ELENA FRANZINELLI

ARENITOS ASFÁLTICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO

Tese de Doutorado apresentada
ao Instituto de Geociências da Universidade
de São Paulo.

DEDALUS - Acervo - IGC

30900004946

1972

Elena Franzinelli

ÍNDICE

1 - INTRODUÇÃO	1
Agradecimentos	2
2 - HISTÓRICO DAS PESQUISAS DE ARENITO ASFÁLTICO NO ESTADO DE SÃO PAULO	5
3 - TRAÇOS GEOLÓGICOS REGIONAIS	7
3-1 - Formação Tatuí	8
3-2 - Formação Irati	8
3-3 - Formação Estrada Nova	8
3-4 - Formação Botucatu	9
3-5 - Diabásio	9
4 - TECTÔNICA	11
5 - CARACTERÍSTICAS GERAIS DA FORMAÇÃO BOTUCATU NO ESTADO DE SÃO PAULO	13
6 - A FORMAÇÃO BOTUCATU E AS JAZIDAS EM AFLORAMEN- TOS DE ARENITO ASFÁLTICO	16
6-1 - Jazida de Jacutinga de Boa Vista	16
6-2 - Jazida do Sobar	16
6-3 - Jazida da Itatig	18
6-4 - Jazida de Nhaíva	20
6-5 - Morro de Bofete	22
6-6 - Piapara	24
6-7 - Jazida de Anhembi	25
6-8 - Jazida de Porto Martins	27
6-9 - Afloramento de Volta Grande	29
6-10- Amostragem	29

7 - ESTRUTURAS SEDIMENTARES ASSOCIADAS AOS SEDI- MENTOS DAS JAZIDAS DE ARENITO ASFÁLTICO	32
7-1 - Estruturas singenéticas	33
7-1-1 - Estrutura maciça	33
7-1-2 - Estratificação	34
7-1-3 - Diastemas	35
7-1-4 - Pelotas de Argila	36
7-1-5 - Deslizes subaquáticos	36
7-2 - Estruturas externas	37
7-2-1 - Falhas e fraturas	37
7-2-2 - Estruturas químicas	38
7-2-2-1 - Concreções calcíferas	38
7-3 - Outras estruturas	39
8 - ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS	41
8-1 - Dados estatísticos	41
8-2 - Resultados das análises granulométricas	55
9 - ARGILAS	58
10 - ARREDONDAMENTO	59
10-1 - Calcimetria	59
10-2 - Porosidade	61
11 - DADOS QUÍMICOS E GEOQUÍMICOS	65
11-1 - Extração	65
11-2 - Elementos traços	66
12 - MECANISMOS DE MIGRAÇÃO DO ÓLEO	78
13 - CONCLUSÕES GERAIS	82
BIBLIOGRAFIA	86

ÍNDICE DAS ILUSTRAÇÕES

FIGURAS (no envelope da contra-capa)

- 1 - Mapa geológico da área de ocorrências de arenitos asfálticos.
- 2 - Mapa estrutural da base da fácies Pirambóia.
- 3 - Correlação da fácies Pirambóia em poços de sondagem na área de ocorrência de arenitos asfálticos.
- 4 - Seção geológica do afloramento da Sobar.
- 5 - Seção geológica do afloramento da Itatig.
- 6 - Seção geológica do afloramento da Nhaíva.
- 7 - Seções geológicas dos afloramentos do Morro de Bofete.
- 8 - Seções geológicas dos afloramentos de Piapara.
- 9 - Seções geológicas do afloramento de Anhembi.
- 10 - Seções geológicas do afloramento de Porto Martins.

FIGURAS (no texto)

	Página
11 - Diagrama triangular com resultados de análises granulométricas de amostras com e sem asfalto	42
12 - Curvas acumulativas de amostras dos afloramentos de Jacutinga e Sobar	45
13 - Curvas acumulativas de amostras dos afloramentos da Itatig e da Nhaíva	46
14 - Curvas acumulativas dos afloramentos de Bofete e Piapara	47
15 - Curvas acumulativas dos afloramentos de Porto Martins e Volta Grande	48
16 - Curvas acumulativas do afloramento de Anhembi	49
17 - Frequência em porcentagem do diâmetro mediano de amostras com e sem asfalto	50
18 - Frequência em porcentagem do desvio de amostras com e sem asfalto	53
19 - Frequência em porcentagem da assimetria de amostras com e sem asfalto	54

20 - Gráfico da relação entre as porcentagens de silte + argila e teores de asfalto	56
21 - Gráfico da relação entre grau de arredondamento e teores de asfalto	60
22 - Frequência em porcentagem de porosidade de amostras com e sem asfalto	62
23 - Gráfico da relação entre mediana e desvio padrão de amostras com asfalto e sem asfalto	63
24 - Espectro de absorção de infra-vermelho da amostra So2 (asfalto de arenito)	69
25 - Idem, amostra Cb30	70
26 - Idem, amostra Pi5	71
27 - Idem, amostra An34	72
28 - Idem, amostra An2	73
29 - Idem, amostra Pm4	74
30 - Idem, amostra Gel7 (betume de calcário Irati)	75
31 - Idem, amostra Ca-I (betume de calcário metamorfizado Irati)	76
32 - Idem, amostra Km 153 (pirobetume de folhelho Irati)	77

FOTOGRAFIAS

De 1 a 26 estão localizadas nas páginas de 91 a 104

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

De longa data as ocorrências de afloramentos asfálticos vem despertando a curiosidade dos pesquisadores; no entanto, relativamente pouco se conhece a respeito da origem do asfalto, e das possíveis causas que teriam levado a sua migração e armazenamento em determinados níveis.

O objetivo do presente trabalho é tentar resolver pelo menos em parte, esses problemas.

Aspectos pouco explorados pelos geólogos que nos antecederam foram os objetivos de nossas pesquisas.

Foi dada ênfase à tectônica relacionada aos afloramentos, à granulometria das jazidas, ao estudo das estruturas associadas, a problemas de porosidade e teor de asfalto. Foram abordados, também, questões de química e geoquímica dos óleos.

Conseguimos, dessa maneira, reunir um conjunto de dados significativos para melhor esclarecimento das condições de formação, migração e localização do óleo.

Os afloramentos asfálticos estudados localizam-se no Estado de São Paulo, sendo distribuídos em uma área limitada ao norte, pelo rio Piracicaba, e ao sul pelos afluentes da margem direita do rio Paranapanema.

Para o desenvolvimento da pesquisa foi tomado como base o mapa geológico elaborado pelos geólogos S. Maia de Andrade e P.C. Soares, e anexado ao Relatório DESVL 407 (1971), tendo sido complementado o estudo, através da confecção de mapa a partir de restituição de fotografias aéreas, de escala 1:25.000, e mapeamento para as áreas ao sul de Guarey, e a nordeste de Anhembi.

O mapa estrutural adotado (Figura 2) é o mapa do contorno estrutural da base da fácies Piramboia, por A. Gonçalves e R.L. Schneider, anexado ao Relatório DESVL 401 (1971).

Para confeccionar o gráfico da base da fácies Piramboia (Figura 3) através de correlação de poços, utilizamos os dados de sondagens do "Projeto Arenitos Asfálticos" por Hêlio Roncaratti (1971).

As seções colunares das Figuras 4 e 5 foram obtidas a partir de dados coletados no campo, durante o levantamento detalhado de cada afloramento.

O tratamento das amostras, em laboratório, foi efetuado através de extração do asfalto, das amostras preenchidas, seguido por aplicação de métodos normalmente utilizados em trabalhos de sedimentologia. Uma tentativa foi efetuada para correlacionar asfaltos e betume do Irati, através de análises de elementos traços e de espectros de infravermelhos.

AGRADECIMENTOS

Desejamos expressar os mais sinceros agradecimentos às seguintes entidades e pessoas:

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo seu valioso auxílio financeiro, que possibilitou a execução do presente trabalho.

Petróleo Brasileiro S.A. - Petrobrás, pela completa franquia dada para o acesso aos dados técnicos sobre a região.

Sobar S.A. - Reflorestamento, pela hospedagem dispensada durante o desenvolvimento do trabalho de campo na área.

Professor Doutor Setembrino Petri pelo constante estímulo na elaboração deste trabalho.

Professor Doutor Vicente José Fúlfaro, pelas valiosas sugestões e orientação na realização da presente pesquisa.

Professor Doutor Sérgio Estanislau do Amaral pelas valiosas críticas e sugestões.

Geólogos: Adriano Nunes, Rodi Ávila de Medeiros, Sebastião Maia de Andrade, Antônio Thomas Filho da DEXPRO - Ponta Grossa pelo fornecimento de dados técnicos e a cortesia dispensada durante as viagens de contato em Ponta Grossa.

Professor Doutor Fausto Lima e Doutora Augusta Maria Passaglia da Divisão de Radioquímica do Instituto de Energia Atômica pela constante colaboração concedida durante a determinação de elementos traços.

Doutores: Keuji Takemoto e Yokici Murai da Seção de Derivados de Petróleo do Instituto de Pesquisas Tecnológicas da Universidade de São Paulo, pelas valiosas sugestões prestadas na fase de extração e evaporação de asfalto.

Doutora Aura Maria Puentes Soares do Instituto de Química Orgânica da Universidade de São Paulo pela valiosa colaboração prestada na confecção de espectros de infravermelhos dos óleos estudados.

Aos alunos: Gustavo Zambrana, Hélio Tanigushi, Lincoln Rumenos Guardado, Lúcio Rampazzo, Luiz Eduardo Mantovani, Reginaldo Leão Melo do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, pela colaboração constante e desinteressada nos trabalhos de campo e laboratório.

À Senhora Nair de Campos Louzada e Senhor José Ponchirolli pelo cuidado no prestimoso trabalho datilográfico.

Ao Senhor Jaime Alves da Silva pelos seus ótimos serviços gráficos.

À Senhora Dona Melany Thereza Isauk pelos cui

dadosos serviços prestados na confecção de lâminas petrográficas.

Finalmente, a todas as pessoas que diretamente ou indiretamente colaboraram para que esse trabalho fosse concretizado, os nossos agradecimentos.

CAPÍTULO 2

HISTÓRICO DAS PESQUISAS DE ARENITO ASFÁLTICO NO ESTADO DE SÃO PAULO

Desde muito tempo é conhecida a ocorrência de arenitos asfálticos no Estado de São Paulo. O asfalto preenche os poros do Arenito Botucatu em afloramentos isolados, localizados em uma faixa situada entre o rio Piracicaba e afluentes de sua margem esquerda, e os afluentes do rio Paranapanema.

Várias hipóteses foram formuladas a respeito da origem do óleo, hipóteses baseadas mais em suposições e dados teóricos que em estudos sistemáticos.

Já em 1897, o cientista belga Auguste Collon, após detalhado estudo geológico da área de Bofete e de Porto Martins, lançou a hipótese de ter derivado o asfalto dos afloramentos dessas duas localidades, da destilação do óleo de camadas subjacentes.

Em 1920, Eusébio de Oliveira (in Washburne, 1930), após rápida descrição das áreas de ocorrência, formulou a hipótese para a origem do asfalto, nestes termos: "Parece certo que o petróleo veio de camadas mais profundas pelas fendas que se abriram no Triássico, e que foram mais tarde preenchidas pelas rochas eruptivas. Não se sabe se o petróleo já existia em estado líquido na rocha geratriz, e ascendeu pelas fendas para impregnar as camadas porosas, ou se o calor das erupções, por destilação destrutiva, libertou o petróleo da matéria carbonácea das rochas betuminosas".

Moraes Rego (1930) informa, a respeito da localização estratigráfica dos afloramentos: "Os afloramentos citados localizam-se nos arenitos, acima das camadas de sílex e abaixo dos lençóis das eruptivas, comumente pouco acima do contato com o sílex. É o caso de Bofete, das proximi

dades de Guareí e da Torre de Pedras. Há casos, todavia, em que o arenito impregnado está bastante acima do sílex, como no rio Capivari".

Washburne (1930) dá uma descrição mais pormenorizada das localidades de ocorrência. Este autor suspeita que o petróleo, tendo feito o seu percurso através das camadas do Corumbataí e do Piramboia, tenha-se acumulado no arenito e transportado por corrente de água subterrânea que atravessou o arenito até ser interrompida em seu curso por um dique onde a acumulação se efetuou.

Segundo Frões de Abreu (1940) "duas hipóteses podem ser admitidas para explicar a origem do asfalto nos arenitos do Estado de São Paulo: ou eles indicam a existência de óleo em outras camadas de onde escaparam, ou o betume é proveniente de óleo resultante de destilação dos folhelhos pirobetuminosos do horizonte Irati".

O levantamento pormenorizado da área próxima a Guareí foi efetuado pelo "Conselho Nacional do Petróleo" durante os anos de 1949-50-51-52-53, na tentativa de localizar as estruturas que teriam levado à acumulação do asfalto nas camadas do Arenito Botucatu. O resultado foi a confecção do mapa estrutural do anticlínio de Carlota Prenz, ao norte de Angatuba, e a avaliação da cubagem do óleo das três jazidas existentes na área.

Em 1971 o DEXPRO executou uma pesquisa, sobre os arenitos asfálticos do Estado de São Paulo, durante a qual foram efetuadas 14 sondagens nos locais de ocorrência. Ulteriores informações foram obtidas nessa pesquisa, porém sem chegar a conclusões concretas.

CAPITULO 3

TRAÇOS GEOLÓGICOS REGIONAIS

A área que inclui os afloramentos de arenitos asfálticos estudados pertence à porção centro-leste da Bacia do Paraná, correspondendo ao trecho da bacia, próximo a sua borda, situado na direção N-S, antes de se inflectir ao redor do arco de Ponta Grossa.

A Coluna Geológica adotada para a região é a seguinte:

COLUNA GEOLÓGICA REGIONAL

<u>GRUPO</u>	<u>FORMAÇÃO</u>	<u>LITOLOGIA PREDOMINANTE</u>
	Serra Geral	Eruptivas básicas
	(Arenito Botucatu)	Arenitos
São Bento (Eocretáceo)	Botucatu	Brecha basal. Arenitos - Arenitos argi- losos Arenitos lo- calmente as- fálticos.
	(Fácies Piramboia)	
<hr/> Discordância Erosiva <hr/>		
Passa Dois (Permiano)	Estrada Nova	Siltitos e arenitos fi- nos
	Irati	Folhelhos pi- robetuminosos, calcários be- tuminosos e siltitos.
Tubarão (Permocarbo- nífero)	Tatuí	Siltitos e arenitos finos

3-1 - Formação Tatuí

As rochas mais antigas da região consistem de siltitos argilosos e arenitos grosseiros de cor verde-amarela da, da Formação Tatuí de idade Permo-carbonífera, sedimentos que afloram em pequena área alongada, nas proximidades do Rio Jacutinga, afluente da margem esquerda do Rio Guareí. Essa ocorrência isolada, de sedimentos pós-glaciais, em parte preenchida por asfalto, compreendida entre sedimentos da Formação Irati, relativamente mais novos, parece ser devida a uma estrutura tectônica, anticlinal. Desaparecimento dos depósitos que capeavam a estrutura ocasionou o afloramento de rochas mais antigas, em contato com os folhelhos e calcáreos da Formação Irati.

3-2 - Formação Irati

Essa formação ocorre em áreas fragmentadas, ao sul do Rio Guareí, próximo a fonte Monte Cristo, ao leste entre os rios Jacutinga e Monte Mor, e mais ao norte, em pequenas áreas no Município de Tatuí. O melhor afloramento da região está situado em um corte ao longo da Rodovia Castelo Branco. São folhelhos pretos, pirobetuminosos, calcáreos betuminosos, dispostos em camadas ou lentes, e subordinadamente, siltitos.

