ARMANDO MÁRCIO COIMBRA

ARENITOS DA FORMAÇÃO BAURU: ESTUDO DE ÁREAS-FONTE

VOLUME I

Instituto de Geociências
BIBLIOTECA
T3023
U. S. P.

Orientador:

Professor Doutor Setembrino Petri

DEDALUS - Acervo - IGC
30900005805

SÃO PAULO

1976

SUMÁRIO

VOLUME I

RESUMO vi

CAPÍTULO 1 1

INTRODUÇÃO 1

1.1 - OBJETIVOS E ÁREA DE ESTUDO 1

1.2 - AMOSTRAGEM 1

CAPÍTULO 2 3

ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS 3

2.1 - METODOLOGIA 3

2.1.1 - Granulometria 3

2.1.2 - Cálculo dos parâmetros estatísticos das distribuições 4

2.1.2.1 - Distribuição total 4

2.1.2.2 - Distribuição areia 5

2.2 - APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS 5

2.2.1 - Parâmetros estatísticos das distribuições 5

2.2.2 - Número de classes texturais 6

2.3 - ANÁLISE DOS RESULTADOS 6

2.3.1 - Análise de freqüência dos parâmetros estatísticos da distribuição total 6

2.3.1.1 - Diâmetro médio 6

2.3.1.2 - Desvio padrão 7

2.3.1.3 - Assimetria 7

2.3.1.4 - Curtose 7

2.3.2 - Análise de freqüência dos parâmetros estatísticos da distribuição areia 7

2.3.2.1 - Diâmetro médio 8

2.3.2.2 - Desvio padrão 8

2.3.2.3 - Assimetria 8

2.3.2.4 - Curtose 8

2.3.3 - Análise de freqüência do número de classes texturais 9

CAPÍTULO 3 10

TEOR DE CARBONATO DE CÁLCIO 10

3.1 - METODOLOGIA E LIMITAÇÕES 10

3.2 - INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS 11

3.3 - ORIGEM DO CARBONATO DE CÁLCIO 13

CAPÍTULO 4 14

MINERAIS PESADOS 14

4.1 - METODOLOGIA 14

4.2 - FEIÇÕES PRINCIPAIS DOS MINERAIS PESADOS TRANSPARENTES NÃO MICÁCEOS DA FORMAÇÃO BAURU 15

4.3 - ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DOS MINERAIS PESADOS NÃO MICÁCEOS 21

4.3.1 - Freqüência média 21

4.3.2 - Freqüência de ocorrência 23

4.3.3 - Freqüência de classes 23

4.4 - ÍNDICES DE MATURIDADE MINERALÓGICA 23

4.4.1 - Metodologia 23

4.4.2 - Apresentação dos resultados 25

4.4.3 - Análise de freqüência do ZTR 25

4.5 - PROVÁVEIS ÁREAS-FONTE DA FORMAÇÃO BAURU 26

4.6 - MATURIDADE MINERALÓGICA 29

4.7 - DISSOLUÇÃO INTRA-ESTRATAL 31

4.8 - NÚMERO DE ESPÉCIES MINERALÓGICAS 32

CAPÍTULO 5 34

ANÁLISE DE SUPERFÍCIE DE TENDÊNCIA 34

5.1 - INTRODUÇÃO 34

5.1.1 - Parâmetros granulométricos 35

5.1.2 - Minerais pesados 36

5.1.2.1 - Freqüência relativa dos minerais 36

5.1.2.2 - Índices de maturidade mineralógica 36

5.2 - SUPERFÍCIES DE TENDÊNCIA DAS FREQUÊNCIAS DE MINERAIS PESADOS 37

5.2.1 - Cianita 37

5.2.2 - Turmalina 37

5.2.3 - Granada 38

5.2.4 - Epídoto 38

5.2.5 - Estaurolita 38

5.2.6 - Rutilo 39

5.3 - SUPERFÍCIES DE TENDÊNCIA DOS ÍNDICES DE MATURIDADE MINERALÓGICA DA FORMAÇÃO BAURU 39

5.4 - SUPERFÍCIES DE TENDÊNCIA DOS PARÂMETROS GRANULOMÉTRICOS DA FORMAÇÃO BAURU 41

5.4.1 - Fonte a NW do mapa 41

5.4.2 - Fonte a NE do mapa 42

5.4.3 - Fonte a SE do mapa 42

5.4.4 - Área a SW do mapa 43

CAPÍTULO 6 44

CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA DAS FÁCIES DA FORMAÇÃO BAURU 44

6.1 - OBSERVAÇÕES DE CAMPO 44

6.1.1 - Expressão morfológica 44

6.1.2 - Nódulos carbonáticos 46

6.1.3 - Pelotas de argila 46

6.1.4 - Calcários 46

6.2 - ANÁLISES SEDIMENTOLÓGICAS 46

6.2.1 - Calcimetria 47

6.2.2 - Parâmetros estatísticos da distribuição areia 47

6.2.2.1 - Diâmetro médio 47

6.2.2.2 - Seleção 47

6.2.3 - Teor de silte + argila 47

6.2.4 - Assembléias de minerais pesados 48

6.2.5 - Número de espécies mineralógicas 48

6.2.6 - Índices de maturidade mineralogica 48

6.2.7 - Áreas-fonte 49

CAPÍTULO 7 51

ESTRATIGRAFIA DA FORMAÇÃO BAURU 51

7.1 - TRABALHOS PRÉVIOS 51

7.2 - DISCUSSÃO FINAL 52

CAPÍTULO 8 55

CONCLUSÕES PRINCIPAIS 55

AGRADECIMENTOS 57

BIBLIOGRAFIA 58

VOLUME II

ANEXOS

ANEXO I - ESTAMPAS 1

ANEXO II - PERFIS E FIGURAS 6

ANEXO III - TABELAS 41

RESUMO

No presente trabalho foram realizadas observações de campo e exames sedimentológicos: minerais pesados, granulometria e calcimetria, com o intuito de caracterizar os sedimentos da Formação Bauru e auferir idéias relativas a sua gênese.

Em vista da pequena densidade de observações o trabalho é necessariamente preliminar, mas acreditamos que os resultados obtidos sejam suficientes para a caracterização de três fácies na Formação Bauru.

Embora trate principalmente de estudo de proveniências, o trabalho fornece dados sedimentológicos que auxiliam na elaboração de critérios de correlação estratigráfica e no esclarecimento de problemas tectônicos e sedimentológicos ligados à Formação Bauru.

A aplicação de análise de tendência aos dados de minerais pesados e de granulometria permitiram a caracterização de áreas-fonte, dando esclarecimentos a respeito da paleogeografia.

Na interpretação dos dados obtidos em minerais pesados, não foram levados em conta os resultados publicados em trabalhos anteriores, pois estes não descrevem a metodologia empregada, a responsável provavelmente pela baixa reprodutibilidade notada neste trabalho. Acrescente-se, entretanto,que a área de amostragem deste trabalho engloba as áreas dos trabalhos prévios.

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1.1 - OBJETIVOS E ÁREA DE ESTUDO

Através do estudo integrado de diferentes critérios sedimentológicos procuramos caracterizar as áreas-fonte dos arenitos da Formação Bauru, inferindo ainda idéias sobre a paleogeografia.

Para o presente trabalho foram coletadas amostras principalmente no Estado de São Paulo e Triângulo Mineiro. A Figura 1 mostra o mapa geológico com a localização das amostras.

1.2 - AMOSTRAGEM

Os trabalhos de campo compreenderam o conhecimento prévio do autor, oriundo de vários levantamentos executados na Bacia do Paraná, e viagens efetuadas para este trabalho. As viagens compreendendo coletas de amostras superficiais, observações geológicas gerais e descrição de testemunhos de dois poços de sondagem, consumiram vinte dias de campo. Foram em número de quatro, sendo duas para coleta de amostras superficiais e duas para descrição e amostragem dos poços.

A amostragem teve como finalidade obter materiais para estudos de granulometria, calcimetria, e principalmente de minerais pesados.

Houve intenção de caracterizar tanto as variações geográficas quanto as variações estratigráficas.

Procurou-se dentro do possível (existência de bons

afloramentos, existência de estradas, etc...) coletar amostras mais ou menos espaçadas, para que toda a área fosse uniformemente abrangida evitando-se assim a concentração local de amostragem.

Geograficamente estas amostras pontuais provêm dos Estados de São Paulo, Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso, e estratigraficamente fazem parte de vários níveis dentro da Formação Bauru.

Foram usadas neste trabalho trinta e nove amostras superficiais do trabalho de SUGUIO (1973b), amostras estas denominadas aqui de KS.

As amostras PB (setenta e duas amostras) correspondem às amostras superficiais coletadas especificamente para este trabalho.

Para o estudo de variações estratigráficas foram usadas amostras de dois poços de sondagem, coletadas de 10 em 10 m.

As amostras Al (vinte amostras) correspondem as amostras de testemunhos de sondagem do poço de Alvinlândia (SP).

As amostras GS (dezesseis amostras) correspondem às amostras de testemunhos de sondagem do poço de General Salgado (SP).

Ao todo foram usadas neste trabalho cento e quarenta e sete amostras, sendo cento e onze amostras superficiais e trinta e seis amostras de testemunhos de sondagem.

Na Tabela I, consta uma relação das amostras superficiais de sedimentos da Formação Bauru com especificações de procedência, descrição litológica sucinta, e os processamentos aos quais foram submetidas as amostras.

As amostras de testemunhos aparecem localizadas nas descrições dos poços de sondagem (Perfis 1 e 2).

CAPÍTULO 2

ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS

2.1 - METODOLOGIA

2.1.1 - Granulometria

Inicialmente foi feito um quarteamento das amostras para se chegar a porções de pesos adequados, conforme a litologia, sendo estes, cerca de 100 gramas no caso de arenitos mais puros e 50 gramas nos de arenitos muito argilosos.

As amostras foram a seguir desagregadas manualmente ou com a ajuda de um martelo de borracha. As amostras que apresentavam cimento carbonático e difícil desagregação, foram atacadas com ácido clorídrico a 30% e posteriormente lavadas com água quente para lixiviar ao máximo o HCl, tendo sido evitado o uso de bases para neutralização do meio.

Após o quarteamento e desagregação, as amostras foram colocadas em suspensão e homogeneizadas por meio de agitador rotativo. Para evitar o problema da floculação foi utilizado o pirofosfato de sódio como defloculante.

As amostras foram processadas por pipetagem seguida de peneiramento. A pipetagem foi utilizada para dimensionamento de partículas entre 0,062 e 0,004 mm de diâmetro e o peneiramento para partículas entre 4,0 e 0,062 mm. A escala granulométrica usada foi a de Wentworth (1922 in SUGUIO, 1973a), sendo que no peneiramento foram intercaladas peneiras de 2,83; 1,41; 0,707; 0,354; 0,177 e 0,088 mm.

2.1.2 - Cálculo dos parâmetros estatísticos das distribuições

Nos cálculos dos parâmetros foram usadas as fórmulas propostas por FOLK & WARD (1957 in SUGUIO, 1973a). Os cálculos foram efetuados no computador Burroughs B6600/B7700 do Centro de Computação Eletrônica da Universidade de São Paulo, a partir de um programa denominado LABSE, em linguagem FORTRAN IV, desenvolvido por Jorge Kazuo Yamamoto, estagiário do Laboratório de Sedimentologia do Instituto de Geociências da U.S.P. Neste programa são usados como dados, o peso inicial da amostra e os pesos de cada fração granulométrica. São obtidas as porcentagens de cada classe granulométrica, porcentagens acumuladas e os parâmetros estatísticos para distribuição total e para a distribuição areia.

2.1.2.1 - Distribuição total

Foram calculados os parâmetros estatísticos da distribuição total, considerando os intervalos de areia, silte e argila.

As análises de distribuição total apresentaram os seguintes problemas:

- Muitas partículas de diâmetro entre silte e argila podem provir de alterações de feldspatos (intemperismo), não diretamente ligadas à sedimentação da rocha.

- A própria metodologia de peneiramento e pipetagem implica problemas de análise indireta. E o intervalo argila é de discriminação quase impossível, tendo sido apenas calculados os teores de partículas menores que 0,004 mm.

