

NÃO CIRCULA

CONTRIBUIÇÃO AO CONHECIMENTO GEOLÓGICO,
PETROGRÁFICO E SEDIMENTOLÓGICO DA FORMAÇÃO IRATI NO
ESTADO DE SÃO PAULO

Sérgio Estanislau do Amaral



Tese apresentada ao Concurso de Livre Docência
da Cadeira de Geologia da Faculdade de Filosofia,
Ciências e Letras da Universidade de São Paulo.

- 1967 -

CAPH- 5/10/67

DEDALUS - Acervo - IGC



30900013333

ÍNDICE

	RESUMO	1
I	- INTRODUÇÃO	9
	1. Definição do Irati	5
	2. Finalidades do presente trabalho	7
	3. Trabalhos anteriores	8
	4. Agradecimentos	9
II	- MÉTODOS DE TRABALHO	11
III	- CARACTERES LITOLÓGICOS MACROSCÓPICOS DA FORMAÇÃO IRATI	14
	1. No Estado de São Paulo	14
	2. Nos demais estados	30
IV	- ESTRUTURA GERAL DA FORMAÇÃO IRATI	42
	1. Dados altimétricos	42
	2. Configuração dos falhamentos	43
	3. Influência das intrusões na estrutura	45
	4. Direção e inclinação do Irati	46
V	- ASPECTOS ESTRUTURAIS DA FORMAÇÃO IRATI	53
	1. Estruturas tectônicas	53
	2. Estruturas atectônicas de deformação	54
	3. Estruturas primárias sem deformação	59
	4. Estruturas secundárias de origem química	60
	5. Estruturas de origem orgânica	61
VI	- O PROBLEMA DO SÍLEX	70
	1. Estudos anteriores	70
	2. Distribuição geográfica do sílex do Irati	71
	3. Distribuição do sílex dentro das camadas do Irati	72
	4. Modos de ocorrência	72
	5. As prováveis origens do sílex	77
VII	- DOLOMITIZAÇÃO	81
VIII	- AS SUBSTÂNCIAS BETUMINOSAS DO IRATI	86

	1. Nas rochas calcárias	86
	2. Nos folhelhos	89
	3. Comportamento sob as radiações ultra violetas	90
	4. Odor	90
IX	- O EFEITO TÉRMICO DO DIABÁSIO SOBRE AS ROCHAS DO IRATI	91
	1. Estudos anteriores	91
	2. Descrição das ocorrências	91
	3. Aspectos macroscópicos dos calcários marmorizados	92
	4. Aspectos microscópicos dos calcários marmorizados	93
	5. Modificações das rochas pelíticas	95
	6. Comportamento do sílex e da calcedônia	96
X	- FEIÇÕES MICROSCÓPICAS DOS SEDIMENTOS DO IRA TI	97
	1. Rochas calcárias	97
	2. Folhelhos	100
	3. Sílex	103
	4. Resíduo insolúvel ao ácido clorídrico.	103
XI	- CONDIÇÕES DE SEDIMENTAÇÃO DO IRATI	107
	1. Idéias anteriores	107
	2. Condições tectônicas	108
	3. Condições climáticas	110
	4. Profundidade	112
	5. Condições físico-químicas do ambiente.	113
	6. Ambiente geográfico de sedimentação ..	116
	7. Considerações finais.....	123
XII	- CONCLUSÕES	126
	- BIBLIOGRAFIA	129

- RESUMO -

1. Apresentação -

No presente trabalho a Formação Irati é estudada sob o ponto de vista geológico, petrográfico e sedimentológico. Partindo dos estudos de gabinete e das observações de campo foram eventadas algumas hipóteses sobre as condições gerais, inclusive climáticas, em que se teriam depositado os sedimentos desta formação geológica. Dedicamos especial atenção à faixa existente entre Rio Claro, Piracicaba e Laranjal onde o estudo do Irati é facilitado pela existência de diversas pedreiras que exploram as rochas calcárias da base da citada formação.

2. Plano do trabalho -

Iniciamos o nosso trabalho pela descrição macroscópica das rochas do Irati, desde as ocorrências do Estado de São Paulo até às do Rio Grande do Sul. A seguir descrevemos os traços gerais da estrutura desta formação, para depois nos determos nas pequenas feições estruturais e nos estudos petrográficos mais pormenorizados. Entre estes citamos algumas observações sobre a dolomitização, silicificação, metamorfismo e ainda sobre o material betuminoso existente nas rochas calcárias. Finalizamos o nosso trabalho com as observações feitas ao microscópio petrográfico, para depois ponderarmos sobre algumas condições relativas ao ambiente de sedimentação.

3. Litologia -

Na faixa compreendida entre Rio Claro e arredores de Angatuba, no Estado de São Paulo, o Irati é constituído por um banco calcário (mais comumente dolomitizado ou mesmo de dolomito puro) de 2 a 3 metros de espessura, ora junto à base ora muito próximo a ela, tendo por cima cerca de 20 a 30 metros de um pacote constituído de camadas alternadas decimétricas de folhelho preto e calcário, mais comumente dolomitizado. Nos estados sulinos a litologia continua a mesma, porém,

distribuída de modo irregular, em espessuras mais heterogêneas. Tais aspectos são observados nos afloramentos, que parecem corresponder às regiões mais próximas das bordas da bacia. O Irati testemunhado nas partes mais centrais, mais profundas da bacia, difere do existente nos afloramentos quanto à distribuição e espessura das camadas, mas a litologia é sempre a mesma. A pirita finamente subdividida e o sílex sob a forma de nódulos, camadas ou lâminas acham-se sempre presentes, quer junto às rochas calcárias, quer junto aos folhelhos.

4. Estrutura geral -

As camadas mergulham suavemente para o interior da bacia, indicando a existência pretérita de um único lago, cujas margens correspondem aproximadamente aos locais onde atualmente aflora o Irati. No Estado de São Paulo, entre Limeira e Laranjal, as camadas do Irati têm direção N 35° E, com mergulho de 1° 20' para NW.

5. Estruturas menores -

As principais estruturas tectônicas do Irati consistem em falhamentos, enquanto que as atectônicas consistem em pequenas e localizadas dobras de 1 a 2 metros entre os flancos, produzidas por escorregamentos que se verificaram antes da consolidação das rochas. Outro efeito ainda destes escorregamentos consiste na formação de um a três níveis pouco espessos de brecha calcária intraformacional, existente no banco da base da formação em estudo.

6. O sílex -

O sílex existente no Irati foi gerado por vários processos e em diferentes tempo. Um deles se verificou antes da diagênese dos calcários, sendo portanto singenético. É provável ter-se a sílica derivado da dissolução de espículas silíceas de esponja, sendo posteriormente remobilizada.

7. A dolomitização -

A dolomitização foi em parte singenética, sendo provável ter-se dado também a dolomitização epigenética. Tais pro-

cessos afetaram em maior ou menor grau praticamente todos os calcários do Irati.

8. O metamorfismo -

O metamorfismo térmico das rochas calcárias (decorrente da intrusão de corpos de diabásio) é evidenciado pela recristalização e conseqüente aumento da granulação. Os raros minerais metamórficos encontrados são os seguintes: diop-sídio, grafita, apofilita e hidromagnesita. Foram pequenas as transformações sofridas pelos folhelhos, que unicamente perderam o carácter folheado.

9. Aspectos microscópicos -

A textura mais comum das rochas calcárias do Irati é a microgranular, sendo de 5 a 10 microns o tamanho mais comum dos cristais de calcita ou dolomita. Ocorrem subordinadamente calcarenitos de grãos oolíticos ou simplesmente ovóides ou esféricos, sem estrutura interna.

O resíduo insolúvel dos calcários consiste mais comumente em calcedônia finamente disseminada, por vêzes coalescida num esqueleto esponjoso. De um modo geral é rara a presença de argila no citado resíduo. São ocasionalmente encontrados, e às vêzes abundantes, esporos alados de gimnospermas junto ao resíduo insolúvel dos calcários, bem como, no interior de certos nódulos de sílex associados aos folhelhos pirobetuminosos. Podem ser também encontrados fragmentos de espículas silicosas monoaxônicas de esponjas, sendo contudo extremamente raros.

10. Ambiente -

A Formação Irati originou-se da deposição de sedimentos finos, ora calcários ora argilosos, em um grande lago situado em região aplainada e tectonicamente estável. Graças à estagnação das águas gerou-se um ambiente redutor, conservando-se parcialmente a matéria orgânica. O teor de níquel das cinzas do betume, mais o teor de boro nos folhelhos, além da presença de espículas de esponja e ainda outros argumentos adicionais nos levaram à conclusão de que êste lago se comuni-

cava com o mar na zona sul da bacia. As águas deveriam pene -
trar pela região central do lago e desviar-se para sudoeste na
área de São Paulo. O clima parece ter sido quente e pouco chu
voso durante a fase inicial do Irati no Estado de São Paulo ,
passando posteriormente a frio e chuvoso alternado com épocas
quente e sêcas.

-----/////

I - INTRODUÇÃO

1. Definição do Irati -

A Formação Irati, de idade permiana inferior, foi assim designada por I.C. White, quando estabeleceu a sua coluna das rochas gondwânicas do "Sistema de Santa Catarina", assunto publicado no seu Relatório Final de 1908. Alguns anos antes a Formação Irati já era conhecida e descrita como Série do Itapetininga por F.P. Oliveira (1889), da antiga Comissão Geográfica e Geológica. Muito embora o termo Itapetininga tenha prioridade, arraigou-se definitivamente à formação em estudo o nome de Irati, proveniente da cidade paranaense do mesmo nome, onde afloram os folhelhos pretos desta formação.

Do ponto de vista estratigráfico a Formação Irati acha-se situada acima do Grupo Tubarão (Permocarbonífero) e abaixo da Formação Corumbataí, também conhecida por Estrada Nova, ainda de idade permiana. No Estado de São Paulo o Irati mais o Corumbataí constituem o Grupo Passa Dois, enquanto que nos Estados do Paraná e Santa Catarina a subdivisão estratigráfica do Permiano é bem mais complexa, assunto que não será discutido no presente trabalho. Limitar-nos-emos a situar o Irati, que se assenta sobre a Formação Palermo e sob os membros Serra Alta e Teresina, da Formação Estrada Nova.

Na orla ocidental da bacia do Paraná o Irati é praticamente desconhecido, dada a inexistência de sondagens. Segundo o mapa geológico do Brasil de 1960, acha-se encoberto por sedimentos terciários ou pelos derrames de basalto. Mais ao sul, ainda do lado oeste da bacia, ou seja, no Paraguai, não ocorre o Irati. Segundo Harrington (1950) os restos de Mesosaurus pertencem ao tpo do Tubarão, que se acha em discordância angular sob o Passa Dois. No último capítulo ponderaremos sobre esta interpretação, pois, os citados restos do réptil acham-se em arenitos, rocha inexistente na Formação Irati.

No continente africano ocorre a Formação White Band ,

situada logo acima da chamada Série Dwyka, que corresponde ao Grupo Tubarão do Brasil. A citada Formação White Band equivale à Irati, graças à posição estratigráfica, semelhança litológica e paleontológica.

A espessura média do Irati no Estado de São Paulo, nos afloramentos, varia de 20 a 30 metros, aumentando para 40 a 50 e poucos metros nas sondagens situadas mais no meio da bacia. A espessura diminui nas ocorrências mais setentrionais, (Goiás e Mato Grosso), e aumenta nas ocorrências mais meridionais, ou seja, as do Uruguai, onde o Irati chega a 70 metros (Caorsi e Goñi, 1958). Como anormalidade citaremos o Irati da região sul de Santa Catarina, onde Putzer (1955) observou o adelgaçamento de norte para o sul, passando de 70 para 32 metros em menos de 40 km.

A característica mais notável da Formação Irati consiste na sua uniformidade litológica numa área tão grande, como se vê na fig. 1-1. Tanto a litologia observada nos afloramentos como a do meio da bacia, conhecida graças às sondagens da Petrobrás, mostram-se de uma uniformidade impressionante. Tal já fôra notado por Gonzaga de Campos, segundo citação de F.P. Oliveira (1889), que por sua vez, também estudou esta formação, sendo assim um dos pioneiros deste interessante estudo. A litologia do Irati constitui-se essencialmente de dolomitos ora mais, ora menos calcítics, e folhelhos pretos, por vêzes pirobetuminosos, sendo notável a constância do sílex, ora sob a forma de concreções, ora como leitos decimétricos de grande extensão na horizontal. Somente não observamos o sílex nos afloramentos do Rio Grande do Sul. A maior variação observada na litologia do Irati reside nas proporções entre calcário e folhelho, mas as suas características são idênticas e inconfundíveis, motivo pelo qual trata-se de excelente formação chave para o estudo estratigráfico do Gondwana.

Sua importância econômica atual reside no aproveitamento das rochas calcárias, mormente no Estado de São Paulo. Faz poucos anos que aumentou consideravelmente a sua exploração para corretivo de solo, mas antigamente o principal uso era para o fabrico da cal. Em menor escala, dependendo do tipo de

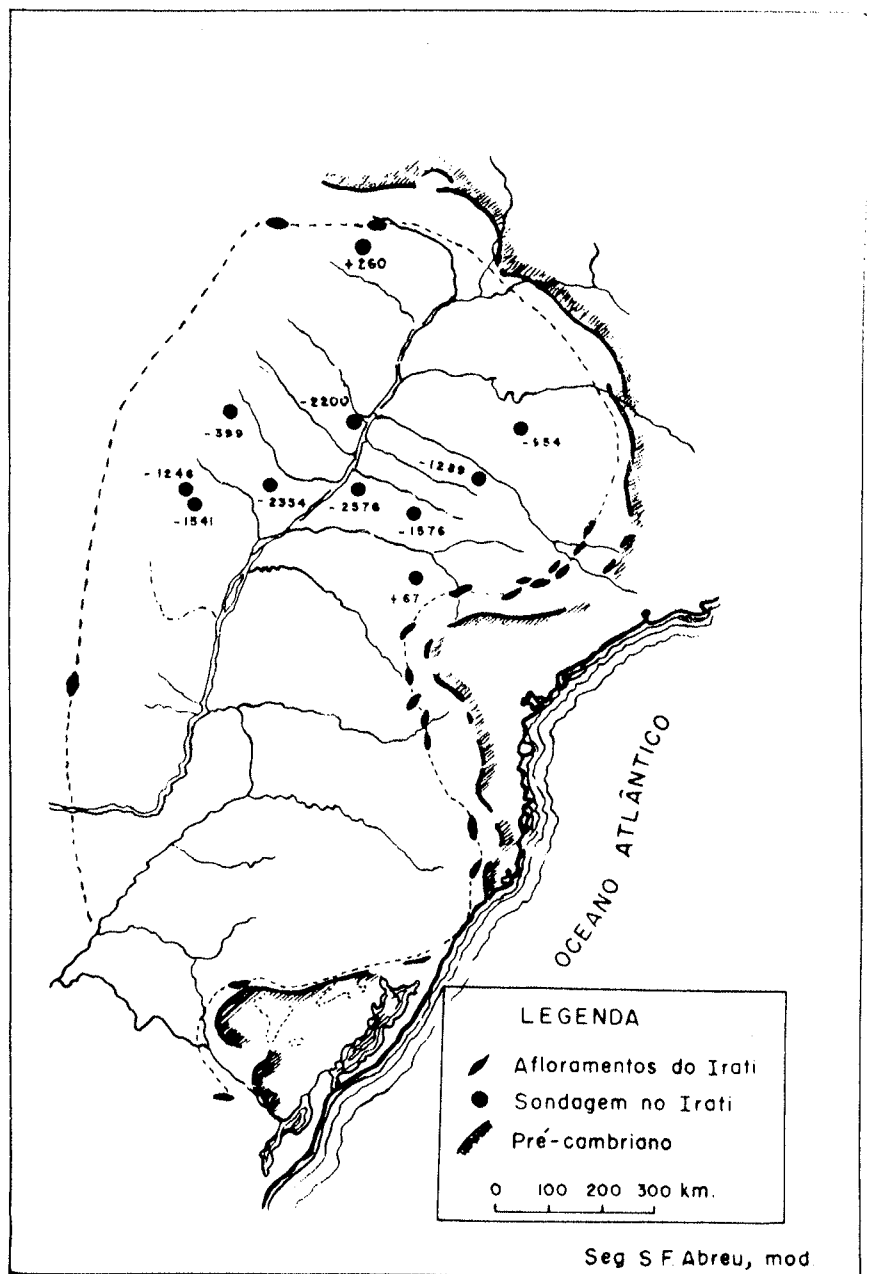


Fig. 1-1. Distribuição dos afloramentos e das cotas do Irati. Os números representam os valores das cotas em metros (em relação ao nível do mar) das camadas testemunhadas no interior da bacia do Paraná.

calcário, é usado para pedra de revestimento, sendo muito apreciada pelas suas cores pretas e brancas, motivadas pela recristalização quando em contato com as intrusões de diabásio. Esta rocha recebe a denominação local de "marmorina", termo apropriado, pelo aspecto e pela origem desta rocha. Quanto ao aproveitamento do pirobetume dos folhelhos, nada foi feito até agora, salvo estudos experimentais na usina piloto de Tremembé, SP e em São Gabriel, RS. Em São Mateus do Sul, PR, encontra-se em fase de construção a usina definitiva para a retortagem dos folhelhos pirobetuminosos daquela área.