3-3 - Formação Estrada Nova

Aos sedimentos da Formação Irati seguem siltitos e argilitos da Formação Estrada Nova, de cor cinzenta, roxa esverdeada, marrom chocolate, de idade Permiana que a partir do sul do Rio Guareí, cobrem em faixa contínua, ou em pequenas áreas isoladas, a parte leste da região, para acompanhar "grosso modo" o curso do rio do Peixe, até sua confluência com o rio Tietê.

Dentro na área capeada pelo arenito Botucatu, a Formação Estrada Nova volta a aflorar na margem direita do

rio Tietê, nas proximidades da cidade de Anhembi, e à juzante formando a base de um afloramento no qual o arenito asfáltico apoia-se diretamente sobre os siltitos argilosos esverdeados (Foto 1) da Formação Estrada Nova, e ainda na margem esquerda do rio Tietê, aflorando ainda nos leitos dos afluentes do rio Tietê, próximos a Anhembi.

Aflora novamente, em pequena área, no curso médio do rio Alambari, nas proximidades de Piapara.

3-4 - Formação Botucatu

A maior parte da área é ocupada pelos sedimentos da Formação Botucatu, que consistem de arenitos arroxeados, amarelados, esverdeados, apresentando frequentemente leitos argilosos de cor branca-cinza a marrom vermelho na base da formação. No extremo oeste da região, representada no mapa (Figura 1), os derrames basálticos da Formação Serra Geral, capeiam em partes os depósitos de Arenito Botucatu.

Intrusivas básicas são encontradas na forma de diques e sills, esses principalmente preenchendo planos de falha.

Raros aluviões quaternários ocupam os leitos dos rios da região.

3-5 - Diabásio

Segundo Gol'dberg, (1967), em algumas ocorrências da plataforma siberiana, betumes asfálticos, sólidos, viscosos ou semi-líquidos preenchem amígdalas e fissuras em zonas de contato com rochas básicas. Em rochas carbonáticas metamorfizadas, os betumes ocupam fraturas e cavidades de até 5 cm de diâmetro. Observações de lâminas delgadas mostram que o betume forma inclusões nos grãos de quartzo.

Washburne (1930) refere ocorrências de betumes em cavidades próximas à parede de um dique em Boa Esperança a SW de Araraquara. Essas condições acima não foram encon-

tradas durante nosso trabalho, nas vizinhanças ou nas paredes dos diques de diabásio próximos aos arenitos asfálticos. Os diabásios associados às jazidas de arenito asfáltico, apresentam-se compactos, parcialmente alterados. Um grande xenólito de arenito ocorre no dique de diabásio próximo às jazidas de Nhaíva, porém não foram verificados vestígios de betume no diabásio. Lâminas delgadas de diabásio mostram a textura ofítica característica para esse tipo de rocha. Nenhum traço de betume foi verificado como incluído dentro dos minerais ou entre os minerais dos diabásios.

CAPÍTULO 4

TECTÔNICA

Analisando o mapa estrutural da Figura 2, da base da Fácies Piramboia, nota-se que há uma relação estrutural entre a localização dos afloramentos de arenitos as fálticos e as estruturas presentes. Na parte sudoeste da área, o afloramento da Sobar, antiga Carlota Plenz, está situado em um dos flancos do alto de Carlota Plenz. As curvas de contorno estrutural da base da Fácies Piramboia são contínuas e têm direção geral NE-SW.

De acordo com Fúlfaro (1970), esta área, que está compreendida entre os poços CP-1-SP, GUST-4-SP e GUST-3-SP, deve ter sofrido tectonismo pré-Botucatu, propiciando nos lugares mais baixos, a sedimentação de fácies de arenitos avermelhados e descrita por Thomaz (1972) correspondente à litologia e espessuras das sondagens PAA-4-SP e PAA-5-SP (Figura 3), e nos sítios mais altos a deposição da fácies de arenitos esverdeados, mais finos, característicos de sedimentação de planícies de inundação. O asfalto está associado aos arenitos esverdeados, com os arenitos avermelhados apresentando apenas leves indícios de óleo.

A partir de Guareí, as curvas de contorno estrutural começam a se infletir para NE; de uma maneira geral a direção das curvas não é contínua, mostrando as intensas perturbações tectônicas na região.

Os falhamentos apresentam rejeito variável, de poucos milímetros até dezenas de metros. Os rios principais da região orientam-se de preferência segundo as direções dos falhamentos, deduzindo-se que correm ao longo de zonas de falhas ou fraturas. Muitos planos de falhas foram posteriormente preenchidos por diques de diabásio.

Os altos estruturais de Carlota Plenz, de

Anhembi e de Piapara são as feições tectônicas mais destacadas.

De acordo com Gonçalves e Schneider (1972), o alto de Carlota Plenz apresenta estrutura dômica, alongada no sentido E-W, com fechamento da ordem de 30 metros. O afloramento asfáltico da Sobar está localizado em um dos flancos dessa estrutura.

O alto de Anhembi é a estrutura mais espetacular da área. Apresenta-se com duas feições dômicas, dispostas no sentido E-W, e separadas por pequena sela. Ao SW, um falhamento com intrusões de diabásio, no sentido NW-SE, origina uma nova estrutura fechada. A ocorrência da grande jazida da "Betumita" parece estar associada a essa estrutura, estando situada no seu flanco leste.

O alto de Piapara é uma estrutura associada a falhamento com intrusão de diabásio. As ocorrências de asfalto no arenito estão associadas a essa estrutura, nessa localidade.

As ocorrências de Bofete e das duas jazidas próximas a Guareí estão relacionadas a falhamentos.

A idade dessas estruturas conforme as curvas de contorno estrutural é posterior à deposição da Formação Botucatu, estando a área situada no flanco norte do arco de Ponta Grossa, é provável que a região tenha sofrido influência dos eventos tectônicos que deram origem àquela feição estrutural.

Um ciclo tectônico de pequena intensidade, posterior à deposição do Arenito Botucatu e ao preenchimento pelo asfalto é indicado pelas numerosas microfalhas que estão associadas à maioria dos afloramentos asfálticos.

CAPÍTULO 5

CARACTERÍSTICAS GERAIS DA FORMAÇÃO BOTUCATU NO ESTADO DE SÃO PAULO

À exeeção do asfalto de Jacutinga, que se encontra em horizonte arenoso da Formação Tatui, todas as ocorrências de arenito asfáltico acham-se localizadas na fácies de deposição sub-aquática do Arenito Botucatu descrita sob o nome de Piramboia.

A Formação Botucatu, na área estudada, sobrepõe-se à Formação Estrada Nova, de idade Permiana, iniciando-se esse ciclo sedimentar, por uma brecha basal, de até um metro de espessura.

De acordo com Almeida (1954), e Fúlfaro (1972) em diversos lugares observa-se um material heterogêneo, com todas as aparências de um regolito fóssil, iniciando esse conjunto sedimentar. Constitui-se de fragmentos argilosos, de diversos tamanhos de sílex, arenitos e folhelhos, da Formação Estrada Nova, contidos em matriz vermelha, ou manchada de branco, areno-argilosa, não estratificada. Esse regolito, foi observado em algumas localidades da área, nas proximidades da Sobar, antiga Carlota Plenz, na base do morro, cuja parte mais alta é ocupada pela jazida da Itatig, no município de Guareí e na estrada Anhembi-Piapara, próximo a esse último povoado.

Segundo Washburne (1930) a fácies Piramboia, consiste de arenitos argilosos, contendo camadas de folhelho, denunciando sedimentação sub-aquática.

O Arenito Piramboia apresenta granulação grossa a fina, podendo conter pequenos seixos de quartzo, esparsos em matriz areno-argilosa, de cor vermelha, rosa ou cinza. Exibe estratificação em lâminas paralelas ou cruzadas, típicas de corrente aquosa, diastemas, estruturas de

escavação e preenchimento, pelotas de argila. Apresenta não raramente, cimento calcífero.

Associados a sedimentos de fácies sub-aquática ou isolados entre arenitos eólicos (Almeida, 1964), ocorrem sedimentos lacustres da fácies Santana, mostrando-se sob forma de sequência de delgadas camadas, de poucos metros de espessura, porém contínua, através de muitos quilômetros. São arenitos argilosos, algo micáceos, de granulação média a fina, além de siltitos e folhelhos, mais ou menos micáceos, dispondo-se em lâminas com perfeita estratificação plano-paralela. Restos de Conchostraca foram descritos por Almeida (1950) nos argilitos e folhelhos da Serra de Santana.

A espessura máxima do Arenito Piramboia, encontrada na área, é de 132 metros, que foi encontrada na sondagem PAA-13-SP, próxima a jazida de arenito asfáltico de Anhembi.

Segundo Soares (1972) a espessura total da seção, de depósitos fluviais atinge na bacia do rio Tietê, sua espessura máxima, quase 300 metros, diminuindo sensivelmente para NE e SW. Segundo esse autor, o Arenito Piramboia, seria constituído de corpos de arenitos silte-argilosos, entremeados com raras camadas de argila e folhelhos, siltitos e lentes de conglomerados, dispostas verticalmente, de forma cíclica, representando vários ciclos de deposição fluvial, cada um com espessura média entre 10 e 20 metros. Cada ciclo apresenta dois bancos; o inferior, de arenitos grosseiros silte-argilosos, mal classificados na base, passando para arenitos de granulação fina a média a bem classificados no topo e apresentam estratificação cruzada planar e acanalada; o banco superior é constituído por uma alternância de arenitos argilosos com camadas de siltitos e de folhelhos, dominando a estratificação plano-paralela.

Até alguns anos atrás, a fácies aquosa do Arenito Botucatu não era suficientemente considerada. A fácies eólica era acreditada como possuindo maior importância

no ciclo sedimentar, tanto que os trabalhos de caráter paleo geográfico, frequentemente se referiam a esse ciclo como ao "Deserto de Botucatu".

Trabalhos mais recentes (Fúlfaro e Bósio, 1968; Bósio 1970; Bósio 1972), indicam que a fácies sub-aquosa representa uma fase mais importante nesse ciclo do que se pensava anteriormente.

Os agentes que teriam depositado esses sedimentos, seriam os cursos de água de grande competência, predominantemente arenosas, de poucos metros de espessura, repetindo-se na sequência.

Segundo Mendes (1971), nos últimos anos, acumularam-se evidências comprobatórias de que o arenito Botucatu corresponde, ao menos no Estado de São Paulo, a um depósito predominantemente sub-aquático. A idéia de que esse arenito constitua um imenso depósito eólico, alterou-se nos últimos três anos com a constatação de um enorme volume de fábricas sedimentares somente compatíveis com ambientes subaquáticos. Os grãos de quartzo conservam, não obstante, todas as características impressas pela ação eólica e amiúde nos conglomerados aquáticos, ocorrem ventifactos com as aretas mais ou menos desgastadas, fatos indicativos de que os depósitos primários deveriam situar-se em locais relativamente próximos à bacia de recepção.

CAPÍTULO 6

A FORMAÇÃO BOTUCATU E AS JAZIDAS DE ARENITO ASFÁLTICO

6-1 - Jazida de Jacutinga da Boa Vista

O afloramento asfáltico situado mais ao sul na área considerada localiza-se perto do vilarejo de Jacutinga da Boa Vista, a cerca de 12 km ao sul de Guareí.

Consiste de um barranco de poucos metros de comprimento, de pequena espessura, localizado na beira de um afluente da margem esquerda do rio Jacutinga. O asfalto preenche os poros do arenito grosseiro da Formação Tatuí, sendo a base do afloramento constituída por um siltito argiloso, amarelo-esverdeado. O sítio é totalmente coberto por densa vegetação, e não é possível observar o contato de base ou do topo do arenito asfáltico.

Informações verbais fornecidas pelos moradores do vilarejo, informaram que o afloramento foi explorado a 50 anos atrás por particulares. Três sondagens, efetuadas recentemente pela equipe de Geologia de Superfície da Petrobrás, revelaram que esse afloramento é restrito a uma lente de areia grossa de Tatuí, em uma pequena estrutura anticlinal aberta de eixo NW-SE. A Formação Irati aflora à pequena distância dessa ocorrência.

6-2 - Jazida da Sobar (antiga Carlota Plenz)

Afloramentos de maior importância ocorrem na região entre os rios Guareí e Capivari.

A área é plana, inclinando-se suavemente nas encostas dos rios que cortam a região. O arenito Botucatu cobre a área, apresentando essencialmente dois aspectos di

ferentes. Nas áreas relativamente mais baixas, como na margem do rio Jurubatuba, ou na base do Morro do Cireneu, (Figura 3), o arenito apresenta-se friável, de cor laranja-avermelhado a marrom, com granulação fina a média, grãos sub-arredondados e com textura superficial predominantemente fosca. A cor deriva de fina película de óxido de ferro que recobre os grãos. Esses arenitos apresentam laminação paralela a cruzada, com as lâminas destacando-se por variação no tamanho dos grãos. A seleção é pobre no conjunto nos planos de contatos. Faltam níveis argilosos.

Fracos indícios de óleo ocorrem nos arenitos avermelhados, sob forma de traços nas fraturas e cavidades dos grãos de algumas amostras, quando observados na lupa, ou formando manchas escuras de material altamente intemperizado, dando aspecto mosqueado ao arenito.

Bem diferente é o aspecto do arenito na parte oeste da região que capeia o depósito do arenito asfáltico. Apresenta cor amarelo-esverdeado, granulação fina a muito fina, níveis argilosos, grãos sub-arredondados, com textura superficial polida. Laminação paralela e cruzada são comuns.

A área é limitada ao norte pelo Morro da Gruta, por uma estrutura orientada para NNE, originada por um dique de diabásio. O arenito superposto ao diabásio é avermelhado e disposto em lages com algumas grutas na encosta do morro. Em lâminas petrográficas exhibe granulação grossa, boa seleção e início de silicificação.

Mais a leste, esculpido no Arenito Botucatu, ocorre um profundo canhão, de grande comprimento, desembocando na altura do km 180 da Rodovia Castelo Branco. O diabásio aflora novamente, mais a leste, na encosta do Morro do Cireneu, também ao sul a região é limitada por "sills" de diabásio que formam as cachoeiras da Corrente e do Bairro dos Mineiros, além a elevação do Morro de Conquista.

O arenito asfáltico aflora ao longo de um riacho formando afluente da margem esquerda do rio Capiva-

ti, próximo à sede da Fazenda Sobar, antiga Carlota Plenz. Seguindo o curso do riacho, de montante até à vazante, o afloramento possui 180 m, e sua espessura máxima é de 3 m.

Segundo Leinz (1938) macroscopicamente distinguem-se três tipos de estruturas de preenchimento nos arenitos asfálticos de Anhembi:

1 - Arenito homogêneo, em arenitos com estrutura granular maciça.

2 - Tigrado e mosqueado, arenitos com estrutura precedente, inserindo entretanto pequenas manchas brancas nos homogeneamente impregnados.

3 - Estriado, arenitos seletivamente impregnados segundo a estratificação, em lâminas betuminosas, escuras, revezadas com lâminas estêreis claras. Em nossa pesquisa modificamos parcialmente essas distinções. O termo mosqueado refere-se tanto a mosqueamento pela argila no arenito preenchido, como a pequena mancha de asfalto no arenito sem asfalto. Listrado ou estriado aplica-se a preenchimento em unidades centimétricas correspondentes a camadas, laminado atribui-se a preenchimento em unidades de tamanho de lâminas.