- A pipetagem apresenta ainda o problema da Lei de Stokes, válida apenas para partículas teoricamente esféricas e

de mesma densidade, num meio de viscosidade homogênea (no caso o meio considerado foi a água). Na realidade, as partículas não são esféricas, possivelmente apresentam densidades diferentes e a viscosidade do meio varia de acordo com a concentração de partículas e micelas em suspensão e solução.

- No caso de amostras úmidas foram retiradas porções de 10 gramas para secagem na estufa. A partir da diferença entre o peso inicial e final foi calculada a umidade de cada amostra, descontada do peso inicial das amostras submetidas ao peneiramento e pipetagem. Este cálculo de teor em água das amostras também implica em análise indireta.

- As amostras que apresentaram muito cimento carbonático foram de início atacadas com ácido clorídrico. Nestes casos, e por mais completa que tenha sido a lavagem posterior com água quente, sempre permanece certa acidez na suspensão final, o que provoca floculação das partículas, mesmo com o uso do defloculante (pirofosfato de sódio). Foi evitado o uso de bases para neutralização do meio, pois a adição de bases em meio ácido provocaria a formação de sais.

2.1.2.2 - Distribuição areia

Foram calculados os parâmetros estatísticos considerando apenas a distribuição no intervalo areia, eliminando os intervalos silte e argila.

2.2 - APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS (TABELA II)

2.2.1 - Parâmetros estatísticos das distribuições

Os parâmetros utilizados foram: diâmetro médio, desvio padrão (seleção), assimetria e curtose, conforme fórmulas propos

tas por FOLK & WARD (1957 in SUGUIO, 1973a).

2.2.2 - Número de classes texturais (conforme escala de Wentworth)

A Tabela III, além dos resultados do número de classes texturais, apresenta os resultados porcentuais de teores de $CaCO_3$, silte + argila, argila e areia; e resultados da relação entre clásticos grossos (areia) sobre clásticos fines (silte + argila). Estes resultados serão analisados nos Capítulos V e VI.

2.3 - ANÁLISE DOS RESULTADOS

2.3.1 - Análise de freqüência dos parâmetros estatísticos da distribuição total (Tabela IV)

A Formação Bauru de uma maneira geral se apresenta litologicamente homogênea. É caracterizada, como pode ser observado na Tabela IV, por litologia de arenitos finos e muito finos, argilosos e/ou carbonáticos, seleção pobre a muito pobre, com assimetria variando de muito positiva a positiva e finalmente, curtose muito leptocúrtica a leptocúrtica.

2.3.1.1 - Diâmetro médio

Reflete grande homogeneidade litológica, 81% das amostras analisadas apresentam diâmetro médio enquadrados entre areia fina e muito fina.

2.3.1.2 - Seleção (desvio padrão)

Os valores em 86% das amostras estudadas variam de pobremente a muito pobremente selecionados.

2.3.1.3 - Assimetria

Entre as amostras estudadas 96% apresentam uma assimetria variando de positiva a muito positiva, indicando uma pior seleção para o lado dos clásticos finos.

2.3.1.4 - Curtose

Entre as amostras estudadas 82% apresentam-se com curvas variando de leptocúrticas a muito leptocúrticas.

2.3.2 - Análise de freqüência dos parâmetros estatísticos da distribuição areia (Tabela V)

Analisando apenas o intervalo areia (2,0 a 0,062 mm) das amostras da Formação Bauru, verificamos pela Tabela V, que as amostras se apresentam com diâmetro médio variando de areia fina a muito fina, com seleção variando de moderadamente a bem selecionada, com assimetria variando de aproximadamente simétrica a negativa, com curtose variando de mesocúrtica a platicúrtica.

O fato das amostras apresentarem na distribuição total, seleção variando de pobremente a muito pobremente selecionada e o intervalo areia das amostras se apresentar moderadamente a bem selecionado, sugere para a Formação Bauru uma origem parcial de

sedimentos preexistentes.

2.3.2.1 - Diâmetro médio

Como afirmado anteriormente, em virtude da grande homogeneidade litológica, 86% das amostras apresentam diâmetro médio do intervalo areia variando de areia fina a muito fina.

2.3.2.2 - Seleção (desvio padrão)

Os valores de seleção em 96% das amostras apresentam o intervalo areia variando de moderadamente a bem selecionado, evidenciando uma grande homogeneidade.

2.3.2.3 - Assimetria

O intervalo areia de 74% das amostras estudadas apresenta-se com curvas aproximadamente simétricas e com assimetria negativa, com pior seleção para as classes de areia mais grossa.

2.3.2.4 - Curtose

Entre as amostras estudadas 87% apresentam curvas variando de mesocúrticas a platicúrticas, confirmando a grande homogeneidade litológica.

2.3.3 - Análise de freqüência do número de classes texturais

A Tabela VI evidencia que as amostras da Formação Bauru são extremamente homogêneas quanto ao número de classes texturais; 76% das amostras apresentam de nove a dez classes texturais (escala de Wentworth).

CAPÍTULO 3

TEOR DE CARBONATO DE CÁLCIO

O carbonato de cálcio nos arenitos ocorre sob a forma de cimento preenchendo os espaços entre os grãos de quartzo, associado à matriz argilosa, ou ainda, formando nódulos.

São comuns, nos resíduos pesados das amostras não atacadas por ácido, augitas com bordas substituídas por carbonatos, provenientes de alterações intra-estratais (Estampa 4, Fotomicrografias C e D).

Acreditamos na natureza essencialmente autígena dos carbonatos, já que os grãos de carbonato encontrados não mostram feições clásticas. Os grãos são provenientes de alterações intra-estratais de augitas e da desagregação de nódulos.

Segundo SUGUIO (1973b) "Embora tenham sido verificados em alguns locais (área de Ponte Alta, MG) fragmentos de tamanho de seixos, constituídos de calcários, incluídos em camadas arenosas superpostas a leitos calcários, partículas arenosas ou síltticas com esta composição não puderam ser constatadas. Este fato parece denotar a sua natureza essencialmente química, já que os fragmentos maiores encontrados foram derivados do retrabalhamento local de camadas calcárias recém-depositadas, mas partículas menores se fossem encontradas poderiam indicar transporte por distâncias mais longas".

3.1 - METODOLOGIA E LIMITAÇÕES

Foi retirada uma porção de 10 gramas de cada amostra estudada. Esta porção após triturada, foi atacada com ácido clorídrico a 30% a quente, até o ponto de desaparecimento de qualquer efervescência. A porcentagem de carbonato foi calcula

da a partir da diferença do peso inicial e do peso final do material seco.

A análise dos resultados de teores de carbonato de cálcio apresenta as seguintes limitações:

- A amostragem superficial foi em parte seletiva, pois foram amostrados os afloramentos mais frescos, que são de arenitos mais ricos em nódulos carbonáticos (mais resistentes ao intemperismo e erosão).

- O fato de algumas amostras se apresentarem um pouco intemperizadas. Segundo SUGUIO (1973b) "Em se tratando de cimento relativamente solúvel nas condições normais de intemperismo, por águas meteóricas, as rochas arenosas intensamente alteradas são quase sempre isentas de cimento carbonático".

PIERUCETI & BRANDT NETO (1974) estudando variações de teor de $CaCO_3$ em poços de sondagem da Formação Bauru, na cidade de São José do Rio Preto, verificaram que amostras situadas acima do nível hidrostático, embora não evidenciassem alterações intempéricas, apresentaram teores de carbonato menores, devido a possível lixiviação.

- Nos níveis em que o carbonato aparece como cimento, o arenito é homogeneamente carbonático. Por outro lado, os níveis onde o carbonato é nodular, a rocha é muito heterogênea, pois se em algumas partes se observa riqueza de nódulos, em outras, o carbonato nem como cimento comparece.

3.2 - INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

A Tabela III mostra os teores de carbonato de cálcio das amostras estudadas.

Os resultados de ataque químico indicam que os teores de carbonatos como cimento na Formação Bauru apresentam valores sempre inferiores a 10%. As amostras que apresentaram valores muito altos de $CaCO_3$, se referem a arenitos com carbonato nodu

lar. Algumas amostras totais GS e AL apresentaram valores da ordem de 20 a 30% de $CaCO_3$, que caíram para menos de 10% com a retirada dos nódulos.

Não parece existir uma variação sistemática de teores de carbonato de cálcio nos poços de Alvinlândia e General Salgado. Ao longo dos perfis dos poços de sondagem, notamos a existência de níveis onde o carbonato aparece como cimento e níveis onde o carbonato aparece na forma de nódulos.

Segundo PIERUCETI & BRANDT NETO (1974) " A distribuição de calcário não é homogênea na seqüência vertical. Notam-se porém algumas tendências relevantes - o teor médio de calcário é maior nos poços, que representam as partes superiores da coluna".

Um sério problema na interpretação dos resultados daqueles autores está implícito na análise dos teores totais de $CaCO_3$, não diferenciando cimento e nódulo carbonático.

Segundo MEZZALIRA (1974), "tanto nos afloramentos como nos testemunhos de sondagens, as zonas de cimento calcário interpõem-se a várias alturas às zonas não calcíferas, fato aliás bem observado por FREITAS (1955, p. 31) quando afirmou, "baseado em testemunhos de sondagem, que o arenito calcário ocorre em qualquer posição altimétrica dos perfis".

SETZER (1948), ALMEIDA & BARBOSA (1953) e FREITAS (1955) utilizaram o critério de cimentação para a subdivisão da Formação Bauru no Estado de São Paulo.

Achamos que não é válido o uso da cimentação como um critério estratigráfico pelos seguintes motivos:

- Tanto nos poços por nós estudados, como nos poços de São José do Rio Preto estudados por PIERUCETI & BRANDT NETO (1974), as variações dos teores de carbonato de cálcio não seguem qualquer padrão.

- O estágio atual de cimentação pode ser atribuído a uma dissolução e reprecipitação epigenética,principalmente nas zonas superficiais (HASUI, 1969).

- O carbonato de cálcio é em parte autígeno, proveniente de alterações intra-estratais de augitas.

Por outro lado, as observações de campo e de laboratório deste trabalho, levam a concluir que, a maior ou menor ocorrência de nódulos carbonáticos é importante critério estratigráfico da Formação Bauru.

3.3 - ORIGEM DO CARBONATO DE CÁLCIO

O cimento calcífero (segundo MEZZALIRA) ocorrente nos diversos termos litológicos da Formação Bauru, tem sido objeto de especulação por parte de diversos autores que o estudaram, faltando contudo dados elucidativos sobre sua possível origem.

O cimento carbonático estaria segundo FREITAS (1955) ligado à precipitação química mas, as observações deste trabalho sugerem que pelo menos parte do carbonato é proveniente de alterações intra-estratais de augitas (autígeno).

Para primeiro caso, FREITAS aponta como fonte de $CaCO_3$ a alteração e lixiviação de feldspatos e minerais ferromagnesianos de basaltos.

Acredita-se que por processos diagenéticos de percolação e lixiviação, o carbonato de cálcio, originalmente como cimento, migrou e reprecipitou-se formando nódulos carbonáticos.

CAPÍTULO 4

MINERAIS PESADOS

4.1 - METODOLOGIA

Após a análise granulométrica dos sedimentos foram separadas as frações 0,250 - 0,125 mm (areia fina) e 0,125 -0,062mm (areia muito fina) para análise de minerais pesados.

As frações acima e abaixo destes limites foram rejeitados pelo fato de apresentarem pesados em volume muito pequeno (frações grossas) ou de seu estudo óptico ficar dificultado (frações finas).

A separação das frações leve e pesada foi efetuada em funis apropriados por meio de bromofórmio de D = 2,89.

Para aumentar a concentração de minerais pesados transparentes, os opacos magnéticos (magnetita e ilmenita) foram parcialmente eliminados com imã manual.

Os grãos na maioria dos casos se apresentaram cobertos por uma película limonítica que dificultava as identificações. Fez-se então, a lavagem do material com ácido clorídrico (30%) em um vibrador ultrasônico para eliminação desta película. Em algumas amostras analisou-se o material não atacado para observação de certas estruturas carbonáticas (augitas com bordas calcitizadas).

