseca e satisfazendo a hipótese intrínseca. Desse modo, a seguinte fórmula fornece uma estimativa não tendenciosa da semivariância:

$$\gamma^*(h) = 1/2n \sum \{y(x_j + h) - y(x_j)\}^2 \quad (2.7)$$

Onde:

γ^* = é a função semivariograma (experimental)

n = número de pares de pontos separados por uma distância h

$y(x_j+h)$ = valor da variável regionalizada no ponto x_j+h

$y(x_j)$ = valor da variável regionalizada no ponto x_j

A forma usual de representar o semivariograma é através de um gráfico: no eixo horizontal (X), plota-se a distância(h) entre os pares de amostras; no eixo vertical (Y), lança-se o valor de

Os semivariogramas são aplicados no estudo de V.R. dispostas em malha regular. Comumente porém, as V.R. encontram-se irregularmente distribuídas, e para contornar esta situação, define-se uma distância de tolerância Δh para o espaçamento h entre os pares de amostras, e um ângulo de tolerância $\Delta \alpha$ para a direção α considerada. Para o cálculo do semivariograma a distância h torna-se $h \pm \Delta h$ e a direção é representada por $\alpha \pm \Delta \alpha$ (JOURNEL & HUIJBREGTS, 1978) (Figura 2).

Normalmente são elaborados semivariogramas em várias direções, para analisar se a variável em questão apresenta, ou não, isotropia. Tal estudo é chamado de análise estrutural.

Os semivariogramas podem indicar:

- a) o tamanho da zona de influência em torno de uma amostra;
- b) a anisotropia, quando os semivariogramas apresentam comportamentos distintos em diferentes direções;
- c) continuidade, a partir da forma do semivariograma, e de seu comportamento junto à origem, no caso de h mostrar algum valor. Essa situação é conhecida como "efeito pepita" (*nugget effect*) e representada por C .

Figura 2 Esquema para obtenção de semivariogramas a partir de rede irregular (LANDIM, 1988, p. 44)

Fenômenos de transição são verificados em semivariogramas que apresentam curvas que tendem a se estabilizar em um patamar.

Os parâmetros a , c , c_0 , mostrados na figura 3 e utilizados na interpretação de semivariogramas, são respectivamente denominados de : alcance (*range*, *portée*), patamar (*sill*, *palier*) e efeito pepita (*nugget effect*)

Figura 3 Representação de semivariograma com modelo esférico.

O alcance (a), fornece uma idéia intuitiva da zona de influência da V.R.; a variância espacial é representada pelo alcance (C); já o efeito pepita (C_0) indica o erro de amostragem ou pequenas variações da V.R., não detectáveis na escala estudada.

A partir dos valores de C e C_0 , pode-se determinar o "efeito pepita relativo" ($E = C_0 / C$), que pode definir a influência da componente aleatória, segundo os intervalos abaixo listados (ROYLE, *apud* GUERRA, 1988, p.55):

$E < 0.15$: a componente aleatória é pequena;

$0.15 < E < 0.3$: a componente aleatória é grande ;

$E > 0.3$: a componente aleatória é muito grande.

Journel (*apud* GUERRA, 1988, p.55), observa que a geoestatística não mais se diferencia da estatística paramétrica quando a razão $C_0 / C_0 + C$, for maior que 0.8.

Não se pode fazer uma estimativa, ou obter-se a precisão a ela associada, utilizando semivariogramas experimentais, razão pela qual se torna necessária uma forma matemática teórica dos semivariogramas

Os modelos teóricos de semivariogramas foram elaborados de forma a representar as diferentes regionalizações que ocorrem na natureza. Segundo JOURNEL & HUIJBREGTS (1978), os modelos teóricos de semivariogramas classificam-se em modelos com e sem patamar.

Dentre os primeiros, sobressaem-se (Figura 4):

Figura 4 Modelos teóricos de semivariogramas com patamar
(LANDIM, 1988, p. 44)

- Modelo esférico (Matheron): apresenta um rápido crescimento na origem que se expressa pela equação:

$$\gamma(h) = C_0 + C \left\{ \frac{3}{2} \cdot \frac{h}{a} - \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right\} \quad (2.8)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C \quad \text{para } h > a$$

$$\gamma(0) = 0$$

- Modelo exponencial (Formery): tem como característica um comportamento linear na origem, sendo representado pela equação:

$$\begin{aligned}\gamma(h) &= C_0 + C (1 - e^{-h/a}) \text{ para } 0 < h \leq a \\ \gamma(h) &= C_0 + C \text{ para } h > a \\ \gamma(0) &= 0\end{aligned}\quad (2.9)$$

- Modelo parabólico (Gauss): apresenta um comportamento parabólico na origem, é expresso pela equação:

$$\begin{aligned}\gamma(h) &= C_0 + C (1 - e^{-h^2/a^2}) \text{ para } 0 < h \leq a \\ \gamma(h) &= C_0 + C \text{ para } h > a \\ \gamma(0) &= 0\end{aligned}\quad (2.10)$$

Quanto aos modelos sem patamar, registram-se:

- Modelo potencial : caracteriza-se pela ausência de patamar (Figura 5), expressa-se por:

$$\gamma(h) = C_0 + W |h|^\theta \quad (2.11)$$

onde W é a inclinação na origem, e de um modo geral, varia entre 0 e 2.

- Modelo logarítmico (Wijs), foi muito aplicado e estudado durante os primeiros trabalhos de geoestatística, e representa-se pela expressão:

$$\gamma(h) = C_0 + 3\alpha \ln(h) \quad (2.12)$$

onde α = constante conhecida como dispersão absoluta

Figura 5 Modelos de semivariogramas lineares (JORNEL & HUIJBREGTS, 1978, p. 166).

5.2.3- Krigeagem

A krigeagem (do francês *krigeage*, do inglês *kriging*) é um processo de estimativa de valores de variáveis espacialmente distribuídas a partir de dados adjacentes, enquanto considerados como interdependentes pelo semivariograma. A krigeagem é uma técnica de estimativa local que fornece o

melhor estimador linear não enviesado (BLUE—"Best Linear Unbiased Estimator"). Segundo ROYLE (1979), este método resolve problemas de super ou subestimação de reservas (efeito de regressão).

Os principais propósitos da krigeagem são: a previsão do valor pontual de uma variável regionalizada em um determinado local, dentro de um campo geométrico; e o cálculo médio de uma variável regionalizada para um volume maior que o suporte geométrico.

A krigeagem fornece, além dos valores estimados, o erro associado à estimativa, o que consiste em grande vantagem sobre os demais métodos.

Atualmente, são conhecidos e empregados diferentes tipos de krigeagem: simples, disjuntiva, co-krigeagem, universal, etc.

A krigeagem simples tem sido até hoje um dos métodos mais empregado nos estudos geoestatísticos, optando-se também neste trabalho pela sua utilização.

Esse tipo de krigeagem permite não somente a estimativa de um único ponto (krigeagem pontual), como, também, do teor médio de uma área ou de um bloco.

-Krigeagem Simples

Seja um ponto, uma área ou um volume que se deseje estimar, sendo o valor real desconhecido representado por T , o

valor estimado (T^*) será calculado utilizando "n" amostras com valores $g_1, g_2, g_3 \dots g_n$ (conjunto S), de forma linear. Tal processo é similar ao da ponderação pelo inverso das distâncias.

$T^* = w_1 g_1 + w_2 g_2 + w_3 g_3 + \dots + w_n g_n$, onde os w_i são os pesos atribuídos a cada amostra.

É evidente que, associado a esse estimador exista um erro $e = T - T^*$, e que se teoricamente, diversas estimativas forem feitas a média dos erros será zero. Se os erros, portanto, apresentarem valores próximos a zero, o estimador será de confiança e isso pode ser verificado pela distribuição desses valores. A maneira mais simples de medir estatisticamente tal distribuição é pelo desvio-padrão (ou variância). Entretanto no caso em questão, a variância não pode ser obtida porque como não se conhece o valor real que se está estimando, conseqüentemente não se saberá o erro cometido.

Variância dos erros = σ_e^2 = desvios ao quadrado em relação ao erro médio.

$$\sigma_e^2 = \text{média de } (T - T^*) \quad (2.13)$$

Para se achar a variância, então, poderá ser utilizado o semivariograma, em que são medidas as diferenças ao quadrado entre o ponto a ser estimado e os diversos pontos de amostragem. Num semivariograma, previamente calculado, dada uma distância "h" entre os pontos, pode-se estimar a variância simplesmente lendo o valor no eixo dos γ^* (LANDIM, 1988).

$$\sigma_e^2 = 2 \gamma(h) \quad (2.14)$$

Caso se pretenda estimar não apenas um ponto, mas também o teor médio de uma área, os mesmos argumentos apresentados anteriormente são válidos, sendo acrescido que o erro médio é próximo a zero se não ocorrer uma tendência local, ou seja, se os valores forem estacionários. A variância estimada passa a ser o valor entre o teor de um ponto de amostragem e o teor médio de toda a área a ser estimada e, como o semivariograma apenas compara pontos, o que se faz é confrontar o valor obtido no ponto de amostragem com cada ponto dentro da área e em seguida encontrar a média desses valores. Essa quantidade pode ser definida como $\bar{\gamma}(S_i, A)$, que toma o lugar de $\gamma^*(h)$ no caso anterior. Como se necessita da variância do erro feito quando se compara o teor médio da área e a amostra, e não entre os pontos individuais existentes na área e o ponto de amostragem, a quantidade $2 \bar{\gamma}(S_i, A)$ é usada (LANDIM, 1988).

Como também deve ser levada em consideração a variação dos pontos dentro da área efetua-se então uma correção utilizando as chamadas "funções auxiliares" (e.g. CLARK, 1979) que fornece o valor $\bar{\gamma}(A, A)$, ou semivariograma médio entre os pontos da área.

Para a situação acima descrita, a variância é representada pela equação:

$$\sigma_e^2 = 2 \sum_{i=1}^n w_i \bar{\gamma}(S_i, A) - \bar{\gamma}(A, A) \quad (2.15)$$

Tratando-se de estimar uma área para a qual dispõe-se não

apenas de um único valor amostrado, mas sim de diversos valores que podem ser utilizados nesse processo, o termo $\bar{\gamma}(S_i, A)$ continua sendo o valor do semivariograma médio entre cada ponto no conjunto de amostras S e cada ponto no painel A ; o termo $\bar{\gamma}(A, A)$ também continua sendo o valor do semivariograma médio entre cada ponto do painel e todos demais desse painel. Nesta situação está presente também uma outra fonte de variação, ou seja, aquela existente entre os pontos utilizados para a estimativa, isto é, o valor médio do semi variograma $\bar{\gamma}(S_i, S_j)$. Nesse caso, a variância com respeito ao valor estimado deve ser calculada segundo:

$$\sigma_{\epsilon}^2 = 2 \sum_{i=1}^n w_i \bar{\gamma}(S_i, A) - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i w_j \bar{\gamma}(S_i, S_j) - \bar{\gamma}(A, A) \quad (2.16)$$

No processo de estimativa de uma área utilizando o modelo de krigeagem mais simples procede-se, portanto, da seguinte maneira:

- cálculo do valor estimativo para uma área

$$T^* = w_1 g_1 + w_2 g_2 + w_3 g_3 + \dots + w_n g_n \quad (2.17)$$

Se a soma dos pesos for igual a 1 e não ocorrer tendência local, esse estimador será o melhor e não tendencioso. O que se pretende é, a partir dos pesos atribuídos a cada amostra, minimizar a estimativa da variância, segundo:

$$\frac{\partial \sigma_{\epsilon}^2}{\partial w_i} = 0, i = 1, 2, 3 \dots n \quad (2.18)$$

Isso é obtido constituindo-se um sistema de n equações com n incógnitas ($w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$); havendo a restrição de que

$\sum w_i = 1$, passa-se a $n + 1$ equações. Como se tem "n" incógnitas, introduz-se uma outra incógnita desconhecida para balancear o sistema, ou seja, o multiplicador de Lagrange λ . Assim:

$$\sigma_{\epsilon}^2 - \lambda(\sum w_i - 1) = 0 \text{ se } \sum w_i - 1 = 0 \quad (2.19)$$

Dessa maneira são elaborados os sistemas de equações com $n+1$ incógnitas:

(2.20)

$$w_1\bar{\gamma}(S_1, S_1) + w_2\bar{\gamma}(S_1, S_2) + w_3\bar{\gamma}(S_1, S_3) + \dots + w_n\bar{\gamma}(S_1, S_n) + \lambda = \bar{\gamma}(S_1, A)$$

$$w_1\bar{\gamma}(S_2, S_1) + w_2\bar{\gamma}(S_2, S_2) + w_3\bar{\gamma}(S_2, S_3) + \dots + w_n\bar{\gamma}(S_2, S_n) + \lambda = \bar{\gamma}(S_2, A)$$

$$w_1\bar{\gamma}(S_3, S_1) + w_2\bar{\gamma}(S_3, S_2) + w_3\bar{\gamma}(S_3, S_3) + \dots + w_n\bar{\gamma}(S_3, S_n) + \lambda = \bar{\gamma}(S_3, A)$$

.

.

.

$$w_n\bar{\gamma}(S_n, S_1) + w_2\bar{\gamma}(S_n, S_2) + w_3\bar{\gamma}(S_n, S_3) + \dots + w_n\bar{\gamma}(S_n, S_n) + \lambda = \bar{\gamma}(S_n, A)$$

$$w_1 + w_2 + w_3 + \dots + w_n + 0 = 1$$

Ou, sob forma matricial:

(2.21)

$$\begin{Bmatrix} \bar{\gamma}(S_1, S_1) & \bar{\gamma}(S_1, S_2) & \dots & \bar{\gamma}(S_1, S_n) & 1 \\ \bar{\gamma}(S_2, S_1) & \bar{\gamma}(S_2, S_2) & \dots & \bar{\gamma}(S_2, S_n) & 1 \\ . & . & . & . & . \\ \bar{\gamma}(S_n, S_1) & \bar{\gamma}(S_n, S_2) & \dots & \bar{\gamma}(S_n, S_n) & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ . \\ . \\ W_n \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \bar{\gamma}(S_1, A) \\ \bar{\gamma}(S_2, A) \\ . \\ . \\ \bar{\gamma}(S_n, A) \\ 1 \end{Bmatrix}$$

$\{ (S_i, S_j) \}$
 $\{ W_i \}$
 $\{ (S_i, A) \}$

Resolvido o sistema de equações obtém-se os pesos W_i segundo:

$$\{S_i, S_i\}^{-1} \cdot \{S_i, A\} = \{W_i\}$$

(2.22)

O cálculo da variância de estimativa ou variância de krigeagem, consiste na determinação do erro associado ao valor calculado pela krigeagem. É um parâmetro muito importante, pois fornece a precisão da estimativa, segundo um certo nível de significância. Neste trabalho utilizou-se nível de significância de 95%.