Adotaremos essas definições para descrição de todos os afloramentos. Nessa área, o preenchimento pelo asfalto é homogêneo e laminado ou listrado, alternadamente. O sedimento apresenta estratificação plano paralela, e frequentemente as lâminas inclinadas apresentam grande ângulo de mergulho. Em um trecho do barranco, na margem esquerda do córrego, onde o arenito asfáltico apresenta aspecto listrado, observa-se nas camadas fortemente inclinadas que o preenchimento pelo asfalto é bruscamente interrompido (Foto 2) antes de alcançar a lâmina plana superior, parecendo que o preenchimento se deu ao longo da camada, de baixo para cima, sem chegar a subir até o plano superior.

6-3 - Jazida da ITATIG

Bem diferente é a situação na jazida de

ITATIG, assim chamada pelo nome da sociedade que explorou a pedreira alguns anos atrás.

Acha-se localizada a cerca de 6 km a oeste de Guareí, na borda de um bloco levantado, situado entre a Formação Estrada Nova, a leste, e as porções mais orientais da Formação Serra Gerál, sob formas de áreas isoladas, a oeste.

Está situada na parte mais elevada de um morro na base do qual corre um riacho, afluente da margem direita do rio Guareí, aflora a Formação Estrada Nova, com siltitos e siltitos argilosos arroxeados, fragmentados misturados em uma matriz, ora branca amarelada, ora avermelhada, de arenito mais grosseiro. Acreditamos ser o nível de regolito fóssil citado por Almeida (1964) que inicia o ciclo Botucatu nessa área.

A sequência asfáltica (Figura 5) inicia com 80 cm de arenito listrado (Foto 4) onde camadas centimétricas de arenito siltico fino, pouco selecionado, de cor branco-amarelado, alternam-se com camadas de arenito pouco preenchido, levemente mais grosseiro, de cor cinza-pardacenta, irregularmente dispostos, no arenito estéril. Os contatos entre as camadas estêreis e preenchidas não são regulares, mas, às vezes interrompidos, ou pouco nítidos, quando fragmentos asfálticos milimétricos são misturados no arenito estéril e vice-versa. Segue-se o banco de arenito homogêneo, compacto bem preenchido, de cor preta, endurecido pela cimentação asfáltica com pelotas pontuais de material argiloso branco-amarelado, irregularmente espalhados. Esse banco, de 3 metros de espessura é contínuo, na área da pedreira.

Lâminas delgadas de amostras desta camada, observadas ao microscópio, mostram grãos de quartzo bem selecionados e subarredondados, imersos em asfalto, que apresenta-se opaco no campo do microscópio.

Acima, após um contato nítido, que poderia indicar um diastema na sedimentação, volta a camada a ser estê-

ril: com o arenito branco-amarelado e fino mal selecionado, com raras manchas cinzas pardacentas de asfalto. Na parte superior desta camada, de quatro metros de espessura, as lâminas apresentam-se dispostas com estratificação cruzada. Essa disposição das camadas é mantida na sucessão superior, de arenito de cor preta pelo preenchimento, de granulação mais grosseira, com pequenas argilas passando no topo a apresentar aspecto laminado e listrado, alternadamente.

As lâminas milimétricas, realçadas pela diferença de coloração devido ao preenchimento, às vezes não são contínuas, bastante perturbadas.

Acima volta o banco de arenito grosseiro, com estratificação cruzada (Foto 6) bem preenchido, compacto, duro, capeado por solo arenoso.

O afloramento tem uma extensão total de 150 metros. Nas duas extremidades a espessura do arenito asfáltico, diminui; o sedimento torna-se mais grosseiro, o preenchimento fica sendo reduzido a mosqueamento de material escuro, pulverulento, dentro do arenito amarelado (Foto 7).

6-4 - Jazida da Nhaiva

A poucos quilômetros de distância da jazida de Itatig, em direção NE, ocorre a jazida da Nhaiva.

Ocupa a parte mais alta de uma elevação formando um anfiteatro, que fecha o fundo de um vale. O Morro Alegre, de forma alongada, capeado por rochas da Formação Serra Geral, está situado a uns poucos quilômetros de distância, ao norte. A base do Morro, ao SE é limitada pelo rio da Areia Branca, afluente da margem direita do rio da Areia Branca, afluente da margem direita do rio Guareí. A partir do rio, subindo em direção à jazida, em um trecho de cerca de 2 quilômetros, encontramos a seguinte sequência: na base do morro, os sedimentos da Formação Estrada Nova, siltitos e argilitos de cor cinza-arroxeados, apresentando acen tuado mergulho. Um dique de diabásio, de três metros de es

pe^{ss}ura, no mesmo mergulho das camadas nas quais está incluído. Junto aos sedimentos da Formação Estrada Nova, topograficamente mais altos, ocorrem fragmentos de sílex e crostas pirí^{ti}cas, intemperizadas, com incrustações de cristais de pirita, ainda conservando o hábito cúbico primitivo. O contato com o Arenito Piramboia não é nítido, passando do sedimento intemperizado da Formação Estrada Nova, ao Piramboia alterado. O arenito Piramboia, argiloso, apresenta cor amarela-esverdeada. Para o topo, um corpo de diabásio, com mergulho vertical e com espessura de mais de 20 metros, conta o Arenito Piramboia. No diabásio ocorre um xenólito de arenito, de grandes dimensões. Indo em direção à jazida, o Arenito Piramboia continua sendo argiloso. O preenchimento dos arenitos pelo asfalto, aparecem acima desse nível segundo o acamamento.

Nesta jazida, quatro tipos de preenchimento pelo asfalto são encontrados: homogêneo, listrado ou tigrado, laminado e mosqueado.

O tipo homogêneo é aquele que acompanha o arenito mais grosseiro e melhor selecionado. Apresenta-se duro, compacto, pouco estratificado, com pequenas pelotas de argila, irregularmente disseminadas. O mosqueado apresenta uma massa argilosa estéril ou pelotas de argila estéril, dentro da massa de fundo arenosa preenchida.

Estratificação paralela, cruzada e pelotas de argila, às vezes ocorrem associados. Um belo exemplo é o ilustrado na Foto 9).

Numerosas pelotas de argila acompanham o andamento das lâminas estéréis que alteram as listras preenchidas.

Frequentemente, as lâminas são perturbadas (Foto 10) ou cortadas verticalmente por pequenos corpos argilosos alongados, verticais ou inclinados. Também fragmentos de arenito com bom preenchimento, parecendo seixos, cortam verticalmente as lâminas ou as listras.

Raras concreções calcíferas, foram observadas

nessa jazida.

6-5 - Morro de Bofete (Rodovia Castelo Branco)

Outra ocorrência de arenito asfáltico, é a do Morro do Bofete, situada no quilômetro 174,5 da Rodovia Castelo Branco.

O arenito asfáltico aflora nas encostas dos morros que circundam uma pequena baixada, atravessada pelo rio Bonito, antes de sua brusca inflexão para alcançar o rio do Peixe, no qual conflue. Nesse lugar, blocos de siltitos arroxeados da Formação Estrada Nova foram levantados por falhamentos, e colocados em nível mais alto que os arenitos amarelados e rosados da Formação Botucatu. O diabásio, ajustou-se ao plano de falha; um dique de pequena espessura, corta verticalmente os sedimentos alterados da Formação Estrada Nova, na margem sul da baixada.

Na margem sul, a melhor exposição da sequência asfáltica, ocorre ao longo de um riacho (Figura 6).

O arenito asfáltico, compacto duro, apesar de intemperizado, mantendo vestígios de estratificação plano paralelo, aflora, bruscamente, acima do Arenito Piramboia alterado. Acima, no arenito anterior, ocorrem pequenas pelotas de argila esverdeada, e mais para cima, torna-se laminado. Um horizonte de argila esverdeada é entremeada entre o arenito laminado, inferior, e o bem preenchido, superior.

O mosqueamento pelo asfalto, continua no arenito estéril, acima do seu contato com a camada bem preenchida. Contornando o Morro encontram-se, diversos afloramentos, em diferentes níveis.

Esses afloramentos estão topograficamente situados acima e dos dois lados do dique de diabásio mencionado anteriormente. Eles têm características comuns afloram, formando paredões íngremes, de 4 - 6 metros de altura; o arenito apresenta-se preto, compacto, com granulação média e pre

enchimento homogêneo.

Na margem esquerda do rio Bonito, há outro afloramento, que é melhor exposto, no corte da Rodovia Castelo Branco.

O arenito asfáltico apoia-se sobre o arenito estéril, argiloso, cinza, amarelo-esverdeado. O contato pode ser seguido nitidamente ao longo do afloramento que mede 160 metros de comprimento máximo.

A base da camada preenchida acha-se a um nível de poucos metros acima da camada da outra margem da baixada.

A camada preenchida (Figura 6) aumenta de espessura de oeste para leste, melhorando também o preenchimento.

A partir do oeste, o preenchimento inicia-se com um conjunto de lâminas, e camadas centimétricas, de cor preta causada pelo asfalto, alternadas com camadas de lâminas estéreis.

Entre as camadas com preenchimento regular, ocorre um banco, com lâminas dobradas encurvadas, perturbadas de material preto, intimamente misturado a material argiloso estéril. Às vezes, o preenchimento, torna-se mosqueado. Esse conjunto é cortado por "veios" centimétricos (Foto 13) de material estéril, de cor branco-amarelado, mais claro que a cor do material estéril, ressaltando assim a camada estéril da base, notando-se pequena deslocamento das camadas preenchidas ao longo desses veios.

Para leste, no mesmo local, o preenchimento torna-se mais homogêneo. O arenito da camada com preenchimento homogêneo apresente granulação de média e fina, muito compacto, sem estratificações. Essa camada é contínua, ao longo do barranco, e alcança sua espessura máxima, antes de terminar bruscamente, a leste. No seu último trecho, apesar da granulação se tornar levemente mais fina, o arenito forma pequenos bolsões alongados, nos quais é contido o asfalto, em estado fluido. Neste trecho terminal, pelotas lenticulares

de material estéril, e novamente raros "veios" estéreis, ocorrem cortando obliquamente as camadas (Foto 14). Acima, ao longo do barranco, a camada homogênea torna-se laminada e listrada. O estéril é geralmente constituído por arenito silte-argiloso de cor verde, que alcança na seção mediana, até três metros de espessura, entre o listrado, em baixo e o mosqueado, em cima.

6-6 - Piapara

Mais ao norte do morro do Bofete, indícios de hidrocarbonatos ocorrem nas proximidades do vilarejo de Remédios, ao longo do ribeirão da Água Clara, afluente da margem esquerda do rio do Peixe, e próximo às nascentes do Ribeirão Bonito, afluente da margem esquerda do rio Tietê.

São blocos de material fino pulverulento, preto, friável, insolúvel em solvente orgânico, misturado com areia.

Os moradores da região referem ocorrências em lugares pouco elevados, de material gorduroso, de cor amarela e consistência de cera, chamada "breu" e que segundo a descrição verbal parece corresponder a "ozocerita", resíduo porfirínico de óleos.

Infelizmente, apesar da assídua procura, não foi encontrada nenhuma dessas ocorrências.

Perto do povoado de Piapara também há ocorrências de arenito asfáltico, nas duas margens do rio Alambari.

Na margem direita, na base, ocorre um sedimento formado de fragmentos de siltitos arroxeados e esverdeados em matriz arenosa branco-amarelada, correspondendo ao regolito fóssil, descrito por Almeida (1964), caracterizando a base do Arenito Piramboia. Acima, o sedimento torna-se mais arenoso, e começam a aparecer manchas pretas de óleo, no arenito amarelado.

O contato com a camada preenchida é nítido. Essa camada homogênea, com bom preenchimento, encontra-se exposta

em dois locais, no mesmo nível, nos flancos de um morro, formando paredões de cerca de três metros de altura, e de poucos metros de comprimento.

O arenito apresenta granulação média, e boa seleção.

Na margem esquerda do rio Alambari, o arenito asfáltico, reaparece em um afloramento de pequeno comprimento mas de maior espessura. O arenito, de granulação média e fina, apresenta-se intemperizado, com cor cinza-amarelado. É estratificado e laminado, sendo as lâminas dispostas em estratificação cruzada.

Não foi observado arenito com preenchimento homogêneo nesse afloramento.

6-7 - Jazida de Anhembi

A maior ocorrência de arenito asfáltico, é o da jazida da localidade Betumito, no município de Anhembi.

O arenito asfáltico aflora nas paredes e nas bordas da pedreira, que apresenta forma de anfiteatro, fechando um vale.

O arenito asfáltico apresenta sua maior espessura na parte frontal, e inclina-se suavemente nos flancos.

O comprimento da frente é de cerca de 130 metros, e sua espessura exposta de cerca de 30 metros; porém em sondagens efetuadas pela Petrobrás, no local, foi encontrada uma espessura máxima de sedimentos preenchidos, de 80 metros.

A sequência na parede da pedreira inicia com um banco de arenito laminado, bem preenchido, apresentando estratificação cruzada e pelotas de arenito-calcífero disseminados ao acaso. A forma das pelotas é geralmente ovóide e o tamanho é variável.

Segue uma camada de espessura variável e com as mesmas características. O arenito é siltico, branco amarela

do ou cinza com preenchimento listrado e mosqueado, o cruzamento das lâminas e listras é constante. O sedimento vai tornando-se cada vez mais fino para cima, diminuindo gradativamente até ficar completamente estéril.

Nesta camada estéril ocorre uma espetacular escavação e preenchimento de canal, na porção central da pe-dreira que ressaltada pelo sedimento de colmatagem de caráter homogêneo e bem preenchido por asfalto, formando nítido contraste com o depósito sotoposto.

Pode-se diferenciar o canal principal, mais largo e pouco mais profundo, e um canal lateral de menores dimensões (Foto 15).

Na base do sedimento colorido pelo asfalto ressaltam pelotas ou às vezes, verdadeiras lentes estêreis dispostas horizontalmente.

Este banco homogêneo, de espessura máxima de até cinco metros, passa no topo, bruscamente, a arenito listrado.

Outros afloramentos de arenito asfáltico ocorrem na região. Nas nascentes do rio Moquem, a cerca de 2 quilômetros a NW do "Betumito", ocorre um afloramento de quatro metros de espessura de arenito de granulação média, cinza-escuro, devido ao preenchimento listrado ou laminado. A base é constituída por arenito silte-argiloso, branco-amarelado.

Próximo às nascentes do Ribeirão Claro, afluente do rio Piracicaba, a NE do "Betumito", ocorre outro afloramento asfáltico. O arenito de granulação média, friável, cinza-amarelado, aflora em superfície, formando pequenas elevações. O arenito acha-se intemperizado de tal maneira que o asfalto, misturado com as partículas mais finas, forma uma massa pulverulenta, cinza amarelada, na qual estão imersas os grãos de quartzo.

A leste desse afloramento, próximo à estrada Anhembi-Piracicaba, nos flancos de um bossoroca ocorrem

no arenito grosseiro friável, grandes massas de material pulverulento, preto, fino, aparecendo resíduo insolúvel de asfalto intensamente intemperizado.

Outros indícios de óleo, na região foram encontrados durante a perfuração de um poço de água subterrânea, a cerca de 6 quilômetros a NW da localidade do "Betumito".

Uma amostra desse arenito ricamente preenchido, foi fornecido pelo proprietário do local, Sr. Vitorio Calci-doni, mas não foi possível obter informações a respeito da profundidade de amostragem, e nem da espessura do preenchimento.