A seguir foram montadas lâminas com as frações pesadas daquelas duas granulações em associação total microquarteada. O meio de montagem foi o Bálsamo do Canadá (n = 1,56). Para algumas amostras em que apareceram dúvidas na identificação dos minerais,em benefício da exatidão de determinação óptica, foram usadas também montagens não permanentes com líquido viscoso Aroclor (n = 1,64).

As montagens com Aroclor apresentaram a vantagem de permitir a rotação de grãos para posições favoráveis à observação de figuras de interferência. Os minerais como apatita e silimanita em montagem com Aroclor perdem quase totalmente o relevo e diferenciam-se mais nitidamente de outros minerais incolores de hábitos parecidos (COUTINHO & COIMBRA, 1974).

Alguns minerais de identificação óptica duvidosa foram confirmados roentgönograficamente.

A freqüência relativa de cada mineral foi obtida após contagem de 100 grãos de minerais pesados transparentes e não micáceos por fração granulométrica analisada.

Após a contagem foi realizada uma varredura completa na lâmina, e os minerais com freqüências menores que 1% foram marcados como TR (traços).

Os resultados estão apresentados sob a forma de tabelas (Tabelas VII e VIII). Nas tabelas, além das freqüências relativas dos minerais estão computados os tipos de granadas e piroxênios presentes.

4.2 - FEIÇÕES PRINCIPAIS DOS MINERAIS PESADOS TRANSPARENTES NÃO MICÁCEOS DA FORMAÇÃO BAURU

Aqui serão discutidas as feições principais dos minerais pesados transparentes não micáceos ordenados por freqüência de ocorrência decrescente.

TURMALINA - Predominam as formas eqüidimensionais ("esféricas") bem arredondadas; as formas prismáticas de bordos arredondados (Estampa 1 - Fotomicrografia E) aparecem secundariamente, e as prismáticas com terminações euhedrais pouco arredondadas são mais raras (Estampa1 - Fotomicrografia F).

São freqüentes os grãos de coloração castanha de turmalinas ferromagnesianas, e mais raras as variedades verdes (shorlitas), amarelas (magnesianas), azuis (indicolitas) e as incolores.
São freqüentes, principalmente para as indicolitas, grãos provenientes da fragmentação transversal dos prismas, os quais são eqüidimensionais ("esféricos") bem arredondados (Estampa 1 - Fotomicrografia D), pouco pleocróicos dando boas figuras de interferências (figuras de eixo óptico).

ZIRCÃO - Apresentam-se incolores e raramente coloridos (róseos e amarelo-esverdeados). Localmente, os róseos podem ser abundantes (área de Franca).
São mais freqüentes as formas eqüidimensionais ("esféricas") bem arredondadas (Estampa 2 - Fotomicrografia A), aparecendo secundariamente, as formas prismáticas de bordos arredondados (Estampa 2 - Fotomicrografia C) e prismáticas bipiramidais (Estampa 2 - Fotomicrografia B).
Este mineral é facilmente confundido com xenotima e é possível mesmo, que uma pequena parcela dos zircões, seja na realidade, constituída de xenotima.
São freqüentes os zircões com inclusões, e com zoneamento fraturado.

GRANADA - São mais comuns as granadas de coloração rósea a incolor, sendo mais raras as andraditas de coloração amarela, amarelo-esverdeadas e vermelho-amareladas, aparecendo ainda raramente granadas de coloração castanha, variedades mais titaníferas de andraditas, denominadas schorlomitas.
Predominam as formas eqüidimensionais ("esféricas") bem arredondadas (Estampa 1 - Fotomicrografia A).

São freqüentes alterações superficiais (picoteamento), formando padrões superficiais retangulares ou losangulares (Estampa 1 - Fotomicrografias B e C).
Apresentam, às vêzes, estruturas sageníticas (inclusões de agulhas de rutilo).

PIROXÊNIO - Augita:
Apresentam-se alongadas e arredondadas (Estampa 4 - Fotomicrografia A) comumente com alterações formando denteamentos (serrilhamentos) paralelos ao eixo c (Estampa 4 - Fotomicrografia B).
São mais freqüentes as de coloração esverdeadas, sendo raras as de colorações amarelo-esverdeadas e castanho esverdeadas.
São comuns, nas amostras não atacadas por ácido, augitas com bordas substituídas por carbonatos (Estampa 4 - Fotomicrografias C e D).
Algumas augitas apresentam partição característica de dialágios.

Egirina:
Tem o mesmo comportamento da augita, diferindo apenas por sua coloração verde esmeralda, extinção reta e elongamento (Estampa 4 - Fotomicrografia E).
Como a augita e egirina formam uma série isomorfa, torna-se muito difícil a distinção de termos intermediários. Foram todos os grãos contados como augitas, anotando-se a presença de egirinas, quando necessário.

Titano-augita:
Aparece com o mesmo comportamento da augita diferindo apenas por apresentar cor castanha. Por ser difícil também a separação com a augita, foram todos os grãos computados em augita, anotando-se a presença de titano-augita, quando requerido.

ESTAUROLITA - Este mineral aparece em grãos irregulares, amarelos e vermelho amarelados, raramente com cor rósea.
Exibem comumente um serrilhado nas bordas, paralelo ao eixo c. São comuns também evidências de dissolução, conferindo à superfície do mineral um padrão reticulado, sugerindo escamas (Estampa 3 - Fotomicrografias A, B e C).

EPÍDOTO - São mais freqüentes os de coloração esverdeada, verde limão (pistachitas), parecendo ainda os de coloração verde claro a incolores (zoisita e clinozoisita).
Ocorrem com formas alongadas (Estampa 5 - Fotomicrografias A e C) e eqüidimensionais (Estampa 5 - Fotomicrografia B) arredondadas ou sub-arredondadas.
Raramente aparecem com alterações superficiais formando um escamamento como da estaurolita.

RUTILO - Apresenta coloração avermelhada, amarelada e vermelho amarelada. Alguns são castanhos, quase opacos, sendo identificados apenas com a inserção de lente convergente.
São eqüidimensionais sub-arredondados e prismáticos sugerindo terminações piramidais (Estampa 2 - Fotomicrografias D e E).
Exibem por vezes geminações em joelho (Estampa 2 - Fotomicrografia G), em coração ou cotovelo (Estampa 2 - Fotomicrografia H), e com estrias longitudinais e oblíquas (geminação polissintética - Estampa 2 - Fotomicrografia F).

HORNBLENDA - Apresenta-se alongada com serrilhamento paralelo ao eixo c, nas faces terminais.
Predominam os grãos de coloração verde clara, aparecendo ainda grãos com coloração verde escura, azul e castanha.

CIANITA - Incolores, com formas alongadas sub-arredondadas (Estampa 4 - Fotomicrografia F), raramente exibindo formas alongadas ou eqüidimensionais bem arredondadas.

SILLIMANITA - Incolores, com formas alongadas sub-arredondadas. Raramente aparecem com formas alongadas ou eqüidimensionais bem arredondadas.
Raros são os grãos de sillimanita fibrosa (fibrolita).

ANATÁSIO - Predominam os grãos de coloração amarela, sendo raros os incolores e os de tonalidades levemente azuladas.
Comumente aparecem com contorno quadrado e biselado por pirâmides (Estampa 4 - Fotomicrografia H), dando figura de eixo óptico centrado e isotropia.
Sua forma euhedral sugere tratar-se de um mineral autígeno na Formação Bauru.

TITANITA - São incolores ou de coloração amarela clara. Aparecem com formas eqüidimensionais ("esféricas") ou ovóides bem arredondadas (Estampa 4 - Fotomicrografia G), ou eqüidimensionais sub-arredondadas.
Apresenta-se comumente com incrustações e inclusões.

PEROWSKITA - Apresentam coloração castanho avermelhada escuro. São características as formas cúbicas, alguns grãos com arestas vivas demonstram pequeno transporte (Estampa 5 - Fotomicrografias D, E e F). Normalmente tem comportamento anisótropo e geminações tipo polissintética.
Comumente os grãos têm o mesmo tamanho, em torno de 100 microns e podem por vêzes exibir leu

coxenização autígena.
A identificação inicial foi obtida roentgönograficamente.

Dados difratométricos em agregado de 20 grãos em câmara de Gandolfi

Ref. Murdoch, Am. Min., v. 36, pp. 573 (1951).
Amostra de San Benito, Califörnia.
Ficha 8 - 91 do A.S.T.M.

$CaTiO_3$	Perowskita Califörnia	Formação Bauru	
d(Å)	I	d(Å)	I
2,70	100	2,69	100
1,91	90	1,92	60
1,56	70	1,55	60
3,81	40	3,81	40

As intensidades menores também coincidem, mostrando com isto que o material analisado é realmente perowskita.

APATITA - Incolores, com formas ovóides (Estampa 3 - Fotomicrografia D) e alongadas bem arredondadas (Estampa 3 - Fotomicrografia E).
Apresentam-se em geral com inclusões, freqüentemente dispostas paralelas ao elongamento do grão.

MONAZITA - Incolores, ou com coloração amarela clara. Aparecem com formas ovóides e eqüidimensionais("esféricas") bem arredondadas.

DUMORTIERITA - Mineral extremamente raro, ocorrendo apenas um grão na amostra PB - 28 (fração 0,250-0,125 mm) e um grão na amostra PB - 62 (fração 0,125 - 0,062 mm).

Apresentam-se em grãos alongados sub-arredondados de coloração azul escuro, ou lilás.
Diferenciam-se da turmalina azul (indicolita) por ter índices de refração mais elevados e a absorção máxima paralela ao elongamento.

CORÍNDON - Mineral extremamente raro, ocorrendo apenas um grão na amostra PB - 62 (fração 0,125-0,062 mm). Alongado sub-arredondado, de coloração azul clara (safira).

ESPINÉLIO - Mineral extremamente raro, ocorrendo apenas um grão na amostra PB - 37 (fração 0,250 - 0,125mm) e um grão na amostra PB - 57 (fração 0,125 - 0,062 mm).
Mineral de coloração verde (pleonasto = espinélio ferruginoso), eqüidimensional sub-arredondado, com relevo alto.

BARITA - Ocorre apenas na amostra KS - 187. Aparece com formas alongadas e eqüidimensionais sub-arredondadas, evidenciando um pequeno retrabalhamento.

4.3 - ANÁLISE DE FREQÜÊNCIAS DOS MINERAIS PESADOS TRANSPARENTES NÃO MICÁCEOS

As Tabelas IX e X mostram freqüências dos minerais nas duas frações granulométricas analisadas.

4.3.1 - Freqüência média

É a média aritmética das freqüências do mineral em todas as amostras analisadas.

Verificou-se que, na:

Fração 0,250 - 0,125 mm: apenas nove minerais (zircão, turmalina, granada, augita, estaurolita, epídoto, rutilo, cianita e perowskita) perfazem uma somatória de freqüências igual a 97,10% do material analisado.

Fração 0,125 - 0,062 mm: apenas dez minerais (zircão, turmalina, granada, augita, estaurolita, epídoto, rutilo, cianita, perowskita e hornblenda) perfazem uma somatória de freqüências igual a 97,27% do material analisado.

Comparando as freqüências dos minerais nas duas frações granulométricas, verificamos que alguns minerais como zircão, rutilo, anatásio, perowskita e apatita são mais freqüentes na fração 0,125 - 0,062 mm, enquanto turmalina, granada, augita, estaurolita e cianita são mais freqüentes na fração 0,250 -0,125mm.

É necessário esclarecer que as freqüências obtidas são relativas. A baixa freqüência relativa de um mineral numa fração não significa que este mineral apresenta baixa freqüência absoluta, pois pode acontecer que a alta freqüência relativa de um mineral mascare as freqüências relativas dos demais.