2. Finalidades do presente trabalho -

Muito embora a Formação Irati seja conhecida de longa data, não somente pelo interesse geológico, estratigráfico e paleontológico, mas inclusive pelo seu valor econômico (rochas calcárias e pirobetume), nenhum trabalho ainda foi feito com os devidos pormenores descritivos e interpretativos. O único estudo petrográfico de algumas secções delgadas dos dolomitos desta formação é o de Almeida e Barbosa (1953), que descrevem com propriedade as ocorrências de Rio Claro e Piracicaba. Algumas dezenas de trabalhos geológicos e paleontológicos tratam da Formação Irati, alguns dos quais citaremos no próximo parágrafo. Assim sendo, propuzemo-nos a encarar o problema um pouco mais de perto, adotando algumas técnicas inéditas, tendo em vista o conhecimento litológico mais acurado, sob o ponto de vista petrográfico, e ainda o estudo da sua estrutura geral, bem como, o referente ao intrincado e difícil problema da silicificação e condições gerais de sedimentação. Como era de se esperar, são muitos os pontos a serem resolvidos, tal a extensão geográfica da formação em vias de estudo. Muitos dos tópicos exigem a elaboração pormenorizada do mapa geológico, trabalho para muitos anos e que só poderia ser realizado por equipes especializadas. Um dos problemas diz respeito à estrutura geral do Irati da borda ocidental da bacia, praticamente desconhecido pela falta de afloramentos. Assim sendo, a nossa contribuição consiste numa pequena parcela de um trabalho que poderia ser algumas dezenas de vezes maior. A

creditamos, contudo, que grande parte do nosso trabalho é inédito, e poderá lançar alguma luz em alguns dos problemas ainda abertos. Acreditamos também, que futuras luzes mais profícuas esclareçam com mais propriedade os difíceis problemas abordados por nós, mormente o discutido e altamente controvertido problema do ambiente, marinho ou não marinho, ou ainda o problema da estrutura, se é dobrada, ou falhada, ou ambas. Adiantamos aqui que estas divergências têm causado discussões entre mestres de alto renome, conhecedores profundos da nossa geologia, fato que vem mostrar a dificuldade dos problemas que enfrentamos.

3. Trabalhos anteriores -

Já referimos que um dos trabalhos mais antigos sobre a Formação Irati é de F.P. Oliveira (1889), que descrevia os "schistos com pederneiras, schistos betuminosos e calcários argilosos com fósseis", dando a designação estratigráfica de série de Itapetininga, considerando-a carbonífera superior ou permiana inferior. Demonstrando grande acuidade nas suas observações, descreve os restos do Stereosternum tumidum (estudado por Cope em 1885), de madeiras fósseis, dentes, escamas, crustáceos e moluscos. É provável que estes tenham sido confundidos com carapaças de Lioçaris. Poucos anos depois I. C. White (1908) adotou a designação "xistos do Irati", que mais tarde passou a Formação Irati. Seu maior mérito consistiu no estudo pormenorizado que fez sobre a composição química da fração betuminosa dos betumes desta formação.

Julgamos supérflua a citação de todos os trabalhos relacionados à Formação Irati, uma vez que Mezzalana (1964) apresenta minuciosa bibliografia a respeito. Por este motivo citaremos somente alguns deles, que nos pareceram de maior interesse para o conhecimento do Irati.

Duas décadas depois de White é publicada a obra de Washburne (1930), que descreve o Irati e dá ênfase à continuidade desta formação, interpretada como marinha. Nesta mesma época Moraes Rêgo (1930) descreve brevemente o Irati sob o ponto de vista de sua litologia, seus fósseis e suas possibilidades

des de gerar betume. Logo em seguida Oppenheim (1934 a) estuda esta formação sob o ponto de vista da sua importância para petróleo, e noutro trabalho, em co-autoria com Malamphy (1936) estuda a estrutura geral das camadas gondwânicas, destacando o Irati como camada guia. Dos trabalhos mais antigos destaca-se o de Euzébio de Oliveira (1940, obra póstuma), que trata com muita propriedade e muita prudência o problema do ambiente de deposição, além de relacionar a litologia com a provável variação de salinidade e tipo de crustáceo fóssil.

Posteriormente o Irati é estudado com minúcias por Fróes Abreu (1946), que abordou o problema da natureza e gênese das substâncias sapropélicas e do betume, apresentando o mapa da distribuição geográfica das ocorrências. Dos trabalhos mais modernos sobre a formação em estudo destacam-se os de Almeida e Barbosa (1953) e os de Mezzalana (1952, 1954 e 1957). Enquanto que este estudioso trabalhou principalmente com os crustáceos fósseis, aqueles apresentaram um estudo geológico, petrográfico e estrutural, o que representa valiosa contribuição ao conhecimento do Irati, muito embora não concordemos "in totum" com pequenos setores do mapa geológico e com algumas interpretações petrográficas, o que será referido no devido capítulo.

Finalmente, Beurlen (1954, 1955) e Mendes (1961 e 1963) tecem considerações sobre problemas estratigráficos, paleontológicos e sobre o ambiente de deposição, havendo entre ambos divergências quanto à natureza dos fósseis e quanto à interpretação do ambiente, assunto a ser tratado no último capítulo.

4. Agradecimentos -

Somos gratos ao Prof. Dr. Viktor Leinz, mestre e amigo, que muito sábiamente soube apontar e propor o tema deste trabalho. Ao Prof. Dr. Setembrino Petri, velho amigo, o meu agradecimento sincero pela cuidadosa leitura do texto e conseqüentes críticas, que melhoraram muito o nosso trabalho. Ao Prof. Dr. Josué Camargo Mendes, autoridade no assunto, devemos esclarecimentos preciosos sobre a estratigrafia e sobre as es

truturas do Grupo Passa Dois, de um modo geral. Ao Geólogo Sérgio Mezzalana, do Instituto Geográfico e Geológico do Estado de São Paulo, devo valiosas informações sobre diversos dados de campo, que vêm sendo coletados há tempo pelo referido colega e amigo. Agradeço ao Prof. Dr. William G. Rolim de Camargo pelas determinações do resíduo insolúvel dos calcários através do raio X. Ao Prof. Dr. Franco Levi e à Dna. Maria Szikazay os meus agradecimentos pela determinação espectrográfica do teor de níquel nas cinzas do betume e do boro nos folhelhos. Ao Prof. Dr. José Moacyr Vianna Coutinho, grande amigo, devemos precioso auxílio na solução de inúmeros problemas mineralógicos e petrográficos, pelo qual expressamos a nossa sincera gratidão. Ao Prof. Dr. Irajá Damiani Pinto, Professor de Paleontologia do Curso de Geologia da Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, sou grato pelas facilidades proporcionadas para a realização de proveitosa viagem de estudos pelo interior do Rio Grande do Sul, onde observamos o Irati em diversas localidades. Expresso ainda a minha gratidão sincera ao Prof. Dr. MacKenzie Keith, Professor de Geoquímica da Universidade da Pensilvânia, E.U.A., que muito gentil e desinteressadamente se propôs a analisar a relação dos isótopos de carbono e oxigênio (13 e 18) em diversas amostras de calcários. Ao Geólogo João Bosco Ponciano Gomes, antigo Chefe do Setor da Bacia do Paraná da Petrobrás, os meus agradecimentos pela bondade e boa vontade em me ceder preciosas amostras de sondagem, além de colocar à minha disposição toda a testemunhagem de meu interesse. Agradeço ainda ao Geólogo Antonio Thomas Filho, da Petrobrás, pela coleta de amostras e de dados de campo relativos ao Irati do Estado de Goiás. Ao Geólogo Paulo Milton B. Landin, da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Rio Claro, que muito gentilmente pôs à nossa disposição inúmeras lâminas delgadas do Irati, a minha gratidão. Sou grato ainda ao Prof. Dr. Luciano Barzaghi, Diretor Científico da Cerâmica São Caetano, bem como, ao colega e amigo Prof. Adolpho J. Melfi, que junto ao Instituto Agrônomo de Campinas, realizaram diversas análises químicas de folhelhos do Irati.

Devo à Fundação de Amparo à Pesquisa do Est. de S. Paulo

o auxílio financeiro, que muito me ajudou, sobretudo nos gastos de viagem. Ao Prof. Dr. Jayme Cavalcanti, amigo de muitos anos, e ao pessoal da Administração, que tão gentilmente me auxiliou, os meus profundos e sinceros agradecimentos.

II - MÉTODOS DE TRABALHO

A obtenção dos dados de campo e a coleta de amostras para estudos de gabinete foram executadas de maneira mais intensiva nos arredores de Limeira, Rio Claro, entre Piracicaba e Tietê, e Laranjal, pelo fato de ser grande o número de boas exposições, quer nos cortes das estradas de rodagem e de ferro, quer nas inúmeras pedreiras de calcário dolomítico. A seguir estendemos as nossas observações a várias outras ocorrências, ainda no nosso Estado, bem como, nos estados sulinos até ao Rio Grande do Sul, tendo em vista a comparação das diversas ocorrências.

Com o auxílio das fotografias aéreas (escala 1:25.000) das áreas de Piracicaba e Laranjal localizamos com exatidão os pontos estudados e as suas respectivas altitudes, o que permitiu confirmar a direção e ângulo de mergulho, previamente medidos no campo com teodolito. A altimetria dos afloramentos foi tomada com aneróide Short & Mason, de fabricação inglesa, cuja precisão é de 10 pés. Servimo-nos das altitudes das estações das linhas férreas (Estrada de Ferro Sorocabana e Companhia Paulista) para a correção das altitudes. Muitas leituras foram repetidas em épocas diferentes, e raras vezes o erro excedeu de 10 metros, para mais ou menos, o que julgamos satisfatório para o nosso estudo. Dedicamos atenção especial às pedreiras, pelo fato de ser muito rara uma exposição boa nas estradas, quer pela pequena profundidade dos cortes, quer pela facilidade com se alteram as camadas de calcários e folhelhos. Além disso, graças à remoção das camadas rítmicas estéreis, de calcário e folhelho, para a exploração da camada basal, muito comumente a superfície superior desta camada fica exposta em

áreas grandes. Nestas podíamos executar as medidas de direção e mergulho com muita facilidade e grande exatidão, fazendo uso do nível de mão e da trena, depois de se observar a direção de mergulho máximo. Obtida a queda em centímetros por metros, com a régua de cálculo anotávamos imediatamente o valor do ângulo do mergulho, enquanto que a Brunton nos dava o rumo do mergulho.

Após a anotação dos dados referentes aos aspectos estruturais (diaclasamento, dobras, eventuais falhas, e muitas vezes marcas de correnteza ou marcas de erosão muito bem conservadas sobre a superfície superior do banco basal), procedíamos à amostragem dos sedimentos em cada ocorrência observada. Em função das variações locais da litologia, que refletem as variações nas condições de sedimentação, foram coletados diferentes números de amostras de cada local estudado. Procedemos igualmente à observação e coleta parcial de amostras de sondagem, a maior parte pertencente à Petrobrás.

No laboratório examinamos sob o microscópio petrográfico grande número de secções delgadas de calcários e folhelhos, bem como, o resíduo insolúvel ao ácido clorídrico diluído dos calcários amostrados. Neste estudo tivemos como finalidade o conhecimento da composição mineralógica do resíduo e a procura de eventuais restos fósseis. Determinamos a porcentagem do resíduo, e neste, a porcentagem dos constituintes clásticos em relação à calcedônia, não clástica no presente caso. A fim de confirmar os dados ópticos procedemos à determinação ao raio X e à análise térmica diferencial. Para a obtenção de resultados significativos procedemos a uma verdadeira amostragem em cada amostra, retirando pequenas lascas no sentido da estratificação e quarteando-as antes da pesagem e ataque com ácido clorídrico diluído.

Submetemos ainda o resíduo insolúvel ao aquecimento ao rubro, por meio do maçarico de boca, a fim de se observar a ocasional presença de material argiloso, que ocasionaria o endurecimento parcial do resíduo, quase sempre de granulação extremamente fina.

No estudo da textura dos folhelhos friáveis conseguimos a obtenção de secções delgadas por meio de uma nova técnica, que consiste em cortar o material com navalha numa superfície lisa, sobre a qual se aplica uma delgada lâmina de cola-tudo de endurecimento rápido. Como a película se encurva ao ser cortada, torna-se necessário aplicar-se antes um pequeno fragmento de papel celofane, o que é um inconveniente graças à sua birrefringência. Para a desagregação dos folhelhos adotamos também uma técnica própria, eficaz e extremamente fácil. Usamos para isso uma escôva comum de cerdas curtas e duras, que em seu movimento de vai-vém, ao serem comprimidas, pressionavam e desagregavam satisfatoriamente os fragmentos de folhelhos previamente umedecidos.

As substâncias betuminosas existentes nos calcários de Assistência e Piracicaba foram estudadas sob vários pontos de vista, a saber: conteúdo inorgânico (impurezas) e orgânico (restos fósseis conservados), em que porcentagem ocorrem e finalmente, o teor de níquel existente nas suas cinzas. Julgamos mais viável descrever os pormenores deste estudo no devido capítulo, a fim de não alongar demais esta introdução.