6-8 - Jazida de Porto Martins

Na margem esquerda do rio Tietê, perto da cidade de Porto Martins, atualmente coberto pelas águas do reservatório da Barragem de Barra Bonita, ocorre um afloramento de 300 metros de comprimento, sendo limitado, a leste, por um dique de diabásio.

O barranco apresenta sua espessura máxima na parte oeste, nos primeiros cinquenta metros de sua extensão, depois vai diminuindo gradativamente.

Washburne (1930) refere-se a uma espessura de 20 metros de arenito preenchido para esse afloramento, espessura que não foi verificada totalmente durante o levantamen-to, devido estar o barranco em parte coberto pelas águas.

Duas sondagens foram efetuadas no ano passado pela Petrobrás a 30 e 50 metros de distância do afloramento alinhadas perpendicularmente ao dique sem encontrar sedimen-tos preenchidos (Roncaratti, 1971).

Acreditamos que o resultado negativo das sondagens foi devido a mudanças de condições de permo-porosidade e de mudança no mergulho das camadas.

No barranco, o asfalto confere à rocha, numa co

loração cinza-amarelada quando alterada, e preta quando fresca. O afloramento inicia-se a oeste, com uma sequência de camadas inclinadas, pouco espessas, de arenito de granulação média, com baixo teor de óleo, listradas ou laminadas. O arenito estéril, apresenta cor branco-amarelada.

A espessura aumenta para leste, diminuindo após os primeiros cinquenta metros.

Na parte basal do barranco ocorre a camada maciça, com preenchimento homogêneo de 2 metros de espessura.

Acima há alternância de arenito listrado e laminado. As lâminas alternam-se com camadas preenchidas, mais espessas. Nas camadas listradas o preenchimento pelo asfalto nem sempre é regular, ou seja, junto às camadas alternadas, estêreis e preenchidas homogeneamente, frequentemente, ocorrem camadas com preenchimento irregular podendo ser ondulado, inclinado ou há uma interrupção vertical brusca (Foto 24). Pode ainda formar cunhas preenchidas no material estéril.

Mais adiante, há um trecho de cerca de 30 metros de comprimento, onde o arenito preenchido torna-se extremamente duro, com finíssimas lâminas estêreis. Formas lenticulares de até 30 centímetros de comprimento, e concreções calcíferas de 1 ou menos centímetros, completamente estêreis ressaltam na parede preta devido ao preenchimento

Num trecho do barranco, uma faixa de arenito de um metro de comprimento estéril branco cinzento, corta verticalmente as camadas de arenito preenchido (Foto 21). A leste o contato com o arenito asfáltico é bem nítido, e a oeste, transicional.

Concreções calcíferas, sob forma de corpos esféricos, achatados, de até 12 cm de diâmetro ocorrem paralelamente à estratificação. Tais estruturas foram anteriormente descritas por Franzinelli (1972).

Localizadas em um curto trecho também foram no

tadas falhas normais e reversas, de pequeno rejeito, quase verticais.

O preenchimento pelo asfalto é interrompido bruscamente pelo dique de diabásio. Após o dique, o Arenito Piramboia é completamente estéril, de granulação grossa e cor avermelhada.

O afloramento é capeado por arenito síltico-argiloso, e acima deste ocorre um horizonte de seixos, entre os quais, são numerosas, as "bonecas" da Formação Irati.

Na outra margem da represa, o Arenito Piramboia apresenta, em um pequeno barranco dobras de acomodação. Acima ocorre o mesmo nível de seixos que capeia o afloramento asfáltico.

À montante, sempre na margem direita, elevam-se paredões abruptos, de arenitos grosseiros, com estratificações cruzadas de grande tamanho.

6-9 - Afloramento de Volta Grande

Ainda na margem dos reservatórios de barragem, à montante, depois de uma grande curvatura do rio, ocorre um afloramento asfáltico, em local muito íngreme, acessível somente por via fluvial, tendo comprimento de cerca de 60 metros, e espessura aproximada de 15 metros. O arenito asfáltico, fino laminado, bem preenchido assenta acima de um sedimento síltico-argiloso esverdeado (Foto 1) que pelo aspecto, granulométrico, cor e microestruturas, acreditamos pertencer à Formação Estrada Nova.

6-10 - Amostragem

As amostras, de tipo pontual, foram coletadas durante as medidas das seções colunares, nas unidades estratigráficas preponderantes e também em pontos esparsos, localizados no mapa, com a indicação A1, A2, etc. As amostras foram numeradas usando-se como prefixo as letras iniciais .

do nome da localidade mais próxima, ou da jazida, tendo sido divididas em nove grupos, segundo os afloramentos.

Além das amostras de arenitos, foram coletadas também, três amostras de sedimentos do Folhelho Irati, tendo sido coletadas uma delas, no afloramento do km 153, da Rodovia Castelo Branco, a segunda a 12 km ao sul de Guareí, próximo ao Vilarejo de Monte Cristo e a terceira é uma amostra de calcário metamorfizado com óleo, coletado na pedreira do Sr. Vitti em Assistência, situada fora da área de ocorrência dos arenitos asfálticos.

A localização geográfica e estratigráfica das amostras coletadas nas seções colunares, está citada na descrição das mesmas. As alturas relativas foram medidas com o auxílio de Altímetro Paulin.

A seguir damos a localização dos pontos de amostragem, relacionados com os indicados no mapa.

<u>Ponto</u>	<u>Localização</u>	<u>Amostra</u>
A1	Margem direita do rio Sargento na altura da Estrada Sobar-Angatuba	So8 Arenito
A2	Margem esquerda do rio Jurubatuba próximo a Estrada Sobar-Guareí	Sol3 Arenito Piramboia
A3	Encosta do Morro Alegre (Guareí)	Ge2 Arenito Botucatu Silicificado

<u>Ponto</u>	<u>Localização</u>	<u>Amostra</u>
A4	Km 180,5 - Rodovia Castelo Branco. Lado direito em direção à Avaré	Cbl Arenito Siltico
AA5	Nascentes do Ribeirão Bonito, próximo à Remédios	Pi7 "Seixos" Siltito- -Argiloso (Formação Estrada Nova) Pi8 Arenito Piramboia
A6	Estrada Anhembí-Ibitiruna, km 10 em direção à Ibitiruna	Anl Silte Argiloso
A7	Margem direita da Represa de Barra Bonita	Pm50 Silte Arenoso

CAPÍTULO 7

ESTRUTURAS SEDIMENTARES ASSOCIADAS AOS SEDIMENTOS DAS JAZI DAS DE ARENITO ASFÁLTICO

O estudo das estruturas sedimentares, especialmente as singenéticas, torna-se de grande importância, pois elas refletem as condições físicas, químicas e biológicas sob as quais foram depositados os sedimentos.

Esse assunto foi anteriormente abordado, de maneira geral, para os sedimentos da Formação Botucatu, por Paraguassu (1969), Thomas (1971) e Bósio (1972).

O estudo das estruturas sedimentares presentes nos afloramentos asfálticos, foi facilitado pelo preenchimento pelo asfalto, visto que, essas estruturas ressaltam, devido a seletividade do preenchimento, auxiliando, em alguns casos o estudo da migração do óleo.

Na descrição das estruturas, adotamos a classificação de Krumbein e Sloss, (1964), que julgamos ser a melhor adaptada aos nossos propósitos.

Para a definição dos vários termos, utilizamos o Glossário organizado por Pettijohn e Potter (1964).

Segundo Krumbein e Sloss (1964) as estruturas são classificadas em singenéticas ou primárias, e epigenéticas ou secundárias. Aquelas formam-se durante a sedimentação, estas são originadas posteriormente.

Tanto as estruturas singenéticas como as epigenéticas, são classificadas quanto às suas origens, física, química ou orgânica, ou com base nos caracteres externos ou internos.

Adotaremos o seguinte esquema na descrição das estruturas encontradas.

I - Singenéticas físicas

A - Estruturas internas

- 1 - Estrutura maciça
- 2 - Estratificação
 - a) Paralela
 - b) Cruzada
 - c) Lenticular
- 3 - Diastemas
- 4 - Escavações de canais
- 5 - Bolas de argila
- 6 - Deslizes subaquáticos
- 7 - Deformações e perturbações pós-deposicionais
 - a) lentes deformadas

II - Epigenéticas físicas

A - Estruturas externas

- a) natureza dos contatos
- b) falhas e fraturas

Epigenéticas químicas

B - Estruturas internas

- a) concreções calcíferas

7-1 - Estruturas singenéticas

7-1-1 - Estrutura maciça

Esse termos é aplicado a leitos muito espessos, e homogêneos, caracterizados pela falha de estratificação. Leitos desse tipo, ocorrem na jazida da localidade Nhaiva, próximo a Guarey, do morro de Bofete, da margem direita do rio Alambari, nas proximidades de Piapara, de Anhem.

bi e de Porto Martins.

São unidades de arenito de granulação fina a média, compactos, de espessura variável, alcançando também quatro ou mais metros. Essas camadas, em geral, são contínuas, podendo ser seguida por dezenas de metros. Em relação ao preenchimento pelo asfalto, essas são as camadas que apresentam preenchimento homogêneo, e os maiores teores de asfalto.

7-1-2 - Estratificação

É uma unidade sedimentar, depositada em condições constantes, separada, acima e abaixo, por mudanças litológicas ou planos físicos de separação e estratificação.

De acordo com McKee e Weir (1953) e Ingram (1954), denominamos camadas os estratos que apresentam espessura superior a um centímetro, e lâminas aqueles com espessura inferior a 1 centímetro.

Nos afloramentos estudados, podem-se destacar os seguintes tipos de comportamento das camadas e lâminas:

- a) Estratificação rítmica paralela
- b) Estratificação cruzada
- c) Estratificação lenticular

Estratificação rítmica paralela

A sedimentação rítmica paralela ou subhorizontal, ocorre largamente em todos os afloramentos estudados, tanto para as lâminas, como para as camadas (Foto 8).

O ritmismo das camadas é acentuado pelo preenchimento pelo asfalto.

Observações ao microscópio de lâminas petrográficas de sedimentos com laminação rítmica subhorizontal, exibem, para as lâminas claras, ou sem preenchimento, granu

lação menor, maior quantidade de argila, e grau de arredondamento um pouco maior, dos grãos.

Estratificação cruzada

É muito frequente nos depósitos estudados.

O tamanho das unidades é de milimétrico até decimétrico.

O tipo mais frequente é o tabular, com as camadas frontais limitadas, na base e no topo, por superfícies horizontais. Um belo exemplo é o da jazida de Anhembi.

Estratificação cruzada acamada também é frequente, sendo o tamanho das unidades, normalmente milimétrico.

Nos afloramentos estudados os dois tipos, tabular e acanalado, também ocorrem juntos.

A inclinação das lâminas, em geral, é constante, mantendo-se entre 20 e 27 graus. Faz exceção o afloramento do Solar onde a inclinação das lâminas é bem mais acentuada, chegando a ser quase vertical.

De maneira geral, as unidades conservam o mesmo ângulo de inclinação, na base como no topo, sendo rara a tangência das unidades, na base da estratificação. Estratificação tabular com lâminas tangenciais, é observada no grande afloramento de Anhembi.

7-1-3 - Diastemas

Contato brusco, pode ser interpretado como diastema. Em ambientes continentais, os diastemas podem ser atribuídos à fases de não deposição, com ou sem erosão. Contato brusco, mas paralelo as camadas, indicaria sedimentação posterior a não deposição; ao contrário, escavação de canal, indicaria uma fase de erosão posterior a não deposição. Um diastema desse tipo, é a grande escavação de canal, que ocorre

re na frente da jazida de Anhembi, onde pode-se distinguir um grande sulco-central mais profundo e largo, e um sulco lateral, mais suave, esculpido em areia argilosa, sem preenchimento pelo asfalto.

Acima, o sedimento passa bruscamente a mais grosseiro, quase que sem argila, e com ótimo preenchimento pelo asfalto. Grandes pelotas de argila, de tamanho até de decímetros, achatadas são espalhadas preferivelmente na base do material grosseiro, marcando o contato do diastema.

7-1-4 - Pelotas de argila

Estão presentes, em dimensões variáveis de milímetros até 40 centímetros. As de tamanho menor, apresentam forma arredondada; aumentando o comprimento, tornam-se achatadas, sendo o diâmetro maior paralelo à estratificação. Não ocorrem em níveis preferenciais, sendo também encontrados junto à estratos cruzados, ou em camadas maciças ou laminadas.

Pelotas pontuais, de um ou dois milímetros de comprimento, foram essencialmente observadas junto à cama da maciça, na jazida de Itatigi. Grandes pelotas de areia fina argilosa, são encontradas em Anhembi (Foto 17).

7-1-5 - Deslizes subaquáticos

São estruturas provocadas por deslizamento, em razão da gravidade.

Restringem-se a um exemplo, observado em um curto trecho da jazida de Anhembi, quando o sedimento listado é dobrado, bruscamente, com ângulo próximo a 90° , e com início de ruptura.

Outros efeitos de deslize subaquático, são observados na jazida de Nhaiva quando dentro do sedimento laminado, aparecem fragmentos do mesmo sedimento, nas remobilizações (Fotos 10 e 11) ou fragmentos de sedimento da cama da superior, mais grosseira, são incluídos no depósito inferior, laminado. Os dois tipos de estrutura são passíveis de

observação graças a seletividade do preenchimento.

No primeiro caso, nas margens dos fragmentos interrompem a estratificação do sedimento encaixante, enquanto que a laminação interna dos fragmentos, é mantida, mas é deslocada e encurvada a respeito da encaixante.

No segundo caso, os limites do fragmento de granulação mais grosseira que a granulação da encaixante, cortam o sedimento laminado, e seu preenchimento é completo, homogêneo, não apresentando portanto laminação interna.

Deformações e perturbações pós-deposicionais

Incluimos, nesse item, um tipo de estrutura observada em um trecho da frente do afloramento de Porto Martins (Foto 20).

Uma lente, de arenito calcífero, que ressalta na camada maciça com preenchimento homogêneo, foi deformada, quando ainda o sedimento se apresentava em estado plástico, adquirindo forma dobrada.

7 - 2 - Estruturas externas

7-2-1 - Falhas e fraturas

Falhas normais com pequeno deslocamento dos blocos, (centímetros) ocorrem nos afloramentos de Nhaiva, Bofete, Anhembi e Porto Martins. Essas microfalhas, foram observadas preferivelmente em camadas laminadas. O plano de falha, é em geral, inclinado, chegando a ser quase que vertical.

No afloramento da Rodovia Castelo Branco (Bofete) e na base da jazida de Anhembi, são observadas fendas verticais, ou inclinadas, cruzando uma sequência de camadas de diferentes granulações e tipos de preenchimento

Essas fendas, da ordem de três ou quatro centímetros de espessura máxima, são preenchidas por material areno-argiloso, de cor esbranquiçada, cuja cor ressalta mesmo junto a cor dos sedimentos sem asfalto.

Acreditamos serem pequenos veios de rocha intrusiva alterada, que subiu após a deposição do sedimento, e após o preenchimento pelo asfalto, visto que, quando cortam uma camada preta pelo asfalto, o preenchimento, não é perturbado, ou seja continua homogêneo nos contatos laterais. Não foram observadas alterações de qualquer tipo junto às margens dessas fendas.

No afloramento da Rodovia Castelo Branco, junto a uma dessas fendas, ocorre também movimentação dos blocos, de pequena intensidade.

7-2-2 - Estruturas químicas

7-2-2-1 - Concreções calcíferas

Ocorrem nos afloramentos de Porto Martins e Anhembi.