Outros fatores influem para que o mineral se concentre em determinada fração granulométrica:

Rutilo, zircão e perowskita se encontram preferencialmente na fração 0,125 - 0,062 mm devido aos seus altos pesos específicos (superiores a 3,8); enquanto turmalina, augita, cianita e estaurolita se concentram na fração 0,250 - 0,125 mm devido aos seus pesos específicos inferiores a 3,8. Tais concentrações diferenciais por densidade são correlacionadas aos tamanhos hidráulicos de cada mineral pesado (HUBERT, 1971), não determinados no presente trabalho na ausência de dados em frações inferiores a 0,062 mm.

Outras propriedades como dureza, clivagem, fratura, forma, tamanho original dos minerais na rocha matriz, condicionam também a concentração dos minerais numa fração granulométrica. São estes certamente os fatores que mais influem, por exemplo, na presença de granada, de elevado peso específico, limitada em grande parte, às frações grossas.

4.3.2 - Freqüência de ocorrência

Esta freqüência porcentual é obtida dividindo o número de amostras nas quais o mineral está presente pelo número total de amostras.

Verificamos que:

Fração 0,250 - 0,125 mm: apenas nove minerais (zircão, turmalina, granada, augita, estaurolita, epídoto, rutilo, hornblenda e cianita) aparecem em mais de 25% das amostras analisadas.

Fração 0,125 - 0,062 mm: apenas onze minerais (zircão, turmalina, granada, augita, estaurolita, epídoto, rutilo, hornblenda, cianita, titanita e perowskita) aparecem em mais de 25% das amostras analisadas.

4.3.3 - Freqüência de classes

A partir das amostras nas quais o mineral está presente é apresentada uma classificação segundo a sua abundância.

Foi considerado super-abundante o mineral com freqüência superior a 50%, abundante entre 10 a 50%, comum entre 2 a 10% e raro entre 0 a 2%, conforme classificação proposta por COUTINHO & COIMBRA (1974).

4.4 - ÍNDICES DE MATURIDADE MINERALÓGICA

4.4.1 - Metodologia

Os índices,por serem multivariantes, apresentam melhores resultados na interpretação de áreas-fonte.

O índice I_1 (ZTR = zircão + turmalina + rutilo) tem sido normalmente usado como índice de maturidade mineralógica

(HUBERT, 1962). Foi calculado a partir da soma das freqüências porcentuais.

Os índices I_2, I_3 e I_4, propostos neste trabalho, relacionam minerais instáveis com minerais estáveis.

$$I_2 = \frac{\text{hornblenda + epidoto}}{\text{zircão + turmalina}}$$

$$I_3 = \frac{\text{hornblenda + epídoto + granada}}{\text{zircão + turmalina + rutilo}}$$

$$I_4 = \frac{\text{epidoto + granada + augita}}{\text{zircão + turmalina + rutilo}}$$

Os índices I_2 e I_3 foram usados, porque em grande número de amostras os minerais instáveis mais freqüentes são epídoto, granada e hornblenda, que indicam uma maior ou menor proveniência de rochas metamórficas (gnaisses e xistos).

O índice I_4 foi usado, porque em grande número de amostras o mineral instável mais freqüente é a augita, que evidencia contribuição de rochas básicas.

Os índices I_2, I_3 e I_4 como razões entre minerais não puderam ser calculados a partir das freqüências porcentuais. As freqüências porcentuais dos minerais foram inicialmente classificadas por postos:

Freqüências porcentuais	Posto
0 a 9%	1
10 a 19%	2
20 a 29%	3
30 a 39%	4
40 a 49%	5
50 a 59%	6
60 a 69%	7
70 a 79%	8
80 a 89%	9
90 a 100%	10

Os cálculos dos índices foram feitos então a partir das relações entre os postos de freqüência.

4.4.2 - Apresentação dos resultados

As Tabelas XI e XII mostram os índices de maturidade mineralógica (I_1, I_2, I_3 e I_4) nas duas frações granulométricas das amostras estudadas.

Os índices I_2, I_3 e I_4 são geralmente mais altos na fração 0,250 - 0,125 mm, devido ao fato dos minerais como granada e augita se concentrarem entre 0,250 - 0,125 mm e zircão e rutilo na fração 0,125 - 0,062 mm.

4.4.3 - Análise de freqüência do índice ZTR

Os valores de ZTR foram classificados para facilitar a análise de variações de freqüência. As Tabelas XIII e XIV mostram suas variações em amostras de superfície. Nas Tabelas XV e XVI as variações se referem às amostras de sondagem.

Comparando as Tabelas XIII e XIV com as Tabelas XV e XVI, verifica-se que tanto na fração 0,125 - 0,062 mm como na fração 0,250 - 0,125 mm, os valores de ZTR para amostras de sondagem são menores que os de amostras de superfície. Isto pode estar ligado ao fato das amostras de superfície provirem preferencialmente de níveis estratigráficos superiores, os quais por sua vez apresentaram maiores valores de ZTR, como pode ser observado nos perfis de sondagem; e secundariamente pode estar ligado ao fato das amostras de superfície estarem parcialmente alteradas causando com isso uma eliminação dos minerais mais instáveis e conseqüentemente um enriquecimento de minerais ultra-estáveis (ZTR).

4.5 - PROVÁVEIS ÁREAS-FONTE DA FORMAÇÃO BAURU

Foram encontrados alguns minerais pesados diagnósticos para áreas-fonte específicas, enquanto outros proviriam de fontes diversificadas.

Minerais como zircão, turmalina e rutilo primariamente extraídos de rochas ígneas e metamórficas, aparecem na Formação Bauru com formas eqüidimensionais muito bem arredondadas, sugerindo como fonte sedimentos preexistentes: Formação Furnas, Grupo Tubarão e Formação Botucatu, todas extremamente ricas nestes minerais (SUGUIO *et al.*, 1974).

Em algumas ocorrências localizadas (área de Franca), o zircão redondo róseo pode comparecer abundantemente. Sua fonte, em tais casos, poderia ser traçada diretamente nos quartzitos vizinhos do Grupo Canastra.

Considera-se uma contribuição positiva do presente trabalho, a descoberta de perowskita em relativa abundância por toda a área da Formação Bauru circunscrita ao norte do Rio Tietê. Este mineral forma-se primariamente em rochas alcalinas insaturadas, especialmente as básicas, ultrabásicas e seus tufos, muito concentrados no Triângulo Mineiro.

HUSSAK (1906 in BARBOSA *et al.*, 1970), deu conhecimento da existência de tufos alcalinos ricos em perowskita, em Uberaba.

Segundo HASUI (1968) "Perowskitas comparecem na Formação Uberaba com grãos menores que 0,2 mm, em quantidades apreciáveis em alguns delgados estratos da metade inferior da seqüência. A procedência da perowskita deve relacionar-se com rochas alcalinas".

As rochas do vulcanismo alcalino do Triângulo Mineiro contêm perowskita, e os resíduos pesados da Fácies Uberaba são ricos em perowskita (BARBOSA *et al.*, 1970).

Em algumas perowskitas de ocorrência restrita, obser

vou-se formas cúbicas com arestas vivas, sugerindo pouco retrabalhamento e fontes mais próximas, como na região de Jaboticabal, onde temos uma pequena ocorrência de rochas alcalinas. Esta alcalina de Jaboticabal foi descrita e datada por MADUREIRA FILHO *et al.* (em preparação), que observaram perowskitas como acessório. Questiona-se a idade terciária (54 m.a.) desta alcalina, obtida por datação geocronológica e acredita-se numa idade mais antiga (pré-Bauru).

A presença marcante de augitas e titano-augitas, principalmente nas partes inferiores da Formação Bauru, evidenciam contribuição maciça de rochas básicas (basaltos e diabásios) da Formação Serra Geral do Grupo São Bento no início da sedimentação Bauru, diminuindo para o topo da unidade. Secundariamente, podem ser provenientes de rochas alcalinas básicas e ultrabásicas do Triângulo Mineiro.

A contribuição mais substancial dos basaltos na parte inferior da Formação Bauru, no Estado de São Paulo, havia sido notada por FREITAS (1955).

Anatásios euhedrais evidenciam sua origem autígena. Alguns grãos arredondados se derivariam de sedimentos preexistentes.

A riqueza em granadas, principalmente na parte norte da Formação Bauru, está ligada provavelmente à contribuição de xistos granatíferos do Grupo Araxá (Pré-ℓ).

Segundo BARBOSA *et al.* (1970) os xistos do Grupo Araxá, em geral apresentam como acessórios granada, que pode se constituir num mineral importante, rutilo, zircão, turmalina e estaurolita. Esta granada é presumivelmente almandina, tipo também dominante no Arenito Bauru. Variedades pardo escuro ou amarelo (schorlomita ou andradita) teriam fonte provável nas alcalinas do Triângulo Mineiro.

Cianita: proveniente de rochas metamórficas (xistos) do Grupo Araxá (Pré-ℓ), de xistos e quartzitos do Grupo Canastra (Pré-ℓ), e em parte dos metassedimentos do Grupo Açungui (Pré-ℓ). Em todos estes grupos, obedecendo a progressão metamórfica do tipo Barroviano, a cianita forma zona obrigatória.

Estaurolita: da mesma forma que para cianita, e pelas mesmas razões, a fonte primária de estaurolita deve ser baseada nos Grupos Araxá, Canastra e Açungui. Grãos mais arredondados devem provir de sedimentos preexistentes,por exemplo Botucatu (SUGUIO *et al.*, 1974).

Epídoto: proveniente de rochas ígneas ácidas (granitos) e metamorfitos dos Grupos Araxá, Canastra e Açungui.

Hornblenda: proveniente de rochas metamórficas dos Grupos Araxá, Canastra e Açungui,migmatitos especialmente e metamórficas metabasíticas de baixo a alto grau.

Sillimanita: provenientes de rochas metamórficas de alto grau (gnaisses, migmatitos e granulitos) do embasamento cristalino (Pré-Ꞓ indiviso) e de xistos do Grupo Araxá.

Titanita: proveniente de rochas ígneas ácidas (granitos) e gnaisses e migmatitos de composição granítica a granodiorítica do embasamento, onde é acessório comum. Talvez em parte de rochas alcalinas (sienitos).

Apatita: acessório universal em rochas ígneas e metamórficas. Sua presença deveria ser notada com muito mais freqüência, não fosse sua alta instabilidade em condições superficiais.

Monazita: proveniente de gnaisses e granulitos (rochas charnockíticas) do embasamento mais antigo, secundariamente de pegmatitos.

Barita: acredita-se que a barita ocorra localmente como cimento, associada ao cimento carbonático, podendo aparecer sob a forma de grãos clásticos em conglomerados e arenitos conglomeráticos intraformacionais. A barita, originalmente de cimento, teria sofrido então um pequeno transporte concentrando-se em conglomerados e arenitos conglomeráticos superiores.

Interessante assinalar também a ausência de certos minerais razoavelmente abundantes em sedimentos pós-cretáceos de outras áreas brasileiras. Um deles,por exemplo, é andaluzita, muito comum no Grupo Barreiras da Costa Oriental (COUTINHO &

COIMBRA, 1974) e absolutamente ausente no Bauru. Aparentemente a área fonte metamórfica (compreendendo especialmente os Grupos Açungui, Araxá e Canastra) se submeteu a esquema de metamorfismo Barroviano, cujas assembléias prescindem da andaluzita.

4.6 - MATURIDADE MINERALÓGICA

Usando a escala de maturidade mineralógica de SINDOWSKY (in PETTIJOHN, 1957) descrita abaixo, verificamos que a Formação Bauru apresenta:

Fração 0,250 - 0,125 mm (Tabela VII)
- iguais proporções de minerais de alta estabilidade (turmalina) e meta-estáveis (granada);
- iguais proporções de minerais de alta estabilidade (zircão) e minerais meta-estáveis (augita);

Fração 0,125 - 0,062 mm (Tabela VIII)
- iguais proporções de minerais de alta estabilidade (zircão e turmalina) e minerais meta-estáveis (granada);
- iguais proporções de minerais de alta estabilidade (rutilo) e minerais meta-estáveis (augita).