Submetemos quase todas as amostras à radiação ultravioleta, bem como, o material betuminoso e pirobetuminoso, tanto extraído artificialmente pela dissolução ou pelo aquecimento, como também o betume existente sob a forma natural, encontrado nas fendas ou em vazios dentro dos calcários.

No estudo da dolomitização adotamos a técnica recomendada por Holmes (1921, p. 266). Consiste em aquecer a amostra durante 3 minutos a 70° numa solução de nitrato de prata a 10%. Depois adiciona-se cronato de potássio (solução a 10%), que dá uma coloração vermelho acastanhada na calcita, não reagindo com a dolomita, que permanece inalterada na sua coloração. Alguns calcários foram estudados na Universidade de Pensilvânia por MacKenzie Keith, sob o ponto de vista do teor dos isótopos do carbono (C^{13}) e oxigênio (O^{18}), assunto a ser tratado oportunamente.

Finalmente, estudamos os resíduos de alguns solos do Irati, fazendo uso da bateia, tendo em vista a sua comparação

com as terras roxas, muito semelhantes ao solo avermelhado dos calcários e folhelhos do Irati, graças à decomposição da pirita. Na avaliação das porcentagens, de um modo geral, adotamos a técnica descrita por Niggli (1954), o que permite ótima exatidão para o presente estudo e rapidez nas determinações.

III - CARACTERES LITOLÓGICOS MACROSCÓPICOS DA FORMAÇÃO IRATI

1. No Estado de São Paulo -

Neste capítulo apresentamos a descrição dos afloramentos observados, iniciando com os do Estado de São Paulo, onde as observações foram mais minuciosas. De norte para sul, os estudos vão desde Ipeúna, bairro de Assistência (Mun. de Rio Claro), Limeira, Piracicaba, Laranjal, Guareí e arredores de Angatuba. Posteriormente concluímos nossos estudos dentro do Estado de São Paulo na região situada entre Itaí, Taquarituba e Taguaí, onde as exposições são mais ou menos precárias, pela intensidade da decomposição e pela falta de pedreiras ou cortes de estradas que pudessem favorecer as observações (fig. 4-1).

a - Zona de contato com o Grupo Tubarão -

Iniciemos a descrição com a base do Irati e a natureza do substrato em que ela se assenta, ou seja, o tampo do Grupo Tubarão. Não nos foi fácil a observação direta deste contato. Infelizmente são poucas as observações desta importante feição, pois as pedreiras estudadas em seus pormenores situam-se mais comumente em lugares de topografia baixa, não se exibindo as camadas inferiores. Nos cortes de estrada ou nas exposições naturais a alteração costuma ser intensa. Apesar desta dificuldade pudemos verificar que a base do Irati, quando situada mais próxima à antiga margem (hoje desapareci

da pela erosão), ou seja, nos contatos mais a leste, constitui-se de um banco calcário de 2,5 a 3,5 metros de espessura. Este banco aflora sempre, inclusive na região de Angatuba, com a mesma espessura e mesma litologia, o que será descrito adiante. O contato direto deste banco com o topo do Tubarão pode ser observado na rodovia São Paulo-Piracicaba, nas proximidades de Tupi, e na linha férrea, no km 114, próximo à estação de Taquaral, C.P. O topo do Tubarão constitui-se af de argilitos ligeiramente amarelados, pouco siltosos, e bem estratificados. O mesmo não se passa nas ocorrências situadas mais distantes, mais afastadas das margens. Tanto o topo do Tubarão como a base do Irati são diferentes dos de Tupi. O primeiro é representado por clásticos mais grosseiros. Assim é que em Assistência ocorrem arenitos finos e siltitos com lentes irregulares, desde um palmo até um metro de espessura de um conglomerado atípico, chamado por muitos de "bone-bed". Caracteriza-se pela predominância de seixos de sílex, ocorrendo também escamas e dentes de peixes. Em Laranjal, no leito do Ribeirão das Onças, ocorre o Tubarão logo abaixo do Irati (não nos foi possível ver o contato direto), sendo representado por siltitos arenosos verdes quando molhados. Quando secos são cinzentos muito ligeiramente esverdeados.

Esta heterogeneidade para o topo do Tubarão sugere a existência de uma discordância erosiva com o Irati. Contudo, nada pode ser afirmado sem a elaboração de um mapa geológico. A ausência do Taquaral nas áreas citadas tanto pode ser interpretada como uma fase erosiva local, como pela ausência de condições para que se tenha depositado.

Do que acabamos de expor, conclui-se que não é fácil a caracterização da base do Irati, assunto já estudado pelo Autor, em co-autoria com Mendes et al. (1966). Deixando de lado as eventuais intercalações de sedimentos clásticos finos, característicos de um fácies oxigenado e de águas límpidas, podemos caracterizar a discutida base pela presença de calcário ou folhelho prêto comumente betuminoso, ambos com nódulos de sílex.

Voltando à descrição da base do Irati, já nos referimos ao banco calcário uniforme na litologia, na espessura

e na ocorrência. Nem sempre, contudo, situa-se diretamente a cima do Tubarão. Em Assistência, na pedreira do Sr. Anafrain Huppert, mais conhecida como pedreira do Fanico, podemos medir com exatidão estas camadas intermediárias entre o banco calcário e o Tubarão. Extrapolando-se as observações pelos arredores da referida pedreira obtivemos o seguinte perfil:

Espessura em metros	- Litologia
30	- camadas rítmicas de folhelho e calcário (descrição pormenorizada adiante)
3,5 a 4	- banco de calcário dolomítico e dolomito (descrição pormenorizada adiante)
0,3	- Calcário silicificado
1,2	- folhelho prêto com raros e pequenos nódulos de sílex na sua metade superior e lentes irregulares de até 10 cm de espessura de sílex na metade inferior
4	- folhelhos pretos com grandes e irregulares nódulos de calcário dolomítico, descrito logo a seguir.

Esta última unidade litológica citada, logo acima do Tubarão, merece descrição mais pormenorizada, tendo sido objeto de estudos por Landim (1965), que estudou as deformações dos nódulos, que sofreram o efeito da compactação num estado ainda plástico. Além das deformações por compactação ocorre uma verdadeira intrusão calcária de cerca de meio metro de largura, de forma muito irregular, que corta quase verticalmente os leitos contorcidos de folhelho e calcário sem afetar a camada superior de folhelho. Esta ocorrência patenteia a plasticidade da lama calcária, praticamente isenta de impurezas argilosas, pois, possui 8% de resíduo insolúvel, do qual somente 1% é de origem clástica, principalmente siltosa, sendo o restante calcedônia. Mais pormenores poderão ser encontrados na obra citada de Landim.

As demais observações que temos sobre a parte inferior ao banco calcário são incompletas. Assim, ao norte de

Laranjal, conseguimos coletar sob as águas do Tietê, logo abaixo do citado banco, o folhelho pirobetuminoso típico do Irati. Finalmente, em algumas das pedreiras situadas próximas à rodovia estadual Piracicaba-Tietê, pudemos em algumas ocasiões observar até a quase 4 metros abaixo do banco, graças a algumas escavações abertas, que se destinam ao escoamento das águas. (Fig. 3-1). Logo abaixo do banco ocorre quase meio metro de uma camada denominada localmente de "lage fria", pelo fato de não produzir cal, segundo informações dos que exploram as pedreiras. Trata-se de um dolomito quase isento de calcita, mas com teor anormalmente elevado de resíduo silicoso, que se aglomera com o calor e provavelmente impede a transformação nos respectivos óxidos. Abaixo seguem-se 3 metros de um siltito argiloso (ou talvez argilito siltoso), cinzento ligeiramente azulado, sem a laminação fina que caracteriza os folhelhos do Irati. Muito embora em tudo se pareça às rochas do tampo do Tubarão, deve ser considerado como Irati, pois, por baixo ainda ocorrem folhelhos bem laminados, pretos, cheios de pequenos nódulos de sílex e com elevado teor de pirobetume (chegam a arder sob o calor da chama), atributos exclusivos da formação Irati. O citado siltito consiste numa das raras exceções quanto à litologia que observamos na Formação Irati no nosso estado. Outra exceção ocorre na zona rítmica acima do banco, entre Itapetininga e Angatuba, à qual faremos referência quando descrevermos a litologia da zona superior ao banco.

b - Descrição do banco basal -

Prosseguindo na descrição do Irati do Estado de São Paulo, passemos ao já citado banco, ora na base da formação, ora poucos metros acima. Graças à sua espessura constante (pelo menos nas ocorrências estudadas) e homogeneidade litológica, é intensamente explorado para o preparo da cal e para corretivo de solo. A litologia do banco consta de rochas calcárias em alta predominância, mais o sílex, que ocorre na proporção de 3 a 5%. Eventualmente encontram-se ainda lâminas milimétricas a submilimétricas de material argilo-siltoso prê-

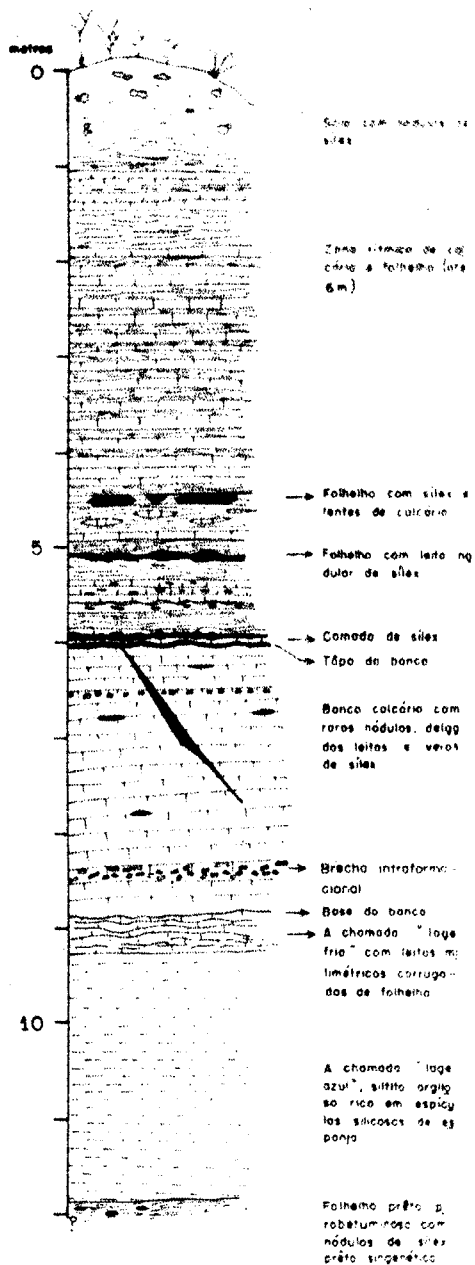


Fig. 3-1. Secção geológica da pedreira do Sr. Maluf. Acha-se representada a parte inferior do Irati. Não sabemos onde se situa o tôpo do Tubarão. Ocorrem no banco dois níveis da brecha intraformacional. A côr preta representa o sílex.

to, ora disposto em lâminas regularmente espaçadas (sendo os espaços centimétricos), ora de modo irregular, sinuosas, interrompidas, às vezes concentradas e outras vezes muito esparsas. Quanto às rochas calcárias, notamos grande variação no que diz respeito ao teor em magnésio. Ocorre desde o dolomito quase puro até o calcário quase puro, com todos os tipos intermediários. A grande predominância, contudo, é dos tipos mais magnesianos. De um modo geral são impuros, com um teor variável desde 2% até 30% de resíduo insolúvel. Este, por sua vez, constitui-se de calcedônia finamente subdividida e uma porcentagem variável (desde zero até 50%) de grãos clásticos siltosos de quartzo e feldspato.

Coloração -

A coloração das rochas carbonáticas do banco apresenta pouca variação. Em certos casos apresenta-se creme clara a quase branca em toda a sua extensão, como nas pedreiras do Arraial São Bento, que se situa a cerca de 20 km ao sul de Piracicaba, e nas do Mun. de Laranjal. Em outras pedreiras situadas poucos quilômetros a nordeste a cor costuma variar conforme as impurezas betuminosas, que determinam listas acastanhadas. Nestas ocorrências costuma predominar a cor cinzenta clara a quase branca. Faz exceção uma única pedreira estudada próxima a Limeira, situada a cerca de 3 km a NW desta cidade, onde predomina a cor cinza escura. No capítulo sobre o metamorfismo provocado pelos silos de diabásio trataremos da coloração dos calcários marmorizados.

Estratificação -

A estratificação é um caráter conspícuo das rochas calcárias do banco. Manifesta-se mais comumente como planos de mais fácil separação, o que faz com que se formem lages de espessura variável, desde 1 cm até 20 ou 30 cm. O exame cuidadoso da linha formada pela união das duas camadas não revela a menor diferença entre elas. Por isso acreditamos na existência de hiatos no processo sedimentar, que ocasionariam heterogeneidade na compactação. Como consequência formar

se-iam superfícies de mais fácil separação.

Nas exposições do Irati situadas mais ao norte, ou seja, nas proximidades de Limeira e Assistência (Rio Claro), alternam-se dois conjuntos de camadas que diferem pelas suas espessuras. Num dêles é centimétrica (de 0,5 a 2 cm de espessura), às vêzes separadas por delgadas lâminas milimétricas de folhelho, dando o aspecto de um sedimento rítmico. No segundo conjunto as camadas são decimétricas, o que indica a alternância de fases de sedimentação homogênea durante longo tempo, passando depois a fases de sedimentação intermitente, muito provavelmente refletindo as variações climáticas (Fig. 3-2). O mesmo não se dá em outras localidades, como por exemplo, em Ipeúna, que se situa a 15 km a NW de Assistência. Nas pedreiras existentes nesta localidade as rochas calcárias do banco já são mais homogêneas. Chama a atenção a existência de uma zona de 1,5 m situada na parte superior do banco, zona esta caracterizada pela existência de lâminas milimétricas de folhelho distanciadas regularmente de 1 a 2 cm, dentro do calcário. É provável que estas diferenças entre ocorrências mais ou menos próximas resida no maior ou menor afastamento em relação às bordas da bacia. Nas partes mais centrais certamente imperaram condições de sedimentação mais homogêneas, mais uniformes do que as condições nas partes mais próximas das bordas, mais rasas e mais afetadas pelas variações climáticas. O calcário das pedreiras de Ipeúna se apresenta em certos horizontes cheio de poros milimétricos atapetados de cristais de calcita. Muitos dêstes poros acham-se impregnados de betume preto, e em muitos reconhece-se o vazio causado pelo molde do Liocaris, crustáceo abundante nestas rochas.

No Arraial São Bento, distrito localizado 15 km ao sul de Piracicaba, as rochas calcárias do banco são muito homogêneas. Os estratos diferem em parte pela coloração (creme a cinzenta ora mais ora menos carregada) e em parte pelo hiato na deposição. O mesmo não se dá nas pedreiras situadas a cêrca de 8 km ao norte de Laranjal, próximas do Ri-

beirão das Onças. Nestas pedreiras chama a atenção a existência de camadas finas, centimétricas, que se diferenciam pela maior ou menor solubilidade, o que determina a formação de sulcos e respectivas saliências, uniformes e contínuas em toda a extensão do banco. A causa da maior ou menor resistência à dissolução reside na diferença de porosidade, às vezes relacionada ao fenômeno da dolomitização, mas nem sempre.