A seguinte equação define a variância de estimativa:

$$\sigma_e^2 = \sum W_i \bar{\gamma}(S_i, A) + \lambda - \bar{\gamma}(A, A) \quad (2.23)$$

Para o cálculo de $\bar{\gamma}(S_i, A)$ e $\bar{\gamma}(A, A)$, utiliza-se as tabelas de funções auxiliares (e.g. CLARK, 1979). No caso da krigeagem pontual, o valor de $\bar{\gamma}(A, A)$ torna-se nulo, e $\bar{\gamma}(S_i, A)$ deve ser representado por $\bar{\gamma}(S_i, S_0)$. A equação da variância de estimativa nesta situação torna-se:

$$\sigma_e^2 = \sum W_i \bar{\gamma}(S_i, S_0) + \lambda \quad (2.24)$$

onde S_0 é o valor a ser estimado.

CAPÍTULO 3

ARCABOUÇO GEOLÓGICO

3.1. Quadro geológico-tectônico regional

A Bacia de São Paulo, juntamente com as Bacias de Curitiba, Taubaté, Resende e Volta Redonda, integram o Sistema de *Rifts* Continentais da Serra do Mar (ALMEIDA, 1976). RICCOMINI (1989) modificou esse termo para *Rift* Continental do Sudeste do Brasil, incluindo neste contexto o *Graben* de Sete Barras definido por MELO et al. (1989a), bem como as Bacias de Itaboraí e Bonfim. Este sistema de bacias tafrogênicas apresenta-se segundo uma faixa de orientação E-NE, paralela à atual linha de costa (Figura 6).

O embasamento pré-cambriano das bacias é constituído por rochas metamórficas (milonito-gnaisses, blastomilonitos, milonitos, gnaisses bandados, gnaisses graníticos, xistos, quartzitos e anfibolitos bandados), por migmatitos com estruturas variadas, além de granitos, pegmatitos e aplitos (RICCOMINI et al. 1987).

Figura 6.- Contexto geológico regional do Rift Continental do Sudeste do Brasil. 1-embasamento pré-cambriano; 2-sedimentos paleozóicos e mesozóicos da Bacia do Paraná; 3-rochas relacionadas ao vulcanismo da Formação Serra Geral, em parte recobertas por sedimentos e, nesses últimos, algumas intercalações de lavas alcalinas; 4-rochas relacionadas ao magmatismo Mesozóico-Cenozóico (ver quadro no interior da figura; idades em Ma entre parênteses); 5-sedimentos terciários; 6-zonas de cisalhamento relacionadas ao Ciclo Brasileiro/Pan-Africano, em parte reativadas pelo menos durante o Mesozóico e Cenozóico; 7-zonas de flexura; 8-isôpacas, em quilômetros, dos sedimentos das bacias costeiras; 9-epicentros de terremotos; 10-bacias do rift (1-Bacia de Curitiba; 2-Formação Alexandra; 3-Formação Pariquera-Açu; 4-Graben de Sete Barras; 5-Bacia de São Paulo; 6-Bacia de Taubaté; 7-Bacia de Resende; 8-Bacia de Volta Redonda; 9-Bacia de Itaboraí). Parcialmente modificado de MELO *et al.* (1985b) com base nos dados de COUTINHO *et al.* (1982), RICCOMINI *et al.* (1986), MELO *et al.* (1989), e novas observações. Idades segundo ULBRICH & GOMES (1981), RICCOMINI *et al.* (1983), MOTO-KI (1986), FERREIRA *et al.* (1987), LAUAR (1988) e KINOSHITA (inédito, *apud* LAUAR, 1988). (RICCOMINI, 1989, p. 3)

Falhamentos transcorrentes de caráter dextral (SADOWSKI, 1983), desenvolveram-se no final do Ciclo Brasileiro, e permaneceram ativos até o Cambro-Ordoviciano, originando faixas cataclásticas (HASUI & SADOWSKI, 1976; SADOWSKI & MOTIDOME, 1987).

Desde o final do Paleozóico até o Jurássico Superior, a região foi submetida a forte erosão e arqueamento, que se manifestou no Arco de Ponta Grossa, na época região tectonicamente positiva, e na zona costeira (MELO *et al.* 1985 a).

ASMUS (1975) descreveu as etapas *uplift*, *rift* e *drift* da abertura do Atlântico, reconhecendo os estágios pré-*rift*, *rift*, proto oceânico e oceânico. Segundo ASMUS & FERRARI (1978) o Sistema de *Rifts* da Serra do Mar teria sua origem ligada ao arqueamento gerado por movimentos verticais ascendentes, em oposição à subsidência da Bacia de Santos.

Na área, ULBRICH & GOMES (1981) reconhecem três fases de magmatismo alcalino no Cretáceo a Eo-Terciário. A mais antiga, desenvolveu-se no Neocomiano, sincronicamente ao magmatismo basáltico da Bacia do Paraná; a segunda foi identificada no sudeste e nordeste dos Estados de São Paulo e Paraná, de idade albo-aptiana; a última fase ocorreu entre o Senoniano e o Eoceno, principalmente no Estado do Rio de Janeiro.

As Serras do Mar e Mantiqueira são os traços geomorfológicos mais marcantes do relevo na região. Estas

escarpas, cujo desenvolvimento médio é da ordem de 1000 m, podendo chegar a 2000 m, foram geradas pelos mesmos processos que originaram as bacias citadas (MELO *et al.* 1985a).

O rio Paraíba do Sul é o principal eixo de drenagem da região (Figura 6). Da Serra da Bocaina, local de suas nascentes, segue para SW, mudando bruscamente seu curso na altura de Guararema (SP), próximo à Soleira de Arujá, alto que separa as bacias de Taubaté e São Paulo. Seguindo para NE, este rio atravessa as bacias de Taubaté, Resende e Volta Redonda, alcançando adiante o mar (MELO *et al.* 1985a), em Atafona, norte do Estado do Rio de Janeiro. Já a área de estudo é drenada principalmente pelos rios Tietê, Pinheiros e Tamanduateí.

A questão da separação das drenagens dos rios Paraíba do Sul e Tietê, verificada no atual limite entre as Bacias de São Paulo e Taubaté, tem causado divergências de opiniões entre os diversos estudiosos nesta área. KING (1956) considerou a anexação das antigas cabeceiras do rio Tietê pelo Paraíba um dos mais admiráveis casos de captura conhecidos no mundo. Para alguns autores, como LEINZ & CARVALHO (1957), a região de São Paulo teria sido parte da área de drenagem do primitivo rio Paraíba, em decorrência do paleorelevo mostrar declives para leste; já HASUI *et al.* (1976) discordam dessa hipótese, alertando para o fato da possível existência de movimentações tectônicas posteriores, que poderiam ter gerado inversão do relevo.

O arcabouço estrutural destas quatro bacias, configura

semigrabens basculados para NNW, de modo que o limite atual entre os sedimentos e embasamento é representado hoje pela borda norte das bacias (MELO *et al.* 1985a; RICCOMINI, 1989), em disposição retilínea.

Estudos palinológicos nos sedimentos das Bacias de São Paulo, Taubaté, Resende, além de datações K/Ar efetuadas nos derrames de ankaramito intercalados nos sedimentos da Bacia de Volta Redonda, indicaram idade eocênica superior a oligocênica para pelo menos parte do preenchimento vulcano-sedimentar das bacias (RICCOMINI *et al.* 1983; MELO *et al.* 1985a; MELO *et al.* 1986; RICCOMINI 1989).

3.2. EVOLUÇÃO DOS CONHECIMENTOS SOBRE A GEOLOGIA DA BACIA DE SÃO PAULO

A primeira referência aos sedimentos da Bacia de São Paulo foi efetuada por MAWE (1812, p.65), ao reconhecer uma sucessão de estratos horizontais aflorantes em colina na região central da cidade. De acordo com sua sequência de descrição, tem-se: uma camada superior, composta de terra vermelha, vegetal, impregnada de óxido de ferro; logo abaixo areia e "substâncias adventícias" de várias cores, juntamente com blocos redondos de cristal de rocha; subjacente, um leito de argila com cores diversas.

PISSIS (1842a) descreveu um perfil de mais de 18 metros de espessura semelhante ao observado por MAWE (1812). Em trabalho subsequente, PISSIS (1842b) apresenta a primeira seção estratigráfica da bacia (Figura 7). Esse autor é o primeiro a utilizar a denominação Bacia de São Paulo, comparando suas camadas sedimentares àquelas da Bacia Terciária "de la Parayba" (atualmente denominada Bacia de Taubaté). É esse trabalho que contém a primeira referência litoestratigráfica da Bacia de São Paulo, conforme observado por RICCOMINI (1989).

Duas unidades litoestratigráficas foram definidas na área da Bacia de São Paulo: as formações São Paulo e Itaquaquetuba.

Figura 7. Seção estratigráfica da Bacia de São Paulo (PISSIS, 1942b).

A Formação São Paulo foi inicialmente designada de "argilas de São Paulo" por MORAES REGO (1930), já apresentando esse trabalho uma primeira coluna estratigráfica da Bacia de São Paulo (Figura 8). Posteriormente, em 1933, o mesmo autor (MORAES REGO, 1933) adota a denominação "camadas de São Paulo", ainda empregada por MENDES (1950) e ALMEIDA (1955). MEZZALIRA (1962) refere-se à unidade como Formação São Paulo.

Conforme ALMEIDA (1955), LEINZ & CARVALHO (1957), WERNICK (1966) e SUGUIO (1980), as litologias predominantes da Formação São Paulo são argilas, siltes e areias. Os cascalhos teriam ocorrência restrita.

No entender de SUGUIO (1980) a unidade caracteriza-se por um sistema deposicional flúvio-lacustre, com rios meandrantess e "anastomosados", e clima quente e semi-árido. Também advoga que a espessura destes sedimentos alcançaria 200 m (Figura 9).

MELO *et al.* (1986) descrevem a Formação São Paulo, como sendo constituída pela variação lateral de três fácies, resultantes de sedimentação de leques aluviais coalescentes, correspondendo a fácies fanglomerática; fácies apresentando lamitos de porções distais de leques; e fácies de planície de sistema fluvial. Essa última compreenderia barras longitudinais arenosas, conglomerados, bem como sedimentos finos, por vezes laminados, e na qual estaria englobada a Formação Itaquaquacetuba. Os depósitos propriamente lacustres,

SYNOPSIS DAS FORMAÇÕES GEOLOGICAS DE SÃO PAULO

CENOZOICA	Quaternário	Holoceno	Areia e vasa do mar actual		Areia, vasa e cascalho dos rios	Solos
		Pleistoceno	Areia dos terraços com fósseis marinhos		Areia, vasa, cascalho dos terraços fluviais e depósitos das cavernas	
	Terciário	Plioceno	Camadas do Parahyba		Argilas de S. Paulo	Camadas do Alto do Planalto
	Cretáceo	Neocomiano	Formação Baurá			
MESOZOICA	Triássico	Rhaetico	Série de S. Bento	Eruptivas da Serra Geral		
				Arenito Botucató		
		Carnico		Grupo Rio do Raso	Camadas de Santa Maria Camadas de Serrinha	
		Dinarico				
	Permiano	Werraiano	Série Passa-Dous	Camadas de Therozina		
Thuringiano		Grupo Estrada Nova sensu str.				
Saxoniano		Grupo Itaty				
Carbonífero	Artinskiano	Série Tubarão				
	Uraliano		Camadas com leitos de carvão			
	Moscoviano	Série Hararé				
			Camadas com sedimentos glaciaes			
PALEOZOICA	Devoniano	Eodevoniano				
			Arenito das Furnas			
	Ordoviciano ?	Série de S. Roque	Granitos e eruptivas basicas			
	Rochas metamorphicas, predominando phyllitos e calcareos					
ARCHEOZOICA	Archeano	Complexo brasileiro	Gneiss filado e quartzito			Granitos e eruptivas basicas
			Gneiss leptinitico e calcareo			
			Gneiss porphyroide			

Figura 8. Sinopse da geologia de São Paulo (MORAES REGO; 1930 p. 70)

Depósitos sedimentares	Litologias	Idades	Espessuras	Climas	Ambientes de sedimentação	Tectonismo
Aluviões Recentes	Silte argiloso mais ou menos orgânico	Holoceno Atual a alguns mil anos	0 a 3m	Tropical úmido	Fluvial Rios meandrosos	Praticamente desprezível
Aluviões Antigos	Areia grossa com cascalho e raras argilas muito orgânicas	Pleistoceno Superior ±50000 anos	0 a 20m	Tropical úmido	Fluvial Rios anastomosados	Sinsedimentar e Pós-sedimentar
Formação São Paulo	Silte argiloso e lentes arenosas. Raras cascalhos	Plioceno	0 a 200m	Quente semi-árido	Flúvia-lacustre Rios meandrosos e anastomosados	Sinsedimentar e Pós-sedimentar

Figura 9. Sequência vertical dos sedimentos da Formação São Paulo e quadro comparativo dos diferentes depósitos presentes na área da Bacia de São Paulo (SUGUIO, 1980, p. 32).

consistindo em geral por argilas, não foram abrangidos por esses autores na unidade. No entanto, LIMA & MELO (1989) e LIMA et al. (1989a) incluem esses sedimentos na Formação São Paulo.

RICCOMINI (1989) considera que a Formação São Paulo se restringiria apenas a depósitos gerados em sistema fluvial meandrante. Os sedimentos relacionados ao sistema de leques aluviais e rios entrelaçados estariam englobados na Formação Resende, enquanto que os depósitos lacustres pertenceriam à Formação Tremembé. Esse autor supõe que as bacias de São Paulo, Taubaté, Resende e Volta Redonda se desenvolveram conjuntamente, com origem a partir de uma mesma depressão (Figura 10). A configuração atual de tais bacias seria decorrente de compartimentações posteriores à deposição das unidades citadas.