As de Porto Martins, foram precedentemente descritas (Franzinelli, 1972). As concreções de Anhembi, apresentam-se como bolas de forma ovóide ou alongadas, distribuídas ao acaso em um nível calcífero, parcialmente preenchido pelo asfalto. Apresentam cor cinza-clara. A diferença das concreções de Porto Martins, apresentam-se pouco compactas, sendo o arenito calcífero, friável. A estrutura interna é similar às de Porto Martins: em torno do centro das concreções, o material orgânico apresenta uma disposição anular, formando um halo de coloração mais escura. O contato com o arenito asfáltico que as contém é nítido.

São estruturas epigenéticas ou secundárias, penecontemporâneas à sedimentação. Sua origem seria devida a dissolução de grãos de calcita, ainda parcialmente visíveis.

veis em lâminas petrográficas de seções delgadas de fragmentos dessas concreções (Foto 25) que transportados, junto com grãos de outra natureza (quartzo) durante a deposição dos sedimentos teriam-se redepositado como cimento englobando outros grãos.

Outro tipo de estrutura encontrado, que poderia ser colocado, tanto entre as epigenéticas físicas ou químicas, é um tipo de estrutura observada em um trecho limitado, da parede do afloramento de Porto Martins.

Consiste de uma faixa de arenito calcífero estéril, (Foto 21) de cor branca-cinzenta, que corta verticalmente as camadas de arenito preenchido, por cerca de um metro de comprimento. O contato com o arenito asfáltico a leste, é bem nítido, e a oeste transicional.

Sua formação é anterior ao preenchimento pelo asfalto, e poderia fornecer informações a respeito do fluxo de migração do óleo, que teria se movimentado de leste para oeste.

7-3 - Outras estruturas

Outro tipo de estrutura de origem desconhecida, é uma forma tubular (Foto 3) que foi observada no afloramento da Sobar. Parece não ser devida a escavação de vermes, pois o material interno a forma tubular, mantém a laminação.

No afloramento de Nhaiva, também ocorre uma estrutura similar (Foto 11) numerosos fragmentos, a forma de tubo de espessura milimétrica, e de comprimento não chegando a um centímetro, cortam verticalmente as lâminas, dando um aspecto perturbado ao sedimento.

Observações de lâminas petrográficas ao microscópio, não revelam qualquer ação de organismos na textura dessas estruturas, exibindo somente quantidades diferentes de material argiloso.

Pela rápida descrição das estruturas sedimen
tares encontradas nos afloramentos estudados, pode-se adfir
mar que elas são características de ambiente continental a
quoso, podendo em alguns casos, especificar, de ambiente flu
vial.

CAPÍTULO 8

ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS

A finalidade das análises granulométricas é de estabelecer as classes texturais para a caracterização dos tipos e a variação de distribuição dos mesmos nos sedimentos.

No presente trabalho, o estudo granulométrico dos sedimentos pesquisados assume também outro significado; ou seja de verificar quais são os limites granulométricos e as condições que favorecem a entrada do asfalto nos espaços vazios entre os grãos.

O método seguido nas análises granulométricas, foi de pipetagem e peneiramento.

A preparação das amostras com asfalto, consistiu em desagregação manual do arenito, extração do óleo com solvente orgânico e posterior desagregação do resíduo mineral, e peneiramento.

Não foi separada a fração inferior, a 0,062 mm dessas amostras, para ser, essa fração sempre muito escassa (em torno de 4-5% na maioria das amostras).

A maioria das amostras sem asfalto, apresenta-se friável, e então facilmente desagregável. As amostras com cimento calcífero, foram antes atacadas com ácido clorídrico para remoção do cimento calcífero.

Na fase de peneiramento, para obtenção de maior precisão nos cálculos estatísticos granulométricos, foi adotado o emprego de peneiras com intervalos sucessivos de $1/2\phi$.

8-1 - Dados estatísticos

Os dados analíticos obtidos da realização das

Fig.11 - Diagrama triangular com resultados de análises granulométricas de amostras com asfalto e sem asfalto (seg. Shepard, 1954, modificado, in Bigarella e Salamuni, 1962).

análises granulométricas, foram representadas de duas maneiras:

- a) diagrama triangular
- b) curvas acumulativas

No diagrama triangular usado, baseado do diagrama de Shepard (1954) e modificado por Bigarella e Salamuni (1962) o triângulo equilátero é dividido em três áreas, correspondentes aos campos de areia, silte e argila. Essas divisões principais são por sua vez subdivididas de modo a atender as necessidades de nomenclatura de amostras de composição mista.

As amostras obtidas após extração do óleo, não foram representadas com pontos, no triângulo de Shepard, devido à impossibilidade de separação do silte da argila. Então, adotamos, para estas amostras uma área, no triângulo de Shepard, (Figura 11) junto ao valor de 100% de areia, e 7% de silte e de argila, região na qual são localizadas todas as amostras resultadas de extração.

Entre as amostras analisadas foram estabelecidos, seis tipos diferentes:

- 1 - Areia
- 2 - Areia siltica
- 3 - Areia argilosa
- 4 - Silte arenoso
- 5 - Silte
- 6 - Silte argiloso

A maior incidência de amostras é incluída na área do tipo areia.

As amostras pertencentes aos tipos silte, silte argiloso e silte arenoso correspondem: o silte à uma amostra da Formação Tatui, e os siltes argilosos, ou à amostras da Formação Estrada Nova (Vg 2) ou as amostras da base da Fácies Piramboia.

As curvas acumulativas, foram constituídas em

escala ϕ em papel de probabilidade aritmética, permitindo calcular os parâmetros estatísticos.

Um gráfico foi construído para cada afloramento, e para confronto rápido de curvas representativas nos sedimentos com ou sem asfalto, em diagramas - zonas, como utilizado por Brambati (1969) para diferenciar sedimentos arenosos recentes depositados por diferentes rios no mar Adriático.

A partir das curvas cumulativas das 124 amostras analisadas (Figuras 12, 13, 14, 15, 16) foram calculados os seguintes parâmetros, baseados no esquema de Folk and Ward (1937) pois é o que melhor se adapta ao nosso trabalho.

- 1 - Diâmetro mediano - $Md\phi$
- 2 - Diâmetro médio - MZ
- 3 - Desvio padrão - σ_1
- 4 - Assimetria SKI
- 5 - Curtoses Kg

1 - O diâmetro mediano, foi obtido diretamente das curvas cumulativas.

Este valor tem a faculdade de definir o tamanho dos grãos mais abundantes.

O diâmetro mediano $Md\phi$ apresenta um valor mínimo correspondente a 1,72 e um máximo de 7,40 para as amostras consideradas.

No gráfico da Figura 17 é representada a frequência do andamento dos valores do diâmetro mediano para amostras com e sem asfalto.

Os valores das amostras com asfalto, estão compreendidos no campo da areia média e areia fina. Entre essas amostras, as de valores mais baixos de diâmetro mediano, então mais grosseira, provêm do afloramento de Porto Martins, as amostras de valores mais altos, de diâmetro mediano, ou de granulação mais fina pertencem ao Morro de Bofete. O diâme

Fig. 12 - Curvas acumulativas de amostras dos afloramentos de Jacutinga e Sobar.

Fig.13 - Curvas acumulativas de amostras de afloramentos das jazidas de Itatig e Nhaiã

Fig. 14 - Curvas acumulativas de amostras dos afloramentos do Morro do Bofete e Pia para

Fig.15 - Curvas acumulativas de amostras dos afloramentos de Volta Grande e Porto Martins

Fig.16 - Curvas acumulativas de amostras
da Jazida de Anhembi

Fig.17 - Frequência em porcentagem da incidência do diâmetro mediano MdZ em amostras com asfalto e sem asfalto.

tro mediano das amostras sem asfalto, está distribuído na grnulação de areia média até silte muito fino.

2 - O diâmetro médio é calculado segundo a fórmula:

$$MZ = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3}$$

onde: ϕ_{16} , ϕ_{50} e ϕ_{84} representam os diâmetros correspondentes as porcentagens 16,50 e 84 respectivamente, lidos diretamente nas curvas de frequência acumulada. Este valor é proposto porque ϕ_{16} fornece uma média razoável para o terço mais grosseiro da amostra, e ϕ_{84} para o terço mais fino enquanto que o ϕ_{50} fornece o valor da média do terço intermediário, dando assim uma visão mais completa da curva de distribuição.

Os valores do diâmetro médio de amostras com e sem asfalto são distribuídos entre um mínimo 1,700 e um máximo 6,263. As amostras com asfalto possuem valores distribuídos nas classes de areia média e areia fina.

Os valores para as amostras sem óleo, são distribuídos em todos os tipos em areia média e silte fino.

3 - Desvio padrão: este parâmetro é calculado diretamente de dados extraídos das curvas cumulativas através da fórmula:

$$\sigma = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6,6}$$

onde: ϕ_5 , ϕ_{16} , ϕ_{84} , ϕ_{95} indicam as granulações correspondentes a 5%, 16%, 84% e 95% da distribuição nas curvas cumulativas.

Essa relação fornece um valor de desvio padrão bastante aproximado do desvio padrão matematicamente calculado.

Os valores encontrados, para as amostras com

asfalto, foram: $\phi_{16} = 0,286$, $\phi_{84} = 0,702$ e para as amostras sem asfalto: $\phi_{16} = 0,925$ e $\phi_{84} = 2,507$.

Adotando a escala qualitativa sugerida por Folk and Ward, as amostras com asfalto abrangem sedimentos muito bem selecionados, bem selecionados e moderadamente selecionados. As amostras sem asfalto se distribuem nas categorias de moderadamente selecionados. Quanto aos valores do desvio padrão para os dois grupos de amostras, há divisão nítida, entre os valores dos dois grupos. Isso é verificado no gráfico da Figura 18.

4 - Grau de assimetria SKI - O grau de assimetria de um sedimento é indicado pelo afastamento do diâmetro médio da mediana. Em uma distribuição simétrica o diâmetro médio e a mediana coincidem, e portanto não existe assimetria.

O grau de assimetria foi calculado pela fórmula:

$$SKI = \frac{\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$$

com elementos extraídos das curvas cumulativas.

Os valores de SKI, para as amostras com asfalto estão entre 0,684 e 0,210, e para as amostras sem asfalto, entre 0,820 e 0,435. Os valores de SKI em porcentagens de casos, para os sedimentos analisados, estão representados na Figura 19. As amostras analisadas indicam para a grande maioria, valores positivos, isto é $Md\phi < M\sigma$.

5 - Curtose - A curtose, foi também calculada de dados extraídos das curvas cumulativas, através da fórmula:

$$Kg = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2,44 (\phi_{75} - \phi_{25})}$$

Fig.18 - Frequência em porcentagem do desvio padrão de amostras com asfalto e sem asfalto

Fig. 19 - Frequência em porcentagem, da incidência da assimetria SKI de amostras com e sem asfalto

A medida da curtose indica a razão de espalhamento médio das caudas da distribuição, em relação ao desvio padrão.

Nesta medida, as curvas normais têm valor $K_g = 1$.

Os valores de K_g , para as amostras com asfalto estão entre 2,810 e 1,048 e as amostras sem asfalto entre 7,900 e 0,552. Apesar de terem, as amostras sem asfalto, uma distribuição mais ampla, a maioria dos valores para os dois grupos de amostras, é em torno do valor 1, sendo então as curvas representativas, do tipo normal.

8-2 - Resumo dos resultados das análises granulométricas

De acordo com Griffiths (1952) três são os fatores ou "variáveis" que obtidos, nas análises granulométricas, determinam as propriedades das rochas em geral, e fixam em particular o comportamento das rochas armazenadoras. Esses fatores são os grupos de granulação maior de 3 ϕ entre 3 e 6 ϕ e inferior a 6 ϕ . Para esse autor, a quantidade relativa de silte e argila de um sedimento, é de grande importância para delimitar rochas - reservatórias potenciais.

Hume (1947), estudando a variação do teor de óleo das areias da Atabasca, chegou a conclusão que as areias de granulação grossa eram as mais ricas em teor de óleo, mas que porém, a dependência dos teores não depende totalmente da granulação.

Carrigy (1959) investigando os teores de óleo da Formação na Mc Murray, relacionados à granulação mostrou que as areias de granulação fina e boa seleção, possuem o mais alto teor em óleo, maior que areias muito finas ou silte pobrementemente selecionados.

O mesmo autor (1962) aplicando o método de análises de regressão a fatores quais o diâmetro mediano e a porcentagem de argila, nas areias petrolíferas da Atabasca,

Fig. 20 - Gráfico mostrando a relação entre as porcentagens de silte+argila e teores de asfalto

encontrou que 76% da variação do teor de óleo está condicionado ao diâmetro mediano e ao conteúdo de argila. A % da variança das duas variáveis mostrou que a porcentagem de argila, é o fator de maior importância na determinação da quantidade de óleo que o sedimento pode conter.

Essa última afirmação parece corresponder verdadeiramente aos arenitos estudados, como mostra o gráfico da Figura 20 de distribuição dos teores de asfalto das amostras preenchidas em função de quantidades de partículas inferiores a 0,062 mm.

Os pontos distribuem-se de maneira hiperbólica no campo.

Quanto maior é a quantidade de partículas de granulação correspondente a silte e argila, menor é a quantidade de asfalto.

CAPÍTULO 9

ARGILAS

De acordo com Carrigy, as profundidades dos minerais de argila, que interferem na acumulação e recuperação do óleo, são: 1 - absorção e retenção de moléculas de água; 2 - troca de bases e 3 - floculação e deflocação.

Deriva que tipos particulares de argila podem absorver e imobilizar grandes quantidades de água e diminuir a permeabilidade das rochas, impedindo então a impregnação pelo óleo quando a quantidade de argila é alta.

Sabe-se que entre os três grandes grupos de argila caulinitas, ilitas e montmorilonitas, os minerais da caulinita são os mais estáveis devido à estabilidade de sua estrutura interna.

O retículo da montmorilonita é relativamente instável, o que possibilita a absorção de grande quantidade de água. Essa propriedade é muito importante em problemas relativos à acumulação e recuperação do óleo.

Determinação de tipos de argilas de algumas amostras dos afloramentos asfálticos, com auxílio de difração de raio X, mostraram que os minerais de argila presentes pertencem aos grupos de caulinita e montmorilonita. A caulinita está essencialmente presente nas argilas dos depósitos de Porto Martins e Anhembi, a montmorilonita é mineral de argila preponderante nas jazidas de Piapara, Bofete, Itatig, Nhaiva e SOBAR. Esse mineral confere a cor verde-amarelada aos sedimentos dessa localidade. Acreditamos que a ocorrência de minerais montmoriloníticos deve ter tido um papel importante no armazenamento do asfalto em níveis ricos desse mineral.

CAPÍTULO 10

ARREDONDAMENTO

Objetivo do estudo do arredondamento de grãos de amostras com e sem asfalto, foi de verificar, se esta variável, influi de qualquer maneira, na distribuição dos teores de asfalto.

Os graus de arredondamento dos grãos foram determinados na lupa por comparação visual com tabelas padrões, usando-se para tal a carta de Krumbein (1941). Para cada amostra, a determinação foi feita, nas frações 0,250-0,177 mm e 0,177 - 0,125 mm. Os resultados conferem com os obtidos por Vieira de Carvalho (1954) para grãos de Are^unito Botucatu.

De maneira geral, as amostras estêreis possuem grau de arredondamento maior que as amostras preenchidas. Graus de arredondamento e teores de asfalto estão relacionados na Figura 21.