Além das lâminas milimétricas a submilimétricas de folhelho prêto, às vezes irregulares por abaulamento ou anastomose (Fig. 3-3), que emprestam às rochas calcárias o caráter da estratificação, também o material betuminoso faz com que se ressalte a estratificação. Formam-se desta maneira estratos castanho amarelados regulares, centimétricos, que se alternam com outros estratos, claros e sem betume. Outras vezes o material betuminoso dispõe-se em muitas lâminas irregulares na forma e na espessura. Ainda voltaremos a este assunto quando discutirmos a origem do betume no capítulo oportuno (fig. 8-2).

Estas feições que acabamos de descrever acham-se, de um modo geral, dispostas em nítido paralelismo, e aparentemente horizontais, quando observadas a distâncias maiores. Contudo, quando se observa o banco a uma distância de 30 centímetros, são muito comuns as estruturas irregulares pela ausência de paralelismo, pelas contorsões, lenticularidade de lâminas ou mesmo de camadas mais espessas. Tais irregularidades, que serão tratadas no capítulo das estruturas, ocorrem em níveis preferenciais e são muito abundantes nas pedreiras situadas próximas à rodovia estadual que liga Piracicaba a Tietê.

Brecha intraformacional -

Finalizando a descrição do banco basal da Formação Irati devemos citar a ocorrência de uma brecha calcária intraformacional, que ocorre mais comumente a 0,5m, a 1 m e a 2 m abaixo do topo do banco (Fig. 3-4). Nem sempre a brecha acha-se presente nos três níveis. Mais comumente ocorre simultaneamente nos dois níveis inferiores. Na pedreira do Sr.



Fig. 3-2. Aspecto característico das pedreiras do Irenti. No alto, as camadas rítmicas, e em baixo o banco calcário em vias de exploração. Note-se a estratificação do banco segundo zonas bancueadas e outras quase laminadas, fato que se repete em Assistência. (Pedreira do Sr. Abílio Pedro, Limeira).

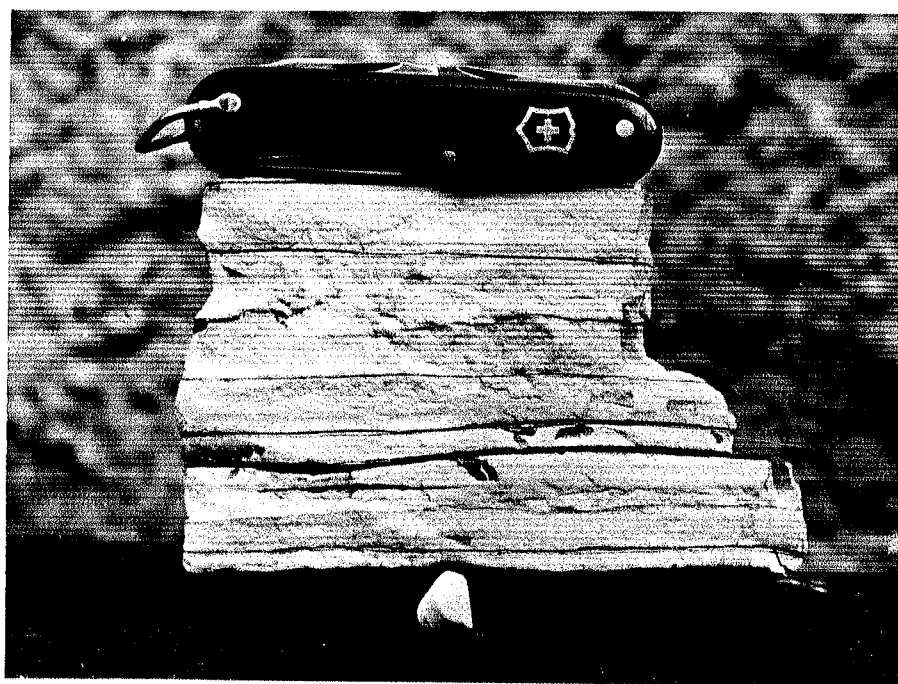


Fig. 3-3. Lâminas irregulares, por vêzes lenticulares e delgadas de folhelho prêto calcítico no calcário claro. (Bairro Conceição, Piracicaba).

Maluf e arredores, numa distância de mais de 2 km, a zona inferior da brecha parece ocorrer de maneira contínua, sempre no mesmo horizonte do banco. Em outros casos a camada de brecha é nitidamente lenticular, caráter mais comum com as brechas mais próximas do topo. Sua espessura é pequena, como sóe acontecer (Pettijohn, 1957, pag. 278). Varia de 5 cm a 30 cm, sendo geralmente a camada inferior a mais espessa. Os fragmentos, cujo tamanho médio varia de 1 a 3 cm, mantêm mais comumente a forma tabular, muitas vezes em disposição subparalela à estratificação, o que evidencia pequeno grau de deslocamento (Fig. 3-5). Constituem-se de calcário branco em matriz de calcário acinzentado muito homogêneo. Sob a lupa ainda se observam muitos fragmentos milimétricos a submilimétricos, além de pequenos fragmentos não muito abundantes de folhelho ligeiramente carbonático. Às vezes ocorre a camada de calcário branco intacta no topo da brecha, e aos poucos, num intervalo de 10 cm esta camada passa gradualmente aos fragmentos da brecha. Quando se segue a camada por uns 15 a 20 metros, nota-se a presença de trechos onde diminui a brechação, predominando irregularidades e ligeiras contorções nos estratos. Este aspecto parece indicar que localmente faltavam condições favoráveis ao fraturamento da camada branca quebradiça. Ocasionalmente o leito brechado exhibe em seu meio uma zona menos fraturada associada a delgadas lâminas submilimétricas de folhelho preto, ora intactas, sem a menor perturbação, ora toda esgarçada, interrompida (Fig. 3-4). O contato superior da camada brechada é quase sempre plano, ao passo que a parte basal muito comumente mostra ondulações, irregularidades, contorções desde centimétricas a decimétricas, indicando claramente a existência de fluxos, de deslizamentos, aos quais ainda faremos referências.

Sob a lupa os fragmentos se apresentam muito porosos, o que ocasiona a sua friabilidade, ao contrário da matriz, muito homogênea e bem mais compacta. Outra diferença ainda, que encontramos entre fragmentos e matriz reside na maior quantidade de resíduo insolúvel ao ácido clorídrico na matriz, sendo nesta de 14 % e nos fragmentos de 5 %. Contu-



Fig. 3-4. Pormenores do banco calcário da pedreira do Sr. Maluf. De baixo para cima observa-se o calcário claro com lâminas corrugadas e irregulares de folhelho preto calcítico, tendo por cima a brecha. Esta exhibe fragmentos de sílex singenético (pretos) e lâminas delgadas de folhelho preto. Finalmente, por cima, calcário cinzento claro com estratificação menos nítida.

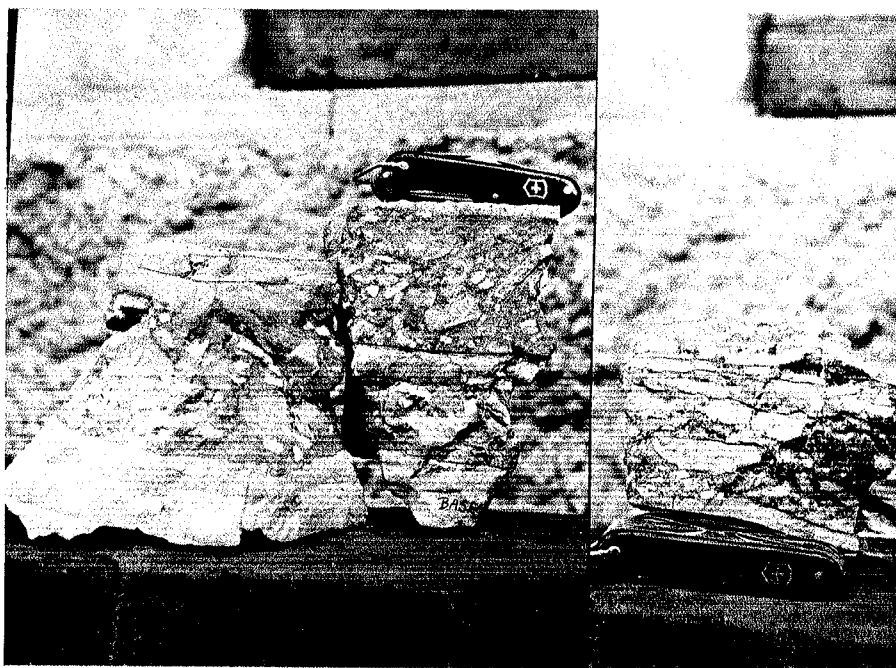


Fig. 3-5. Três amostras da brecha intraformacional de três pedreiras, sendo tôdas as amostras do mesmo nível (meio metro acima da base do banco). A da esquerda foi coletada 400 metros a SE da pedreira do Sr. Maluf, onde coletamos a do meio. A da direita provém do bairro Conceição. Note-se a presença de lâminas irregulares de folhelho preto e a forma tabular dos fragmentos.

do, não encontramos vestígio algum de material argiloso que pudesse explicar a maior plasticidade. Pelo contrário, é maior a quantidade de clásticos finos quartzosos, na matriz, cujo tamanho varia do silte fino ao grosso. Outra diferença é que o calcário dos fragmentos é bem mais friável do que o da matriz.

Muito interessante é o comportamento das brechas sob as radiações ultravioletas. Quase que invariavelmente a matriz reage positivamente, exibindo uma coloração acastanhada pólida, enquanto que os fragmentos não reagem. No entanto, ambos exalam o odor característico de betume quando aquecidos. Segundo a opinião do geólogo Lawrence Frakes a maior plasticidade da matriz poderia residir no conteúdo de matéria orgânica, fato que coaduna com a fluorescência. Sem uma análise dos teores em material betuminoso nada se pode afirmar de positivo, ficando assim aberto este problema.

Em secção delgada percebe-se a existência de faixas mais ricas em clásticos, faixas estas alinhadas em direção preferencial. Uma delas acha-se nitidamente encurvada em ângulo reto, o que indica a existência de fluxo no estado ainda plástico da lama calcária. A movimentação devia ter sido de pequena amplitude, pois, muito comumente observam-se fragmentos da mesma natureza muito próximos uns aos outros, mas separados pela matriz calcária, cuja textura será descrita no capítulo referente aos aspectos microscópicos destes sedimentos. Além do aspecto microscópico, também o macroscópico evidencia claramente a formação da brecha por deslizamentos subaquáticos, e não por ressecamento, fato interpretado e fotografado pelo Prof. Dr. Josué C. Mendes, a quem devemos preciosos esclarecimentos sobre várias estruturas do Grupo Passa Dois, de um modo geral (Fig. 5 - 5).

O banco basal do Irati foi observado ainda em Angatuba, em adiantado estado de decomposição, mas perfeitamente reconhecível como tal. Mais adiante, ou seja, mais a oeste, não o vimos mais, por falta de boas exposições. Suspeitamos da sua existência na região de Taguaí, onde observamos afloramentos esparsos de uma rocha completamente transformada

pelo metamorfismo (a qual ainda faremos referência) que poderia ter sido o banco, juntamente com um calcário marmorizado semelhante aos de Assistência. Segundo informações fidedignas parece ser grande a espessura destas ocorrências, o que não nos foi possível observar diretamente.

Fomos encontrar novamente o banco calcário da base adiante de Joaquim Távora, PR, de aspecto bem diferente dos calcários de São Paulo, num Irati pouco espesso que será descrito oportunamente.

c - Descrição das camadas rítmicas acima do banco -

Constituem-se de estratos alternados de folhelhos pretos e de rochas calcárias, predominando as espessuras de 10 a 20 cm. (Fig. 3-6). Muito comumente mostram-se irregulares quanto à superfície de separação, pelo efeito da compactação diferencial e pela silicificação, bem mais intensa do que no banco. São frequentes as camadas calcárias totalmente substituídas pelo sílex. Apesar das irregularidades da superfície dos estratos, que ora se espessam, ora se adelgaçam ligeiramente, o caráter que chama a atenção é o da continuidade de na horizontal. São relativamente raros os casos de lenticularidade. As perturbações conseqüentes do processo sedimentar são mais raras ainda. Observamos um único caso (em Assistência, Rio Claro) de um fragmento de calcário de 40 cm de comprimento por 5 cm de largura atravessado obliquamente numa camada de folhelho. Parece ter-se dado a fragmentação de uma camada calcária em meio ainda plástico, tendo depois um dos fragmentos se afundado na lama argilosa.

Folhelhos -

O folhelho costuma ser ligeiramente betuminoso, não chegando contudo, a arder sob a chama. Possui coloração preta a cinzenta escura. Algumas camadas apresentam lâminas lenticulares de calcário, de 0,5 a 1 cm de espessura. Outras apresentam intercalações de poucos milímetros a fração de milímetro de siltito cinzento claro. São muito abundantes os nódulos de sílex, de formato e tamanho muito irregulares, mas



Fig. 3-6. Aspecto típico das camadas rítmicas, tendo por baixo o banco. Note-se a regularidade da estratificação e a predominância de calcário em relação ao folhelho. (Pedreira situada 1 km ao sul da do Sr. Maluf).

sempre obedecendo à direção da estratificação, o que ainda será estudado no capítulo dedicado ao fenômeno da silicificação. A folheação é quase sempre perfeita, formando-se por vezes lâminas bastante delgadas e facilmente destacáveis. Tal é o aspecto do folhelho existente acima das pedreiras de calcário dos arredores de Rio Claro, Piracicaba e Laranjal, em condições normais, ou seja, longe das intrusivas de diabásio.

A análise química de um dos folhelhos amostrados na pedreira do Sr. Maluf revelou os seguintes óxidos:

SiO ₂	- 52,0 %	CaO	- 1,3 %
TiO ₂	- 0,2	Na ₂ O	- 2,0
Al ₂ O ₃	- 12,4	K ₂ O	- 2,0
Fe ₂ O ₃	- 3,3	H ₂ O ⁺	- 11,5
FeO	- 1,1	H ₂ O ⁻	- 7,8
MnO	- tr.	P ₂ O ₅	- 0,1
MgO	- 6,1		

No cap. X discutiremos o significado do teor anormalmente elevado de MgO, que é perfeitamente compatível com o baixo índice de refração do material argiloso, que muito provavelmente seja da natureza da montmorilonita.

Calcários -

As camadas calcárias, mais comumente muito dolomíticas ou mesmo dolomitos calcíticos, são quase sempre maciças, de tonalidades claras (creme ou cinzentas), e muitas vezes totalmente substituídas pelo sílex, ora prêto ora amarelado. Outras vezes o sílex substitui irregularmente o calcário. Quanto aos caracteres microscópicos, o que ainda será descrito, não difere essencialmente das rochas calcárias do banco.