Com respeito à datação, os primeiros trabalhos efetuados sobre a bacia indicam diferentes idades para os sedimentos da Formação São Paulo. PISSIS (1842b) admite idade terciária, enquanto que MORAES REGO (1933) e MORAES REGO & SOUZA SANTOS (1938) atribuem idade pliocênica para as então denominadas "camadas de São Paulo". Por sua vez, MENDES (1950), ao discutir especificamente essa questão, indica para essas camadas idade quaternária.

Atualmente, conforme já mencionado, existem diferentes concepções acerca dos sistemas deposicionais presentes na Formação São Paulo. Entretanto, os diferentes sedimentos datados por palinologia indicaram idade oligocênica (LIMA &

Figura 10. Esboços paleotectônicos da evolução do Rift Continental do Sudeste do Brasil
(RICCOMINI, 1989, p.215)

MELO, 1989; RICCOMINI, 1989), embora SUGUIO *et al.* (1986), com base em análises paleomagnéticas, apontarem idade pliocênica superior para a unidade.

MORAES REGO (1930, 1933) considera que os sedimentos da Formação São Paulo foram depositados sob condições semi-áridas, em razão da coloração avermelhada e da ausência de fósseis. No entanto, MELO *et al.* (1986) e RICCOMINI (1989) acreditam que condições de semi-aridez teriam ocorrido associados a fases úmidas concentradas, devido, respectivamente, à presença de carbonatos tipo *caliche* descritos por COIMBRA & RICCOMINI (1985) nas bacias de Taubaté e Resende e a provável existência de um espesso manto de regolito que propiciaria a deposição de sedimentos lamíticos de fluxo de lama, presentes na Bacia de São Paulo. Já LIMA & MELO (1989) atribuem um clima não tropical, possivelmente seco, à época da deposição desses sedimentos, devido à abundância de pólenes de coníferas.

Os sedimentos da Formação Itaquaquetuba (COIMBRA *et al.* 1983), foram anteriormente descritos por JUNQUEIRA (1969), reconhecidos por SUGUIO & TAKAHASHI (1970), como "aluviões antigos dos rios Pinheiros e Tietê," e denominados de "camadas cruzadas da fase Butantã" por AB'SÁBER (1980)

Constituem-se predominantemente por depósitos arenosos, destacando-se nestes a presença de troncos com 2 a 3 metros de comprimento e até 0,5 metro de diâmetro, ocorrendo ainda conglomerados, lamitos e sedimentos argilosos.

Estes depósitos foram interpretados por COIMBRA *et al.* (1983) como típicos de sistema fluvial anastomosado correspondendo àqueles denominados como sistema fluvial *braided* por MELO *et al.* (1986), embora com conotação estratigráfica distinta.

Com relação as condições climáticas vigentes na deposição da Formação Itaquaquacetuba, JUNQUEIRA (1969) e BIGARELLA (1971) sugerem a hipótese de clima seco. No entanto, SUGUIO (1971) e SUGUIO & MUSSA (1978), com base nos dados de troncos fósseis, admitem condições climáticas úmidas. FITTIPALDI *et al.* (1989) e RICCOMINI (1989) concordam com essa conclusão, devido respectivamente à identificação de folhas fósseis presentes nos megaclastos argilosos e a presença de esporos de pteridófitas encontrados nesta unidade. Já LIMA & MELO (1989) discordam de tais autores e consideram o predomínio de um clima não tropical, possivelmente seco, devido à abundância de pólenes atribuídos a coníferas.

RICCOMINI (1989) e FITTIPALDI (1990) explicam a aparente contradição entre elementos paleobotânicos indicadores de condições climáticas com base na zonação altitudinal, ou seja, na ocorrência de diversos tipos de vegetação em razão de diferentes temperaturas decorrentes do aumento de altitude. Desta forma, segundo FITTIPALDI (1990) as folhas, sendo mais frágeis ao transporte, indicariam um clima local, enquanto que os poléns de coníferas apontariam para um clima seco, de maior altitude, entendendo que os palinomorfos podem resistir ao

transporte por grandes distâncias, até milhares de quilômetros.

A questão da idade da Formação Itaquaquetuba causa ainda certa polêmica. BIGARELLA (1971) e SUGUIO (1971), a partir de datações radiométricas de troncos carbonificados, propuseram idade aproximada de 50.000 anos para a unidade. Já MELO *et al.* (1985b; 1986) e LIMA *et al.* (1989b), admitem que esta unidade tenha a mesma idade atribuída aos sedimentos da Formação São Paulo, ou seja, Eoceno Médio a Oligoceno Inferior (MELO *et al.* 1985b; 1986) e oligocênica (LIMA *et al.* 1989b). Na verdade, MELO *et al.* (1986) acreditam que a deposição dos sedimentos da Formação São Paulo e dos da Formação Itaquaquetuba foi sincrônica, sendo esta última, apenas uma das fácies integrante da unidade anterior. Segundo os autores, estudos palinológicos efetuados sustentariam tal hipótese.

Mais recentemente, MELO *et al.* (1989b) discutem três hipóteses referentes à idade da Formação Itaquaquetuba: mais antiga, mais jovem, ou ainda de mesma idade que a Formação São Paulo.

Nesse mesmo ano, em sua tese de doutoramento, RICCOMINI (1989) considera a Formação Itaquaquetuba mais jovem que a Formação São Paulo, ressaltando a existência de uma discordância entre as duas unidades (ver, a propósito, a coluna estratigráfica da Figura 11). A estes sedimentos é atribuída idade neogênica. O autor considera que o material submetido às análises palinológicas nos trabalhos anteriores e nos de sua

Figura 11 - Relações entre a estratigrafia e a tectônica no Rift Continental do Sudeste do Brasil (RICCOMINI, 1989, p.231)

tese, seriam de origem extraclástica, estando portanto prejudicadas as interpretações de idade e de paleoclima neles fundamentadas.

Depreende-se pelo quadro apresentado ainda haver discordâncias dos autores com relação à idade e ao paleoclima da Formação Itaquaquecetuba.

3.3 Bacia de São Paulo

3.3.1 Considerações Gerais

Os sedimentos terciários da Bacia de São Paulo distribuem-se por uma área de forma aproximadamente ovalada com extensão aproximada de 1000 Km². Ao norte, a bacia exhibe borda retilínea, marcada pelo sistema de falhas Taxaquara-Jaguari, apresentando ao sul contatos irregulares com o embasamento pré-cambriano. Seus eixos maior (55 Km) e menor (25 Km), dispõem-se entre as localidades de Arujá e Interlagos, Santo André e Santana, respectivamente. Exibem ainda ramificações a leste, de Itaquaquecetuba para Mogi das Cruzes e Palmeiras, e a sul, de Interlagos para Bororé e Cipó (Figura 1). As estimativas de espessura máxima de sedimentos na bacia chegam a alcançar até 311 metros (HASUI & CARNEIRO, 1980), baseadas em desnivelamentos entre ocorrências do topo do Espigão Central a

833 m e dados da base de sondagens para água subterrânea em Guarulhos que atingiram a cota 522 m.

Muito provavelmente esses cálculos não consideraram a possibilidade da existência de deformações tectônicas de diferentes idades. No presente estudo, foi observada espessura máxima de 256 m de sedimentos na região da Móoca (Sondagem nº 384 - DAEE). Como registro contínuo, a maior espessura de sedimentos na área geográfica da Bacia de São Paulo foi atravessada em sondagem para água subterrânea, executada pela HIDROGESP, na estrutura circular de Colônia, onde foram perfurados de 263 m de sedimentos (CEPAS, 1989). Restam entretanto dúvidas se o embasamento pré-cambriano tenha sido atingido ou não pela sondagem (RICCOMINI et al. 1989).

Segundo AB'SÁBER (1957, p.13), o relevo do sítio urbano de São Paulo é formado por um pequeno mosaico de colinas, terraços fluviais e planícies de inundação. Está localizada no Planalto Paulistano, feição geomorfológica mais jovem que a Superfície do Japi, esta de idade terciária inferior (ALMEIDA, 1976).

3.3.2 Estratigrafia

A divisão litoestratigráfica da Bacia de São Paulo, bem como a das demais bacias a ela correlatas, foi recentemente

revisada por RICCOMINI (1989). No presente estudo será adotada, em sua maior parte, essa nova proposta, de vez que ela se compatibiliza às opiniões apresentadas.

Deve-se ressaltar, entretanto, que os depósitos lacustres são mencionados como "depósitos correlacionáveis" à Formação Tremembé, uma vez que são considerados correspondentes quanto a idade e ao ambiente de sedimentação. Não se optou por redefinir as unidades litoestratigráficas da Bacia de São Paulo, em razão de serem outros os propósitos deste trabalho, mesmo porque, como no caso dos depósitos lacustres, nem sempre há elementos ou dados suficientes para tal reformulação. Por outro lado, supõe-se que a introdução de novos termos tenda a gerar complexidades desnecessárias nos estudos dessas bacias.

De qualquer modo, as formações São Paulo, Itaquaquecetuba e Resende são aqui entendidas segundo a concepção estratigráfica de RICCOMINI (1989). Ressalta-se que a denominação Formação Resende, mesmo não tendo sido definida na área geográfica da Bacia de São Paulo, foi aqui adotada, pois, além de ser a unidade terciária predominante nesta bacia, entende-se que as bacias do *rift*, com unidades a ela correlacionáveis, apresentavam preteritamente continuidade lateral, hipótese esta já aventada em trabalhos pioneiros (e.g. MORAES REGO, 1933) sobre a área em questão.

3.3.2.1 Sistema de leques aluviais associados a planície

aluvial de rios entrelaçados (Unidade Tf)

Esses sedimentos correspondem a unidade Tf do mapa geológico, subdividida em duas litofácies equivalentes aos depósitos proximais (Tff) e aos distais (Tfl) de leques aluviais, denominados de Formação Resende (RICCOMINI, 1989).

Os processos de fluxo gravitacional, tração e secundariamente suspensão teriam sido atuantes na deposição dos sedimentos desta unidade.

As litologias predominantes dos depósitos proximais (Tff) fanglomeráticos, correspondem a conglomerados polimíticos com matriz arenosa ou argilosa. Brechas e diamictitos apresentam-se intercalados com camadas de material lamítico. São gerados por processos de fluxo de detritos (*debris flow*), e estão comumente associados à borda norte da bacia, tectonicamente ativa à época da deposição destes sedimentos.

Lamitos associados a arenitos e conglomerados de sistema fluvial entrelaçado são litologias predominantes nas porções distais dos leques aluviais (litofácies Tfl do mapa geológico).

Estes lamitos, muitas vezes confundidos como argilas puras em pocos do DAEE, e já descritos como "argilas duras", cinza esverdeadas e cinza avermelhadas COZZOLINO (1972, 1980), são caracterizados por apresentar matriz argilo-arenosa abundante, envolvendo grânulos a seixos de quartzo e feldspato,

em sua maioria. Sua coloração varia desde tons avermelhados e amarelados passando a acinzentados e esverdeados. Por vezes, encontram-se intercalados a arenitos e conglomerados maciços ou com estratificação planar e/ou cruzada.

Estes depósitos exibem contato interdigitado com as rochas das porções proximais do leque aluvial.

Os sedimentos depositados no sistema de leques aluviais associados a rios entrelaçados, acima descritos, são englobados na Formação Resende, na concepção de RICCOMINI (1989).

Apesar de não ter sido datada através de palinologia nenhuma amostra dessa unidade na área geográfica da Bacia de São Paulo, aceita-se aqui a idade oligocênica, pois os sedimentos já analisados (e.g. MELO *et al.* 1986; LIMA & MELO, 1989; RICCOMINI, 1989) ou correlacionam-se, ou encontram-se interdigitados com os da unidade em questão (Unidade T1), os quais teriam o clima semi-árido com períodos de chuvas concentradas atuantes durante sua deposição (MELO *et al.*, 1986; RICCOMINI, 1989).

3.3.2.2. Sistema lacustre (Unidade T1)

O sistema lacustre é representado por argilas a argilas siltsas, de coloração preta a cinza e esverdeadas, pertencentes aos grupos da esmectita e illita (RICCOMINI,

1989), reveladas por sondagens e escavações para a construção da Estação Barra Funda do METRÔ, em 1984.

Estas argilas, depositadas em condições de calma tectônica, apresentariam, muito provavelmente, contato interdigitado com os depósitos de leques aluviais da Unidade Tf (Figura 12).

Devido a sua natureza argilosa e coloração, esses sedimentos, ricos em matéria orgânica, são bastante propícios à análise palinológica, ARAI (1982). MELO et al. (1986), LIMA & MELO (1989), LIMA et al. (1989a) e RICCOMINI (1989) indicaram, por este método, idade oligocênica para estes depósitos, que seriam correlacionáveis aos da Formação Tremembé, redefinida por RICCOMINI (1989), como um sistema *playa lake*.

3.3.2.3. Sistema fluvial meandrante (Unidade Tm)

Diversas litofácies são geradas em sistema fluvial meandrante. Algumas, verificadas em campo e em sondagens do DAEE, compreendem depósitos de canal, de barra de pontal (*point bar*), de meandros abandonados (*oxbow lakes*) e de planície de inundação, esses últimos abrangendo feições de rompimento de diques marginais (*crevasse splay*).

REFERÊNCIAS

- Dados de poços pertencentes ao cadastro do DAEE

- ALUVIÃO QUATERNÁRIO
- AREIA FINA A GROSSA
- AREIA ARGILOSA
- ARGILA, LAMITO
- ARGILA ARENOSA
- CONGLOMERADO
- AREIA CONGLOMERÁTICA
- EMBASAMENTO

- CONTATO INTERDIGITADO
- CONTATO DISCORDANTE
- PROVÁVEL FALHA COM MOVIMENTAÇÃO INDICADA PELAS SETAS

0 1 2 3 4 Km
V. H = 1:50

2135

NÚMERO E LOCALIZAÇÃO DO POÇO

HARMI TAKIYA - DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

FIGURA 12 - PERFIL A-B

PORÇÃO CENTRO OESTE
DA BACIA DE SÃO PAULO

Litologicamente correspondem a conglomerados, arenitos com estratificações plano paralelas, passando a acanaladas e cruzadas, gradando para siltitos laminados e argilitos ora com delgadas porções de areia, apresentando este pacote granodecrescência ascendente, caracterizando depósitos de canal-barra de pontal-planície de inundação. Em observações de campo, comumente esta sequência encontra-se truncada. Por vezes, foram encontrados pequenas lentes arenosas em sedimentos pelíticos de planície de inundação, interpretados como rompimento de dique marginal. Os meandros abandonados exibem sequência com granodecrescência ascendente, porém interrompida. Nesses depósitos geralmente os sedimentos arenosos são superpostos por espesso pacote argiloso.