ESCALA DE ESTABILIDADE QUÍMICA DE SINDOWSKY

(in PETTIJOHN, 1957)

1 - Zircão
2 - Rutilo
3 - Turmalina
4 - Estaurolita
5 - Cianita
6 - Hornblenda
7 - Granada

8 - Augita
9 - Apatita
10 - Olivina

A mistura de minerais instáveis com minerais estáveis classifica o sedimento como mineralogicamente imaturo.

A imaturidade mineralógica de um sedimento pode ser explicada:

velocidade de erosão maior do que de decomposição na área-fonte (intemperismo), levando a condições de rápida sedimentação.

Condições de clima na área fonte com tendências a semi-árido (pouco intemperismo químico) durante a sedimentação.

A primeira hipótese esbarra no problema de não serem encontradas evidências de rápida sedimentação para a Formação Bauru, muito pelo contrário, a Formação Bauru parece ter se depositado sob condições calmas de sedimentação, como parece demonstrar.

A segunda hipótese encontra apoio na existência de depósitos de calcários na Formação Bauru considerados por SUGUIO *et al.* (1975) como depósitos similares a caliches (depósitos de clima semi-árido). A constituição em isótopos estáveis de carbono e oxigênio quando confrontada com a de amostras de caliche da África confirmou a idéia de deposição desses sedimentos em água doce, talvez sob condições de clima seco. Esta hipótese por outro lado é contraditada pela existência de fósseis de répteis que deveriam ter vivido sob condições climáticas mais amenas do que as semi-áridas.

Segundo SUGUIO *et al.* (1975) - "Podem ser consideradas evidências de clima úmido os seguintes fatos: presença de fósseis, mormente de vertebrados de grande porte (répteis e quelônios), valores relativamente baixos de isótopos de oxigênio e valores muito baixos da relação TiO_2/Al_2O_3 e principalmente a presença generalizada de minerais de argila do grupo da atapulgi

ta, tanto nos sedimentos calcários como nos sedimentos detríticos associados".

Acredita-se que o clima da Formação Bauru foi úmido alternado com fases secas (ARID, 1973), no início da sedimentação e para o topo as fases secas se tornaram mais freqüentes e mais rigorosas. Isto é justificado pelo fato dos nódulos carbonáticos serem maiores e mais freqüentes para o topo, e pela presença de conglomerados de pelotas de argila no topo da Formação Bauru.

Os conglomerados de pelotas de argila foram descritos anteriormente por ARID (1973), que assim se manifestou sobre a sua origem: "Os leitos de argila, depositados durante a inundação da planície, nos períodos de chuvas, com a chegada da estação seca e a conseqüente retirada das águas, aqueles depósitos ficaram expostos à evaporação, endureceram-se e litificaram-se. Na próxima inundação, as correntes de enchente ou os novos cursos foram capazes de erodir esses leitos e transportar os fragmentos a maior ou menor distância, depositando-os em associação lateral com outras camadas".

Acredita-se que estes conglomerados de pelotas de argila representem fases torrenciais dentro de um intervalo semi-árido, onde as pelotas de argila formadas por ressecamento são carreadas formando os níveis conglomeráticos.

4.7 - DISSOLUÇÃO INTRA-ESTRATAL

Alguns minerais instáveis da Formação Bauru, como augita, titano-augita, hornblenda, estaurolita, granada e epidoto, apresentam evidências de ação incipiente de soluções intra-estratais, expressas por corrosão, picoteamento e dissolução ao longo do eixo cristalográfico principal (Estampas 1, 3 e 4).

A raridade e mesmo ausência de minerais mais instáveis no Grupo Barreiras (Terciário), como hornblenda, granada, diopsídio, epidoto, hiperstênio e titanita, segundo COUTINHO & COIMBRA (1974) se deve a pouca estabilidade química destes minerais, ten

do eles se destruído,ou na área fonte (intemperismo),ou nos sedimentos já depositados (soluções intra-estratais).

Para a Formação Bauru, acredita-se que o intemperismo na fonte é o fator que condicionou o aparecimento ou não de minerais instáveis em sua assembléia. A simples presença de minerais instáveis, como augita, hornblenda, granada e epidoto mostra que a dissolução intra-estratal não é tão importante. Se o processo da dissolução intra-estratal fosse realmente efetivo, a Formação Bauru (Cretáceo Superior) deveria ter menos minerais instáveis.

4.8 - NÚMERO DE ESPÉCIES MINERALÓGICAS

O número de espécies mineralógicas no resíduo pesado de um sedimento está ligado tanto à diversidade de áreas-fonte, como à ação de soluções intra-estratais, a última das quais tende a eliminar as espécies mais instáveis, causando diminuição no seu número.

Acredita-se que a diversidade de áreas-fonte é o fator condicionante do grande número de espécies mineralógicas na Formação Bauru. Como retroafirmado a dissolução intra-estratal, embora existente, mostra efeitos incipientes, de valor global reduzido.

Analisando os valores ao longo do perfil de sondagem de General Salgado (Figura 31) vemos que o número de espécies diminui para a base da Formação Bauru, o que à primeira vista pareceria evidência da atuação de soluções intra-estratais, visto que os sedimentos da base, mais antigos apresentam maior grau de diagênese. Todavia, na base do poço observamos apenas minerais instáveis como augita e granada. Se se quisesse explicar o pequeno número de espécies na base apelando para a ação de dissolução intra-estratal dever-se-ia procurar explicação ainda mais problemática para a presença abundante de mineral tão instável como augita. A presença de pequeno número de espécies na base

da unidade, está ligada a certa homogeneidade de contribuição de áreas-fonte. No caso de General Salgado presume-se que as áreas--fonte estariam representadas ao tempo da erosão e alimentação, principalmente por rochas basálticas da Formação Serra Geral e xistos do Grupo Araxá.

As Tabelas XVII e XVIII mostram os resultados de freqüência de número de espécies do resíduo pesado de todas as amostras estudadas.

Podemos observar que tanto na fração 0,125 - 0,062 mm como na fração 0,250 - 0,125 mm, são mais freqüentes as amostras que se apresentam com 5 a 8 espécies mineralógicas.

Comparando a Tabela XVII com a Tabela XVIII, verifica-se que de uma maneira geral a fração 0,125 - 0,062 mm é mais diversificada que a fração 0,250 - 0,125 mm. A fração 0,125 --0,062 mm apresenta amostras com até 12 espécies, enquanto que fração 0,250 - 0,125 mm, observa-se um máximo de 10 espécies.

CAPÍTULO 5

ANÁLISE DE SUPERFÍCIE DE TENDÊNCIA

5.1 - INTRODUÇÃO

A técnica de "trend surface analysis" é descrita em KRUMBEIN & SLOSS (1963), KRUMBEIN & GRAYBILL (1965) e HARBAUGH & MERRIAN (1968). Foi primeiramente aplicada no Brasil por FÚLFARO & AMARAL (1970) em distribuição granulométrica de areias da praia do Tenório (Litoral Paulista), e posteriormente aplicada por FÚLFARO (1971) no estudo da evolução tectônica e paleogeográfica da Bacia do Paraná. Atualmente esta técnica tem sido muito aplicada em diversos campos da Geologia,como Petrologia, Estratigrafia, Tectônica, Geofísica, Hidrogeologia, etc...

Os cálculos para o presente estudo foram realizados em computador a partir de um programa denominado DTREND, modificado do programa original produzido no Departamento de Ciências Geológicas da Northwestern University, E.U.A. O programa DTREND foi adaptado e modificado pelo Professor Doutor Gilberto Amaral, do Instituto de Geociências da U.S.P. Ele é escrito em linguagem Fortran IV para o computador Burroughs B6600/B7700 do Centro de Computação Eletrônica da U.S.P. Este programa fornece matrizes até 6º grau e vários testes destinados a avaliar a "força" ou grau de ajuste das várias superfícies obtidas, na forma proposta por ALLEN & KRUMBEIN (1962) e KRUMBEIN & GRAYBILL (1965)ou seja, a soma dos resíduos ao quadrado, a porcentagem da soma total dos quadrados, o coeficiente de determinação e o coeficiente de correlação.

Durante o processamento foram usadas superfícies de até 6º grau. Mas como a aplicação da técnica para dados sedimentológicos enfrenta vários problemas, como estão explicados abaiso, optou-se pelo uso de superfície de 3º grau.

Restringiu-se ainda a interpretação para mapas de tendência que apresentaram coeficientes de correlação acima de 70% em superfícies de 3º grau e com o porcento da soma total dos quadrados superior a 18%.

A escolha destes limites quanto ao grau da superfície e o seu coeficiente de correlação, está baseada na densidade de amostragem e no trabalho de HOWARTH (1967).

Muitos mapas de tendência foram eliminados,pois se considerou apenas os mapas de tendência onde o número de amostras é três vezes superior ao número de coeficientes da superfície.

Usaram-se como limite, os valores obtidos por HOWARTH (1967), que aplicou "trend surface analysis" para várias distribuições de números gerados ao acaso, aconselhando o uso de superfícies de 3º grau com o porcento da soma total dos quadrados acima de 16,2%, pois valores mais baixos podem estar ligados a distribuições ao acaso.

5.1.1 - Parâmetros granulométricos

Sendo todas as amostras de superfície, devem elas se situar em diferentes níveis estratigráficos. A aplicação da técnica de "trend surface analysis" com o objetivo de estabelecer a paleogeografia e as fontes dos sedimentos, está sujeita a uma combinação de variáveis, que são a maior ou menor proximidade da fonte e estágios mais ou menos energéticos durante a sedimentação.

Os parâmetros granulométricos,por outro lado, apresentam a vantagem de fornecer dados absolutos, enquanto os minerais pesados fornecem dados relativos de freqüência.

5.1.2 - Minerais pesados

5.1.2.1 - Freqüência relativa dos minerais

Na determinação de freqüência de minerais pesados os dados obtidos expressam apenas freqüências relativas. No uso de mapas de tendência para análise de áreas-fonte deve-se levar em conta que baixa freqüência de determinado mineral em uma amostra, relativamente a outros minerais, não significa baixa freqüência absoluta, pois pode acontecer que a alta freqüência relativa de um mineral mascare as freqüências relativas dos demais.

O uso de freqüências relativas de minerais nos sedimentos é importante na interpretação de áreas-fonte, pois evidencia o quanto determinada fonte contribuiu para formação do sedimento. A freqüência absoluta de minerais pesadospode estar ligada tanto à contribuição de uma fonte como à ocorrência de horizontes de granulação maior onde se concentram hidraulicamente os minerais de densidade mais alta.

Se não houver variação considerável na paleogeografia e áreas-fonte durante o tempo de formação do registro sedimentar, as variações de ordem estratigráfica não serão significativas.

5.1.2.2 - Índices de maturidade mineralógica

Apesar de enfrentarem os problemas anteriormente descritos, os índices de maturidade mineralógica, por serem multivariantes, apresentam melhores resultados.

São usados vários índices I_1, I_3 e I_4 e a comparação dos mapas de tendência dá uma boa idéia sobre a paleogeografia, mostrando a paleodrenagem e as áreas-fonte.

5.2 - SUPERFÍCIES DE TENDÊNCIA DAS FREQÜÊNCIAS DE MINERAIS PESADOS

A partir dos mapas de tendência das freqüências dos minerais pesados, caracterizou-se as suas possíveis áreas-fonte.

5.2.1 - Cianita (Figuras 1 e 2)

De uma maneira geral a Formação Bauru apresenta uma superfície extremamente homogênea quanto ao conteúdo de cianita, mostrando valores anômalos ligados a uma maior proximidade da área-fonte.

Tanto na fração 0,250 - 0,125 mm como na fração 0,125 - 0,062 mm aparecem altos valores a E-NE do mapa, demonstrando uma contribuição principalmente de rochas metamórficas do Grupo Canastra. Apresenta ainda valores anômalos a S do mapa, evidenciando uma provável fonte secundária a partir de rochas metamórficas do Grupo Açungui aflorantes ao longo do Arco de Ponta Grossa.

5.2.2 - Turmalina (Figuras 3 e 4)

Apresenta superfícies de tendência tanto para a fração 0,250 - 0,125 mm como para a fração 0,125 - 0,062 mm com duas áreas distintas, separadas grosseiramente pelo Rio Tietê. A área Norte se caracteriza por baixas freqüências e a área Sul é extremamente rica em turmalinas.