A relação entre ambas as rochas é quase sempre ao redor de 1 parte de folhelho para 2 a 3 de calcário, o que foi avaliado pela observação das espessuras das camadas. Uma excessão foi observada a cerca de 500 metros a NW da estação de Paraíso (E.F.S., entre Piracicaba e São Pedro), na

linha férrea. As camadas rítmicas apresentam variação horizontal apreciável, pois, em pouco menos de 20 metros, a relação 1 de folhelho para 2 de calcário passa para 1 de calcário para 4 de folhelho, relação esta anormal em toda a área estudada. Nesta ocorrência, certas camadas de folhelho chegam a atingir quase meio metro de espessura. Determinamos aí um mergulho de 4° para oeste, o que é outra anomalia, certamente devida a um sil de diabásio que ocorre a poucos metros abaixo do citado afloramento.

Intercalações de siltitos -

Outra exceção, à qual já nos referimos anteriormente, diz respeito à litologia. Trata-se de uma intercalação de cerca de 3 metros de espessura de um siltito argiloso avermelhado, mal estratificado, com fratura conchoidal, e muito rico em espículas de esponja, assunto a ser ainda tratado adiante. Seu aspecto se assemelha muito ao das rochas da Formação Corumbataí, inclusive quanto à riqueza das espículas de esponja. No entanto, acha-se dentro da Formação Irati, tendo por baixo folhelhos negros compactos e altamente betuminosos, e por cima, folhelhos e calcários decompostos, típicos do Irati. Este afloramento se situa a 15 km a leste de Angatuba. Tanto esta interessante ocorrência, como o achado das espículas, devemos à perspicaz observação do nosso colega e amigo Vicente Fúlfarõ, que se ocupa atualmente do estudo geológico daquela área.

Comportamento do Irati no interior da bacia -

Fato interessante é o da ausência destes estratos alternados de calcário e folhelho nos testemunhos de sondagens, fato já referido por Barbosa e Gomes (1958). É provável que as perfurações tenham se localizado nos locais correspondentes às partes mais profundas da antiga bacia onde se sedimentou o Irati. Seria um ambiente mais estável quanto à temperatura e por conseguinte, determinaria maior homogeneidade nos sedimentos. Assim sendo, as partes hoje ob-

servadas devem corresponder às bordas mais rasas, cuja largura deveria ter sido considerável. A menor profundidade - certamente determinou maior facilidade nas mudanças de temperatura, fator primordial na precipitação, ora das rochas calcárias, ora das pelíticas. Nem todos os afloramentos do Estado de São Paulo exibem esta estrutura alternada, que dá um aspecto de alta beleza às pedreiras e exposições da região central do Estado. A meio caminho da estrada Itapetininga e Angatuba (km 1.95), bem como nas exposições estudadas entre Taquarituba e Taguaí, ao invés das camadas rítmicas encontra-se o folholho pirobetuminoso micáceo, compacto, com forte cheiro de asfalto (muito comumente arde sob a chama) e menor quantidade dos nódulos escuros de sílex, tão comuns no município de Piracicaba. Nas proximidades de Taguaí (vila dos Aleixos) as camadas calcárias são subordinadas, possuindo ao redor de 20 a 30 cm de largura. Uma delas é muito rica em fragmentos de crustáceos e outros restos de difícil diagnose. Junto à zona alterada amostramos um siltito argiloso anormalmente rico em feldspatos frescos junto à fração mais grosseira. Ocorrem com relativa frequência pequenos cristais idiomorfos de zircão. Tudo indica a existência de mudança climática durante a formação das camadas pelíticas (ora mais ora menos siltosa) e das camadas calcárias, assunto a ser discutido no último capítulo.

Tôpo do Irati -

A delimitação superior do Irati com o Corumbataí nem sempre é fácil, fato já assinalado por Almeida e Barbosa (1953). A mudança do ambiente de sedimentação não foi tão drástica, comparada com a que se verificou na passagem Tubarão para o Irati. Naquela parece ter havido mais uma mudança nas condições de oxigenação da bacia. Não se observa a cor preta na formação seguinte, e as rochas pelíticas siltosas não se apresentam com a folheação que caracteriza os pelitos do Irati.

d - Descrição de testemunhos de sondagem do Irati -

Finalizando este subcapítulo descreveremos brevemente

te a testemunhagem de três perfurações da Petrobrás, sendo duas em Guareí e uma em Angatuba. O poço nº 4 de Guareí situa-se 8 km ao norte da cidade, tendo encontrado o Irati a 221 metros de profundidade. Isso se deve à existência de uma falha cujo plano é aproximadamente NS, que abateu o Irati. Entre os testemunhos desta perfuração observamos folhelhos pretos com muitos nódulos centimétricos de sílex, que também ocorre como leitões descontínuos de 3 a 5 mm de espessura. Sua cor é preta e brilhante, o que dá a aparência de um vitrênio. São abundantes os ossos de Mesosaurus, e a compatibilidade do folhelho provavelmente se deve à influência térmica de um sill de diabásio, cujas amostras acham-se testemunhadas e devidamente arquivadas na mesma caixa. Segundo o registro litológico da Petrobrás predominam as rochas calcárias, dispostas em espessos bancos de mais de 5 metros de espessura no meio da formação. Não se acha registrado o banco basal na base da perfuração. Já o poço nº 3, situado 5 km a SSW do primeiro, apresenta-se, segundo o respectivo "log", bem diferente do primeiro. Nesta perfuração predominam largamente os folhelhos, sendo bastante restrito o calcário. A espessura é de 42 metros, e a profundidade do Irati vai de 263 a 221 metros (base e tópo). Estranhamos esta variação lateral em tão curta distância, mormente pelo fato de termos observado o Irati em afloramentos próximos (menos de 20 km) de Guareí, a caminho de Angatuba e de Itapetininga. Não observamos variações que pudessem explicar as variações das perfurações, ficando sem explicação esta discrepância.

Vimos ainda a testemunhagem e a descrição litológica do poço de Carlota Prenz, em Angatuba. Muito embora exista o banco basal calcário, completamente decomposto, nos arredores de Angatuba, este não ocorre na base da perfuração citada. Não temos dúvida de que tudo indica ter-se o banco formado na região mais rasa da bacia, e que as perfurações atingiram as partes mais profundas, provavelmente de águas mais frias. Esta perfuração, que atingiu o cristalino a 1.545 metros (na cota 857 abaixo do nível do mar), atravessou 44 metros da formação Irati, entre 288 a 244 metros de

profundidade. Entre os testemunhos por nós observados predominam os folhelhos, quase sempre micáceos, cinzentos escuros, muito comumente silicificados, sendo o sílex sob a forma de delgados leitos ao invés de nódulos. A pirita é abundante em algumas amostras. Segundo a leitura da descrição das amostras de calha do Relatório do Conselho Nacional do Petróleo, da autoria de Sayão Lobato, predominam igualmente os folhelhos, perfazendo os calcários menos de 30% da totalidade amostrada. Em praticamente tôdas as amostras descritas ocorre apreciável quantidade de sílex (entre 15 e 30%), que provavelmente correspondam aos calcários agora substituídos. O sílex descrito é ora prêto, ora côr de fígado, e o folhelho quase sempre prêto a cinzento escuro, e muito comumente betuminoso e piritoso, atributos bem típicos da Formação Irati.

e - O solo do Irati no Estado de São Paulo -

Nossas observações sôbre êste assunto são perfunctórias, pois, fogem do tema do nosso trabalho. Visamos principalmente a distinção do solo do Irati do solo proveniente do diabásio, pois, muita confusão tem sido feita neste sentido, tal a semelhança entre ambos.

Quando a maturidade do solo não é grande, não há problema, pois, a existência de magnetita cristalina abundante ou de nódulos de sílex é suficiente para distinguir um do outro. Contudo, em certas regiões onde o intemperismo foi mais profundo, imprimindo ao solo um maior grau de maturidade, o problema se torna difícil, pelo menos numa análise rotineira do resíduo obtido pela bateia, analisado ao microscópio petrográfico. Tal foi executado em solos situados na rodovia estadual entre Tupi e Piracicaba, a 11 km da Escola Superior de Agricultura, onde aflora o Irati muito decomposto e onde ocorre nas proximidades a terra roxa originada do grande sil de diabásio que ocorre naquela área. Em ambos os resíduos encontramos a magnetita de aspecto tipicamente secundário, pelo formato globoso. Pensando ter havido contaminação, o que se dá com regular intensidade nestes solos, exa

minamos o resíduo de outras terras roxas, bem como, do calcário Irati decomposto mas não transformado em solo. Em ambos os casos encontramos a magnetita de aspecto secundário, motivo pelo qual não se pode distinguir um e outro solo pela sua presença. A magnetita como mineral secundário em rochas calcárias não é novidade, sendo descrita por Friedman (1954), que interpreta a sua existência nos calcários (do Carbonífero Inferior de Ohio, E.U.A.) como sendo devida a um processo antigênico, sendo formada pela percolação de água vadosa de infiltração. O autor citado descreve magnetitas com formas octaédricas ocasionais, o que não foi observado no nosso caso.

Além da magnetita ocorrem também a limonita, areia quatzosa muito fina, raros grãos de zirconita e material semelhante à calcedônia finamente subdividida, de índice de refração próximo ao do quartzo. A fração argilosa (sob o ponto de vista granulométrico) constitui-se de grãos avermelhados de mais ou menos um micron de tamanho. Acreditamos que a quantidade de minerais argilosos seja pequena nesta fração, pois, submetida à secagem não se endurece como as argilas comuns. No entanto, com o aquecimento ao rubro adquire um certo endurecimento. Não nos detivemos noutros exames, mas supomos que predomine material silicoso extremamente fino, que tenha penetrado graças ao fenômeno da iluviação, que teria ocorrido durante a decomposição das rochas. Assim, à medida que os carbonatos de cálcio e magnésio fossem sendo lixiviados, o espaço seria ocupado por este material fino trazido pelas águas descendentes. Em certas ocorrências, como na via férrea em Taquaral, o banco calcário acha-se presente, com uma espessura de 2 metros, e completamente decomposto, sem o menor traço de carbonato, assemelhando-se a um material argiloso muito plástico, com uma bela coloração avermelhada escura, cor de vinho. Material análogo coletamos em Angatuba, onde determinamos uma porosidade de 33%, em base das densidades, real (2,5) e aparente (1,68).

A cor avermelhada do solo do Irati deve-se à decomposição da pirita, que ocorre finamente disseminada, tanto

nos calcários como nos folhelhos. Trata-se de um solo fértil. Tivemos a oportunidade de observar matas virgens de alta exuberância há cerca de 25 anos atrás, nas proximidades do Arraial São Bento, a 23 km ao sul de Piracicaba, onde aflora o Irati. Em toda esta região parece haver preferência por parte dos plantadores de fumo pelo solo do Irati, onde é produzido o famoso fumo de corda tipo Tietê.

2. Nos demais estados -

a - No Estado do Paraná -

Nossas observações neste Estado limitaram-se às ocorrências da região nordeste, nas imediações de Joaquim Távora e Carlópolis, e na região sul, entre Irati e São Mateus do Sul. Mais pormenores sobre o Irati paranaense são encontrados em Oliveira (1927), que apresenta minuciosas descrições de diversas ocorrências da formação em estudo naquele Estado.

Região norte -

Iniciando os nossos estudos com os afloramentos - mais setentrionais, encontramos o Irati a 5,5 km da fronteira de São Paulo na estrada Fartura - Carlópolis. Apesar de muito decomposto é facilmente reconhecível pela abundância de sílex sob a forma de bonecas centimétricas e placas delgadas, junto a um saprólito de cor vermelha, bem típica do Irati. A seguir, a 1,3 km de Joaquim Távora, rumo a Santo Antonio da Platina, ocorre belo afloramento do Irati, deslocado por uma falha que coincide com um dique de diabásio de 20 metros de espessura, vertical, de direção N60°E; praticamente a 90° da grande maioria dos diques registrados no mapa geológico do referido Estado. Ao sul do dique ocorre um arenito, notável pela sua pureza, seleção e arredondamento dos grãos de quartzo bem hialino, provavelmente do Tubarão. Do lado norte ocorre a Formação Irati com apenas 12 metros de espessura. Inicia-se por uma camada calcária de pouco mais de 3 metros de espessura, tendo no centro delgados e irregulares leitos de folhelho. É um calcário intensamente do

lomitizado, noduloso, rijo, mal estratificado, cinzento e de aspecto bem diferente dos calcários explorados em São Paulo. Próximo à base apresenta-se nitidamente brechado, com fragmentos heterogêneos, ora bem arredondados ora angulosos; de calcário dolomítico castanho escuro e ocasionalmente claro. Acima deste banco descrito observam-se leitões irregularmente ondulados, às vezes lenticulares, de espessura entre 20 e 40 cm, de folhelho cinzento escuro e calcário pouco dolomitizado e bem recristalizado (certamente graças ao dique) onde a estratificação fina é evidenciada pelo efeito da dissolução. O sílex é abundante junto ao folhelho, sob a forma de nódulos irregulares, e menos frequente no calcário, quer do banco basal, quer das camadas de cima.

Por baixo deste delgado Irati ocorrem siltitos com raras concreções calcárias, num aspecto semelhante à litologia da formação supra Irati, denominada Serra Alta nos estados sulinos. Quem nos chamou a atenção a este interessante fato foi o Prof. Josué C. Mendes, que posteriormente verificou que esta disposição se repete em vários outros locais, sobretudo em Santa Catarina, onde fez estudos mais acurados. Lembramos que em São Paulo, na pedreira do Sr. Maluf, ocorrem siltitos na base, mas certamente dentro do Irati, completamente diferentes quanto à litologia, em nada se parecendo com as rochas desta formação. Sem dúvida alguma trata-se de zonas localizadas de condições diferentes de aeração e de suprimento sedimentar, zonas estas que em determinadas regiões geográficas, acham-se interdigitadas com o Irati "sensu strictu", tal como o siltito de Angatuba e o de São Mateus, ao qual faremos referência logo adiante.

Ainda na estrada que liga Joaquim Távora a Santo Antonio da Platina, a pouco mais de um quilômetro do afloramento descrito, ocorre novo dique de diabásio (direção N70°W) tendo ao lado o Irati, igualmente deslocado por nova falha junto a outro dique. A litologia deste afloramento difere do primeiro, lembrando a zona rítmica das ocorrências de São Paulo. Alternam-se leitões de 20 a 30 cm de espessura de folhelho prêto e calcário cinzento escuro (quase prêto) muito

compacto, com nódulos achatados centimétricos de sílex preto e muito rico em carapaças de Liocaris. Ocasionalmente ocorrem costelas esparsas de Mesosaurus.

Região sul -

Em prosseguimento às nossas observações de campo visitamos as ocorrências situadas mais ao sul, nas cidades de Irati e Eng. Gutiérrez. Nestas localidades pudemos observar, com mais atenção somente as partes superiores da formação. Não encontramos afloramentos bons na base do Irati, o que lamentamos, por não podermos comparar com a base pouco mais ao sul, ou seja, em São Mateus. Predominam largamente os folhelhos pretos. Observamos um único e delgado leito lenticular de calcário completamente decomposto. O sílex é igualmente muito raro. A cerca de 10 metros acima do nível da estação férrea (cuja altitude é de 818 m) acha-se o contato com a Formação Serra Alta. Na estação próxima, Eng. Gutiérrez, situada 6 km a SSW de Irati, ocorre belo afloramento junto à estação. O contato se situa praticamente na mesma cota do anterior, obedecendo à direção geral das camadas naquela área. Os poucos metros de Irati que se observa são representados unicamente por folhelhos bem pretos, micáceos e sem o menor traço de material pirobetuminoso. A passagem para a Formação Serra Alta é gradual. Em menos de meio metro a folheação do Irati vai diminuindo, ao mesmo tempo que as cores vão se tornando mais claras e ligeiramente variegadas, passando assim ao siltito mais permeável e mais facilmente alterável pelas águas de percolação.