São sedimentos dessa natureza aqueles citados nas primeiras referências à Bacia de São Paulo (e.g. PISSIS, 1842b; MORAES REGO 1930, 1933; MORAES REGO & SOUZA SANTOS 1938; ALMEIDA, 1955), definidos como Formação São Paulo por MEZZALIRA (1962) também descritos por SUGUIO & BARBOUR (1969) e SUGUIO (1980), e redefinidos com seção-tipo por RICCOMINI (1989).

A Formação São Paulo tem expressiva ocorrência em área na bacia, geralmente aflorante em cotas acima de 780 m. Seus depósitos muitas vezes associados às couraças ferruginosas, sustentam altas colinas (SUGUIO & BARBOUR, 1969; SIGOLO & OHNUMA, 1990) ocorrentes, principalmente, no espigão central.

Admite-se que condições climática úmidas estiveram vigentes durante a deposição desta unidade (RICCOMINI, 1989),

de idade oligocênica, considerando-se análises palinológicas realizadas em litofácies correlacionáveis a esta unidade, nas bacias de Taubaté em Guararema (LIMA *et al.* 1985 ; RICCOMINI 1989) e Bonfim (LIMA & DINO, 1985).

3.3.2.4 Sistema fluvial entrelaçado

Os sedimentos de sistema fluvial entrelaçado não afloram na área em estudo. Foram observados, entretanto, em vários poços do DAEE, e em especial em testemunhos contínuos de ótima qualidade coletados pelo CEPAS, em poço locado na Ráia Olímpica da USP (Figura 13).

Esses depósitos, primeiramente descritos por JUNQUEIRA (1969), SUGUIO & TAKAHASHI (1970), SUGUIO *et al.* (1971) e BIGARELLA (1971), e formalizados por COIMBRA *et al.* (1983) como Formação Itaquaquecetuba, constituem-se predominantemente por arenitos grossos, arcoseanos, mal a medianamente selecionada, com grãos de quartzo subarredondados em sua maioria, apresentando estratificações tabulares e acanaladas. Esses estratos podem conter "níveis" argilo-siltosos, eventualmente arenosos, de coloração castanho-escuro, ricos em matéria orgânica. Os conglomerados presentes nesta unidade, exibem seixos de quartzo, geralmente subarredondados, mal a medianamente selecionados, com matriz arenosa, e calhaus,

Solo areno argiloso marrom

Argila marrom

Areia fina passando a areia grossa e conglomerado constituído predominantemente por quartzo, e secundariamente por mica e turmalina

Areia muito fina argilosa passando a areia grossa alaranjada, com grãos subarredondados de quartzo, bem selecionados, seguida por conglomerado esbranquiçado, medianamente selecionado, com grãos subarredondados a subangulares. Este pacote apresenta quartzo predominantemente, mica e turmalina em sua composição.

Lamito cinza esverdeado com grãos 2mm Ø quartzo

Conglomerado esbranquiçado, pouca matriz argilosa

Lamito semelhante ao anterior

Conglomerado arenoso, mal selecionado, esbranquiçado, com porções de areia grossa a fina. No intervalo 22,2-23,5, notou-se lentes mm de argila, com sulfetos (marcassita).

Até o final do intervalo amostrado, nota-se a predominância de areia grossa a conglomerado semelhantes aqueles anteriormente descritos, apresentando intercalações de lamito.

Intervalo sem amostragem

Intervalo sem amostragem

Figura 13-Perfil da sondagem 12, CEPAS, Ráia Olímpica, Cidade Universitária - USP (SP). Análise Granulométrica dos intervalos A, B, C, D, E e F. (S=X seixos; G= X grânulos; Ar= X areia; Si=X silte; Ag=X argila).

A - S = 0; G = 12,4; Ar= 82,0; Si = 4,5; Ag = 1,1

B - S = 0; G = 6,0; Ar= 90,9; Si = 2,4; Ag = 0,7

C - S = 0; G = 16,6; Ar= 75,4; Si = 4,8; Ag = 3,2

D - S = 0; G = 4,7; Ar= 87,6; Si = 5,8; Ag = 1,9

E - S = 0; G = 11,7; Ar= 80,6; Si = 6,1; Ag = 1,6

F - S = 0; G = 4,6; Ar= 88,1; Si = 5,1; Ag = 2,2

constituídos de "bolas de argilas". Os lamitos exibem grânulos a seixos de quartzo, ocorrendo ainda feldspatos e mica.

É notável a presença de troncos nesta unidade, encontrando-se silicificados e/ou carbonificados e/ou marcassitizados (SUGUIO & MUSSA, 1978). Vários autores dedicaram-se ao seu estudo (e.g. TOLENTINO, 1965; SUGUIO, 1971; SUGUIO & MUSSA, 1978; ARAI, 1986), apresentando entre outras, considerações a respeito de sua maturação, idade e paleoclima.

Deve-se destacar, também, os estudos detalhados sobre sulfatos secundários ocorrentes nesses depósitos, efetuados por ATENCIO *et al.* (1982), COIMBRA *et al.* (1980) e ATENCIO (1986).

A posição estratigráfica da Formação Itaquaquetuba e as condições climáticas vigentes durante sua deposição, são ainda assuntos polêmicos, como bem exemplificado na discussão apresentada por MELO *et al.* (1989b). No entanto, alguns aspectos importantes merecem ser destacados: esta unidade está relacionada à atividades tectônicas sin e pós-sedimentares (SUGUIO & TAKAHASHI, 1970; SUGUIO, 1971; SUGUIO *et al.* 1971; COIMBRA *et al.* 1983; ALMEIDA *et al.* 1984; RICCOMINI, 1989); seus sedimentos ocorrem em cotas inferiores a 710 m, em contato direto com o embasamento da bacia (COIMBRA *et al.* 1983; ALMEIDA *et al.* 1984; RICCOMINI, 1989); os níveis argilosos datados por palinologia podem corresponder a extraclastos de formações mais antigas pertencentes a depósitos de meandros abandonados da Formação São Paulo (RICCOMINI, 1989), ou originados em turfeiras (ARAI, 1986); os troncos da Formação Itaquaquetuba

indicam que suas camadas não sofreram soterramento muito maior que o constatado atualmente (ARAI, 1986), revelando alguns gêneros ainda viventes em florestas tropicais (SUGUID & MUSSA, 1978).

Estas colocações podem indicar que esta unidade seja mais jovem que a Formação São Paulo e os depósitos correlacionáveis às formações Resende e Tremembé, embora não sejam conclusivas.

3.3.2.5. Coberturas Neocenozóicas

Segundo o relatório do IPT (1986) os depósitos neocenozóicos (plio-pleistocênicos) correspondem às associações colúvio-aluviais, com espessuras de 4 a 5 m, de distribuição relativamente restrita, que acompanham grosseiramente a topografia. São constituídos por conglomerado basal, seguido de material argilo-arenoso variegado com seixos dispersos, apresentando granodecrescência ascendente incipiente. As couraças limoníticas de espessura métrica, que ocorrem em topos de algumas colinas de sedimentos terciários também são incluídos nesta unidade neocenozóica.

3.3.2.6. Coberturas quaternárias (Unidade Q)

Segundo MELO *et al.* (1987) os depósitos pleistocênicos desta unidade, referem-se a colúvios apresentando predominantemente sedimentos argilo-arenosos, com lentes mais argilosas, ou conglomeráticas, ocasionalmente exibindo madeira fóssil, e aluviões subordinados constituídos por conglomerados basais sobrepostos por areia grossa a conglomerática com estratificações cruzadas, gradando para areia fina a média, com porções de argila arenosa, podendo conter também, esses dois últimos pacotes, fragmentos de madeira fóssil, com idades entre 52.000 e 27.480 anos A.P. As turfeiras da porção superior (< 2,7m) da depressão do Astroblema de Colônia, indicaram também idade variando entre 28.050 e 18.180 anos AP. (RICCOMINI *et al.* 1989)

Os depósitos holocênicos são representados por colúvios e aluviões em várzeas e baixos terraços, cuja espessura raramente ultrapassa 10 m. Conglomerados basais, constituídos por seixos e blocos de quartzo e quartzito, sobrepostos por areias médias com estratificações cruzadas acanaladas e até 2 m de espessura, com raros fragmentos de madeira fóssil carbonificada, seguidos por sedimentos areno-silto-argilosos turfáceos, representam uma seção típica destes estratos (ALMEIDA *et al.* 1984).

MELO *et al.* (1987) identificaram duas gerações destes depósitos: aluviões, predominantemente arenosos a partir de

5485 anos A.P., em clima mais seco que o atual; e aluviões quaternários finos, com turfas, possivelmente até atuais, depositados desde 2025 anos A.P., sob condições climáticas próximas das atuais.

A nível regional, a sedimentação continental holocênica registra episódios de seca há 6.000, 4.000, 2.000 anos A.P. (SERVANT *et al.* 1989), a 1.000 e a 300 anos A.P. (RICCOMINI *et al.* no prelo). Segundo esses autores esses eventos seriam marcados por fases de reajustamentos de drenagens, em função, principalmente, de mudanças paleoclimáticas.

Efetuuou-se a análise palinológica de 2 amostras provenientes de sedimentos quaternários, quase que certamente holocênicos (determinação ^{14}C -radiocarbono em execução no National Science Foundation Accelerator Facility for Isotope Dating - Arizona), coletados em turfa argilo-arenosa do Vale do Anhangabaú. A abundância de pólenes de gramíneas (>70%), associadas a baixa densidade de pólenes arbóreos (<3%), encontradas nas duas amostras, sugerem um clima regional seco atuante na deposição destes sedimentos. A nível local, a presença de algas indica a presença de um corpo aquoso, em ambiente úmido, constatado pela ocorrência de pteridófitas, anthoceros e ciperáceas. A figura 14 mostra os palinomorfos mais representativos encontrados nessas amostras.

Figura 14 legenda

- 1, 2, 3, 4 : Esporos triletes (Pteridofitas)
- 5, 6 : Esporos monoletes (Pteridofitas)
- 7 : Araucariaceae (Araucaria sp)
- 9, 19 : Compositae tubuliflorae
- 9 : Compositae liguliflorae
- 10 : Cyperaceae
- 11 : Gramineae
- 12 : Pólen monocolpado
- 13 : Umbelliferae
- 14 : Euphorbiaceae
- 15 : Pólen tricolporado
- 16 : Malvaceae
- 17 : Caryophyllaceae
- 18 : Aquifoliaceae (Ilex sp.)
- 20, 23 : Esporos de fungos
- 21 : Alga Zygnemataceae (Zygnema sp.)
- 22 : Amaranthaceae
- 24 : Incertae sedis (Concentricistes)
- 25 : Alga Zygnemataceae (Debarya sp.)
- 26 : Incertae sedis (Algas ?)

X 100

PALINOMORFOS QUATERNÁRIOS DO ANHANGABAÚ - SP

Figura 14. Palinomorfos quaternários do Anhangabaú (SP)

3.3.3 Hidrotermalismo

RICCOMINI *et al.* (1988) apontam evidências de hidrotermalismo em sedimentos da porção central da Bacia de São Paulo (Parque D. Pedro II). A área em questão situa-se na possível junção dos falhamentos de Caucaia e Taxaquara, onde foram observados diamictitos litificados de coloração verde acinzentada com fragmentos até centimétricos de milonitos, feldspato (microclínio) e agregados quartzo-feldspáticos e quartzíticos, ambos derivados de milonitos. O cimento desta rocha é composto por limonita amorfa e argilo-mineral do grupo da caulinita (dickita), envolvendo vazios ou cristalizando-se em placas centimétricas intersticiais; a barita é encontrada preenchendo as fraturas. Os autores citados assumem a hipótese de percolação por soluções ácidas aquecidas a $250^{\circ}\text{C} \pm 150^{\circ}\text{C}$, para a formação do caulim hidrotermal e da barita. A água poderia ser de origem meteórica ou juvenil, neste caso advinda do resfriamento de lavas. A acidez seria resultante da dissolução de sulfetos, que originariam os vazios atualmente observados e explicaria a presença de limonita e barita.

3.3.4. Evolução tectono-sedimentar

É importante ressaltar que a Bacia de São Paulo, devido ao seu contexto geológico regional, ou seja, como parte integrante do Sistema de *Rifts* da Serra do Mar (ALMEIDA, 1976), ou do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil (RICCOMINI, 1989), tem origem e evolução análoga às demais bacias.

MELO *et al.* (1986) sugerem que a Bacia de São Paulo esteve sujeita a dois estágios tectônicos. Durante o primeiro, distensivo, que originou o *rift* que se instalou a bacia, depositaram-se sincronicamente, sob clima de semi-aridez associado à fases úmidas concentradas, os sedimentos da Formação São Paulo, compreendendo fanglomerados, lamitos, argilas lacustres e depósitos arenosos, inserindo-se nestes a Formação Itaquaquecetuba. Essas quatro litofácies seriam resultantes da variação lateral na sedimentação em sistema de leques aluviais - planície e lago. A idade atribuída à Formação São Paulo seria oligocênica (RICCOMINI *et al.* 1987; MELO *et al.* 1989; LIMA & MELO, 1989). Os falhamentos originados neste estágio tectônico distensivo teriam direção geral E-NE, a partir de esforços trativos com orientação NNW. No Plioceno, ocorreria a segunda fase tectônica, de caráter compressivo e pós-sedimentar, coaxial à primeira.

RICCOMINI (1989), embora concorde em parte com a evolução apresentada por MELO *et al.* (1986), apresenta um modelo

tectônico contemplando pelo menos quatro fases de movimentação.

No Eoceno-Oligoceno manifestar-se-ia a primeira fase tectônica, de caráter distensivo, com extensão NNW-SSE, formando a depressão original que acolheu sedimentos advindos de um sistema de leques aluviais associados a planície aluvial de rios entrelaçados (Formação Resende), um sistema *playa-lake* (Formação Tremembé), e um sistema fluvial meandrante (Formação São Paulo), este já numa fase de colmatção da bacia. O clima semi-árido esteve vigente durante a sedimentação das formações Resende e Tremembé. Já na deposição da Formação São Paulo as condições teriam sido úmidas.