Os mapas apresentam três possíveis áreas-fonte: NW, E-SE e W-SW, possíveis zonas de retrabalhamento de sedimentos paleo-mesozóicos da Bacia do Paraná. Corrobora esta idéia o fato das turmalinas se apresentarem esféricas e bem arredondadas,

evidenciando reciclagem.

5.2.3 - Granada (Figuras 5 e 6)

As superfícies de tendência das freqüências de granada evidenciam na Formação Bauru duas áreas distintas: uma ao Norte e outra ao Sul, separadas grosseiramente pelo Rio Tietê.

Os mais altos valores de freqüência de granada estão situados principalmente a NE do mapa e estão ligados a uma maior proximidade da área-fonte, provavelmente representada pelos xistos granatíferos do Grupo Araxá.

Os mapas evidenciam ainda uma segunda área-fonte situada a W-NW da área, ligada possivelmente a uma contribuição de gnaisses e migmatitos do Maciço Mediano Goiano.

5.2.4 - Epidoto (Figura 7)

A superfície de tendência de freqüência de epidoto na fração 0,250 - 0,125 mm evidencia também duas áreas distintas: uma ao Norte e outra ao Sul, separadas grosseiramente pelo Rio Tietê.

A área Norte é pobre em epidoto, e os valores de freqüência aumentam gradativamente para Sul, demonstrando uma maior proximidade da área-fonte. Área-fonte constituída provavelmente de rochas metamórficas e granitos intrusivos do Grupo Açungui afloramentos ao longo do Arco de Ponta Grossa.

5.2.5 - Estaurolita (Figura 8)

Apresenta valores muito homogêneos na Formação Bauru,

mostrando um enriquecimento para NW e SE, enriquecimento este ligado a uma maior proximidade de áreas-fonte.

Como já foi demonstrado nos mapas de tendência de turmalinas, as áreas-fonte a NW e SE se caracterizam por contribuição de sedimentos preexistentes. Isto leva a crer que a estaurolita esteja também ligada ao mesmo retrabalhamento, pois segundo SUGUIO *et al.* (1974) a Formação Botucatu é rica em estaurolita, constituindo nestas condições, área fonte potencial para o mineral da Formação Bauru.

5.2.6 - Rutilo (Figura 9)

A superfície de tendência de rutilo na fração 0,125 - 0,062 mm sugere duas fontes: uma a NW ligada ao retrabalhamento de sedimentos da Bacia do Paraná, a outra a E-NE parece estar ligada em parte aos sedimentos da Bacia do Paraná e em parte aos quartzitos do Grupo Canastra.

5.3 - SUPERFÍCIES DE TENDÊNCIA DOS ÍNDICES DE MATURIDADE MINERALÓGICA DA FORMAÇÃO BAURU

As superfícies de tendência dos índices de maturidade mineralógica mostram duas áreas distintas; sul e norte, separadas entre si, grosseiramente pelo Rio Tietê.

O centro da área sul se caracteriza por uma assembléia mineralógica constituída principalmente por minerais estáveis (zircão, turmalina e rutilo), apresentando com isso altos valores ZTR.

O centro da área norte apresenta uma assembléia mineralógica rica em minerais instáveis, apresentando com isso baixos valores ZTR.

Esta diferença está ligada a proveniências dos sedimen

tos a partir de fontes distintas.

Na análise dos mapas de tendência do índice ZTR (Figuras 10 e 11), verificamos que os maiores valores, tanto para a fração 0,125 - 0,062 mm como para a fração 0,250 - 0,125 mm, se encontram a SE e NW do mapa, áreas estas que têm como possíveis áreas-fonte, os sedimentos paleo-mesozóicos da Bacia do Paraná. O fato dessas áreas apresentarem alto ZTR está ligado ao retrabalhamento daqueles sedimentos preexistentes, que por sua vez são extremamente ricos em minerais estáveis. Corroborando esta hipótese, os minerais estáveis (zircão, turmalina e rutilo) da Formação Bauru, se apresentam esféricos e bem arredondados,evidenciando reciclagem.

Analisando as superfícies de tendência do índice I_3, verifica-se a presença na fração 0,250 - 0,125 mm de três possíveis áreas-fonte (Figura 12): uma a W-NW, outra a S e uma última a NE. Por outro lado, na fração 0,125 - 0,062 mm aparecem bem caracterizadas duas fontes: uma a NE e outra a S (Figura 13).A fonte NE que se acredita a principal, está ligada à contribuição de granadas e epidotos das rochas metamórficas (xistos) do Grupo Araxá.

A segunda fonte a sul estaria relacionada à contribuição de granadas e epidotos de rochas metamórficas aflorantes ao longo do Arco de Ponta Grossa.

A fonte W-NW parece tratar-se de uma contribuição secundária de rochas metamórficas (gnaisses e migmatitos) do Complexo Mediano Goiano.

Analisando I_4 (Figuras 14 e 15), verifica-se uma única fonte principal, ligada à contribuição de augitas a partir de basaltos da Formação Serra Geral da região do Triângulo Mineiro.

As áreas da Formação Bauru que têm como possíveis fontes sedimentos preexistentes, aparecem com baixos valores nos mapas de tendência I_3 e I_4. São áreas necessariamente deficientes em minerais instáveis (granada, epidoto, hornblenda e augita).

Em resumo, observa-se que as superfícies de tendência dos índices evidenciam fontes diversificadas na contribuição dos

sedimentos da Formação Bauru:

A NW e SE as contribuições seriam essencialmente de sedimentos preexistentes (sedimentos paleo-mesozóicos da Bacia do Paraná).

A fonte a NE se caracteriza por contribuição de rochas metamórficas do Grupo Araxá e pelos basaltos da Formação Serra Geral.

A fonte a Sul é formada de rochas metamórficas aflorantes ao longo do Arco de Ponta Grossa.

5.4 - SUPERFÍCIE DE TENDÊNCIA DOS PARÂMETROS GRANULOMÉTRICOS DA FORMAÇÃO BAURU

As superfícies de tendência dos parâmetros granulométricos da Formação Bauru, evidenciam uma bacia simples, onde superfícies de 3º grau apresentam coeficientes de correlação acima de 70%.

A partir das superfícies de tendência dos parâmetros granulométricos, verifica-se a existência de três fontes principais de sedimentação da Formação Bauru.

5.4.1 - Fonte a NW do mapa

Como já foi evidenciado nos mapas de tendência dos índices de maturidade mineralógica, trata-se de uma fonte formada por sedimentos preexistentes.

A Formação Bauru adjacente apresenta-se com clásticos mais grossos tanto em relação à distribuição total (Figura 16) como à distribuição areia (Figura 17). Apresenta ainda altos valores na relação clásticos grossos/clásticos finos (Figura 18), evidenciando uma borda de bacia de sedimentação.

Nesta região há má seleção com altos valores de desvio padrão (Figuras 19 e 20), justificados pelo fato de tratar-se de borda de bacia.

Outra evidência de borda de bacia são os altos valores da superfície de tendência do número de classes texturais (Figura 21).

5.4.2 - Fonte a NE do mapa

As regiões do Bauru, próximas a esta fonte apresentam baixa seleção (Figuras 19 e 20), evidenciando borda de bacia de sedimentação.

Analisando agora as superfícies de tendência do diâmetro médio, verificam-se clásticos mais grossos para a distribuição areia (Figura 17), sugerindo novamente uma borda de bacia. A superfície de tendência do diâmetro médio da distribuição total (Figura 16), mostra por sua vez uma diminuição do diâmetro médio (em mm), o que é justificado pelo fato da superfície de tendência de teores de argila (Figura 22), apresentar os maiores valores para esta região. A argila teria origem provavelmente das rochas básicas.

A baixa relação clásticos grossos/clásticos finos (Figura 18), está também ligada ao fato desta área ser extremamente rica em argila.

Como evidência suplementar de borda de bacia de sedimentação apontam-se os altos valores no mapa de tendência do número de classes texturais (Figura 21).

5.4.3 - Fonte a SE do mapa

A área próxima apresenta clásticos mais grossos, tanto na distribuição total (Figura 16) como na distribuição areia

(Figura 17). Apresenta ainda altos valores na relação de clásticos grossos/clásticos finos (Figura 18), com baixos valores de porcentagem de argila (Figura 22) e altos valores do número de classes texturais (Figura 21), evidenciando borda de bacia de sedimentação.

Por outro lado as superfícies de tendência dos valores de seleção para a distribuição total (Figura 19) e principalmente para a distribuição areia (Figura 20), mostram um aumento da seleção em direção à área fonte. O fato se explica pela boa seleção verificada na área fonte (Formação Botucatu). Os altos valores de seleção estão ligados a características herdadas dos sedimentos preexistentes.

5.4.4 - Área a SW do mapa

As superfícies de tendência de todos os parâmetros granulométricos evidenciam esta área como o centro deposicional da bacia.

O mapa de tendência de seleção da distribuição total (Figura 19), mostra má seleção nesta área, o que se justifica pelos altos teores de argila (Figura 22).

CAPÍTULO 6

CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA DAS FÁCIES DA FORMAÇÃO BAURU

As observações de campo e laboratório deste trabalho permitem a aplicação do termo Formação Bauru, dividido em três fácies: Fácies A (inferior), Fácies B (intermediária) a qual engloba os arenitos tufáceos da região Uberaba e Fácies C (superior). Acredita-se assim, que os arenitos tufáceos da "Formação" Uberaba pertençam à Formação Bauru (Quadro I e Figura 23).

6.1 - OBSERVAÇÕES DE CAMPO

As observações de campo sugerem certas características sedimentares variáveis na Formação Bauru.

6.1.1 - Expressão morfológica

A unidade superior (Fácies C) apresenta-se com topografia mais movimentada (escarpas sustentadas por arenitos com níveis de nódulos carbonáticos), desníveis de cerca de 100 metros e drenagem formando vales profundos e estreitos. Nas unidades inferiores (Fácies A e B) a topografia é mais suave, caracterizada por pequenas colinas de flancos pouco inclinados e desníveis não superiores a 50 metros. A drenagem forma vales abertos e poucos profundos.

QUADRO I - ANÁLISE COMPARATIVA DAS UNIDADES DA FORMAÇÃO BAURU

		FACIES A	FACIES B	FACIES C
OBSERVAÇÕES DE CAMPO	Expressão morfológica	Topografia suave	Topografia suave	Topografia movimentada
	Nódulos carbonáticos	Poucos, esparsos ou ausentes	Esparsos ou formando pequenos níveis	Numerosos e concentrados em níveis
	Pelotas de argila	Raras ou ausentes	Raras ou ausentes	Numerosas, esparsas ou formando níveis conglomeráticos
	Calcários	Ausentes	Ausentes	Presentes
ANÁLISES SEDIMENTOLÓGICAS	Calcimetria	Teores de $CaCO_3$ de 0 a 10%, no arenito	Teores de $CaCO_3$ de 0 a 10%, no arenito	Teores de $CaCO_3$ de 0 a 10%, no arenito
	Parâmetros estatísticos da distribuição areia	Apresenta diâmetro médio do intervalo areia variando de areia fina a muito fina A seleção do intervalo areia varia entre bem a moderadamente selecionada	Apresenta diâmetro médio do intervalo areia variando de areia fina a muito fina A seleção do intervalo areia é moderadamente selecionada	Apresenta diâmetro médio do intervalo areia variando de areia média a areia fina A seleção do intervalo areia é moderadamente selecionada
	Teor de silte mais argila	Muito variáveis (5 a 50%)com teor médio em torno de 25%	Muito variáveis (0 a 50%)com teor médio em torno de 25%	Variação de 5 a 30%, com teor médio em torno de 15%
	Assembléias mineralógicas (pesados)	Muito homogênea. Predominância de augita. Granada subordinada	Augita, turmalina, zircão,granada, epídoto, hornblenda, pewskita predominantes	Epídoto, turmalina, granada, zircão, rutilo, augita e estaurolita, predominantes
	Número de espécies mineralógicas (pesados)	2 a 3	6 a 8	6 a 8
	Índices de maturidade mineralógica (pesados)	ZTR igual a 0 e I_2, I_3 e I_4 com valores altos e constantes	ZTR variável (0 a 60%) e I_2, I_3 e I_4 com valores extremamente variáveis	ZTR variável (10 a 80%) e I_2, I_3, e I_4 com valores extremamente variáveis
	Áreas fontes	Rochas básicas (augita) e secundariamente rochas metamórficas (granada)	Diversificadas; básicas-alcalinas(perowskita),basaltos (augita) metamórficas(granada e epídoto) sedimentos preexistentes(zircão e turmalina arredondadas)	Diversificadas; metamórficas (granada e epídoto),sedimentos preexistentes(zircão, turmalina e rutilo arredondados) basaltos (augitas)

6.1.2 - Nódulos carbonáticos

A unidade superior (Fácies C) apresenta freqüentemente nódulos carbonáticos esparsos e níveis de concentração de nódulos. Nas unidades inferiores os nódulos são esparsos ou formando pequenos níveis (Fácies B), ou ainda, raros e mesmo ausentes (Fácies A).