Prosseguindo os nossos estudos de campo fomos observar os arredores de São Mateus do Sul, onde visitamos diversas ocorrências. Uma delas será explorada pela Petrobrás para o aproveitamento do pirobetume. Nesta localidade, que se situa estratigráficamente perto do topo da formação, predominam largamente os folhelhos pretos. Observamos um único e delgado leito de menos de um palmo de espessura de calcário, de aspecto bem diferente dos de São Paulo. É cinzento escuro, maciço, muito compacto e muito raramente silicifica

do. Junto à cidade, nas imediações da Usina Elétrica, o Irati aflora numa exposição de 20 m de espessura. Constitui-se essencialmente de folhelhos pretos com algumas intercalações esparsas de 5 a 20 cm de calcário completamente decomposto. A pirita é abundante e o sílex bastante raro. Mais ou menos 1 km a SW desta ocorrência, junto à ponte sobre o rio Iguaçu o Irati é em parte semelhante ao de São Paulo, pela alternância de folhelhos e calcários, na proporção aproximada de 1 de folhelho para 3 de calcário. Este se acha sob a forma de nódulos de 30 a 40 cm de espessura, bem como, sob a forma de lentes muito simétricas, de quase 2 metros por 15 cm de espessura máxima. O calcário é cinzento claro, homogêneo, muito compacto e cheio de pequenas vênulas milimétricas de pirita, e algumas ocasionais de opala em vias de recristalização. Esta zona de calcário nodular tem 8,5 metros de espessura, situando-se estratigráficamente sob os folhelhos que afloram na Usina Elétrica, o que coaduna com o mergulho regional do Irati naquela região. Pouco adiante, na nova rodovia em fase de construção, para Curitiba, pudemos observar anomalias na litologia do Irati. Os folhelhos perdem não só a coloração preta, como diminuem na folheação, passando para siltitos cinzentos, parecidos com os da Formação Serra Alta, que se situa logo acima, tudo indicando mudanças faciológicas locais e temporárias, tal como ocorre em São Paulo, entre Itapetininga e Angatuba.

Como não pudemos observar as camadas inferiores do Irati transcreveremos os dados de sondagens do minucioso Relatório Final da autoria de Joaquim Maia, (1961). Segundo as observações deste estudioso o Irati se inicia com 5 metros de calcário cinzento escuro com forte cheiro de betuno, muito compacto e com três delgadas intercalações de folhelho. Seguem 3,2 metros de folhelho castanho escuro a preto, com delgadas intercalações de calcário escuro mais abundantes na base. Acima deste folhelho ocorrem 8,5 metros de uma sucessão de calcários e folhelhos. Pela descrição de Maia, certamente correspondem ao afloramento descrito junto à ponte do rio Iguaçu. Finalmente ocorrem 6,5 metros de folhelho

pirobetuminoso prêto e compacto, que é o mesmo que observamos junto à Usina Elétrica, bem como, em Irati e em Eng. Gutierrez. Maack (1947) dá ênfase ao carácter lenticular destes calcários, que, segundo suas meticolosas observações, destacam-se na morfologia da paisagem em certas áreas, do que se conclui tratar-se de lentes de grandes dimensões. Ao contrário do que se verifica no nosso Estado, tais bancos calcários ora se localizam na base, ora no meio da formação.

b - No Estado de Santa Catarina -

Região central -

Tivemos a oportunidade de observar o Irati dêste Estado em duas ocorrências. Uma delas situa-se nas imediações do km 155 da rodovia Mafra-Lages. Não pudemos observar a base da formação em estudo, pelo fato de achar-se encoberta. Acreditamos, contudo, que os três metros observados estejam próximos à base, caso não haja perturbações locais. De baixo para cima ocorre uma zona de 1,5 m de camadas regulares de folhelho e calcário, de espessuras variáveis entre 20 e 40 cm. O calcário acha-se completamente decomposto e o folhelho ainda mostra a sua cor preta característica. É micáceo e contém pirobetume, apesar de ligeiramente decomposto. Sua cor é acastanhada, provavelmente pelo efeito da decomposição. Acima ocorre ainda 1 metro de folhelho, mais 20 cm de calcário com sílex, e por fim, mais um metro de folhelho. Numa destas camadas observamos o maior nódulo de sílex até agora visto, de forma bem regular, tendo pouco mais de 1 metro no sentido horizontal por 60 cm de altura. Não observamos os pequenos nódulos tão comuns no Irati de São Paulo. 3 km adiante aflora o Serra Alta e pouco além, o Serrinha, caminhando-se para o rumo sul. As duas formações citadas mantêm o mesmo mergulho que medimos para o Irati, ou seja, praticamente 1° para oeste.

Região sudeste -

A segunda ocorrência do Irati, observada em Santa Catarina, foi a do famoso perfil de White, entre Orleans e Novo Horizonte. Infelizmente a decomposição é intensa junto à rodovia, e não dispuzemos de tempo para a procura de melhores exposições. Pudemos observar somente as partes mais elevadas da coluna, onde se intercalam canadadas de 2 a 4 cm de espessura de folhelhos pretos em calcários de 10 a 15 cm de espessura, achando-se âstos completamente decompostos. Segundo observações posteriores do Prof. Josué C. Mendes, o Irati tem nesta região uma espessura de 30 metros, iniciando-se com um calcário muito decomposto logo acima do Palermo, não tendo sido possível a avaliação da sua espessura. Posteriormente o referido Professor observou e informou-nos sobre a existência de menos de 10 metros de Irati (constituídos de folhelhos com algumas bonecas de sílex) em Bom Retiro, junto a sedimentos do tipo Serra Alta, por baixo e por cima, o que confirma a ideia da flutuação das condições de oxigenação e de redução durante a deposição do Passa Dois. Finalmente, mais ao norte, em Taió e Serril ocorrem 2,5m de calcário betuminoso.

c - No Rio Grande do Sul -

Foram muitas as localidades nas quais pudemos observar o Irati do Rio Grande do Sul. Apesar disso foram raras as ocasiões em que pudemos notar alguma semelhança com o Irati estudado nos demais estados. Baseando-nos no critério de Krumbein e Sloss (1953) não chamaríamos de Formação Irati a maior parte das exposições observadas, tão diferente é o aspecto litológico. No entanto, situam-se acima da Formação Palermo. Muito embora os caracteres paleontológicos não definam a formação geológica, devemos citar a existência de Mesosaurus, de Eygaspis e de madeiras silicificadas.

Pantano Grande -

As ocorrências que mais chamam a atenção pela falta de semelhança situam-se nos arredores do Pantano Grande, nas imediações do km 78 da rodovia Porto Alegre - Uruguaiiana.

Caracterizam-se pela predominância de siltitos claros, de granulação heterogênea, com porcentagem às vezes alta de areia fina. São rochas bem estratificadas, predominando leitões centimétricos. Uma das madeiras fósseis observadas parecia indicar uma biocenose, graças à sua posição vertical. A cerca de 3 km ao sul de Pantano Grande observamos nova ocorrência, onde é abundante o número de fragmentos de madeira silicificada, espalhados pelo solo. Conseguimos encontrar junto ao chão um calcário amarelo muito compacto, maciço, e cheio de fissuras milimétricas em disposição ortogonal. Apesar de delgadas exibem vários fenômenos, a saber: o da descoloração ao longo da fissura, o da precipitação da calcita e ainda, a formação de dendritos de óxidos de manganês no plano da fissura. Este calcário parece formar lentes de pequenas dimensões.

São Sepé - Formigueiro -

Entre São Sepé e Formigueiro o Irati já possui cores mais escuras, mas continua completamente atípico. As rochas se apresentam semelhantes a folhelhos somente na superfície dos cortes de estrada, graças à ação da água que desagrega, separa os planos da laminação da rocha exposta. Escavando-se pouco menos de um palmo encontra-se a rocha menos desagregada, que em nada se parece ao folhelho do Irati. Apresentam a fratura conchoidal característica dos pelitos da Formação Serra Alta, coloração cinzenta escura, micáceas e sem o menor vestígio de pirobetume. As raras intercalações de calcários são lenticulares e de pequena espessura, de mais ou menos um palmo. São compactos, maciços, ora cinzentos escuros, ora cor de creme.

São Gabriel -

Outra ocorrência visitada situa-se a 15 km ao norte de São Gabriel. Observamos cerca de 4 metros de espessura, onde alguns níveis poucos espessos já se apresentam folheados, portanto, mais parecidos com o Irati verdadeiro. Ocorre ainda uma lente calcária delgada, de cor creme, com nítida fratura conchoidal, muito semelhante ao de Pantano Grande, já descrito. Prosseguindo nossas observações mais a sudoeste, vimos o Irati na localidade chamada Cerro das Caveiras, a 20 km a NW de Dom Pedrito. Aí o calcário é mais espesso, chegando a ser

explorado para a obtenção de cal em tempos passados. Amostramos um belo exemplo de calcarenito muito rico em valvas de crustáceos, bem como, de minúsculos fragmentos quase esféricos de 0,5 a 1mm de tamanho, sem a estrutura típica dos obólitos, que os de idioma inglês chamam de "pilletts". Outra amostra coletada é de um calcário castanho avermelhado bem cristalino, certamente recristalizado. Não sabemos, contudo, se tais amostras são representativas, por falta de boas exposições. São muito comuns nesta ocorrência restos de Mesosaurus.

Bagé - Hulha Negra -

Finalmente, vimos ainda o Irati entre Bagé e Hulha Negra, onde é representado por um siltito cinzento compacto, micáceo, com fratura conchoidal e mal estratificado. Acha-se atravessado por alguns veios de 3 a 4cm de espessura de quartzo no centro e calcedônia nas bordas. Acha-se cheio de cavidades irregulares, centimétricas, onde o quartzo forma cristais milimétricos.

Passo São Borja -

Merece ser citada a ocorrência de um calcário claro, compacto, muito rico em ossos desarticulados de Mesosaurus. Situa-se em Passo São Borja, a 50km a WSW de São Gabriel. O aspecto macroscópico dêste calcário assemelha-se muito aos dos calcários de Piracicaba e Laranjal, inclusive na natureza do resíduo insolúvel ao ácido clorídrico. São também encontrados esporos de gimnospermas quase iguais aos que observamos nos calcários de São Paulo, o que faz aumentar a semelhança litológica de rochas tão distantes. É realmente notável a similitude na litologia, tanto macroscópica como microscópica, como também quanto ao conteúdo fossilífero, de uma formação geológica relativamente pouco espessa (pelo menos nos afloramentos e sondagens conhecidos) e tão extensa, como é a Form. Irati.

Muito embora não tenhamos visto nenhum afloramento típico do Irati, sem dúvida alguma êste ocorre nas partes profundas, o que se depreende da leitura do trabalho de Sena Sobrinho (1942), que descreve com pormenores a litologia de 3 sondagens executadas na fazenda Santa Cruz, ao norte de São Gabriel, nas proximidades de um dos locais onde estivemos. As sondagens, que se distanciam de 400 a 500 metros atingiram profundidades ao redor de 30 a 50 metros.

semos a transcrever o perfil da mais profunda, furo nº 1, com ta 135 metros:

Terra vegetal	1,30 m
Folhelhos pretos	8,70 m
Calcário argiloso cinzento (?)*	10,00 m
Calcário duro	1,00 m
Folhelho betuminoso	5,00 m
Calcário argiloso	5,70 m
Calcário dolomítico c/pirita	7,50 m
Calcário argiloso duro (?)*	6,50 m
Calcário semi-cristalino c/sílex	3,00 m

(*) No gráfico dos perfis estas duas camadas assinaladas constam como folhelho argiloso calcífero, com um símbolo intermediário que não permite o esclarecimento da litologia.

Do exame dos demais perfis e da leitura do trabalho citado chamamos a atenção para diversos fatos, a saber: a presença de sílex no calcário mais próximo à base. A abundância de rochas carbonáticas, bem maior do que a de folhelhos. A presença de pirita e de material betuminoso, indicando a continuação das condições de sedimentação observadas desde o estado de Goiás, como veremos logo a seguir. Da observação do gráfico concluímos ainda que são comuns camadas lenticulares, enquanto que outras parecem apresentar variação lateral considerável, no caso do gráfico estar correto. Lembramos, em todo o caso, que as lentes observadas em superfície ocorrem também em profundidade.

d - No Estado de Goiás -

Muito embora a ocorrência a ser descrita seja a mais setentrional, deixamo-la para o fim, desobedecendo à ordem geográfica para obedecer à de importância, porque as nossas observações restringiram-se apenas a algumas amostras coletadas por Antonio Thomaz Filho e gentilmente cedidas para o nosso estudo. O afloramento situa-se a 11 km ao norte de Montividiu, que se localiza na região sul do estado de Goiás. Foi medida uma espessura parcial de 16 metros para o

Irati, que tem por baixo um sil de diabásio de posição estratigráfica desconhecida por falta de exposição. Passemos à descrição das amostras que foram coletadas de baixo para cima. Não conhecemos as espessuras correspondentes. As primeiras amostras parecem ser antigos calcários, agora completamente substituídos pela sílica sob a forma de quartzo, muito embora o aspecto seja o do sílex. É provável ter havido a recristalização e perda de água. A coloração é cinzenta escura e homogênea. Acima desta rocha ocorre um folhelho côm de creme, micáceo, devendo achar-se alterado, pela presença de raízes atuais. Segue uma rocha interessante pela estrutura oolítica, pelo menos na aparência, porque não se percebe a textura interna típica dos oólitos. Macroscopicamente é uma rocha escura, graças à côm preta dos oólitos, cujo tamanho médio é de 0,3 a 0,6 mm. Achan-se envolvidos por uma matriz de calcedônia de coloração mais clara. Uma vez intemperizados os oólitos tornam-se castanhos, o que nos leva a acreditar que fôssem pelo menos em parte sideríticos, dada também a coloração em secção delgada e a presença de ferro revelada pelo espectrógrafo. Tratar-se-ia assim de um calcário siderítico silicificado, permanecendo o ferro sob a forma de hidróxidos ou mesmo de óxidos, pois, nem todo o material solubilizou-se com o ácido clorídrico. Observam-se ainda pequenas lentes de 2 a 3 mm de espessura de material silicoso de granulação bem mais fina, parecendo tratar-se de sílex originalmente presente no calcário, ou seja, formado antes do processo que silicificou os oólitos mais a matriz. Acreditamos que esta zona oolítica seja expressiva na região, pois, outras amostras coletadas à parte da secção descrita, são igualmente oolíticas. Uma delas é escura como a descrita e a outra clara, mais ou menos friável. Constituem-se também de oólitos de calcedônia mais quartzo em matriz igualmente silicificada. A pouco mais de 200 km a WNW desta zona ocorre a mesma rocha, cuja descrição de Leinz(1938) concorda plenamente com a nossa, inclusive do ponto de vista microscópico.