A Formação Itaquaquecetuba teria sua origem relacionada à transtração ou relaxamento final da segunda fase tectônica (transcorrência sinistral E-W, com extensão NW-SE), provavelmente de idade miocênica. Os sedimentos desta unidade, de sistema fluvial entrelaçado, teriam sido depositados em condições climáticas úmidas. No Pleistoceno Superior a Holoceno depósitos colúvio-aluviais estiveram sujeitos a uma terceira fase tectônica, caracterizada, também, por transcorrência, agora dextral, com compressão NW-SE, e principal responsável pela disposição atual dos sedimentos. Esta proposta é a que melhor se harmoniza com as idéias aqui manifestadas.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS OBTIDOS

4.1 Mapa Geológico

O mapa geológico apresentado em escala 1:100.000 (Anexo A), divide-se em unidades litológicas pré-cambrianas e cenozóicas.

Os sedimentos da Bacia de São Paulo estão representados nas unidades cenozóicas (terciárias e quaternárias).

Sedimentos aluviais e coluviais holocênicos e provavelmente pleistocênicos, representam a unidade Qa, de maior ocorrência na área da bacia.

As unidades terciárias correspondem aos depósitos de sistema de leques aluviais associados a rios entrelaçados (Tf); sistema fluvial meandrante (Tm); sistema fluvial entrelaçado (Te); e sistema lacustre (Tl), de ocorrência cada vez mais restrita, segundo a ordem apresentada. As unidades Te e Ta estão encobertas sob os sedimentos quaternários (Q).

4.2 Mapa de contorno estrutural

O estudo do arcabouço estrutural da Bacia de São Paulo vem sendo realizado por diversos autores, desde a década de 50 (e.g. LEINZ & CARVALHO, 1957; SILVA & BASANO FILHO, 1972; DAEE, 1975; HASUI *et al.* 1976; HASUI & CARNEIRO, 1980; MELO *et al.*, 1986) os quais, muito provavelmente, utilizaram métodos clássicos no traçado das curvas de isovalores.

Os trabalhos de TAKIYA *et al.* (1988, 1989, 1990), além deste, representam ainda a aplicação não usual da geoestatística no estudo de bacias sedimentares.

Os mapas de contorno estrutural aqui apresentados são aqueles modificados de TAKIYA *et al.* (1989). Para sua confecção foram utilizados 727 poços irregularmente distribuídos na porção centro-oeste da Bacia de São Paulo, em uma área de 30x30 Km (Anexo B):

A geoestatística foi o método empregado na elaboração dos mapas. Para tanto, foram determinados parâmetros estatísticos, seguido da confecção de semivariogramas nas direções N45E, NS, EW e N45W, e da estimativa de valores por krigeagem pontual.

Duas etapas de trabalho foram necessárias até a confecção dos mapas finais, em escala 1:100.000.

Na primeira considerou-se a área total como pertencente a uma única população de dados e elaborou-se um mapa geral de

contorno estrutural com valores estimados por krigeagem pontual em malha regular de 1×1 Km, e intervalo de 20 m entre as curvas.

O histograma elaborado nesta fase encontra-se na figura 15, os valores de assimetria e curtose indicaram, através das Tabelas de PEARSON & HARTLEY (1966, *apud* PRESTON, 1970), que os dados de cota de embasamento não obedecem uma distribuição normal.

Figura 15 Histograma da cota do topo do embasamento. Área total.

O semivariograma experimental (Figura 16) foi ajustado ao modelo esférico, adotando-se alcance (a) = 9 Km, patamar (c) = 2710 e efeito pepita (Co) = 100. A krigeagem pontual utilizou esses valores, considerando o raio = 9 Km para estimativa de valores. O mapa de contorno estrutural e de erros associados à

estimativa de valores apresenta-se no Anexo C.

Figura 16 Semivariograma da cota do topo do embasamento. Área total. Modelo Esférico. a = alcance; C_0 = efeito pepita; h = incremento da distância; α = ângulo de tolerância; C = patamar; σ^2 = variância.

Numa segunda etapa, a disposição das curvas, associada a grande variabilidade dos dados, sua análise em função das descontinuidades do embasamento verificadas às bordas da bacia,

bem como seus prolongamentos sob ela, foram critérios utilizados por TAKIYA *et al.* (1989) na subdivisão da área total em compartimentos tectônicos, e adotados também no presente estudo. Seus limites foram definidos com base nas seguintes hipóteses de trabalho (Figura 17):

- a Falha de Taxaquara definiria a borda norte da bacia, em continuidade com a Falha de Jaguari; a Falha do rio Pirajussara prolongar-se-ia sob a bacia, até a região de Guarulhos;

- a Falha de Taxaquara se bifurcaria na altura de Osasco, sendo que uma das ramificações atravessaria a bacia, na direção E-W, sob a calha do rio Tietê, conectando-se à Falha do Alto da Fartura (Domínios 1 e 2)

- o limite entre os domínios 3 e 4 foi definido por uma marcante decontinuidade de direção NE na região da Vila Formosa-São Caetano; esta provável estrutura estaria relacionada à tendência de afloramentos do embasamento da região de Guarapiranga e Interlagos até São Miguel Paulista, na continuidade do alinhamento da Falha do Alto da Fartura.

Foram elaborados mapas de contorno estrutural e de erros associados à estimativa de valores para cada uma das 4 sub-áreas definidas, e conjuntamente para as áreas 1 e 2 (Anexos D e E). A metodologia utilizada no tratamento dos dados foi a geoestatística. Através dos valores de assimetria e curtose das

FIGURA 17 - Mapa de separação de compartimentos tectônicos.
(TAKIYA *et al.*, 1989)

diferentes sub-áreas e dos histogramas (Figuras 18 a 22) verificou-se que apenas os dados pertencentes às áreas 1 e 2 apresentaram distribuição normal. Os semivariogramas (Figura 23) foram ajustados ao modelo esférico e utilizados na krigeagem pontual, para estimativa de valores em malha regular 1×1 Km, onde adotou-se raio igual ao alcance (a).

ESTATÍSTICA DESCRITIVA

N =	63
MEDIA =	647.222
VARIANCA =	2395.486
DESVIO PADRAO =	48.943
MINIMO =	522
MAXIMO =	733
AMPLITUDE =	211
SINETRIA =	-0.287
CURTOSE =	2.242

Figura 18 Histograma da cota do topo do embasamento (m). Área 1.

Nas áreas localizadas respectivamente ao norte do compartimento 2, e entre os blocos 1 e 3, as curvas de contorno estrutural foram interpoladas manualmente. Não foi possível

ESTATISTICA DESCRITIVA

N =	78
MEDIA =	673.171
VARIANCIA =	1436.462
DESVIO PADRAO =	37.909
MINIMO =	573
MAXIMO =	751
AMPLITUDE =	178
SINETRIA =	-0.381
CURTOSE =	3.193

Figura 19. Histograma da cota do topo do embasamento (m).
Área 2.

ESTATISTICA DESCRITIVA

N =	290
MEDIA =	660.641
VARIANCIA =	2853.428
DESVIO PADRAO =	54.345
MINIMO =	525
MAXIMO =	779
AMPLITUDE =	254
SINETRIA =	-0.153
CURTOSE =	2.164

Figura 20. Histograma da cota do topo do embasamento (m).
Área 3.

ESTATISTICA DESCRITIVA

N =	85
MEDIA =	698.878
VARIANCIA =	2849.884
DESVIO PADRAO =	45.274
MINIMO =	685
MAXIMO =	796
AMPLITUDE =	191
SINETRIA =	-0.818
CURTOSE =	2.874

Figura 21. Histograma da cota do topo do embasamento (m).
Área 4.

ESTATISTICA DESCRITIVA

N =	133
MEDIA =	698.878
VARIANCIA =	2845.182
DESVIO PADRAO =	45.223
MINIMO =	622
MAXIMO =	751
AMPLITUDE =	229
SINETRIA =	-0.482
CURTOSE =	2.888

Figura 22. Histograma da cota do topo do embasamento (m).
Áreas 1 e 2.

Figura 23. Semivariograma da cota do topo do embasamento.
 Divisão em compartimentos tectônicos.

utilizar a geoestatística devido ao reduzido número de dados verificado nestas áreas.

4.3. Mapas de isópacas e porcentagens

Poucos autores dedicaram-se ao estudo das espessuras de sedimentos da Bacia de São Paulo. Entre eles, destacam-se SILVA & BASANO FILHO (1972) os quais elaboraram um mapa de isópacas da porção central da bacia, e a equipe do DAEE (1975), que confeccionou, entre outros, um mapa de porcentagem de areia da Grande São Paulo.

Neste trabalho foram elaborados mapas de isópacas, de isólitais e de porcentagem de areia, argila e conglomerados, do conjunto sedimentar terciário da bacia.

Para a obtenção de valores de espessuras e porcentagem foi efetuado, inicialmente, o cálculo da somatória das espessuras (m) dos diversos níveis de areia, argila e conglomerado verificados em cada sondagem, seguido da determinação, por regra de três, desses valores, em porcentagem, em relação a espessura total de sedimentos de cada perfil.

Na confecção dos mapas foram utilizados 241 dados, dos quais 228 pertencentes ao DAEE e os restantes, 13 dados, provenientes do METRÔ, os quais encontram-se plotados no mapa

de localização de poços (Anexo F).

Logo no início dos trabalhos deparou-se com um problema: a falta de um *datum*, uma camada guia, nos sedimentos da bacia. Esta dificuldade foi superada com a escolha de um *datum* topográfico, o atual nível de base da região estudada, que se encontra na soleira de Barueri, local onde o rio Tietê deixa a bacia e adentra os terrenos graníticos situados a noroeste, na cota 710 m acima do nível do mar.

Apenas no caso de espessura total de sedimentos da bacia, a título de comparação de mapas e resultados, trabalhou-se com dois tipos de situações, uma envolvendo a espessura total dos sedimentos e outra selecionando aqueles com cotas abaixo de 710 m.

Não se optou pela utilização de geoestatística (krigeagem) na elaboração dos mapas. Os semivariogramas apontaram uma alta variabilidade nos dados, desde as pequenas distâncias (Figura 24), com efeito pepita relativo sempre maior que 0.3. Desta forma escolheu-se o I.Q.D. para interpolação dos valores por ser um método mais simples do ponto de vista matemático.

Os histogramas elaborados nesta fase encontram-se nas figuras 25 a 32. Verificou-se através dos valores de assimetria e curtose que as variáveis estudadas (espessura e porcentagem) não apresentaram distribuição normal.

FIGURA 24 - SEMIVARIOGRAMAS DE ESPESSURA E PORCENTAGEM DE SEDIMENTOS

ESTATISTICA DESCRITIVA

N =	241
MEDIA =	91.838
VARIANCIA =	2464.688
DESVIO PADRAO =	49.644
MINIMO =	1
MAXIMO =	246
AMPLITUDE =	245
SIMETRIA =	0.5750
CURTOSE =	2.950

Figura 25. Histograma da espessura total de sedimentos (m).

ESTATISTICA DESCRITIVA

N =	241
MEDIA =	63.841
VARIANCIA =	2851.864
DESVIO PADRAO =	45.288
MINIMO =	0
MAXIMO =	190
AMPLITUDE =	190
SIMETRIA =	0.472
CURTOSE =	2.771

Figura 26. Histograma da espessura total de sedimentos (m).
Datum= 710m,

ESTATISTICA DESCRITIVA

N =	241
MEDIA =	28.218
VARIANCIA =	1027.638
DESVIO PADRAO =	32.056
MINIMO =	0
MAXIMO =	129
AMPLITUDE =	129
SIMETRIA =	1.271
CURTOSE =	3.884

Figura 27. Histograma da espessura de areia (m),
Datum = 710m.

ESTATISTICA DESCRITIVA

N =	241
MEDIA =	30.481
VARIANCIA =	834.050
DESVIO PADRAO =	28.879
MINIMO =	0
MAXIMO =	162
AMPLITUDE =	162
SIMETRIA =	1.070
CURTOSE =	4.478

Figura 28. Histograma da espessura de argila (m). Datum = 710m.

Figura 29. Histograma da espessura de conglomerado (m).
Datum = 710m.

Figura 30. Histograma da porcentagem de areia. Datum = 710m.

ESTATISTICA DESCRITIVA

N =	241
MEDIA =	43.285
VARIANCIA =	1235.709
DESVIO PADRAO =	35.152
MINIMO =	0
MAXIMO =	100
AMPLITUDE =	100
SIMETRIA =	0.248
CURTOSE =	1.723

Figura 31. Histograma da porcentagem de argila. Datum = 710m.

ESTATISTICA DESCRITIVA

N =	241
MEDIA =	6.143
VARIANCIA =	245.232
DESVIO PADRAO =	15.659
MINIMO =	0
MAXIMO =	100
AMPLITUDE =	100
SIMETRIA =	3.488
CURTOSE =	16.774

Figura 32. Histograma da porcentagem de conglomerado. Datum = 710m.

Os mapas apresentados por este método foram os seguintes:

- mapa de isópacas de sedimentos terciários da bacia (Anexos G, H, I e J);
- mapa de isólitas de areia, argila e conglomerado (Anexos K, L e M);
- mapa de porcentagem de areia, argila e conglomerado (Anexos N, O e P).

É importante ressaltar que esses mapas geralmente têm seu lado oeste sem informação, devido à falta de dados e à pequena espessura de sedimentos verificadas nesta área. Ressalta-se, que na interface sedimento/embasamento, podem ocorrer distorções, atribuídas às interpolações de valores. Deve-se ainda lembrar que os semivariogramas mostraram alta variabilidade dos valores de espessura e porcentagem.