6.1.3 - Pelotas de argila

A unidade superior da Formação Bauru (Fácies C) é rica em pelotas de argilas esparsas, e freqüentemente formando níveis conglomeráticos. Nas unidades inferiores (Fácies A e B) as pelotas de argila são raras ou ausentes.

6.1.4 - Calcários

A unidade superior apresenta calcários, como exemplificado em Ponte Alta (MG) e Agudos (SP), enquanto as unidades inferiores (Fácies A e B) são isentas de horizontes de calcários.

6.2 - ANÁLISES SEDIMENTOLÓGICAS

Analisando os perfis das sondagens de General Salgado (Fácies A e B) e Alvinlândia (Fácies C), verificam-se as seguintes características nas três unidades da Formação Bauru.

6.2.1 - Calcimetria

Os teores de carbonato de cálcio como cimento nos arenitos da Formação Bauru variam de 0 a 10% e não obedecem a qualquer padrão.

6.2.2 - Parâmetros estatísticos da distribuição areia (Figuras 24 e 25)

6.2.2.1 - Diâmetro médio

Apesar do intervalo areia das amostras da Formação Bauru apresentar um diâmetro médio muito homogêneo, verifica-se que as unidades inferiores (Fácies A e B) são mais finas (diâmetro médio entre areia fina e areia muito fina) que a unidade superior (diâmetro médio entre areia média e areia fina).

6.2.2.2 - Seleção

A unidade intermediária (Fácies B, com intervalo areia variando de bem a moderadamente selecionado), apresenta-se melhor selecionada que as unidades superior e inferior (Fácies A e C, com intervalo areia moderadamente selecionado).

6.2.3 - Teor de silte + argila (Figuras 24 e 25)

Apesar da grande variação de teores de silte + argila das amostras, verifica-se que a unidade superior (Fácies C) apresenta menores valores do que as unidades inferiores (Fácies A e B).

6.2.4 - Assembléia de minerais pesados

Fácies A: caracteriza-se por apresentar uma assembléia muito homogênea, mostrando predominância total de augitas e secundariamente granadas (Figuras 28 e 29).

Fácies B: apresenta uma assembléia composta principalmente de augitas, turmalinas, zircões, granadas, epidotos, hornblendas e perowskitas (Figuras 28 e 29).

Fácies C: apresenta uma assembléia composta principalmente de epídotos, turmalinas, granadas, zircões, rutilos, augitas e estaurolitas (Figuras 26 e 27).

A Fácies A caracteriza-se pela alta freqüência em augitas.

A Fácies B se diferencia das demais pela presença de perowskitas.

6.2.5 - Número de espécies mineralógicas (Figuras 30 e 31)

Fácies A: apresenta pequeno número de espécies mineralógicas (2 a 3 espécies).

Fácies B: apresenta grande número de espécies mineralógicas (em torno de 6 a 8 espécies).

Fácies C: apresenta grande número de espécies (em torno de 6 a 8 espécies).

6.2.6 - Índices de maturidade mineralógica (Figuras 32 e 33)

Fácies A: apresenta I_1 (ZTR = zircão + turmalina + ru

tilo) igual a zero, e os índices I_2, I_3 e I_4 com valores altos e constantes.

Fácies B: apresenta I_1 (ZTR) com valores muito variáveis (de 0 a 60%), e os outros índices com valores extremamente variáveis.

Fácies C: apresenta I_1 (ZTR) com valores muito variáveis (de 10 a 80%), e os outros índices com valores extremamente variáveis.

A Fácies A se identifica das demais por apresentar I_1 (ZTR) igual a zero, e os outros índices com valores altos e constantes.

6.2.7 - Áreas-fonte

Fácies A: contribuição predominante de rochas básicas (augitas) e secundariamente rochas metamórficas (granadas).

Fácies B: sugere fontes diversas; rochas básicas a ultrabásicas alcalinas (perowskita), basalto (augita), metamórficas (granada e epidoto) e sedimentos preexistentes (turmalinas e zircões arredondados). A esta fácies pertencem os arenitos tufáceos da região de Uberaba.

Segundo HASUI (1968) - "De modo geral, a contribuição de detritos resultantes da erosão de rochas vulcânicas preexistentes na Formação Uberaba, decresce para o topo, sem contudo deixar-se suplantar por detritos de outras origens. O enriquecimento de detritos não vulcanógenos com o tempo parece relacionar-se com a disponibilidade crescente de fontes adequadas,exumadas gradativamente, à medida que a cobertura vulcânica era removida".

Segundo HASUI (1968) - "Contribuição direta da atividade vulcânica dos focos alcalinos do oeste mineiro foi admitida até a presente data. Todavia, a geocronologia mostra que os vários distritos do oeste mineiro são da mesma fase (HASUI &

CORDANI, 1968) e a observação de campo mostra ser ela bem anterior à deposição da Formação Uberaba. As rochas da Formação Uberaba são epiclásticas, na classificação de FISHER (1961)".

Fácies C: indica fontes diversificadas, metamórficas (granada e epídoto), sedimentos preexistentes (zircão, turmalina e rutilo arredondados) e basaltos (augita).

A Fácies A se caracteriza pela predominância de rochas básicas como áreas-fonte, enquanto as outras unidades apresentam áreas-fonte muito diversificadas.

A Fácies B se destaca das demais pela contribuição de rochas básicas a ultrabásicas alcalinas.

T 3073

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - USP
— BIBLIOTECA —

CAPÍTULO 7

ESTRATIGRAFIA DA FORMAÇÃO BAURU

7.1 - TRABALHOS PRÉVIOS

ALMEIDA & BARBOSA (1953) dividiram a Formação Bauru no Estado de São Paulo em duas unidades, denominando a inferior de Itaqueri e a superior de Marília. De acordo com a descrição litológica dada a estas unidades pelos autores supra citados, parece que a cimentação carbonática dos arenitos seria característica fundamental da unidade superior que a distingue da inferior, não carbonática.

FREITAS (1955) usou o nome "Série Bauru" como sinônimo de Formação Bauru, admitindo uma subdivisão estratigráfica em dois membros (Membro Itaqueri e Membro Bauru). O Membro Itaqueri, basal, seria constituído por conglomerados fluviais, com expressão geográfica em área, bem caracterizado e separado freqüentemente do membro superior por discordância erosiva. O Membro Bauru, superior, seria caracterizado por arenitos com estruturas gradativas freqüentes passando, localmente no sentido lateral ou vertical, para litofácies argilosa ou conglomerática.

BARBOSA *et al.*(1970) admitem, na área norte de Uberaba, a Formação Bauru constituída, de baixo para cima, pela fácies Uberaba, Ponte Alta e Bauru.

HASUI (1968) admitiu a existência de uma disconformidade (discordância paralela) entre a Formação Bauru e a Formação Uberaba. Este fato está associado ao caráter mais amplamente transgressivo da Formação Bauru e a presença de um conglomerado basal no contato com a Formação Uberaba. Em virtude desta discordância o mesmo autor sugeriu adotar o nome Formação Uberaba e não Fácies Uberaba.

GROSSI SAD *et al.* (1971) e HASUI & SADOWSKI (1972) abandonam a denominação Fácies Ponte Alta usando em seu lugar o nome Fácies Itaqueri.

LADEIRA *et al.* (1971) aceitam a subdivisão sugerida por BARBOSA *et al.*(1970), enquanto maior número de informações estratigráficas não se fizeram disponíveis para que o problema se resolva de maneira mais definitiva.

SUGUIO (1973b) usa o termo Formação Bauru,reunindo a Fácies Itaqueri ou Ponte Alta e Fácies Bauru, e dando autonomia à Formação Uberaba, como unidade litoestratigráfica independente da Formação Bauru de acordo com idéia anterior de HASUI (1968).

SOARES & LANDIM (1975) subdividiram a Formação Bauru em cinco fácies, sendo as três inferiores (fácies de arenitos finos, fácies de arenitos argilosos e fácies de arenitos síltico) pertencentes à Formação Bauru Inferior e as duas fácies superiores (fácies de arenitos tufáceos e fácies calco-conglomerática) pertencentes à Formação Bauru Superior.

7.2 - DISCUSSÃO FINAL

A presente pesquisa suporta as conclusões de BARBOSA *et al.* (1970) que consideram os sedimentos tufáceos (tufos e argilitos cineríticos), associados a conglomerados, uma fácies da Formação Bauru. Neste trabalho entretanto não se utilizou o nome Fácies Uberaba, pois seus sedimentos pertencem à Fácies B,de extensão regional muito maior, embora com características localmente tufáceas (contribuição local de rochas vulcânicas).

Com toda a probabilidade as fácies superiores (B e C) do Bauru são unidades transgressivas. Na região de Uberaba, a Fácies B representada pelos tufitos da "Formação Uberaba" está diretamente sobre o basalto, faltando a Fácies Inferior (A).

A "Formação Marília", segundo ALMEIDA & BARBOSA(1953)

é a unidade onde encontram restos de dinossauros e outros répteis. Deve ela corresponder à Fácies C. Os restos fósseis se encontram de fato, predominantemente, nesta Fácies e em parte no topo da Fácies B (incluindo pequenos restos de répteis nos arenitos tufáceos da região de Uberaba). A Fácies C engloba a Formação Marília de ALMEIDA & BARBOSA (1953), a Fácies Ponte Alta e os arenitos superiores (Fácies Bauru) de BARBOSA *et al.*(1970).

As duas ocorrências de calcários da Formação Bauru, Uberaba (MG) e Agudos (SP), foram interpretadas como se situando a primeira na base e a segunda no topo da formação.

Dentro de um quadro de sedimentação tão homogênea quanto a da Formação Bauru, seria difícil entender porque, na região de Uberaba, o calcário deva se sedimentar na base e na região de Agudos, no topo, Mas analisando-se estratigraficamente a Formação, verifica-se que os calcários se situam realmente na Fácies C. Acontece que na região de Uberaba não se encontra a Fácies A (Inferior) e a Fácies Intermediária (B) é representada pelos tufitos da "Formação Uberaba". De fato, o calcário se encontra na base, mas na base da Fácies Superior (C).

As três fácies inferiores que constituem a Formação Bauru Inferior de SOARES & LANDIM (1975), devem corresponder a uma única, a qual, neste trabalho, é denominada Fácies A (Inferior).

A fácies de arenitos tufáceos que corresponde à Fácies Uberaba de BARBOSA *et al.*(1970), aparece no trabalho de SOARES & LANDIM (1975), na posição estratigráfica que se acredita correta, mas no presente trabalho engloba-se os arenitos tufáceos na Fácies B (Intermediária), de extensão regional muito mais ampla.

A fácies calco-conglomerática de SOARES & LANDIM(1975) corresponde grosseiramente à Fácies C (Superior).

Segundo MEZZALIRA (1974) - "Os conglomerados basais encontrados nos testemunhos de sondagem, nos diversos pontos da bacia, são litologicamente diferentes dos encontrados nos afloramentos que a literatura refere como pertencentes ao Bauru.

Nos testemunhos predominam seixos de basaltos e nos afloramentos, os de quartzo e quartzitos".