A amostra seguinte, portanto acima da oolítica, é

um folhelho prêto bem laminado, bem típico da formação Irati, com raros e irregulares nódulos de sílex castanho escuro de poucos milímetros de tamanho. Uma vez aquecida, esta rocha exala ligeiro odor que lembra o do betume. A amostra seguinte é um folhelho avermelhado cheio de concreções irregulares de sílex ora castanho avermelhado ora prêto. Ocorrem concreções calcárias de forma irregular, centinótricas, com os cristais de calcita alongados em disposição radial. Finalmente, a última amostra é de um dolomito levemente róscio, muito compacto, sem estrutura alguma. Tivemos ainda a oportunidade de observar o testemunho de uma sondagem efetuada a quase 100 km a SW do citado perfil (sondagem de Jataí, da Petrobrás), tendo atingido o Irati entre 303 a 344 metros de profundidade. Trata-se de um belo exemplo de calcário oolítico totalmente silicificado, com os oólitos pretos e a matriz clara. É abundante a pirita, sob a forma de diminutos cristais irregularmente espalhados por toda a amostra. A camada oolítica, de 2 cm de espessura acha-se delimitada por folhelho prêto não pirobetuminoso, que por sua vez, acha-se intercalado de lâminas milimétricas de calcário. Tem-se a impressão de que o folhelho impediu o processo da silicificação destas lâminas calcárias, impedindo a percolação das soluções silicósas.

e - No Estado de Mato Grosso -

Complementando este capítulo das descrições devemos ainda mencionar a existência da Formação Irati no Estado de Mato Grosso, a cerca de 230 km a WNW do perfil descrito de Montividiu. Acha-se descrita por Almeida (1954), que admite uma espessura máxima de 20 metros para o Irati daquela área. Quanto à litologia o citado autor descreve "folhelhos e dolomitos parcialmente silicificados e impregnados de substâncias piro-oleíferas". As rochas dolomíticas são exploradas para a obtenção de cal em três localidades desta área.

O Irati de Mato Grosso é bem conhecido em profundidade, graças às perfurações executadas pela Petrobrás. Sua espessura é variável, desde poucos metros até 50, numa das

sondagens de Dourados, que por sinal, possui traços de petróleo. A espessura mais freqüente é a de 35 metros. Quanto à litologia, em nada difere do Irati que conhecemos nos afloramentos. Ocorrem folhelhos pretos micáceos, dolomitos, o sílex é muito abundante, bem como, a pirita. Em nenhuma das descrições vimos referências a sedimentos clásticos grossieiros.

Ao finalizarmos este capítulo, mais uma vez chamamos a atenção para a uniformidade, para a constância dos caracteres litológicos, paleontológicos e estruturais (espessura e posição das camadas) da Formação Irati. Lembramos que no Uruguai, a 1.700 km dos afloramentos do Estado de Goiás, ocorre a mesma formação com os mesmos caracteres citados, ou seja, as chamadas "lutitas betuminosas de Mangrullo", cuja espessura é de 70 metros e pertencentes ao Grupo Mello. Constituem-se de folhelhos negros por vezes betuminosos e calcários cinzentos com Mesosaurus, sendo comum a ocorrência de pirita, segundo a descrição de Caorsi e Goñi (1958).

-----//----

IV - ESTRUTURA GERAL DA FORMAÇÃO IRATI

Este assunto acha-se bem exposto no trabalho de Freitas (1951), que se valeu da uniformidade litológica e estratigráfica da Formação Irati para a interpretação da tectônica da bacia do Paraná. Neste trabalho o citado autor baseou-se em dados de sondagens, tomando o Irati como horizonte chave e endossando as idéias de Oppenheim (1934 b) e de Gutmans (1949), que interpretam as grandes discrepâncias da altimetria do Irati como sendo devidas a falhamentos, o que tivemos o ensejo de verificar, tanto no campo, como em novos dados de sondagens. Assim sendo, limitar-nos-emos a acrescentar algumas novas informações que visam mais fortalecer as idéias já existentes, bem como, a apresentar os dados que obtivemos da direção e mergulho das camadas no Estado de São Paulo.

1. Dados altimétricos -

Quanto aos novos dados da altimetria do Irati, devemos às inúmeras perfurações executadas pela Petrobrás na bacia do Paraná, sendo as cotas transcritas no mapa da fig. 1-1. Graças ao conhecimento das cotas de quatro furos e das suas respectivas coordenadas geográficas, pudemos determinar o mergulho de quase 1.º para sudeste na região sul de Mato Grosso (arredores de Dourados, a 200 km a WNW da desembocadura do Paranapanema). Trata-se de uma posição perfeitamente compatível com a direção das margens da antiga bacia onde se depositou o Irati. Merece ainda destaque a cota da base do Irati na perfuração de Pres. Epitácio (cota-2576 m), a mais profunda que verificamos, fato de pleno acôrdo com a posição central, na área da calha do riá Paraná, onde deveria ser mais intenso o abatimento. Muito embora nos afastemos do assunto, julgamos de interêsse lembrar que esta perfuração atravessou 1.500 m consecutivos de basalto, cujo topo situa-se à profundidade de 100 m, na cota +162 m. Segundo a observação de José Setzer, do I.G.G. de São Paulo, ocorrem 28 derrames, o que pôde ser verificado pelas zonas vesiculares, de menor resistividade elétrica. É altamente

provável que esta imensa massa basáltica tenha influenciado no recalque dos estratos do Tubarão, do Passa Dois e dos 250 metros de arenito Botucatu que ocorrem por baixo dos derrames basálticos.

Bem ao norte da bacia, na região sul de Goiás, o Irati foi perfurado a pouco mais de 300 m de profundidade numa distância de cerca de 50 km ao sul da faixa E-W onde aflora o Grupo Passa Dois e que delimita a região setentrional da bacia. Trata-se da perfuração de Jataí, igualmente da Petrobrás. Tudo indica um ligeiro mergulho da ordem de grandeza de meio grau para o sul. É óbvio que o número de perfurações não permite qualquer conclusão peremptória sobre a posição dos estratos, intensamente afetados por falhas e por intrusões de diabásio, o que se verifica a partir do exame dos registros das perfurações. Posteriormente tivemos a confirmação do que lemos nos "logs" litológicos através das observações e informação verbal do Prof. Dr. Setembrino Petri, que se acha estudando aquela área.

2. Confirmação dos falhamentos -

No estado de São Paulo, onde fizemos estudos mais acurados, pudemos verificar no campo que a principal causa da discrepância altimétrica do Irati é, como já referimos inicialmente, devida a falhas. Também as intrusões de diabásio podem produzir deslocamentos locais, por vezes de grande monta, como ocorre na região de Iracemópolis, Assistência e Ipeúna, onde a faixa do Grupo Passa Dois acha-se soerguida de cerca de 400 metros, se fôr obedecido o mergulho que determinamos para o Irati numa área afastada da influência das intrusivas. Todas as falhas que pudemos medir no campo dirigem-se para o norte ou nordeste, todas com forte mergulho para leste ou sudeste. Outra grande falha foi constatada pelas perfurações da Petrobrás nos arredores de Guaratá, onde a formação em estudo ocorre a 660 metros de altitude a poucos km ao sul da cidade. A citada falha situa-se a 35 km a oeste da cidade e se prolonga para NNE, tendo abafado as camadas situadas a oeste da falha. Num dos poços o

o Irati está a 222 m de profundidade, o que vem indicar a ordem de grandeza do rejeito.

Trata-se de falhas normais aproximadamente coincidentes com a direção das camadas, que por sua vez coincide também com a direção dos contatos com o Grupo Tubarão, o que parece concordar com a idéia de Gutmans (1949), ou seja, da existência de um anfiteatro escalonado por falhas, formando o arcabouço geral da bacia do Paraná. Quanto ao problema da existência de dobras tectônicas no Irati, assunto em que Almeida e Barbosa (1953) discordam de Oppenheim e Malamphy (1936) para o caso da estrutura de Pitanga (fazenda famosa desde os tempos de Washburne, pelas perfurações pioneiras para petróleo e pela estrutura levantada que determina a formação de bola escarpa que descamba para o vale do Corumbataí), não encontramos afloramento algum do Irati, perdurando aberta a questão. Percorremos por duas vezes os arredores da fazenda, num círculo de quase dois km de raio, sem termos visto o Irati, salvo um solo muito semelhante que ocorre a menos de 1 km da sede, rumo Tanquinho. A rocha predominante nesta área é um siltito esverdeado excessivamente duro, do tipo do Tubarão. Uma légua a nordeste aflora o Irati em Assistência, sobrecoberto por um possante sil de diabásio. As camadas ora se apresentam horizontais ou quase horizontais, ora com mergulho de meio a um grau para o rumo NE a ENE. São certamente posições anormais, mudadas pela intrusão. Também nesta região de Assistência, onde determinamos a posição espacial do banco basal em quatro pedreiras, não conseguimos concluir sobre a existência de estruturas dobradas, o que foi feito por Washburne (1930) e por Barbosa e Gomes (1958). Em Pitanga tomaram como base a atitude de uma camada de sílex considerada próxima à base da Formação Irati. Infelizmente não conseguimos observar esta camada, provavelmente encoberta pelo solo na área percorrida por nós. Quanto à estrutura de Assistência, tudo indica que passou despercebido dos autores citados o espesso sil referido poucas linhas atrás. Tal intrusão, que ocupa área perfeitamente mapeável e espessura ao redor de 50 m, não consta no mapa do

citado trabalho, motivo pelo qual julgamos mais viável ter havido a influência do diabásio na perturbação por eles determinada.

3. Influência das intrusões na estrutura -

Mercece destaque a quase ausência de grandes perturbações, mesmo junto a corpos intrusivos de dimensões consideráveis, como por exemplo o que observamos nas proximidades de Paraíso (E.F.S., entre Piracicaba e São Pedro), onde o Irati aflora na via férrea por cima do diabásio, certamente relacionado a um imenso sil. Nesta ocorrência medimos um mergulho de apenas 4° para oeste. As duas ocorrências de calcário marmorizado logo acima do diabásio de Assistência mostram-se horizontais. Em Rio das Pedras, a cerca de 5 km a SSW da cidade, ocorre o Irati marmorizado pelo diabásio. Nesta localidade determinamos a direção e mergulho em uma das pedreiras e procedemos ao nivelamento (trabalhamos com nível de mão) de mais quatro ocorrências, sendo de 1 km a distância máxima entre as mais afastadas. A direção medida foi de N 45° E e o mergulho de 1° 30' para NW, ou seja, praticamente o mesmo mergulho que medimos noutras pedreiras distanciadas do diabásio. As outras três pedreiras situam-se em cotas perfeitamente compatíveis com a direção e mergulho previamente medidos, sendo o cálculo executado com o auxílio de fotografias aéreas mais dos dados altimétricos relativos tomados no campo.

Outras ocorrências podem ainda ser observadas nas proximidades de Piracicaba. Numa delas, logo na saída para São Pedro, observa-se tanto o Irati como o Corumbataí praticamente inalterados quanto à sua posição, tendo por baixo o diabásio sob a forma de sil. Este fato é perfeitamente compatível com a fluidez do magma, neste caso ativo sob o ponto de vista da sua força hidrostática. Barbosa e Gomes (1958) opinam que estas intrusivas são responsáveis por pequenas estruturas localizadas, de pequeno vulto, o que está de acordo com as nossas observações de campo. Admitem ainda os citados autores que o Irati tenha sido o local de mais fácil

acesso às intrusões, por ser mais fácil a penetração graças ao menor peso das camadas de cima. Quem observar o mapa geológico do Estado de São Paulo nota, realmente, grande discrepância no tamanho do sil situado ao norte de Piracicaba em relação aos demais existentes no Tubarão, bem menores do que o primeiro.

4. Direção e inclinação do Irati -

Sempre que determinamos a posição do Irati, em pequenas pedreiras isoladas, ou num determinado trecho de uma pedreira, muito comumente encontramos discrepâncias no rumo do mergulho. A causa de tais discrepâncias reside na existência de suaves abaulamentos que afetam umas poucas dezenas de metros de extensão. Não temos a menor dúvida de que tais abaulamentos não são tectônicos. Muito provavelmente sejam devidos a ligeira erosão do topo do banco antes da deposição das camadas rítmicas. A fim de evitar o erro causado por estes abaulamentos, escolhemos uma pedreira visível em grande extensão, muito uniforme, aparentemente longe do dia-básio e em situação topográfica muito favorável a um levantamento preciso. Assim sendo, evitamos os abaulamentos já citados, e demarcamos três pontos devidamente distanciados e favoráveis na intersecção dos segmentos, e em ângulos que não afetaram a exatidão requerida.

A pedreira escolhida para este trabalho foi a do Sr. Maluf, uma das mais belas da região, pela enorme área descoberta e extensão de exposição das camadas. Situa-se a 18 km de Piracicaba rumo Tietê, a cerca de 500 metros da rodovia estadual. Do alto de um atêrro situado no centro de um dos flancos da pedreira, escolhemos os citados pontos, bem no topo do banco calcário basal. A partir de uma linha de base de 28,25 metros, determinamos por triangulação a posição horizontal e vertical dos pontos, o que foi executado com um taquímetro Norton, cuja precisão é de até meio minuto, por interpolação. Uma vez resolvido o problema dos três pontos, determinamos graficamente a direção $N35^{\circ}E$, com um mergulho de $1^{\circ} 20'$ para NW. A partir de um dos cantos do

triângulo (cujos lados medem 91, 101 e 153 metros) determinamos a diferença de nível num quarto ponto distanciada de 400 metros a sudeste, medida esta que veio confirmar o valor do ângulo do mergulho. Nesta última medida o erro foi de apenas 60 cm, o que não afeta a ordem de grandeza do valor do gradiente.

a - Extrapolação da direção e mergulho -

De posse destes dados de direção e mergulho, extrapolamos estas medidas às demais pedreiras da região toda, até às de Laranjal, no mosaico das fotografias aéreas que montamos para toda a área em que aflora o Irati. Uma vez retificada a orientação geográfica das fotos, bem como, a sua escala (aproximadamente 1:25.000), localizamos todas as ocorrências visitadas (cêrca de 25) entre Piracicaba e Laranjal, numa linha curva de ao redor de 60 km. Conhecendo previamente as altitudes do banco calcário basal (estas foram determinadas com aneróides de precisão e sempre que possível corrigidas após aferimento nas estações das linhas férreas de Piracicaba), marcamos-las no mapa feito a partir do mosaico. A seguir fizemos o cálculo trigonométrico das altitudes que deveriam ter as ocorrências, aplicando-se o valor da tangente de $1^{\circ} 20'$ e tomando-se como base a altitude da pedreira do Sr. Maluf (onde o tópo do banco basal acha-se a 565 m de altitude). Pudemos desta maneira constatar a veracidade e a exatidão das medidas de direção e mergulho tomadas com teodolito na pedreira do Sr. Maluf. Fomos felizes na escolha dos três pontos tomados como base da determinação da posição desta importante camada. Prolongando-se ainda a direção a nordeste, o afloramento que estudamos próximo a Limeira, a 44 km da pedreira do Sr. Maluf, ainda se encontra praticamente dentro da posição estabelecida trigonométricamente, com apenas 65 metros a mais da posição calculada, como se vê na fig. 4-1.