10-1 - Calcimetria

O conteúdo percentual de CaCO_3 foi determinado em 10 amostras utilizando-se um aparelho similar ao de Chittick (Dreimanis, 1962) sem correções para a temperatura e pressão. As amostras analisadas (5) pertencem à camada de base da jazida de Anhembí, e as outras ao trecho calcífero do afloramento de Porto Martins. Elas já haviam sido testadas durante o trabalho de campo com ácido clorídrico diluído 1:5 e separadas para a determinação. Feitas as determinações verificou-se uma calcimetria máxima de 45%, mínima de 6% e média de 20%.

Esses dados referem-se ao teor de amostra solúvel em HCl, sendo o restante insolúvel em ácido a frio.

Fig. 21 - Gráfico mostrando a relação entre grau de arredondamento e teores de asfalto das frações 0.250-0,177 mm e 0,177-0,125 mm, de amostras com asfalto.

O calcário apresenta-se como grãos detriticos e com posterior solubilização e precipitação formando, em último caso, cimento calcífero (Foto 25).

10-2 - Porosidade

Em uma rocha inconsolidada ou pouco consolidada, as duas propriedades que controlam o teor de óleo, são a quantidade total de poros e a forma dos vazios intergranulares (Carrigy, 1962). A porosidade é a porcentagem dos vazios por unidade de volume. Segundo Shenhav (1971), em rochas com cimento, os fatores que mais influenciam a porosidade são a quantidade e a natureza do cimento.

De grande importância é o estudo da variação de porosidade e permeabilidade em relação aos arenitos asfálticos. Na impossibilidade prática da determinação da porosidade efetiva, nas amostras consideradas foi feita a medida da porosidade total. Foi utilizado o volumímetro de Russel, segundo a descrição de Krumbein (1938), e os valores da porosidade total, foram encontrados aplicando a fórmula:

$$P = \frac{V_t - V_s}{V_t} / 100$$

sendo V_t o volume total da amostra e V_s o volume da amostra moída.

O gráfico da frequência da Figura 22 mostra o valor máximo de frequência para amostras sem asfalto entre o 35 e 40 do valor da porosidade total. Para amostras com asfalto, o valor máximo da frequência corresponde a valores de porosidade de 45 a 50%.

Valores da porosidade efetiva de arenitos asfálticos foram referidos por Roncaratti (1971) relativamente ao poço 9 PAA-I-SP, segundo quatro profundidades e litologias diferentes.

Esses valores são:

Fig.22 - Frequência em porcentagem da porosidade de amostras com asfalto e sem asfalto

Fig.23 - Gráfico mostrando a relação entre mediana e desvio padrão de amostras com asfalto e sem asfalto. As amostras com asfalto estão localizadas no campo areia média e areia fina, com seleção de muito boa a moderada

Porosidade ef. 31,89% em arenito fino saturado com óleo a profundidade de 21,60 m.

Porosidade ef. 26,31% em arenito fino a profundidade de 26,80 m.

Porosidade ef. 26,04% em arenito fino siltico saturado com óleo, a profundidade de 35,90 m.

Porosidade ef. 20,38% em arenito fino argiloso saturado com óleo, a profundidade de 49,10 m.

Segundo Levorsen (1964, in Suguio, 1972), o valor de porosidade efetiva pode ser de 5 a 10% menor que a porosidade total. Esse valor aumenta em profundidade, acompanhando a compactação e cimentação dos sedimentos. Considerando todos esses fatores, pode-se afirmar que os valores encontrados conferem com os obtidos por Roncaratti.

CAPÍTULO 11

DADOS QUÍMICOS E GEOQUÍMICOS

11-1 - Extração

Para se promover a separação entre os componentes das rochas originais foi escolhido um tipo de extração não reativa (Costa Neto, 1971), por solventes orgânicos. De acordo com Tourtelot e Frost (1965), a qualidade da extração depende da quantidade e tipo de solvente, da granulação da amostra e da duração do tempo de extração. A escolha do solvente orgânico ficou sendo condicionada pelas características do óleo, volatilidade, toxicidade, facilidade de manipulação e preço. Para separar o asfalto do arenito, o tetracloreto de carbono presta-se muito bem. Mais difícil é a extração do óleo do Folhelho Irati. Foram feitos testes com solventes de diferentes polaridades e diferentes proporções. Foram experimentados benzeno, hexano, misturas de benzeno-hexano-metanol, e misturas de benzeno-hexano em várias proporções. A melhor extração obtida foi com a mistura de benzeno-hexano 1:1, dando um teor de óleo de 1,31% em peso, para uma amostra de folhelho do Km 153 da Rodovia Castelo Branco. Esse valor corresponde ao citado na literatura (Padula, 1968).

As amostras de arenito são preparadas da seguinte maneira: após desagregação manual e secagem na estufa, em temperatura inferior a 50°C durante duas horas, a amostra é pesada, colocada em cartucho de papel filtro, coberto com espesa camada de algodão para evitar perda de partículas finas durante o ataque pelo solvente. Em seguida, o material é colocado em soxhlet, até extração completa do asfalto. O tempo de extração varia de 4 até 20 dias para cada amostra.

Após a extração, o cartucho com a amostra é re

tirado do soxhlet. Possíveis traços de solvente são removi dos por lavagem com álcool, e posteriormente água destilada. Seca-se na estufa, e pesa-se. A diferença de peso da amostra, antes e depois da extração, dá o teor de asfalto. O resíduo inorgânico é utilizado para análise granulométrica. O solvente é retirado do asfalto mediante evaporação a banho-maria, e com jato de ar, em capela. O asfalto assim obtido, possui cor de marrom a preto, levemente avermelhado, consistência muito viscosa a sólida, e com cheiro característico. O óleo do Folhelho Irati apresenta-se pouco viscoso, mas tem a mesma cor e o mesmo cheiro do asfalto.

11-2 - Elementos traços

Segundo Bonham (1956) vanádio e níquel estão presentes como complexos metalo-orgânicos, chamados porfirinas, concentrados nas frações mais pesadas do óleo. A ocorrência de metalo-porfirinas na fração asfáltica dos petróleos foi descoberta por Treibs (1934).

A associação das porfirinas com compostos de alto peso molecular auxilia a entender a história da migração do óleo. De acordo com Nagy (1959), os movimentos de fluidos através dos poros das rochas é acompanhado pela tendên-cia de fixação de constituintes polares e de alto peso molecular, enquanto que frações mais leves, não polares, passam através dos vazios sem serem impedidas.

Hodson e Baker (1959), concluíram que durante a migração, asfaltenes e resinas poderiam ser retidas nos poros das rochas. É assim esperada uma diminuição de concentração de vanádio e níquel ao longo do eixo de migração do óleo.

Os elementos traços, em óleos, podem ser removidos através de vários processos. Costantinides et al (1959), estudando o efeito da oxidação e degradação termal em complexos metalo-porfirínicos em óleos, descobriram que as porfirinas são destruídas em temperaturas superiores a 200°C, e são degradadas em condições fortemente oxidantes.

Determinação e contagem de vanádio foram efetuadas em algumas amostras de asfalto, em locais escolhidos e nas três amostras de betume da Formação Irati. As análises foram feitas na Divisão de Radioquímica do Instituto de Energia Atômica. Foi aplicado o método de ativação com neutrons, por irradiação de 5 mg de substância durante 15 segundos, e sucessiva contagem em analisador de raios gama acoplado a um cristal de NaI ou Ge-Li. Padrões contendo quantidades conhecidas de vanádio, são irradiados contemporaneamente e contados nas mesmas condições que as amostras.

Os valores das quantidades de vanádio das três amostras de betumes do Irati, variam de um mínimo de 2,90ppm para o pirobetume do km 153 da Rodovia Castelo Branco, 36,66 ppm do betume do calcário da localidade Fonte Monte Cristo, a 39,47 ppm para o betume do calcário metamorfizado da pedreira do Sr. Vitti, em Assistência.

Os valores de vanádio para os asfaltos aproximam-se mais aos valores obtidos para o conteúdo do elemento no betume obtido do calcário, que do folhelho. Valores de vanádio próximos aos valores obtidos para o betume dos folhelhos foram verificados em três amostras da jazida de Porto Martins, igualmente distanciadas a partir do dique.

Valores diferentes (32,10 e 11,52 ppm) foram obtidos para asfaltos de duas amostras de Piapara, a primeira coletada no afloramento da margem direita do rio Alambari, e a segunda na margem esquerda.

A grande diferença nesses resultados sugere duas fontes diferentes para a origem do asfalto. Poderíamos admitir ainda uma fonte única e contínua com uma movimentação do óleo de NNE a SSW.

As análises de duas amostras coletadas no km 174,5 da Rodovia Castelo Branco, deram como resultados os valores 50,53 e 45,54 ppm, diminuindo a quantidade a partir do sítio próximo ao diabásio. A mesma variação (56,99 e 52,80 ppm) foi obtida para duas amostras da jazida de Nhaiva, nas

quais o valor mais alto é da amostra coletada próxima ao dia básio. Mas o resultado mais interessante foi obtido para quatro amostras da área de Anhembi. Três delas provêm de afloramentos situados segundo a direção NW-SE, sendo a localização da quarta deslocada para o norte. Os valores do vanádio diminuem do oeste para leste, e para o norte, indicando migração do óleo nessa direção, e confirmando com os da dos tectônicos ao longo do flanco norte do alto estrutural de Anhembi.

11-3 - Espectros de absorção de infravermelhos

Para comprovar que o asfalto se originou dos betumes e pirobetumes do Irati, foram efetuados espectros na região do infravermelho de amostras oportunamente escolhidas (Figuras 24 a 32).

De acordo com Hasting (1952) foi considerada a absorção nas regiões 3-3,5 micra para as parafinas 6,5-7,5 micra para os naftenes, e 12,5 - 14,3 micra para os hidrocarbonetos aromáticos.

Em vista da superposição total dos espectros conclui-se que todas as amostras têm a mesma origem.

Fig. 24 - Espectro de absorção de infra-vermelho da amostra So2 (asfalto de arenito)

Fig. 25 - Espectro de absorção de infra-vermelho da amostra Cb30.(asfalto de arenito)

Fig. 26 - Espectro de absorção de infra-vermelho da amostra Pi5 (asfalto de arenito).

Fig.27 - Espectro de absorção de infra-vermelho da amostra An34 (asfalto de arenito)

Fig. 28 - Espectro de absorção de infra-vermelho da amostra AN2 (asfalto de arenito)

Fig.29 - Espectro de absorção de infra-vermelho da amostra PM4 (asfalto de arenito)

Fig. 30 - Espectro de absorção de infra-vermelho da amostra Gel7 (betume do calcário Irati da fonte Monte Cristo)

Fig.31 - Espectro de absorção de infra-vermelho da amostra Ca-I(betume de calcário metamorfozizado Irati, Pedreira do Sr.Vitti,Assistência)

Fig. 32 - Espectro de absorção de infra-vermelho da amostra Km 153 (pirobetume do folhelho Irati)

CAPÍTULO 12

MECANISMOS DE MIGRAÇÃO DO ÓLEO

Segundo Abraham (1960) existem cinco causas para explicar o movimento de substâncias betuminosas nas rochas sedimentares.

Essas causas seriam:

1 - Pressão hidrostática. A pressão hidrostática favorece a migração do petróleo que flutua acima do lençol freático, por causa do menor peso específico. Quando o nível hidrostático varia o óleo movimenta-se nos interstícios das rochas. A água tende a empurrar o óleo nos lugares mais altos; isso explica a acumulação de asfalto em sedimentos ou solos em lugares próximos ao topo de morros ou elevações. Quando a água apresenta alta salinidade, favorece a migração de massas de asfalto. Este fenômeno pode ser observado no Mar Morto.

2 - Pressão de gás. A ação do calor tende a vaporizar determinados tipos de betumes, e a pressão de gás resultante forçaria os produtos fluidificados a subir em camadas superiores. Falhamentos e/ou dobramentos levantariam os sedimentos oleíferos, auxiliando a ação da pressão gasosa na subida do betume até à superfície.

3 - Capilaridade. É a força que empurra betumes fluidificados pelo calor a entrar nos poros das rochas. Menor o tamanho dos poros, maior deve ser a força de capilaridade. As rochas saturadas de água resistem à ação da força de capilaridade que é efetiva em rochas secas.

4 - Forças gravitacionais. O peso das camadas superpostas aumenta a pressão de acumulações de betume em subsuperfície. Se ocorrem falhamentos ou fraturamentos, o betume sendo mais leve que as rochas encaixantes é forçado

a subir em superfície.

5 - Efeito do calor. O calor é fator importante na migração de asfaltos e betumes. Seu efeito é variável. Em determinadas condições, transforma o betume sólido em estado líquido, permitindo poder-se utilizar as forças mencionadas acima. Em outras condições o calor interno vaporiza o betume que é forçado a subir. Se o calor for suficientemente intenso, a destilação destrutiva é favorecida, e o destilado pode condensar em camadas superiores frias.

Segundo Washburne (1930) a influência das rochas ígneas na acumulação do asfalto das ocorrências do Estado de São Paulo é de fundamental importância. Esse autor refere que as rochas ígneas teriam influenciado a ocorrência de óleo de três maneiras:

- 1 - O calor das lavas teria destruído o óleo.
- 2 - Os diques teriam funcionado como canais para o escoamento do óleo através das camadas.
- 3 - O calor das intrusivas teria destilado o óleo do material sólido orgânico da Formação Irati.

Relativamente à segunda hipótese, Florence e Pacheco (in Washburne, 1930) anteriormente tinham observado a associação de afloramentos asfálticos e diques de diabásio. Concluíram, então, que fraturas ao longo das paredes dos diques teriam permitido a subida do óleo dos folhelhos pirobetuminosos do Irati, através as camadas da Formação Estrada Nova, até o Arenito Piramboia. Washburne confirma a mesma hipótese, porém com restrição à aplicabilidade do processo quando o asfalto forma grandes depósitos, como em Porto Martins. De qualquer maneira não há dúvida que o óleo teria migrado ao longo dos diques, pois resíduos de óleo ocorrem em vesículas e juntas de diabásio em algumas localidades.

Pela terceira hipótese, o calor das intrusões ígneas teria produzido o óleo pela destilação destrutiva da matéria orgânica do Folhelho Irati. Também Baker (1924, in

Washburne) que estudou as possibilidades de óleo da Bacia do Paraná, acredita que essa foi a maneira de ter-se gerado o óleo.

Existem poucos dados, na literatura, relativos a ordem de temperatura das intrusivas básicas da Bacia do Paraná.

Fúlfaro (1970) admite temperaturas superiores a 850°C para os diabásios da região de Angatuba.

Amaral (1970) durante observações sobre o efeito do metamorfismo optático das rochas calcárias da Formação Irati, refere à ocorrência de quatro minerais neo-formados pelo metamorfismo optático. Esses minerais são: grafita, diopsídio, um terceiro mineral provavelmente pertencente ao grupo das cloritas e hidromagnesita.

De acordo com Abraham (1960), temperaturas entre $300-450^{\circ}\text{C}$ causariam, início de despolimerização e solubilização de pirobetumes asfálticos. Aquecimento de $450-700^{\circ}\text{C}$ provocaria despolimerização das moléculas, produzindo destilados de hidrocarbonetos de cadeias abertas e resíduo de coke.