4.4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A análise dos mapas de contorno estrutural divididos em sub-áreas, mostrou uma tendência de diminuição das cotas médias de topo de embasamento, de Sul para Norte, atingindo 709 m no domínio 4; 676 m no domínio 3; 669 m no domínio 2; 650 m no domínio 1; e 660 m na área que compreende os domínios 1 e 2 (Anexos D e E). Essas informações corroboram com a hipótese da

existência de basculamento de blocos para NW (MELO *et al.* 1985a; RICCOMINI, 1989)

Os contornos elaborados por LEINZ & CARVALHO (1957), SILVA & BASANO FILHO (1972), DAEE (1975) apresentam, a grosso modo, as mesmas tendências observadas nos mapas aqui apresentados. Ressalta-se neste contexto, o mapa de LEINZ & CARVALHO (1957), que apresentou boa semelhança com os mapas dos domínios 1 e 3. Na época da elaboração deste trabalho pioneiro, com poucos dados disponíveis - cerca de 200 poços - puderam os autores chegar a um excelente resultado.

HASUI *et al.* (1976), HASUI & CARNEIRO (1980) e IPT (1986), elaboraram mapas que exibem grande semelhança com aqueles deste trabalho. O contorno confeccionado pelo IPT (1986) é o que melhor corresponde com aqueles aqui apresentados. Os trabalhos citados merecem duas observações: os mapas foram elaborados em escala reduzida (menor que 1:250.000), com grande intervalo (50 m) entre as curvas, mascarando estruturas menores presentes no embasamento

Algumas considerações já levantadas por TAKIYA *et al.* (1989) e também aqui verificadas merecem destaque:

- os atuais aluviões do rio Tamanduateí exibem boa coincidência com um paleovale do embasamento. Já com relação aos aluviões do rio Pinheiros, notou-se que a depressão observada no embasamento situa-se um pouco mais a leste, sugerindo, talvez, um desenvolvimento desses aluviões de leste

para oeste;

- existe um "alinhamento" bem definido de direção E-W no domínio 3, aproximadamente paralelo à calha do rio Tietê, na região entre a Penha e São Miguel Paulista, no prolongamento da ocorrência de sedimentos hidrotermalizados da Bacia de São Paulo (RICCOMINI *et al.* 1988). Este fato poderia indicar uma ligação das Falhas de Taxaquara e Alto da Fartura, fruto da tectônica mais tardia (Cenozóico);

- observa-se que existe uma moderada variabilidade em cada bloco estudado, em termos de sua paleotopografia; este fato sugere compartimentações mais localizadas dentro de cada domínio, ou reflete desníveis relacionados à tectônica mais jovem, ou mesmo variações no relevo anterior ao preenchimento sedimentar;

- as curvas de erros (Anexo D) mostram que seus maiores valores situam-se nos domínios 1 e 4. Poder-se-ia explicar este fato pela alta variabilidade dos dados, verificada principalmente na área 1 ou mesmo devido à baixa quantidade de informações ali existentes. As hipóteses levantadas com relação ao domínio 3, são reforçadas devido ao pequeno erro de estimativa verificado nesta área.

As maiores espessuras de sedimentos terciários verificadas no mapa de isópacas (Anexo G e H) encontram-se a norte da área, na região centro-sul (próximo às avenidas Paulista e Ibirapuera), e a leste (Móoca, Tatuapé, Vila

Formosa). Nestas áreas as espessuras de sedimentos ultrapassam 170 m.

Ao comparar estas curvas com aquelas elaboradas a partir do datum de 710 m (Anexo I e J), notou-se uma sensível diminuição de espessuras na região central da área, próximo à avenida Paulista. Este fato já era esperado, sabendo-se que esta área situa-se hoje em cotas acima de 800 m, definindo o Espigão Central (AB'SABER, 1957).

O mapa de isópacas de sedimentos e aluviões confeccionado por SILVA & BASANO FILHO (1972) assemelha-se ao elaborado neste trabalho (Anexo G) apenas na região próxima da avenida Celso Garcia, onde verificam-se espessuras superiores a 100 m. Já nos arredores do Parque D. Pedro II, os autores encontraram espessuras menores que 20 m, sendo que neste estudo a região revelou espessuras superiores a 70 m de sedimentos. Este fato poderia ser explicado pela ausência de informações próximo à área citada por ocasião da elaboração do mapa por SILVA & BASANO FILHO (1972).

As isólitais de argila (Anexo L) mostram maiores valores no eixo sul-sudeste de São Paulo, (próximo às avenidas Jabaquara, do Estado e Aricanduva), e a norte da área, em Guarulhos. Esta última ocorrência deve representar na verdade lamitos que nas descrições podem ter sido confundidos com argilas puras. Nas localidades mencionadas, a espessura desses depósitos pode chegar a 100 m.

A oeste da área, próximo ao bairro da Barra Funda, nota-se a ocorrência de sedimentos com espessuras de até 60 m, com mais de 70% de argila (Anexo Q). Ao associar estas informações àquelas de superfície onde foram descritos sedimentos típicos de sistema lacustre (MELO *et al.* 1986; RICCOMINI *et al.* 1987; RICCOMINI, 1989) pode-se inferir a área de ocorrência do paleolago, que estaria situado, no mapa, entre as coordenadas 7397 a 7400N e 327 a 331E, perfazendo uma área de cerca de 2 Km².

As maiores espessuras de areia (Anexo K) quando associadas às grandes espessuras de argilas (mais de 70 m), situação esta verificada próximo ao centro da área estudada, no bairro da Moóca, poderiam representar sedimentos associados às porções mais distais de leques aluviais, ou então de sistema fluvial meandrante.

Os depósitos que apresentam porcentagem de areia superiores a 70% (Anexo N), exibem espessuras variando entre 20 e 130 m (Anexo G), mostrando ainda pequena quantidade de argila ou lamito (Anexo L) e localizam-se nos aluviões atuais dos rios Tietê (próximo ao Parque São Jorge) e Pinheiros (em Pinheiros). Representariam possivelmente os sedimentos gerados em sistema fluvial entrelaçado da Formação Itaquaquecetuba. Na última localidade citada já foram descritos, por diversos autores, ocorrências desses sedimentos (*e.g.* JUNQUEIRA, 1969; BIGARELLA, 1971; SUGUIO, 1971; SUGUIO & MUSSA, 1978).

Ainda são observados, a sul da área estudada, sedimentos

com mais de 70% de areia (Anexo N). No entanto, estes depósitos apresentam geralmente pequenas espessuras e lateralmente estão associados a espessos depósitos de argila (Anexo L). Indicariam, provavelmente, sedimentos de sistema fluvial meandrante da Formação São Paulo, cuja espessura pode alcançar 100 m (Perfil C-D, Figura.33).

Os conglomerados ocorrem com maior frequência e espessura a norte da área, associados às areias e argilas (lamitos) ali presentes, sugerindo um sistema de leques aluviais. Esses depósitos podem ser observados em superfície, em afloramentos próximos a Guarulhos. Sondagens efetuadas nessa localidade mostraram espessuras de mais de 200 m de sedimentos (Perfil C-D, Figura 33).

É interessante notar que esses depósitos de conglomerados têm ocorrência associada a dos aluviões de atuais drenagens. Foram observados a oeste e a sul, sob aluviões do rio Pinheiros, e a sudeste da área, em São Caetano do Sul.

A análise dos mapas obtidos mostra que o preenchimento sedimentar da bacia, far-se-ia, inicialmente, a partir de sua borda norte, com a deposição de sedimentos predominantemente rudáceos proximais e lamitos distais de leques aluviais da Formação Resende (RICCOMINI, 1989), com desenvolvimento de NE para SW, observados nos mapas de isólitais (Anexos K, L e M). Interdigitam-se a esses depósitos as argilas lacustres da Formação Tremembé (Figura 12), encontradas na região da Barra

REFERÊNCIAS

- Dados de poços pertencentes ao cadastro do DAEE

- ALUVIÃO QUATERNÁRIO
- AREIA FINA A GROSSA, AREIA ARGILOSA
- ARGILA, LAMITO, ARGILA ARENOSA
- CONGLOMERADO, AREIA CONGLOMERÁTICA
- EMBASAMENTO

- CONTATO INTERDIGITADO
- CONTATO DISCORDANTE
- PROVÁVEL FALHA COM MOVIMENTAÇÃO INDICADA PELAS SETAS

0 1 2 3 4 Km
V:H = 1:50

2135

NÚMERO E LOCALIZAÇÃO DO POÇO

MARNI TAKIYA - DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

FIGURA - 34 - PERFIL C-D

PORÇÃO CENTRO OESTE DA BACIA DE SÃO PAULO

Funda (Anexo A). A colmatação da bacia dar-se-ia com a deposição de sedimentos areno-siltosos, em sua maior parte, de sistema fluvial meandrante da Formação São Paulo (RICCOMINI, 1989).

A Formação Itaquaquetuba, constituída predominantemente por depósitos areno-conglomeráticos, teria sua origem relacionada a movimentos transcorrentes sin e pós-sedimentares (ALMEIDA *et al.* 1984; RICCOMINI, 1989) e seria provavelmente mais jovem que as unidades anteriormente mencionadas. Foi verificada em pequenas depressões ao longo dos atuais rios Pinheiros e Tietê (Anexo A). A questão da idade da Formação Itaquaquetuba é ainda assunto polêmico; várias indicações apontam para a hipótese na qual é considerada de idade mais jovem que as unidades oligocênicas presentes na bacia. Entretanto estas indicações não são de todo comprobatórias.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

A grande quantidade de dados disponíveis na área da Bacia de São Paulo, associada à existência de polêmicas acerca de sua evolução tectono-sedimentar, incentivaram a concepção deste estudo, que utilizando métodos geoestatísticos (semivariogramas e krigeagem) e clássicos (IQD), na organização dessas informações, apresenta resultados em forma de mapas de contorno estrutural, isópacas, isólitos e porcentagem dos sedimentos terciários da bacia.

Cinco unidades litoestratigráficas foram reconhecidas e delimitadas no mapa geológico, a partir das informações já existentes na área de estudo e da análise dos mapas e dos perfis geológicos aqui elaborados. Compreendem: a Formação Resende (Tf), apresentando predominantemente depósitos rudáceos proximais (Tff) e lamíticos distais (Tfl), de leques aluviais, cuja espessura pode ultrapassar 200 m, como verificado na borda norte da bacia; os sedimentos argilo-siltosos lacustres correlacionáveis à Formação Tremembé (Tl), com até 60 m de espessura; a Formação São Paulo (Tm), constituída, na sua maior parte, por depósitos arenosos e argilosos de sistema fluvial meandrante com mais de 100 m de espessura; os pacotes sedimentares principalmente areno-conglomeráticos de sistema fluvial entrelaçado (*braided*) da Formação Itaquaquacetuba (Te),

de até 130 m de espessura, e as coberturas colúvio-aluviais apresentando até 10 m espessura.

A análise dos mapas elaborados permitiram algumas conclusões, à luz dos conhecimentos já existentes, acerca da tectônica e sistemas deposicionais presentes na bacia.

Com relação à compartimentação tectônica da bacia, o mapa de contorno estrutural mostrou a ocorrência de quatro blocos com tendência, de sul para norte, de diminuição das cotas médias de topo do embasamento, atingindo estas desde 709 m até 650 m. As isópacas de sedimentos indicaram, em conformidade com este fato, maiores espessuras de sedimentos (mais de 200 m) na borda norte da área, próximo a Guarulhos, além de evidenciar também espessos pacotes sedimentares nas regiões leste (Móoca, Tatuapé, Vila Formosa), oeste e sul (Espigão Central).

Os conglomerados são mais frequentes à norte da área, associados aos depósitos arenosos e argilosos (lamíticos) aí presentes. Indicariam o sistema de leques aluviais (Formação Resende).

Os sedimentos argilo-siltosos lacustres correlacionáveis à Formação Tremembé, com espessura de até 60 m, ocorrem próximo ao bairro da Barra Funda, onde foi possível delimitar a área do paleolago de aproximadamente 2 Km².

Ao sul da área estudada verificam-se sedimentos com mais de 70% de areia, lateralmente acompanhados por espessos depósitos de argila. Representariam, provavelmente, depósitos

de sistema fluvial meandrante da Formação São Paulo.

Os sedimentos predominantemente areno-conglomeráticos da Formação Itaquaquecetuba foram delimitados através dos mapas de porcentagem de areia, isólitos de argila e isópacas de espessura total, de acordo com as informações já existentes acerca desta unidade. Exibem espessura de até 130 m, mais de 70% de areia e pequena quantidade de argila ou lamito. Ocorrem sob os aluviões atuais dos rios Pinheiros e Tietê.

Em termos de paleogeografia da Bacia de São Paulo, pode-se sugerir que a disposição de paleodrenagens exhibe boa coincidência com as feições geomorfológicas atualmente observadas, principalmente com relação aos aluviões dos rios Tamanduateí e Pinheiros.

A análise das diferentes litologias verificadas nos mapas poderia indicar que houve deposição inicial de sedimentos de leques aluviais (Formação Resende), na borda norte da bacia, com desenvolvimento de nordeste para sudoeste, e disposição predominante neste sentido de conglomerados, areias, e argilas/lamitos. Interdigitar-se-iam a esta unidade os sedimentos argilo-siltosos lacustres. A colmatação da bacia dar-se-ia com a deposição de sedimentos areno-argilosos, na maior parte típicos de sistema fluvial meandrante (Formação São Paulo), aflorantes principalmente nas cotas superiores a 780 m.

Este modelo estaria em concordância com outros anteriormente postulados. Os depósitos da Formação

Itaquaquecetuba ocorreriam encaixados em depressões, sob os atuais aluviões dos rios Pinheiros e Tietê. Várias evidências apontam para a hipótese desta unidade ser mais jovem que as demais mencionadas, não sendo, contudo, conclusivas.

Finalmente, em termos dos métodos aplicados, recomenda-se que a krigeagem não seja empregada em estimativas de espessuras dos sedimentos da Bacia de São Paulo, devido a sua grande variabilidade, o que acarreta em erros (variância de estimativa) substancialmente altos. Este fato não indica que a utilização de outros métodos venha a amenizar tais erros. Qualquer que seja o método empregado, deve-se considerar seus elevados valores nos resultados obtidos. Ressalta-se aqui a importância do estudo variográfico de todas as variáveis a serem analisadas. Com relação aos dados de cota de embasamento, a geoestatística (semivariograma e krigeagem) foi aplicada no tratamento destas informações e apresentou excelentes resultados.