Neste trabalho exprime-se a opinião de que os afloramentos de conglomerados com seixos de quartzo e quartzitos, são de borda de bacia (Fácies B e/ou C), onde há forte contribuição de rochas ígneas e metamórficas pré-cambrianas. Já os conglomerados com seixos de basalto encontrados em subsuperfície se situariam mais para o interior da bacia onde deve ter predominado a contribuição basáltica (Fácies A).

A Formação Caiuá não foi objeto de estudo neste trabalho. Sua posição estratigráfica é duvidosa, e no mapa incluso foi considerada de idade Cenozóica, embora se coloque dúvidas sobre esta idade. O autor acredita inclusive, que a Formação Caiuá pode ser estratigraficamente inferior à Formação Bauru, ou até correlacionável à Fácies A (Inferior) da Formação Bauru.

CAPÍTULO 8

CONCLUSÕES PRINCIPAIS

a - Analisando as variações de teores de carbonato de cálcio como cimento dos arenitos da Formação Bauru dos poços de Alvinlândia e General Salgado, verifica-se que não há uma variação sistemática, fato já anteriormente observado por FREITAS (1955), MEZZALIRA (1974) e PIERUCETI & MAX BRANDT (1974).

b - Acredita-se não ser válido o uso do teor de carbonato em cimento de arenitos da Formação Bauru, como um critério estratigráfico. Por outro lado as observações de campo e laboratório levam a concluir que um importante critério estratigráfico para a Formação Bauru é a ocorrência de nódulos carbonáticos.

c - O carbonato de cálcio é em parte autígeno, proveniente de alterações intra-estratais de augitas.

d - As amostras da Formação Bauru apresentam grande homogeneidade litológica, sendo constituída principalmente de arenitos finos a muito finos, argilosos e/ou carbonáticos muito pobremente a pobremente selecionados, com assimetria variando de muito positiva a positiva, com curtose muito leptocúrtica a platicúrtica, exibindo de 9 a 10 classes texturais.

e - Comparando as freqüências relativas dos minerais pesados transparentes não micáceos nas duas frações granulométricas estudadas, verifica-se que alguns minerais; como zircão, rutilo, anatásio, perowskita e apatita, apresentam freqüências relativas mais altas na fração 0,125 - 0,062 mm, enquanto turmalina, granada, augita, estaurolita e cianita apresentam freqüências mais altas na fração 0,250 - 0,125 mm.

f - A mistura de minerais instáveis e estáveis permite classificar o sedimento como mineralogicamente imaturo. Esta imaturidade parece estar ligada a condições de clima semi-árido durante a sedimentação.

Acredita-se que o clima da Formação Bauru foi úmido alternado com fases secas (ARID, 1973) no início da sedimentação e para o topo as fases secas se tornaram mais freqüentes e mais rigorosas.

g - As superfícies de tendência dos parâmetros granulométricos das amostras da Formação Bauru, evidenciam uma bacia simples, onde superfícies de 3º grau apresentam coeficientes de correlação acima de 70%.

h - A partir das superfícies de tendência dos parâmetros granulométricos, dos índices de maturidade mineralógica e de freqüências de minerais pesados, verifica-se a existência de três fontes principais na contribuição dos sedimentos da Formação Bauru.

A fonte a NW, é formada de sedimentos preexistentes.

Fonte a NE, é constituída de rochas básicas do Grupo São Bento, metamórficas dos Grupos Araxá e Canastra e alcalinas do Triângulo Mineiro.

Fonte a SE formada de sedimentos preexistentes.

i - A partir do estudo integrado das observações de campo e estudos sedimentológicos em laboratório (calcimetria, análise granulométrica e minerais pesados), a Formação Bauru pode ser dividida em três unidades (Fácies A, B e C).

A Fácies A (Inferior) provém fundamentalmente da erosão de rochas básicas da Formação Serra Geral do Grupo São Bento, com uma contribuição secundária de rochas metamórficas (xistos).

A Fácies B (Intermediária) e C (Superior) provém de fontes diversificadas, com contribuição de rochas metamórficas, retrabalhamento de sedimentos paleo-mesozóicos da Bacia do Paraná e rochas básicas da Formação Serra Geral.

A Fácies B apresenta como peculiaridade a contribuição de rochas básicas-ultrabásicas alcalinas,pertencentes ao evento magmático alcalino que afetou o Triângulo Mineiro no Mesozóico, e localmente de rochas alcalinas do Estado de São Paulo.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho tornou-se possível graças à colaboração prestada ao longo das diferentes etapas do seu desenvolvimento.

Queremos externar os nossos sinceros agradecimentos ao Professor Doutor Setembrino Petri, pela orientação e estímulo que imprimiu a esta pesquisa.

Ao Professor Doutor José Moacyr Vianna Coutinho, um agradecimento especial, por ter em diferentes etapas franqueado seus préstimos e conhecimentos.

Aos Professores Doutores Gilberto Amaral, Kenitiro Suguio e Vicente José Fúlfaro; e aos colegas Benjamin Bley de Brito Neves, Max Brandt Neto e Toshie Yamaguishi pelas valiosas críticas e sugestões.

Aos estagiários do Laboratório de Sedimentologia do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, Ana Maria Góes e Jorge Kazuo Yamamoto, pela efetiva colaboração prestada, nas diferentes fases das análises sedimentológicas, e pelos debates promovidos nas suas interpretações.

À Senhora Nair de Campos Louzada e ao Senhor José Ponchirolli, pelos trabalhos de datilografia; ao Senhor Jayme Alves da Silva e equipe,pelos trabalhos gráficos; a Srta.Itacy Kroehne e ao Senhor Pedro Gennari Filho,pela confecção dos desenhos.

E ao pessoal técnico e administrativo do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, que direta ou indiretamente colaborou com o autor. A todas essas pessoas o autor consigna o seu profundo reconhecimento.

BIBLIOGRAFIA

ALLEN, P. & KRUMBEIN, W.C. - 1962 - Secondary trend components in the top Ashdown pebble bed, a case history -J.Geol., v. 70, pp 507-508

ALMEIDA,F.F.M.de & BARBOSA,O. - 1953 - Geologia das Quadrículas de Piracicaba e de Rio Claro, Estado de São Paulo - DNPM-DGM, 143, Rio de Janeiro

ARID,F.M. - 1973 - O comportamento espacial da Formação Bauru na região norte-ocidental do Estado de São Paulo - Rev.Bras. de Geociências, v.3, nº 1, 23-35, São Paulo

BARBOSA,O.; BRAUN,O.P.G.; DYER,R.C. & CUNHA,C.A.R. - 1970 -Geologia da região do Triângulo Mineiro - DNPM-DFPM,Bol. 136, 140 p, Rio de Janeiro

COUTINHO,J.M.V. & COIMBRA,A.M. - 1974 - Os pesados do Barreiras na Costa Oriental Brasileira - Anais do XXVIII Congr.Bras.Geol.Soc.Bras.Geol., Porto Alegre (no prelo)

FREITAS,R.O.de - 1955 - Sedimentação, estratigrafia e tectônica da Série Bauru (Estado de São Paulo) - Bol. da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da USP,nº 194, Geologia 14, 185 p, São Paulo

FULFARO,V.J. - 1971 - A evolução tectônica e paleogeográfica da Bacia Sedimentar do Paraná pelo "Trend Surface Analysis" - Escola de Engenharia de São Carlos da USP,Geol. nº 14, 112 p

FULFARO,V.J. & AMARAL,G. - 1970 - "Trend Surface Analysis" das areias da praia do Tenório, Ubatuba, SP - Anais XXIV Congr.Bras.Geol. Soc.Bras.Geol., 299-305, Brasília

GROSSI SAD, J.H.; CARDOSO,R.N. & COSTA,M.T.da - 1971 - Formações Cretácicas em Minas Gerais: uma revisão - Rev. Bras. Geociências, São Paulo, 1 (1) - 2-21

HARBAUGH,J.W. & MERRIAN,D.F. - 1968 - Computer application in stratigraphic analysis - John Wiley & Sons, 257 p, N. York

HASUI,Y. - 1968 - A Formação Uberaba - Anais XXII Congr. Bras. Geol. Soc.Bras.Geol., 167-179, Belo Horizonte, MG

HASUI,Y. - 1969 - O Cretáceo do oeste mineiro - Bol.Soc. Bras. Geol., 18 (1), 39-56

HASUI,Y. & SADOWSKY,G.R. - 1972 - Membro Itaqueri e Fácies Ponte Alta, Resumo das Comunicações da XXIV Reunião da SBPC, 24 (6), 138, São Paulo

HOWARTH,R.J. - 1967 - Trend-Surface fitting to random data - An experimental test. Am.Jour. Sci., 265, 619-625

HUBERT,J.F. - 1962 - A zircon-tourmaline-rutile maturity index and the interdependence of the composition of heavy mineral assemblages with the gross composition and texture of sandstones - J.Sed.Petrol., 32, 440-450

HUBERT,J.F. - 1971 - Analysis of heavy-mineral assemblages. (in Carver R.E. "Procedures in sedimentary petrology") - Wiley-Interscience, N.York

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - 1972 - Carta do Brasil ao milionésimo. Folhas de Goiânia, Rio de Janeiro, Paranapanema e Belo Horizonte

INSTITUTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO - 1974 - Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Escala 1:1.000.000 - São Paulo

KRUMBEIN,W.C. & GRAYBILL,F.A. - 1965 - An introduction to statistical models in geology - McGraw-Hill Book Co. 412 p

KRUMBEIN,W.C. & SLOSS,L.L. - 1963 - Stratigraphy and Sedimentation, 2ª ed., W.H.Freeman and Co., 660 p

LADEIRA,E.A. *et al.* - 1971 - O Cretáceo em Minas Gerais - Mesa Redonda do XXV Congr.Bras. de Geol. - Anais do Congr.Bras.Geol. Soc.Bras.Geol., v.1, 15-31, São Paulo

MADUREIRA FILHO,J.B.de; VALARELLI,J.V.& GOMES,C.B. - 1976 -Nova ocorrência de rochas alcalinas no Estado de São Paulo (em preparação)

MEZZALIRA,S. - 1974 - Contribuição ao conhecimento da estratigrafia e paleontologia do Arenito Bauru - Bol.do Instituto Geográfico e Geológico,nº51, 163 p.,São Paulo

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA : Mapa Geológico do Brasil -1971- DNPM/DGM, Escala 1:5.000.000, Rio de Janeiro

PETTIJOHN,F.J. - 1957 - Sedimentary rocks - Harper & Brother - N.York, 2ª edt., 718 p

PIERUCETI,J.A. & BRANDT NETO,M. - 1974 - Comportamento do cimento calcário da Formação Bauru na região de São José do Rio Preto - Anais do XXVIII Congr.Bras.de Geol., Porto Alegre (no prelo)

SETZER,J. - 1948 - Algumas contribuições geológicas dos estudos dos solos realizados no Estado de São Paulo - Rev. Bras. Geografia, Rio de Janeiro, 10 (1), 41-104, ilust.

SOARES,P.C. & LANDIM,P.M.B. - 1975 - Comparison between the tectonic evolution of the intracratonic and marginal basins in South Brazil. International Symposium on Continental Margins of Atlantic Type, São Paulo (no prelo)

SUGUIO,K. - 1973a - Introdução à Sedimentologia - Editôra Blücher - Editôra da Univ.de São Paulo, 317 p, São Paulo

SUGUIO,K. - 1973b - A Formação Bauru: Calcários e sedimentos detríticos associados (2 volumes) - Tese de Livre Docência, Instituto de Geociências da USP, 236 p, (inédita)

SUGUIO,K.; COIMBRA,A.M. & GUARDADO,L.R. - 1974 - Correlação sedimentológica de arenitos da Bacia do Paraná - Bol. IG, Instituto de Geociências, USP, 4, 85-116, São Paulo

SUGUIO,K.; BERENHOLC,M. & SALATI,E. - 1975 - Composição química e isotópica dos calcários e ambiente de sedimentação da Formação Bauru - Bol. IG, Instituto de Geociências,USP, 6, 55-75, São Paulo