Pesquisas de vanádio, em algumas amostras dos asfaltos estudados, confirmaram a ocorrência desse elemento traço nos asfaltos e no óleo do Irati. Vanádio e níquel são presentes em moléculas orgânicas complexas chamadas porfirinas. Costantinides et al. (1959), estudando o efeito do calor nos complexos porfirínicos contendo esses elementos traços, encontrou que um severo tratamento térmico, causa a decomposição de complexos porfirínicos-metálicos e a destruição do elemento. A temperatura limite para o desaparecimento do elemento parece ser de 200°C . Por outro lado a possibilidade de uma introdução secundária de metais durante a migração do óleo é altamente improvável (Hodgson et al., 1959).

Se houve, então, influência da temperatura na fluidificação do óleo do Irati para formar o asfalto, esta deve ter sido inferior a 200°C . Gonçalves e Schneider (1971), tentaram aplicar, para a gênese do asfalto do Estado de São

Paulo, o mesmo mecanismo que Vidgrass (1968) admite como responsável pelos grandes depósitos asfálticos da Atabasca.

Segundo os mesmos autores, observa-se em São Paulo ocorrência generalizada de óleo livre na Formação Irati, preenchendo alvéolos, fraturas e delgados níveis de síltes arenosos.

Provavelmente, os hidrocarbonetos se formaram logo após as extrusões básicas, época em que houve aumento geral das condições termodinâmicas. Nessa ocasião, houve condições de fluxo hidrodinâmico de dentro para fora da bacia, ocasionado pela água oriunda da desidratação das argilas. O fluxo carregou o óleo, ainda imaturo, sob forma micelar e em solução aquosa, alcançando o Piramboia, através de falhas ou fraturas. A separação e concentração dos hidrocarbonetos, em sítios preferenciais, deu origem aos depósitos. Estes então não são sítios para onde os hidrocarbonetos tenham migrado, em fase fluida contínua; são locais de precipitação de hidrocarbonetos, antes contidos no meio aquoso. Como os fluxos hidrodinâmicos são influenciados pelas estruturas, houve um certo controle estrutural no posicionamento das impregnações.

Achamos conveniente admitir a ação de um conjunto de fatores que teriam facilitado a remobilização do betume do Irati, até chegar às camadas do Arenito Piramboia. Sem dúvida a ação do calor deve ter sido importante. O mecanismo que teria levado ou melhor trazido em superfície o asfalto de camadas inferiores, seria a força de capilaridade ou a força de pressão. Falhamentos e fraturas poderiam facilitar a locomoção do óleo. Pequenas variações de permo-porosidade impediram o óleo de penetrar em camadas, zonas ou lâminas, onde a granulação é mais fina, dando o aspecto laminado ou listrado aos sedimentos. Isso significa que o óleo era muito viscoso desde sua recolocação. As condições de pressão deviam ser baixas, não tendo o óleo a força de entrar para dentro de zonas pouco menos porosas, embora ainda com alto valor de porosidade.

CAPÍTULO 13

CONCLUSÕES GERAIS

1 - Com exceção do arenito asfáltico de Jacutinga, que pertence à Formação Tatui, todos os outros arenitos asfálticos pertencem a níveis preenchidos da Fácies Piramboia, do Arenito Botucatu.

2 - Há uma estreita relação entre a tectônica da área estudada e a localização dos afloramentos asfálticos. O afloramento da Sobar está situado num dos flancos do alto estrutural de Carlota Plenz. As jazidas da Itatig e da Nhaiva, do Morro de Bofete, de Piapara e de Porto Martins, estão localizadas em áreas falhadas, onde são frequentes diques de diabásio. Os afloramentos de Anhembi estão localizados em um flanco do alto estrutural do mesmo nome. A localização do asfalto, em determinados níveis, está assim subordinada à tectônica da região.

3 - As estruturas sedimentares que ocorrem nos arenitos são típicas de ambiente aquoso. Elas são realçadas pelo preenchimento pelo asfalto. Subordinadamente ocorrem estruturas de preenchimento, que poderiam dar sugestões quanto ao sentido de migração do óleo. Segundo essas feições, no afloramento de Porto Martins, a movimentação do óleo, ter-se-ia dado do dique de diabásio para o oeste.

4 - O estudo granulométrico de arenitos asfálticos definiu dois grupos de rochas: um grupo de arenitos com teor de argila inferior a 7%, granulação de média a fina, de bem selecionado a moderadamente selecionado, diâmetro médio e mediano correspondentes a granulação de areia média a fina, valores de grau de arredondamento médio ao redor de 0,520 para a fração 0,250-0,177 mm.

Outro tipo de rochas abrange arenitos silti

cos, siltito arenoso, siltito argiloso e silitos. Os silitos arenosos e argilosos geralmente constituem as camadas basaís ou que capeiam os afloramentos. Os arenitos desse último tipo apresentam maior quantidade de silte e argila, granulação de fina a muito fina, baixo grau de selecionamento. O arredondamento, para a fração 0,250 - 0,177 e maior ou em torno de 0,55.

5-O asfalto preenche exclusivamente os poros dos primeiro grupo de arenitos. Uma das causas que impediu a entrada do asfalto nas camadas de base e topo, foi a granulação menor, e a quantidade maior de silte e argila. O fator que dificultou e impediu o preenchimento nas camadas estéreis dentro no arenito preenchido, não é portanto a menor granulação dos sedimentos dessas camadas, mas a maior quantidade de argila.

6-O mais alto teor de asfalto foi encontrado em uma amostra de arenito maciço com preenchimento homogêneo, coletada em um dos afloramentos da margem direita do rio Alambari, próximo ao povoado de Piapara, sendo superior a 14%. Nos arenitos maciços de outros afloramentos, também apresentando preenchimento homogêneo, o valor do teor de asfalto está compreendido entre 12 e 13%. Valores inferiores de teor de asfalto caracterizam níveis com preenchimento laminado, listrado e mosqueado.

Amostras do Arenito Piramboia, coletadas em alguns lugares afastados dos afloramentos asfálticos, quando submetidas a um exame microscópico, revelaram a existência de traços de asfalto nas fraturas e nas cavidades dos grãos. Essas mesmas amostras, apresentam-se estéreis, ao exame macroscópico.

Como se sabe, os arenitos grosseiros da fácies avermelhada redescritos por Thomaz (1971) possuem ausência de níveis de baixa permo-porosidade que teriam retido o óleo. O afloramento da Fazenda Sobar é largamente capeado por arenito siltico-argiloso esverdeado e montmorilonítico.

Esse teria sido, provavelmente, o fator que interceptou a migração do óleo.

7 - Sondagens recentemente efetuadas na área de Jacutinga confirmaram o controle exclusivamente estratigráfico da distribuição do asfalto nessa área. O óleo preenche os poros do arenito grosseiro da Formação Tatuí, de lentes arenosas contidas nas camadas de siltitos-argilosos, que funcionou como "trapp" do asfalto.

Também em todos os outros afloramentos, as camadas de siltito-argiloso funcionam como armadilhas para reter o asfalto. No afloramento de Porto Martins, o preenchimento pelo asfalto é interrompido bruscamente no contato com o diabásio. Poder-se-ia pensar que o diabásio funcionou como barreira, durante a fase de migração do óleo. Entretanto, o arenito existente no outro lado do dique, e que apresenta uma granulação grosseira, não apresenta níveis impermeáveis, que poderiam funcionar como "trapp". Talvez o óleo teria migrado até encontrar as camadas síltico-argilosas da Formação Estrada Nova, sobre as quais ter-se-ia recolocado. Em Anhembi, além do grande afloramento do Betumito, foram encontrados outros afloramentos, dois dos quais estão alinhados na mesma direção (NNE) da pedra do Betumito. Os poços PAA-13-SP e PAA-14-SP, locados próximos à pedra, e segundo a sua frente, encontraram níveis asfálticos bem preenchidos. (O poço PAA-14 apresenta 80 metros de Arenito Pirambóia bem preenchido).

Uma terceira perfuração, locada a cerca de 300 metros a leste do alinhamento das duas precedentes não encontrou asfalto nos arenitos. Deduz-se que o armazenamento do asfalto é estreitamente estratigráfico.

8 - Os valores da porosidade das amostras analisadas é alto. Em determinadas condições, como nas camadas estereis próximas às bordas dos afloramentos, não há variação acentuada entre porosidade de níveis arenosos com asfalto e sem asfalto. Isso indicaria que o asfalto na época de sua subida devia estar em estado bastante viscoso.

9 - Dados quantitativos de concentração de

vanádio, efetuados em amostras de asfalto e em betumes de sedimentos do Irati, indicam uma mais estreita relação entre concentração desse elemento no asfalto e no betume de calcário do que no folhelho. O asfalto proviria, então, quase que exclusivamente do betume do calcário e não do pirobetume do folhelho. Espectros de absorção na região do infra-vermelho também confirmam essas hipóteses.

10 - A remobilização do betume do Irati teria sido devida à força de capilaridade, e ou à força de pressão que obrigam o betume solubilizado pela ação do calor das intrusivas básicas, a subir. A temperatura de solubilização devia ser baixa, o que é indicado pela ocorrência de elementos traços. Falhamentos e fraturamentos teriam facilitado a locomoção do óleo. A migração do óleo, segundo determinações quantitativas de vanádio, teria-se dado a partir dos diques, nos afloramentos associados a falhamentos e ocorrências de diabásio, e nos flancos dos altos estruturais para as ocorrências associadas a esse tipo de estrutura. Há assim confirmação de dados tectônicos através de dados geoquímicos.

BIBLIOGRAFIA

- ABREU, S.F. (1940) - Pesquisa e exploração do petróleo - Cia. Editora Nacional - São Paulo.
- ABREU, S.F. (1949) - Brazilian Oil Fields and Oil Shale Reserves - A.A.P.G. Vol. 33 - nº 9.
- ALMEIDA, F.F.M.de (1950) - Uma família de crustáceos bivalvos do Arenito Botucatu no Estado de São Paulo - DNPM-DGM - Bol. nº 134 - Rio de Janeiro.
- ALMEIDA, F.F.M.de (1964) - "Grupo São Bento" - Em: Geologia do Estado de São Paulo - Bol. I.G.G. nº 41 - São Paulo.
- BIGARELLA, J.J. e SALAMUNI, R. (1962) - Caracteres texturais dos sedimentos da Bacia de Curitiba - Bol. Univ. Fed. do Paraná, Geologia nº 7, Curitiba.
- BONHAM, L.C. (1956) - Geochemical investigation of crude oil. A.A.P.G. Vol. 40 - nº 5, pp. 897-908.
- BÓSIO, N.J. (1972) - A Formação Botucatu na região de São Pedro (São Paulo) - XXVI Congresso da SBG - Belem - Resumo das comunicações.
- BRAMBATI, A. (1969) - Caratteristiche sedimentologiche dei depositi sabbiosi dei corsi d'acqua tributari dell'Adriatico settentrionale tra Venezia e Trieste e loro relazioni com la linea delle risorgive - Studi Trentini di Scienze Naturali Sez. A, Vol. XLVI, nº I, pp. 11-29.
- CARRIGY, M.A. (1962) - Effect of texture on the distribution of oil in the Athabasca oil sands, Alberto, Canadá. Journ. of Sed. Petrol. V. 32, nº 2, pp. 312-325.
- CARVALHO, A.M.V. de (1954) - Contribuição ao estudo petrográfico do Arenito Botucatu, Estado de São Paulo - Bol. S.B.G. nº 3 (1).
- COLLON, A. (1897) - Le Pétroles dans les environs du Mont de Bofete et de Porto-Martins, dans l'Etat de São Paulo - IGG - Memória Histórica - 1970 - São Paulo.
- CONSELHO NACIONAL DO PETRÓLEO (1949 a 1953) - Relatório anual do diretor - Rio de Janeiro.

- COSTA NETO, C. (1971) - Química do Xisto do Irati - Conferências do Simpósio sobre ciências e tecnologia do xisto. - Curitiba, Paraná.
- COSTANTINIDES, G., ARICH, G. and LOMI, C. (1959) - Detection and behaviour of porphyrin aggregates in petroleum residues and bitumens - Proc. Fifth World Petr. Cong. V, 131-142.
- FERGUSON, W.S. (1962) - Analytical Problems in Determining Hydrocarbons in Sediments - A.A.P.G. Vol.46, nº 9 - pp. 1613-1620.
- FOLK, R.L. and WORD, W.C. (1957) - Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters - Jour. Sed. Petrol. nº 27, pp.3-6.
- FÚLFARO, V.J. (1970) - Contribuição à Geologia da Região de Angatuba - Estado de São Paulo - DNPM - bol. nº 253.
- FÚLFARO, V.J. (1971) - A evolução tectônica e paleogeográfica da bacia sedimentar do Paraná pelo "Trend Surface Analysis" - EESC - Publicação nº 14.
- FÚLFARO, V.J. (1972) - The Paraná Basin Permian and Lower Mesozoic Stratigraphic Sucession - Resumos das conferências do Simpósio Internacional do Sistema Carbonífero e Permiano na América do Sul, São Paulo - pp.26-27.
- GOL'DBERG, I.S. (1967) - Petroleum Bitumens associated with alkalic-ultrabasic dike Rocks of the Maymecha-Kotuy magma province - Doklady Akademii Nauk. SSSR, V 172, nº I, pp. 191-194.
- GONÇALVES A. e SCHNEIDER, R.L. (1971) - Estudo estrutural da base do Membro Piramboia, Região de Angatuba. Guareí. Conchas e São Pedro, SP - Relatório DESUL nº 401-Petrobrás.
- GRIFFITHS, J.C. (1946) - Clay reserch and oil development problems - Jour. Inst. Petroleum, v.32, pp.18-31.
- GRIFFITHS, Y.C. (1952) - Grain-size distribution and reservoir rock characteristic - A.A.P.G. Vol.36, nº 2, pp. 225-229.

- HASTINGS, S.H., WATSON, A.T., WILLIAMS, R.B., ANDERSON JR., J.A.
(1952) - Determination of Hidrocarbon Functional Groups by Infrared Spectroscopy - Anal.Chem.V.24, nº 4, pp.612 - 619.
- HODGSON, G.W. (1954) - Vanadium, Nickel, and Iron Trace Metals in Crude Oils of Western Canada - AAPG - Vol.38, nº12, pp. 2537-2554.
- HODGSON, G.W. and BAKER, B.L. (1959) - Geochemical aspects of petroleum imigration in Pembina, Redwater Joffre and Lloydminster oil fields of Alberta and Saskatchewan, Canada - AAPG - Vol.43 nº 2 - pp. 311-328.
- HUME, G.S. (1947) - Results and significance of drilling operations in the Athabaska bituminous sands: Trans.Can. Inst. Min. Met., Vol.50, pp.298-333.
- INGRAM, R.L. (1954) - Terminology for the Thickness of stratification and parting in sedimentary rocks - Geol.Soc. Am. Bull. 65, pp.934-938.
- KRUMBEIN, W.C. and PETTIJOHN, F.J. (1938) - Manual of sedimentary Petrography - Appleton - Century Crofts Inc. N.J.
- KRUMBEIN, W.C. and SLOSS, L.L. (1964) - Stratigraphy and sedimentation - 2 nd ed. - San Francisco -W.H.Freeman and Co.
- LANDIM, P.M.B. (1970) - O grupo Passa Dois(P) na Bacia do Rio Corumbatai (SP) - DNPM-DGM, Bol. 252.
- LEINZ, V. (1938) - Estudos petrográficos sobre os arenitos de Anhembi, SP - Miner.e Met. 2(11) 340-342.
- MCKEE, E.D. and WEIR, G.W. (1935) - Terminology for stratification and cross stratification in sedimentary rocks - Geol. Soc.Amer. - Bull. 64 - 381-390.
- MENDES, J.C. (1971) - As camadas Gondwânicas do Brasil e seus problemas - An. Acad. Bras. Ciencias 43.
- NAGY, B. (1959) - The Sedimentary Strata as or Cloromatographic Column - Reprints of the General Petroleum Geochemistry Symposium to be held at Fordham University during The Fifth World Petroleum Congress.
- NAGY, B. and GAGNON, J. (1961) - The Geochemistry of the Athabasca petroleum deposit I - Geochem.et Cosmoch. Acta v.23, pp. 155-185.