-.-.-.-.-

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SÁBER, A.N. (1957) A geomorfologia do sítio urbano de São Paulo. *Bol. Fac. Filos. Cienc. Letr.*, 219, Geografia 12.
- AB'SÁBER, A.N. (1980) Súmula Geomorfológica da região de São Paulo. In: MESA REDONDA: ASPECTOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS DA BACIA SEDIMENTAR DE SÃO PAULO, São Paulo. *Publicação Especial*. São Paulo. ABGE/SBG-SP. p. 33-36.
- AGTEMBERG, F.P. (1974) *Geomathematics: mathematical background and geo-science applications*. Amsterdam, Elsevier Scientific Publishing Company. 596p.
- ALMEIDA, F.F.M. (1955) As camadas de São Paulo e a tectônica da Serra da Cantareira. *Bol. Soc. Bras. Geol.*, 4:23-40.
- ALMEIDA, F.F.M. (1976) The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil. *An. Acad. bras. Ciênc.*, 48(suplemento):15-26
- ALMEIDA, F.F.M.; RICCOMINI, C; DEHIRA, L.K; CAMPANHA, G.A.C. (1984) Tectônica da Formação Itaquaquecetuba na Grande São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, Rio de Janeiro. *Anais*, Rio de Janeiro, SBG, V4, p.1794-1808.
- ARAI, M. (1982) Relações existentes entre a cor e a

potencialidade palinológica do sedimento. *Boletim IG-USP*, - 13: 75-80.

ARAI, M (1986) Estudo petrográfico preliminar dos troncos carbonificados da Formação Itaquaquecetuba, São Paulo, S.P. *Boletim IG-USP*, 17:99-107.

ASMUS, H.E. (1975) Controle estrutural da deposição mesozóica nas bacias da margem continental brasileira. *Rev. Bras. Geoc.* 5:160-175.

ASMUS, H.E & FERRARI, A.L. (1978) Hipótese sobre a causa do tectonismo cenozóico na região sudeste do Brasil. *Projeto REMAC*, n.4:75-88. Rio de Janeiro.

ATENCIO, D. (1986) *Sulfatos secundários: relação com rochas pré-existent e síntese*. São Paulo, 210p. (Dissertação de mestrado. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo).

ATENCIO, D; COIMBRA, A.M.; BRANDT NETO, M. (1982) Mineralogia de ocorrências brasileiras de sulfatos secundários: considerações genéticas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32, SALVADOR. *Anais*. Salvador, SBG, v2, p.660-668.

BIGARELLA, J.J. (1971) Variações climáticas no Quaternário

Superior do Brasil e sua datação radiométrica pelo método do Carbono 14. *Paleoclimas*. 1:1-22.

CENTRO DE PESQUISAS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS - CEPAS (1989)
Atividades 1984-1988. Instituto de Geociências - USP. 433p.

CLARK, I. (1979) *Practical geostatistics*. London, Applied Science Publishers. 129p.

COIMBRA, A.M. & RICCOMINI, C. (1985) Considerações paleoambientais sobre as ocorrências de caliche nas bacias de Curitiba (PR), Taubaté (SP) e Resende (RJ). *An. Acad. bras. Ciênc.*, Rio de Janeiro, 57: 517-518 (Resumos).

COIMBRA, A.M.; ATENCIO, D.; BRANDT NETO, M. (1980) Sulfatos secundários associados às aluviões antigas do Rio Tietê (Itaquaquecetuba, SP). *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 31, Balneário de Camboriú. *Anais*. Balneário de Camboriú, SBG, v.4, p.1970-1981.

COIMBRA, A.M.; RICCOMINI, C.; MELO, M.S. (1983) A Formação Itaquaquecetuba: evidências de tectonismo no Quaternário paulista. *In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA*, 4, São Paulo. *Atas*, São Paulo, SBG, p.253-266.

COUTINHO, J.M.V. (1980) *Carta geológica da região metropolitana de São Paulo*, 1:100.000. São Paulo, EMPLASA, 2 folhas.

- COZZOLINO, V.M.N. (1972) *Tipos de sedimentos que constituem a Bacia de São Paulo*. São Paulo, 116p. (Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo).
- COZZOLINO, V.M.N. (1980) Considerações sobre o conceito de camadas sob o ponto de vista geotécnico, na Bacia de São Paulo. In: MESA REDONDA: ASPECTOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS DA BACIA SEDIMENTAR DE SÃO PAULO. São Paulo. *Publicação Especial*. São Paulo. ABGE/SBG-SP. p.47-52.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA -DAEE (1975) *Estudos de Águas Subterrâneas. Região Administrativa II*. 3v. Ilust.
- FITTIPALDI, F.C. (1990) *Vegetais fósseis da Formação Itaquaquacetuba (Cenozóico, Bacia de São Paulo)*. São Paulo, 146p. (Tese de doutoramento. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo).
- FITTIPALDI, F.C; SIMÕES, M.G; GIULIETTI, A.M; PIRANI, J.R. (1989) Fossil plants from the Itaquaquacetuba Formation (Cenozoic of the São Paulo Basin) and their possible paleo climatic significance. *Bol. IG - USP, Publ. Esp.* 7:183-203.
- GUERRA, P.A.G. (1988) *Geostatística Operacional*. Brasília, MME-DNPM. 145p.
- HASUI, Y & CARNEIRO, C.D.R. (1980) Origem e evolução da Bacia

Sedimentar de São Paulo. In: MESA REDONDA: ASPECTOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS DA BACIA SEDIMENTAR DE SÃO PAULO, São Paulo. *Publicação Especial*. São Paulo, ABGE/SBG-SP, p.47-52.

HASUI, Y & SADOWSKI, G.R. (1976) Evolução Geológica do Pré-Cambriano da região sudeste do Estado de São Paulo. *Rev. Bras. Geoc.*, 6:182-200.

HASUI, Y; CARNEIRO, C.D.R.; GIANCURSI, F.D.; GUSSO, G.L.N. (1976) Condicionamento tectônico da Bacia Sedimentar de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29, Ouro Preto. *Anais*, Ouro Preto, SBG v.4, p257-268.

HOWARTH, R.J. (1983) Mapping. In: *Statistics data analysis in geochemical prospecting*. Elsevier Scientific Publishing Company. Oxford. v.2, 437p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. - IPT (1986) *Tectônica e Sedimentação cenozóica na área da soleira entre as bacias de São Paulo e Taubaté* (Relatório IPT 23724, 2v.).

JOURNEL, A.G. & HUIJBREGTS, C.J. (1978) *Mining geostatistics*. London, Academic Press. 600p.

- JUNQUEIRA, C.B. (1969) Camadas cruzadas de areias, gravas e cascalhos fluviais do vale do Pinheiros ("Campus" da Cidade Universitária). *Geomorfologia*, São Paulo 10:7-9.
- KING, L.C. (1956) A Geomorfologia do Brasil Oriental. *Rev. Bras. de Geogr.*, 18:147-256.
- LANDIM, P.M.B. (1979) *Análise estatística de dados geológicos*. Rio Claro, CEGEO-Centro de Estudos geológicos. Publicação Didática. 102p.
- LANDIM, P.M.B. (1988) Introdução à Geoestatística. *Publicação didática n.3*, Rio Claro, IGCE - UNESP. 69p.
- LEINZ, V; CARVALHO, A.M.V. (1957) Contribuição à geologia da Bacia de São Paulo. São Paulo. *Bol. Fac. Fil. Ciênc. Let. USP*, 205:1-61.
- LIMA, M.R. & DINO, R. (1985) Palinologia de amostras de Bacia do Bonfim, Terciário de Estado de São Paulo, Brasil. *An. Acad. bras. Ciênc.*, 56:112.
- LIMA, M.R. & MELO, M.S. (1989) Palinologia de sedimentos da Bacia de São Paulo. In: WORKSHOP: GEOLOGIA DA BACIA DE SÃO PAULO, São Paulo. *Coletânea das Comunicações*. IG-USP/SBG-SP, p.35-37.

LIMA, M.R.; MELO, M.S.; COIMBRA, A.M. (1989a) Palinologia de sedimentos da Bacia de São Paulo, Terciário do Estado de São Paulo, Brasil. I- A Formação São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 11. Curitiba. *Resumos*. Curitiba, SBP, p.95.

LIMA, M.R.; MELO, M.S.; COIMBRA, A.M. (1989b) Palinologia de sedimentos da Bacia de São Paulo, Terciário do Estado de São Paulo, Brasil. II- A Formação Itaquaquetuba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 11, Curitiba. *Resumos*. Curitiba, SBP, p.96.

LIMA, M.R.; SUGUIO, K.; VESPUCCI, J.B.O. (1985) Estudo palinológico de uma camada de linhito da Formação Caçapava. Bacia de Taubaté, Terciário do Estado de São Paulo, Brasil. *An. Acad. bras. Ciênc.*, 57:183-197.

MATHERON, G. (1963). Principles of geostatistics. *Econ. Geol.*, 58:1246-1266.

MAWE, J. (1812) Descrição de São Paulo. Sistema de cultura nos seus arredores - Excursões às minas de ouro do Jaraguá - Métodos de mineração nelas empregados - Volta à Santos. In: *Viagens ao Interior do Brasil*. São Paulo. Ed. USP p. 63-74. (Trad. Selena Benevides Viana).

- MELO, M.S.; RICCOMINI, C; HASUI, Y; ALMEIDA, F.F.M; COIMBRA, A.M. (1985a) Geologia e evolução do sistema de bacias tafrogênicas continentais do sudeste do Brasil. *Rev. Bras. Geol.*, 15:193-201.
- MELO, M.S.; VICENS, A; TUCHOLKA, P. (1985b) Contribuição à cronologia da Formação Itaquaquecetuba-S.P.. *An. Acad. bras. Ciênc.*, 57:175-181.
- MELO, M.S.; CAETANO, S.L.V; COIMBRA, A.M. (1986) Tectônica e sedimentação na área das bacias de São Paulo e Taubaté. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 34, Goiânia. *Anais. SBG. Goiânia*, v.1. p.253-266.
- MELO, M.S.; PONÇANO, W.L; MOOK, W.G.; AZEVEDO, A.E.G. (1987) Datações C^{14} em sedimentos da Grande São Paulo. *In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO*, 1, Porto Alegre. *Anais. Porto Alegre, ABEQUA*, p.427-436.
- MELO, M.S.; FERNANDES, L.A.; COIMBRA, A.M.; RAMOS, R.G.N. (1989a) O gráben (Terciário ?) de Sete Barras, Vale do Ribeira de Iguape, SP. *Rev. Bras. Geol.*, 19:260-262. (Nota Prévia)

- MELO, M.S.; COIMBRA, A.M.; RICCOMINI, C. (1989b) Evolução dos conhecimentos sobre a geologia da Bacia de São Paulo na década de oitenta. In: WORKSHOP: GEOLOGIA DA BACIA DE SÃO PAULO, São Paulo. *Coletânea das Comunicações*. São Paulo. IG-USP/SBG-SP., p.1-11.
- MENDES, J.C. (1950) O problema da idade das camadas de São Paulo. *Bol. Paul. Geogr.*, 5:45-48.
- MEZZALIRA, S. (1962) - Novas ocorrências de vegetais fósseis cenozóicos no Estado de São Paulo. *oIGG*, 15:73-94.
- MORAES REGO, L.F. (1930). A geologia do Petróleo no estado de São Paulo. *Bol. Serv. Geol. Miner. do Brasil*. 46: 65-70
- MORAES REGO, L.F. (1933) As formações cenozóicas de São Paulo. *Anuário da Escola Polytechnica*, São Paulo, 2:231-267.
- MORAES REGO, L.F. & SOUZA SANTOS, T.D. (1938) Contribuição para o estudo dos granitos da Serra da Cantareira. *Bol. Inst. Pesq. Techn*, 18:99-124.
- OLEA, R. A. (1975) *Optimum mapping techniques using regionalized variable theory*. Kansas, Kansas Geological Survey. 137p. (Series on Spatial Analysis, 2).

- PETTINATI, F. (1983) *Modelamento digital e representação gráfica de superfícies*. São Paulo. 111p. (Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo).
- PISSIS, a. (1842a) Considerations générales sur les terrains du Brésil. *Bull. Soc. Géol. France*, 13: 282-290
- PISSIS, M.A. (1842b) Mémoire sur la position géologique des terrains de la partie australe du Brésil et sur les soulèvements qui, à diverses époques, on change le relief de cette contrée. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 14:353-413.
- PRESTON, D.A. (1970) Fortran IV programs for sample normality tests. *Computer Contribution*. Lawrence, University of Kansas. sv(41):27p.
- REMACRE, A. Z. (1984) *L'estimation du récupérable local. Le conditionnement uniforme*. Paris. 99p. Tese para obtenção do título de Engenheiro Doutor. École Nationale Supérieure de Mines de Paris.
- RICCOMINI, C. (1989) *O Rift Continental do Sudeste do Brasil*. São Paulo. 256p. (Tese de Doutorado. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo).

- RICCOMINI, C.; MELO, M.S.; CARNEIRO, C.D.R.; ALMEIDA, F.F.M.; MIOTO, J.A.M.; HASUI, Y. (1983) Sobre a ocorrência de um derrame de ankaramito nas bacias tafrogênicas continentais do sudeste brasileiro. *In*: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 4, São Paulo. *Resumos*. São Paulo, SBG-SP, p.23-24.
- RICCOMINI, C; APPI, C.J; FREITAS, E.L.de; ARAI, M. (1987) Tectônica e sedimentação no Sistema de Rifts Continentais da Serra do Mar (bacias de Volta Redonda, Resende, Taubaté e São Paulo). *In*: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 1, Rio de Janeiro. *Anais*. SBG-RJ/ES. Rio de Janeiro, p.253-298.
- RICCOMINI, C; COUTINHO, J.M.V; GUARANÁ, C.A; COIMBRA, A.M.; HACHIRO, J; ATENCIO, D; IOMASA, W.W. (1988) Evidências de hidrotermalismo em sedimentos da bacia de São Paulo: Considerações genéticas. *An. Acad. bras. Ciênc.* 60: 105 - 106 (*Resumos*)
- RICCOMINI, C.; TURCQ, B.; MARTIN, L. (1989) The Colonia Astrobleme. *In* INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GLOBAL CHANGES IN SOUTH AMERICA DURING THE QUATERNARY, São Paulo. *Excursion field guide*. São Paulo, ABEQUA/INQUA, 14p.

- RICCOMINI, C.; TURCO, B.; SUGUID, K. (no prelo) The record of continental sedimentation in southeastern Brasil during the last millenium: paleoseismicity, the Little Ice Age, and man. (Apresentado na sessão regular de Ciências da Terra da Academia Brasileira de Ciências, 04 de dezembro de 1990).
- ROYLE, A. G. (1979) Why geostatistics? *Engineering & Mining Journal*, 180: 92-101.
- SADOWSKI, G.R. (1983) *Sobre a geologia estrutural de cinturões de cisalhamento continentais*. São Paulo. 108p. (Tese apresentada ao Concurso de Livre Docência do Departamento de Geologia Geral do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo).
- SADOWSKI, G.R. & MOTIDOME, M.J. (1987) Basilian megafaults. *Rev. Geol. Chile*, 31:61-75.
- SAMPSON, R.J. (1975) *Surface II graphics system (revision one)*. Kansas Geological Survey. 240p.
- SERVANT, M; FOURNIER, M; SOUBIES, F; SUGUID, K; TURCO, B (1989) Sécheresse holocene au Brésil (18-20 latitude Sud). Implications paléométéorologiques. *C.R. Acad. Sci. Paris*, t.309, Série II, p.153-156.

- SHEPARD, D. (1968) (1968) A two-dimensional interpolation function for irregularly - spaced data. In: AMERICAN ASSOCIATION FOR COMPUTING MACHINERY NATIONAL CONFERENCE, 23. *Proceedings*. p.517-524.
- SIGOLO, J.B. & OHNUMA, C.S. (1990) As couraças ferruginosas de recobrimento da Bacia de São Paulo. Sua distribuição e composição lito-mineralógica. Resultados Preliminares. In: JORNADAS CIENTÍFICAS DO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS- USP, São Paulo, 1989. *Boletim Especial*. São Paulo, IG-USP, p.119-121.
- SILVA, L.M. & BASANO FILHO, H. (1972) Levantamento hidrogeológico da porção central da Bacia de São Paulo. *Água Subterrânea*, 1:21-40.
- SUGUIO, K. (1971) Estudos dos troncos de árvores "linhitificados" dos aluviões antigos do rio Pinheiros (São Paulo), significado geocronológico e possivelmente paleoclimático. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25, São Paulo. *Anais*, São Paulo, SBG, v.1, p. 63-65.
- SUGUIO, K. (1980) Síntese dos conhecimentos sobre a sedimentação da Bacia de São Paulo. In: MESA REDONDA. ASPECTOS GEOLÓGICOS E GEOTECNICOS DA BACIA SEDIMENTAR DE SÃO PAULO. São Paulo. *Publicação Especial*. ABGE-SBG, p.25-32.

- SUGUIO, K. & BARBOUR, A.P. (1969) Morfologia e gênese das estruturas limoníticas dos sedimentos da Bacia de São Paulo. *An. Acad. bras. Cienc.* 41: 161-180.
- SUGUIO, K. & MUSSA, D. (1978) Madeiras fósseis dos aluviões antigos do rio Tietê, S.P. *Bol. IG-USP*, 9:25-45.
- SUGUIO, K. & TAKAHASHI, L.I. (1970) Estudos dos aluviões antigos dos rios Pinheiros e Tietê, São Paulo, S.P. *An Acad. bras. Ciênc*, 42: 555-570.
- SUGUIO, K; COIMBRA, A.M.; MARTINS, J.H.; GUARDADO, L.R.; RAMPAZZO, L. (1971) Novos dados sedimentológicos do Rio Pinheiros (São Paulo) e seus significados na interpretação do ambiente deposicional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25, São Paulo. *Anais*. São Paulo, SBG, v.2, p.219-225.
- SUGUIO, K; BIDEGAIN, J.C.; MORNER, N.A. (1986) Dados preliminares sobre as idades paleomagnéticas do Grupo Barreiras e da Formação São Paulo. *Rev. Bras. Geoc.*, 16:171-175.
- SUSLICK, S.B. (1978) *Estudo metodológico de técnicas estatísticas para análise de dados geoquímicos*. São Paulo, 116p. (Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo).

SUSLICK, S.B. (1986) *Quantificação da potencialidade mineral com base em dados geoquímicos: um estudo aplicado às folhas Itaquaquetuba, Piracaia, Igaratá, Camanducaia e Monteiro Lobato*. São Paulo, 304p. (Tese de Doutorado. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo).

STURARO, J.R. (1988) *Estudo do comportamento espacial de variáveis geológicas e hidrogeológicas da área urbana de Ribeirão Preto- São Paulo*. Rio Claro. 124p. (Dissertação de mestrado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista).

TAKIYA, H.; RICCOMINI, C.; LANDIM, P.M.B. (1988) Estudo tectônico da porção central da Bacia de Taubaté (SP) por geoestatística In: SIMPÓSIO DE QUANTIFICAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS, 3, Rio Claro. *Resumos*. São Paulo, IGCE-UNESP. p.123.

TAKIYA, H; PELOGGIA, A.U.G; TOKUTAKE, L.R; CAMPOS, J.E; OGAWA, A.T; KOGA, H; MISAWA, W.J; RICCOMINI, C. (1989) Arcabouço estrutural da Bacia de São Paulo. In: WORKSHOP : GEOLOGIA DA BACIA DE SÃO PAULO. São Paulo. *Coletânea das Comunicações*. IG-USP/SBG-SP, p.16-27.

TAKIYA, H.; RICCOMINI, C.; LANDIM, P.M.B. (1990) Estudo tectônico da porção central da Bacia de Taubaté (SP por geoestatística. *Geociências* (nº especial): 185-196.

TOLENTINO, M. (1965) Algumas considerações sobre um carvão da Bacia de São Paulo. *Publ. Esc. Eng. S. Carlos, USP.* 135:29-33 (Geol. 13).

ULBRICH, H.H.G.J. & GOMES, C.B. (1981) Alkaline rocks from continental Brasil. *Earth Sci. Rev.*, 17: 135-154.

WERNICK, E. (1966) Análise granulométrica dos sedimentos da Bacia de São Paulo. *Eng. Miner. Metal*, 43(254: 63-68.

7410

660 (Cota do topo do embasamento em metros acima do nível do mar)

Limite entre a Bacia de São Paulo e o embasamento cristalino
(inferido quando tracejado)

ERROS > 80m

0 1 2 3 4 5 Km
1:100.000
(NO ORIGINAL)

anexo E

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Harmi Tokiya

MAPA DE CONTORNO ESTRUTURAL
ÁREAS 1 E 2

7392

E 320

E 350

anexo h

MAPA TRIDIMENSIONAL DA ESPESSURA
DE SEDIMENTOS (m)
-PORÇÃO CENTRO-OESTE DA BACIA DE SÃO PAULO-

HARMI TAKIYA - DISSERTAÇÃO DE MESTRADO 02/91

anexo j

**MAPA TRIDIMENSIONAL DA ESPESSURA
DE SEDIMENTOS (m) - DATUM = 710m
-PORÇÃO CENTRO-OESTE DA BACIA DE SÃO PAULO-**

HARMI TAKIYA - DISSERTAÇÃO DE MESTRADO 02/91

T1666

Figura 2. Mapa de contorno estrutural do embasamento da Bacia de São Paulo (TAKIYA, 1991). 1. embasamento pré-cambriano; 2. Bacia de São Paulo; 3. cota do topo do embasamento, em metros acima do nível do mar; 4. limite definido entre a bacia e o seu embasamento; 5. limite inferido entre a bacia e o seu embasamento. As seções indicadas referem-se às figuras 3 e 4.

ERRATA

A figura 2 (página 42) saiu sem as seções A-B e C-D;

As figuras 3 e 4 (páginas 43 e 44) foram impressas uma em lugar da outra; as legendas estão corretas.

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

- Qa ALUVIÕES E COLÚVIOS (areias, argilas e cascalhos)
- (Te) FORMAÇÃO ITAQUAQUECETUBA: Sistema fluvial entrelaçado (braided)
(conglomerados, areias e, secundariamente, argilas e lamitos) - encobertos por aluviões
- Tm FORMAÇÃO SÃO PAULO: Sistema fluvial meandrante
(areias, argilas e conglomerados)
- (Ti) Depósitos argilo-siltosos lacustres correlacionáveis à Formação Tremembé - encobertos por aluviões
- FORMAÇÃO RESENDE: Sistema de leques aluviais associados a rios entrelaçados
(conglomerados, areias e argilas/lamitos)
Tff - Porção proximal; Tfl - Porção distal
Tf - Formação Resende indiscriminada
- Pei Unidades magmáticas e metamórficas indiferenciadas (incluem granitos, gnaisses, migmatitos, filitos, xistos, quartzitos, etc)

REFERÊNCIAS:

Modificado de:

COUTINHO, J.M.V (1980) - Carta Geológica da região metropolitana de São Paulo, 1:100.000. São Paulo, Emplasa, 2 folhas.

IPT (1986) - Tectônica e sedimentação cenozóica na área da soleira entre as bacias de São Paulo e Taubaté. (Relatório IPT 23724, 2.v.)

RICCOMINI, C. (1989) - O Rift Continental do Sudeste do Brasil. São Paulo, 256p. Tese de Doutorado - Instituto de Geociências - USP.

- Contato definido
- Contato aproximado / suposto
- Zona de falha / falha indiscriminada / reativada
- Falha de caráter direcional
- Falha de reativação inversa
- Falha de caráter normal
- Falha encoberta

Inexo A

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
HARMI TAKIYA

MAPA GEOLÓGICO

PORÇÃO CENTRO-OESTE DA BACIA
DE SÃO PAULO

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

anexo b

MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS
UTILIZADOS NO CONTO RNO ESTRUTURAL
-PORÇÃO-CENTRO-OESTE DA BACIA DE SÃO PAULO-

HARMI TAKIYA - DISSERTAÇÃO DE MESTRADO 02/91

N7410

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

ERROS > 60m

ERROS < 40m

Cota do topo do embasamento (em metros acima do nível do mar)

Limite entre a Bacia de São Paulo e o embasamento cristalino (inferido quando tracejado)

anexo - C

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
Harmi Takiya

MAPA DE CONTOURNO ESTRUTURAL
(ÁREA TOTAL) E DE ERROS ASSO-
CIADOS À ESTIMATIVA DE VALO-
RES

E 320

N7380
E 350

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

ERROS > 80m

ERROS < 50m

Cota do topo do embasamento (em metros acima do nível do mar)

Limite entre a Bacia de São Paulo e o embasamento cristalino (inferido quando tracejado)

Limite entre compartimentos tectônicos

anexo - D

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Harmi Takiya

MAPA DE CONTOURNO ESTRUTURAL
E DE ERROS ASSOCIADOS À ESTI-
MATIVA DE VALORES EM COMPAR-
TIMENTOS TECTÔNICOS

660 (Cota do topo do embasamento em metros acima do nível do mar)

Limite entre a Bacia de São Paulo e o embasamento cristalino
(inferido quando tracejado)

0 1 2 3 4 5 Km
1:100.000
(NO ORIGINAL)

ERROS > 80m

anexo E

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
Harumi Takiya

MAPA DE CONTOURNO ESTRUTURAL
ÁREAS 1 E 2

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

anexo f

MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS UTILIZADOS
NAS CURVAS DE ISÓPACAS E PORCENTAGEM
-PORÇÃO CENTRO-OESTE DA BACIA DE SÃO PAULO-

HARMI TAKIYA - DISSERTAÇÃO DE MESTRADO 02/91

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

anexo g

MAPA DE ISÓPACAS DA ESPESSURA
DE SEDIMENTOS (m)
-PORÇÃO CENTRO-OESTE DA BACIA DE SÃO PAULO-
HARMI TAKIYA - DISSERTAÇÃO DE MESTRADO 02/91

anexo h

MAPA TRIDIMENSIONAL DA ESPESSURA
DE SEDIMENTOS (m)
-PORÇÃO CENTRO-OESTE DA BACIA DE SÃO PAULO-

HARMI TAKIYA - DISSERTAÇÃO DE MESTRADO 02/91

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

anexo i

MAPA DE ISÓPACAS DA ESPESSURA
DE SEDIMENTOS (m) - DATUM = 710m
-PORÇÃO CENTRO-OESTE DA BACIA DE SÃO PAULO-
HARMÍ TAKIYA - DISSERTAÇÃO DE MESTRADO 02/91

anexo j

MAPA TRIDIMENSIONAL DA ESPESSURA
DE SEDIMENTOS (m) - DATUM = 710m
-PORÇÃO CENTRO-OESTE DA BACIA DE SÃO PAULO-

HARMI TAKIYA - DISSERTAÇÃO DE MESTRADO 02/91

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

anexo k

MAPA DE ISÓLITAS DE AREIA (m)
 DATUM = 710m
 -PORÇÃO CENTRO-OESTE DA BACIA DE SÃO PAULO-

HARMI TAKIYA - DISSERTAÇÃO DE MESTRADO 02/91

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

anexo I

MAPA DE ISÓLITAS DE ARGILA (m)

DATUM = 710m

-PORÇÃO CENTRO-OESTE DA BACIA DE SÃO PAULO-

HARMI TAKIYA - DISSERTAÇÃO DE MESTRADO 02/91

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

anexo m

MAPA DE ISÓLITAS DE CONGLOMERADO (m)
 DATUM = 710m
 -PORÇÃO CENTRO-OESTE DA BACIA DE SÃO PAULO-
 HARMÍ TAKIYA - DISSERTAÇÃO DE MESTRADO 02/91

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

anexo n

MAPA DE PORCENTAGEM DE AREIA
DATUM = 710m
-PORÇÃO CENTRO-OESTE DA BACIA DE SÃO PAULO-

HARMI TAKIYA - DISSERTAÇÃO DE MESTRADO 02/91

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

anexo o

MAPA DE PORCENTAGEM DE ARGILA
DATUM = 710m
-PORÇÃO CENTRO-OESTE DA BACIA DE SÃO PAULO-

HARMI TAKIYA - DISSERTAÇÃO DE MESTRADO 02/91

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

anexo p

MAPA DE PORCENTAGEM DE CONGLOMERADO
DATUM = 710m
-PORÇÃO CENTRO-OESTE DA BACIA DE SÃO PAULO-
HARMI TAKIYA - DISSERTAÇÃO DE MESTRADO 02/91

7400

7300

330

340

anexo Q

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
Hormi Takiya

MAPA BASE DE LOCALIZAÇÃO
DE DRENAGENS E LOGRADOUROS