- OLIVEIRA, E.P. (1940) - História da Pesquisa do Petróleo no Brasil - Min.de Agric. Rio de Janeiro.
- PADULA, V.T. (1968) - Estudos geológicos da Formação Irati-Sul do Brasil - B.Tecn. Petrobrás, v.11, nº 3, Rio de Janeiro.
- PADULA, V.T. (1969) - Oil Shale of Permian Irati Formation Brazil - AAPG - v.53(3) - pp. 591-602.
- PARAGUASSU, A.B. (1969) - Estruturas sedimentares da Formação Botucatu - Res.Com. XXIII Congr.Soc.Bras.Geol.Núcleo da Bahia, Publ. Especial nº 1, pp.56-57.
- PASAGLIA, A.M. e LIMA, F.W. (1971) - Determinação de vanádio em petróleo e produtos derivados e catalizadores de craqueamento - SBPC - XXIV Reunião Anual - Resumo das Comunicações.
- PETTIJOHN, F.J. and POTTER, P.E. (1964) - Atlas and Glossary of primary sedimentary structures - Springer-Verlag, Berlin.
- REGO, L.F. de MORAES (1930) - A Geologia do petróleo no Estado de São Paulo - Min.de Agricultura, Ind. e Comércio - Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil - Bol. nº 46, pp.81-83.
- RITCHIE, A.S. (1968) - Natural cloromatography: A factor in Petroleum migration - AAPG - v.52, nº 1, p.197(abs).
- ROCHA CAMPOS, A.C. (1967) - The Tubarão Group in the Brazilian position of the Paraná Basin - Brazilian contribution to the Int.Symposium on the Gondwana Stratigraphy e Paleontology, pp.27-95, Curitiba.
- RONCARATTI, H. (1971) - Projeto Arenito Asfáltico - Relatório Desul 408 - Ponta Grossa, P.A. Petrobrás.
- SHENAW, H. (1971) - Lower Cretaceous Sandstone Reservoir, Israel: Petrography, Porosity, Permeability - AAPG - v. 55, nº 12, pp.2194-2224.
- SHEPARD, F.P. (1954) - Nomenclature based on sand silt-clay ratios - Journ.Sed.Petr., Vol.24, nº 3, pp.151-158.
- SOARES, P.C. (1972) - Arenito Botucatu e Piramboia no Estado de São Paulo - XXVI Congresso da SBG, Belém, Resumo das comunicações.

- SUGUIO, K. (1972) - Apostila de Sedimentologia - Centro Paulista de Estudos Geológicos - IG-USP.
- THOMAZ, A.F. (1972) - Controle estratigráfico e influência de movimentações estruturais na ocorrência de óleo asfáltico no Arenito Piramboia (Área Guareí-Carlota Plenz) - São Paulo - Relatório interno da Desul Ponta Grossa - Abril 1972.
- TOMASI, E. (1971) - Geologia estrutural da área da Fazenda Fortaleza (Guareí, Bofete) - Petrobrás - Relatório Desul nº 406.
- TOURTELOT, H.A. and FROST, I.C. (1965) - Extractable organic material in nonmarine and marine Shales of Cretaceous Age - U.S. Geol. Survey Prof. Paper, 5250, pp. D.73 - D.87.
- TREIBS, A. (1936) - Chlorophyll und Häminderivate in organischen Mineralstoffen. *Angewandte Chemie* 49, nº 38.
- VIGRASS, L.W. (1968) - Geology of Canadian heavy oil Sands. AAPG, v. 52, nº 10, pp. 1984-1999.
- WASHBURNE, C.W. (1930) - Petroleum Geology of the State of São Paulo, Brasil C.G.G. do Estado de São Paulo, Bol. nº 22.
- FRANZINELLI, E. (1972) - Concreções calcíferas do Arenito Botucatu - Resumo das Comunicações - SBPC - XXIV Reunião anual - São Paulo.

Foto 1 - Afloramento de Volta Grande, base do Arenito Asfáltico (Formação Estrada Nova).

??

Foto 2 - Jazida da Sobar, estratificação cruzada em Arenito Asfáltico.

Foto 3 - Jazida da Sobar, estruturas tubulares no arenito
asfáltico.

Foto 4 - Jazida Itatig arenito listrado na base da sequência
asfáltica.

Foto 5 - Jazida Itatig - Estratificação cruzada no arenito
asfáltico.

Foto 6 - Jazida Itatig - Preenchimento homogêneo em arenito
com estratificação cruzada.

Foto 7 - Jazida Itatig - Mosqueamento pelo asfalto no arenito estéril. Topo da camada.

Foto 8 - Jazida de Nhaíva - Arenito laminado.

Foto 9 - Jazida de Nhaíva - Pelotas de argila no arenito laminado e listrado com estratificação cruzada.

Foto 10 - Estratificação cruzada em lâminas perturbadas, bloco deslizado, pequenas pelotas de argila nas camadas basais.

Foto 12 - Jazida do Morro do Bofete, Km 174,5 da Rodovia
Castelo Branco, lado direito.

Foto 11 - Blocos de
deslize subaquá
tico em arenito
laminado e com
estruturas tubu
lares de areni
to estéril.

Foto 13 - Rodovia Castelo Branco, Km 174,5 - Veio cortando
camadas com preenchimento irregular, nota-se o
pequeno deslocamento dos blocos.

Foto 15 - Jazida de Anhembi, notar a escavação de canal no arenito argiloso,
e à esquerda a camada com estratificação cruzada tabular.

Foto 14 - Rodovia Castelo Branco, Km 174,5. Veio estéril cortando camada com preenchimento homogêneo.

Foto 16 - Jazida de Anhembi, concreções calcíferas.

Foto 17 - Jazida
Anhembi, gran-
de pelota de
argila no are-
nito.

Foto 18 - Porto Martins, vista da jazida, parcialmente co-
berta pela represa de B. Bonita,

Foto 19 - Porto Martins, arenito laminado com concreções calcíferas.

Foto 20 - Porto Martins, lente de arenito calcífero deformado.

Foto 21 - Porto Martins - Estrutura calcária no arenito laminado com bom preenchimento.

Foto 22 - Porto Martins - Detalhe do preenchimento ao lado direito da estrutura precedente.

Foto 23 - Porto Martins, microfalha no arenito laminado bem preenchido.

Foto 24 - Porto Martins - Preenchimento irregular pelo asfalto.

Foto 25 - Grãos de calcáreo e quartzo - Concreção calcífera de Porto Martins - (25 X, nícols paralelos).

Foto 26 - Asfalto cimentando grãos de quartzo - Jazida da Nhaíva (10 X - nícols paralelos).

E R R A T A

Onde se lê	Em	Leia-se
Geologia por Elena Franzinelli	Fig. 1	Geologia por S. Maia de Andrade e P. C. Soares
das figuras 4 e 5	p. 2, 9 ^a linha	das figuras 4, 5, 6, 7A, 7B, 8, 9, 10.
de cor cinzenta	p. 8, 25 ^a linha	de cores cinzenta,
e ainda na margem esquerda	p. 9, 4 ^a linha	e ainda nos leitos de seus afluentes da margem esquerda próximos a Anhembi.
Almeida (1954)	p. 13, 10 ^a linha	Almeida e Barbosa (1953), Almeida (1964) e Fúlfaro (1970).
curtos de água de grande competência, predominantemente	p. 15, 9 ^a linha	curtos de água de grande competência que teriam depositado camadas predominantemente arenosas,
em lajes com algumas grutas	p. 17, 25 ^a linha	em lajes em algumas grutas
além a elevação	p. 17, 34 ^a linha	além da elevação ...
de um riacho formando	p. 17, 36 ^a linha	de um riacho afluente da margem...
vazante	p. 18, 2 ^a linha	juzante...
180 m	p. 18, 3 ^a linha	180 m de comprimento
do qual corre um riacho	p. 19, 9 ^a linha	na base do qual, próximo a um riacho, afluente...
com pequenas argilas	p. 20, 7 ^a linha	com pequenas pelotas de argila
contínuas, bastante	p. 20, 11 ^a linha	contínuas mas bastante

Onde se lê	Em	Leia-se
afluente da margem direita do Rio Areia Branca	p. 20, 28 e 29 ^a linhas	afluente da margem direita do rio Guareí.
de espessura, no mesmo mergulho	p. 20, 34 ^a linha e p. 21, 1 ^a linha	de espessura é concordante com o mergulho
alteram	p. 21, 10 ^a linha	alternam
Figura 6	p. 22, 17 ^a linha	Figura 7A
Figura 6	p. 23, 11 ^a linha	Figura 7B
que ressaltada	p. 26, 7 ^a linha	que é ressaltada
de um bossoroca	p. 26, 35 ^a linha	de uma boçoroca
granulométrico	p. 29, 25 ^a linha	granulometria
Thomas (1971)	p. 32, 10 ^a linha	Thomas (1972)
acamada	p. 35, 10 ^a linha	acanalada
nas remobilizações	p. 36, 30 ^a linha	mas remobilizados
nas	p. 37, 2 ^a linha	as
foram constituídas	p. 43, 31 ^a linha	foram construídas
Folk and Ward (1937)	p. 44, 12 ^a linha	Folk and Ward (1957)
representativas nos sedimentos com ou sem asfalto	p. 44, 4 e 5 ^a linhas	representativas de sedimentos com e sem asfalto, foi feita uma representação em diagramas-zonas, como
Carrigy, as profundidades	p. 58, 3 ^a linha	Carrigy (1962), as propriedades
aos sedimentos dessa localidade	p. 58, 27 ^a linha	aos sedimentos dessas localidades

Onde se lê	Em	Leia-se
Treibs (1934)	p. 66, 17 ^a linha	Treibs (1936)
Hodson e Baker	p. 66, 25 ^a linha	Hodgson e Baker
Hasting (1952)	p. 68, 15 ^a linha	Hasting et al. (1952)
Vidgrass	p. 81, 1 ^a linha	Vigrass
ter-se-ia recolocado	p. 84, 19 ^a linha	ter-se-ia recolocado na lo- calidade Volta Grande
(1935)	p. 88, 27 ^a linha	(1953)
Cloromatographic	p. 88, 32 ^a linha	Cromatographic
Cloromatographic	p. 89, 32 ^a linha	Cromatographic
Shenaw	p. 89, 30 ^a linha	Shenhav

COMPLEMENTAÇÃO DA BIBLIOGRAFIA

ABRAHAM, H. (1960) - Asphalts and allied Substances. D. Van Nostrand Co. Inc. London.

ALMEIDA, F.F.M. de e BARBOSA, O. (1953) - Geologia das Quadriculas de Piracicaba e Rio Claro, Estado de São Paulo, Brasil. Div. Geol. Miner., Bol. 143, 96 p.

AMARAL, S.E. do (1971) Geologia e Petrologia da Formação Irati (Permiano) no Estado de São Paulo. Bol. IGA nº 2.

BÔSIO, N.J. (1970) Novas evidências sobre o ambiente de deposição do Arenito Botucatu. Resumo das conferências e comunicações. Bol. Espec. Nº 1 - XXIV Congresso Brasileiro de Geologia - Brasília

CARRIGY, M.A. (1959) The significance of a grain size classification of the sands of the Mc Murray Formation, Alberta. Proc. Fifth World Petroleum Congr., Vol. 1, pp. 575-579.

DREIMANIS, A. (1962) Quantitative gasometric determination of calcite and dolomite by using Chittick Apparatus. Journal of Sed. Petr., Vol. 32 , Nº 3, p. 520.

FÚLFARO, V.J. e BÔSIO, N.J. (1968) Novas observações sobre a faciologia do Arenito Botucatu no Estado de São Paulo. Resumo das comunicações XXII Congresso Brasileiro de Geologia - Belo Horizonte.

KRUMBEIN, W.C. (1941) Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles. Journal of Sed. Petrol., V. 11 , pp. 64-72.

MAPA GEOLÓGICO DE AFLORAMENTOS DE ARENITOS ASFÁLTICOS
Fácies Pirambóia (F. Botucatu)

LEGENDA

QUATERNÁRIO

Q - Aluviões

CRETÁCEO SUPERIOR

FORMAÇÃO BAURU

Kb - Arenitos, Arenitos calcíferos, Conglomerados

EOCRETÁCEO

GRUPO SÃO BENTO

FORMAÇÃO SERRA GERAL

Kjs - Eruptivos basálticos, Arenitos

FORMAÇÃO BOTUCATU

ARENITO BOTUCATU

Kjb - Arenitos

FÁCIES PIRAMBÓIA

Kjp - Arenitos, Arenitos argilosos, Arenitos silícios, Conglomerados
Arenitos asfálticos, Arenitos localmente calcíferos

PERMIANO

GRUPO PASSA DOIS

FORMAÇÃO ESTRADA NOVA

Pt, Pso - Siltitos, Argilitos, Arenitos, Calcários e Silix

FORMAÇÃO IRATÍ

Pi - Folhelhos e calcários probetuminosos, siltitos

PERMO-CARBONIFERO

GRUPO TUBARÃO

FORMAÇÃO TATUI

Ta - Siltitos, Arenitos localmente asfálticos

AI - Ponto de amostragem
♦ - Afloramento asfáltico
◇ - Exsudação de gás
⊕ - Poço perfurado
—+— - Contato definido
---+--- - Contato aproximado
---+--- - Contato encoberto
---+--- - Soleira
---+--- - Falha com parte encoberto
---+--- - Dique de diabásio
---+--- - Rio
---+--- - Represa
---+--- - Cidade
---+--- - Estrada de ferro
---+--- - Estrada de rodagem principal
---+--- - Estrada de rodagem secundária
---+--- - Rodovio

ORDEM DA GEOLÓGICA EM VTM - EQUADOR E MERIDIANO CENTRAL DE FUSO, ACRESCIDAS AS CONSTANTES 10000 KM E 500 KM RESPECTIVAMENTE

MAPA MODIFICADO DAS FÓLHAS PETROBRÁS - 1971

SF - 22 - X - II
SF - 22 - R - IV

Geologia por: ELIANA FRANZINELLI S. Maia de
Andrade e
P. C. Soares

Fig.2

S.G. DO AFLORAMENTO DA SOBAR

FIG. 4

JAZIDA DA ITATIG;

FIG. 5

P = Porosidade

C = Cor

t = Teor % pêsso

S. G. DA JAZIDA DA NHAIVA

FIG.6

MARGEM DIREITA DO RIO BONITO
RODOVIA CASTELO BRANCO - km. 174,5

0 = 20 metros acima do nível da rodovia

Fig. 7A

MARGEM ESQUERDA DO RIO BONITO

Fig. 7B

PIAPARA

MARGEM D. DO RIO ALAMBARI

MARGEM E. DO RIO ALAMBARI

NÍVEL DE BASE : LEITO DO RIO ALAMBARI

P=Porosidade
C=Cor
t = Teor % peso

SEÇÕES GEOLÓGICAS DA JAZIDA DE ANHEMBI

FIG. 9

AFLORAMENTO DE PORTO MARTINS

P = Porosidade
C = Cor
t = Teor de asfalto

NÍVEL DE BASE: NÍVEL DA ÁGUA DA REPRESA

FIG. 10