A direção e o mergulho que determinamos concordam plenamente com a posição do Irati no perfil elaborado por Felicíssimo (1952), que se valeu dos dados de sondagens efe

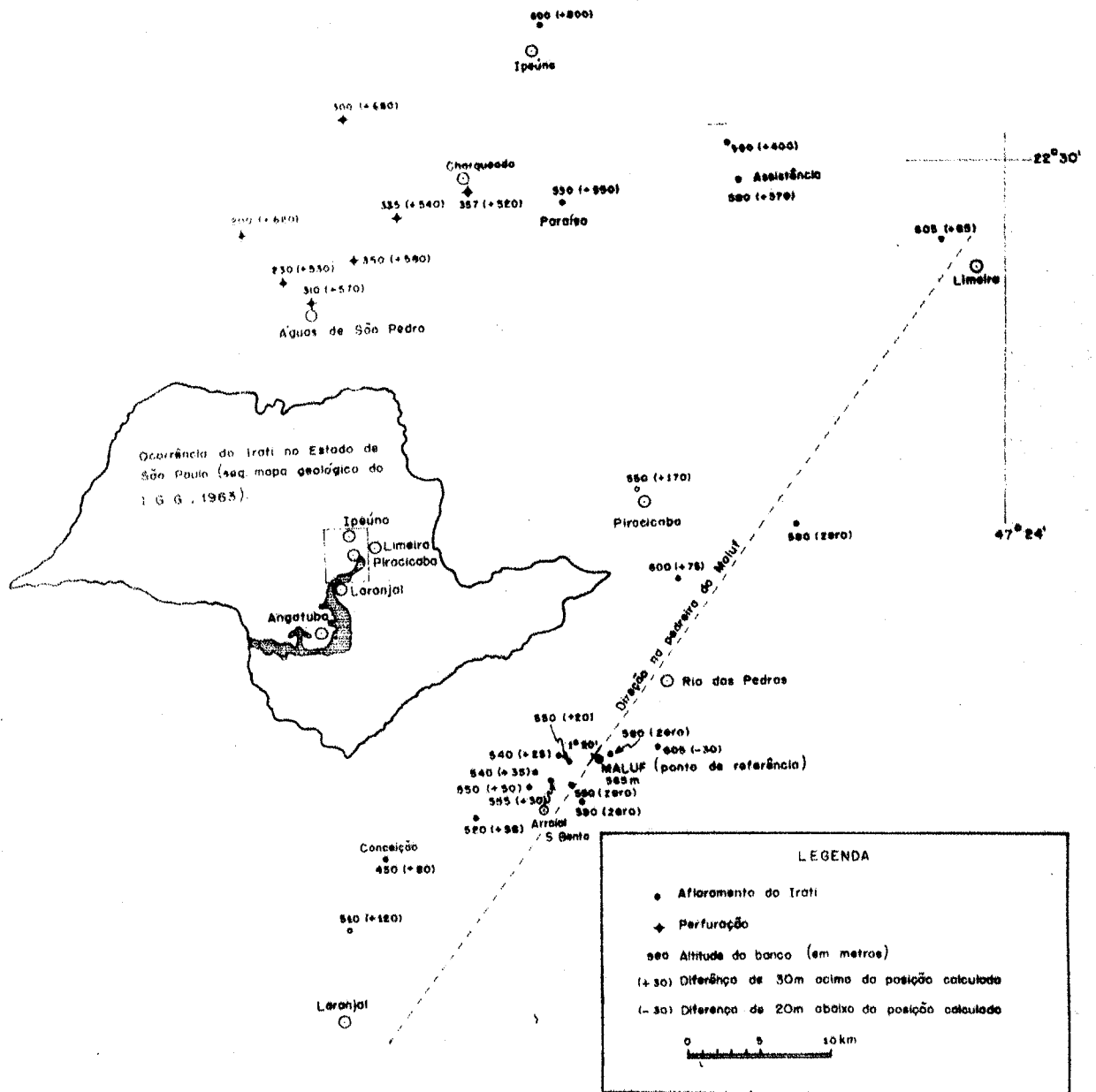


Fig. 4-1. Mapa da localização e das altitudes das ocorrências estudadas mais pormenorizadamente do Estado de São Paulo.

tuadas no município de São Pedro, SP. Entre dois poços escolhidos por aquele estudioso (Araquá Lima nº 1 e São Pedro nº 1), poços estes alinhados segundo $N39^{\circ}E$, observa-se um mergulho de 20 minutos para $S39^{\circ}W$. Trata-se de um mergulho aparente, que, segundo os cálculos trigonométricos, está de pleno acôrdo com ambos os dados (direção e mergulho) que de terminamos.

b - Interpretação das discrepâncias altimétricas -

Merecem menção as discrepâncias encontradas, pois, estas não se dão ao acaso. Assim a pedreira situada a 7km de Laranjal, com 120 metros de soerguimento relativo ao nível considerado de referência, situa-se em região escarpada, onde os lados da escarpa e a direção geral da drenagem coincidem com direções de diáclases medidas no campo, ou seja, E-W, NW e NS. Ainda mais, o caimento da topografia no plano e levado pela escarpa acompanha nitidamente o mergulho das camadas, que naquela área é de um grau para $N 20^{\circ} W$. Graças ao exagêro produzido pela fotografia aérea, torna-se bem visível tal configuração morfológica. Em resumo, tudo indica que aquela área sofreu um levantamento por falhas, sem ter afetado a posição das camadas. Confirmando esta suposição, determinamos a direção de $N 60^{\circ} E$ com um mergulho de 2° para NW para a formação Corumbataí em Conchas, a 18 km a oeste. Para a formação abaixo, ou seja, para o Tubarão, medimos $N 40^{\circ} E$ com 2° para NW a cerca de 2 km de Tietê na estrada para Laranjal. Ainda, poucos quilômetros ao sul da pedreira do Sr. Maluf, na rodovia para Tietê, determinamos a direção NE com um mergulho de $1^{\circ} 30'$ para NW para a formação Corumbataí, num afloramento que aparentava ausência de perturbação. Neste percurso são comuns as deformações tectônicas locais, assunto tratado e bem ilustrado no trabalho de Almeida e Barbosa (1953). Tais medidas vêm confirmar a veracidade da determinação da posição das camadas do Irati, que coincide perfeitamente com a direção dos contatos na região estudada, ou seja, desde Cesário Lange até Limeira. Vêm ainda confirmar a ausência de perturbações por dobramento, que

quando existem, são de âmbito local, confirmando as idéias de Oppenheim (1934 b).

As discrepâncias encontradas nas diversas pedreiras situadas nos arredores da do Sr. Maluf, numa distância de cerca de 5 a 8 km (fig. 4-1), são explicáveis pelas inúmeras falhas quase verticais de direção N-S que ocorrem naquela área. São falhas normais de pequeno rejeito, mas que no seu conjunto podem determinar escalonamentos responsáveis pelas discrepâncias da altimetria do Irati. O exame das fotografias aéreas mostra a existência de um vale já bem alargado, medindo mais de um quilômetro de comprimento por uma largura que varia de 100 a 200 metros, sendo provável a sua relação com o sistema de falhas citado, pois, a direção é a mesma e o prolongamento da direção das falhas coincide com a do vale.

A 5 km ao sul de Rio das Pedras (fig. 4-1) localizam-se as pedreiras já mencionadas, cuja cota é de 30 metros a menos em relação à altitude calculada pela trigonometria. Fato interessante é que elas se situam acima de um sill de diabásio que marmorizou os calcários daquela área. Não sabemos a espessura da intrusão, que não deve ser pequena, em virtude da extensão do metamorfismo. Assim sendo, o diabásio certamente soergueu o Irati, não sabemos de quanto, e posteriormente foi este abatido pelas falhas. Desta maneira, a posição altimétrica destas pedreiras vem indicar que estes falhamentos se deram após a fase das intrusões. Se estas fôrem contemporâneas aos derrames basálticos (o que é provável, mas não obrigatório) seriam de idade cretácea, segundo estudos recentes realizados no laboratório de Geocronologia da nossa Faculdade. Estas falhas, provavelmente, são de pequena extensão, pois, 18 km a NE das pedreiras de Rio das Pedras ocorre o banco basal do Irati (cota 580) na sua posição certa, se bem que outra possibilidade seja a da existência de outras falhas que compensassem o deslocamento, o que é de difícil verificação pela falta de boas exposições.

A medida que se afasta para NW da linha de referência aumenta cada vez mais o valor positivo da discrepân-

cia, atingindo a 800 metros ao norte de Ipeúna. No entanto, nesta localidade, nivelamos cuidadosamente duas pedreiras distanciadas de cerca de 500 metros, e a direção e mergulho do banco basal permanecem inalterados. Como só acontecer, o banco apresenta irregularidades locais, com mergulhos de 3° ora para NW ora para NE, em trechos de 10 a 20 metros de extensão. Contudo, medido a distância grande tem-se o valor mais exato para o mergulho, ou seja, de 1.º 30' para NW. O exame das cotas do Irati em 20 sondagens situadas entre São Pedro, Águas de São Pedro e Charqueada mostra a mesma altitude da formação segundo a direção NE, o que vem fortalecer a ideia de que o deslocamento foi homogêneo, sem dobrar nem adernar, na maioria dos casos. É óbvio que o que foi dito é válido somente para os traços gerais. Apesar de não termos observado mergulhos que indiquem dobramentos, as estruturas de Pau d'Alho, Pitanga e outras, patenteam a existência de levantamentos bem pronunciados, onde é possível que aos falhamentos se associem adernamentos radiais dômicos.

Entre Laranjal e Tatuí observamos a formação em estudo somente nos cortes de estradas, sem que tivéssemos a oportunidade de executarmos uma medida segura da sua direção e inclinação. Muito comumente acha-se bastante alterado e perturbado por falhas. A última exposição que ainda obedece à direção e inclinação das pedreiras de Piracicaba situa-se entre Pereiras e Cesário Lange, numa área onde os afloramentos do Irati mudam de NE para NW, sem relação aparente com a topografia.

Mais ao sul, os afloramentos situados entre Itapetininga e Guareí situam-se 200 metros abaixo do nível ideal, calculado trigonomêtricamente. A falha existente em Guareí, já referida, coaduna perfeitamente com este deslocamento. No entanto, entre Itapetininga e Tatuí, onde a direção dos contatos volta a ser normal, ou seja, NE, o Irati acha-se normalmente mergulhado em relação à área tomada como base. A diferença é de 500 metros para mais, o que só pode ser devido a falhamentos. Muito embora não tenhamos observações de campo suficientes para explicar tal discrepância, menciona-

mos apenas a existência de inúmeras falhas, muitas delas, junto a intrusões de diabásio (sil), mas de pequeno rejeito.

c - Posição do Irati nas ocorrências mais sulinas do Estado de São Paulo -

Prosseguindo as nossas observações do campo verificamos que as camadas mergulham de 1º para N, obedecendo ao desvio da faixa dos contatos, que passa a ser E-W na região situada entre Angatuba e Paranapanema. Não pudemos medir as camadas do Irati, que se acham muito alteradas, mas executamos várias medidas nas camadas mais frescas da Formação Corumbataí. As observações que se seguem, nos demais estados, mostram claramente que os rumos dos mergulhos são indubitavelmente determinados pela configuração pretérita da bacia, sendo os mergulhos ou exagerados tectonicamente ou originalmente grandes apenas junto às margens, pois, em 100 km apenas a profundidade do Irati atingiria a 2.300 km, o que não se dá, como era de se esperar. Mais a oeste, entre Fartura e Taguaí, o colega Vicente Fúlvaro determinou o mergulho para NNE.

d - Posição do Irati no Paraná -

No Estado do Paraná pudemos verificar a mesma configuração, sendo sempre escolhidos os afloramentos mais distanciados dos corpos de diabásio. Assim é que entre Carlópolis e Joaquim Távora, a formação Corumbataí mergulha cerca de 1º para WNW. Entre Joaquim Távora e São Antonio da Platina medimos um mergulho suave para NW, e pouco mais ao norte, a meio caminho entre as duas cidades citadas, o mergulho é para o norte, ainda para a Formação Corumbataí. Mais ao sul a direção do Irati foi determinada com precisão por Maia (1961) a partir dos dados de sondagens em São Mateus. Determinou a direção NW com um mergulho suave, de menos de um grau para SW (mais comumente 14 metros por km), o que está de pleno acordo com a direção geral dos contatos entre as formações gondwânicas daquela área. Em Eng. Gutierrez, que se situa a 46 km a NW de São Mateus, confirmamos o mesmo mergulho para o contato do Irati com a formação sobrejacente,

numa boa exposição de cerca de 50 metros, junto à estação da linha férrea.

e - Posição do Irati em Santa Catarina -

Em Santa Catarina, mais ou menos a 50 km a NNE de Lages, determinamos a direção de N 10° E com um mergulho de pouco menos de um grau para oeste. Prosseguindo rumo sul, portanto subindo a coluna estratigráfica, confirmamos a mesma direção e o mesmo mergulho para as duas formações sobrejacentes, ou seja, Serra Alta e Serrinha, assim designadas na região sul do País.

f - Posição do Irati no Rio Grande do Sul -

Finalmente, no Estado do Rio Grande do Sul, onde a direção geral das camadas gondwânicas é E-W, o mergulho continua obedecendo à configuração da bacia, ou seja, para o norte, como era de se esperar. Fato interessante é que em São Gabriel, onde se inicia a inflexão das camadas para o sul, a direção do Irati passa a ser NE com mergulho para NW, segundo Teixeira (1938) e segundo informação do Eng. Vicente Padula, da Petrobrás, que se acha estudando o Irati inclusive por meio de sondagens, na região sul da bacia. Infelizmente não encontramos dados sobre a direção e inclinação do Irati no Uruguai, onde, segundo Caorsi e Goñi (1958), esta formação é de caráter lenticular, pelo fato de nem sempre achar-se presente, muito embora seja descrita uma espessura de 70 metros, portanto, quase ou mais que o dobro do Irati do Brasil, que tudo indica, pelo que acabamos de expor, tratar-se de uma formação contínua. Há quem imagine ter sido o Irati uma série de lagos continentais, uns maiores e outros menores. Tal idéia não encontra apoio no que acabamos de expor, o que foi baseado em observações diretas no campo e na leitura de outros trabalhos a respeito.

-----//---

V - ASPECTOS ESTRUTURAIS DA FORMAÇÃO IRATI

1. Estruturas tectônicas -

Já tratamos de algumas partes dêste tópico no capítulo precedente, dada a relação do assunto a ser tratado com os traços gerais da formação. Por êste motivo limitamos aqui a descrever algumas falhas observadas e discutir o problema dos sistemas de diáclases, sua relação com as intrusões de diabásio e a sua eventual influência na topografia.

Na área situada entre Laranjal e Piracicaba, onde os estudos foram acurados, determinamos dois sistemas principais de diáclases. Um dêles é N 35° W a N 50° W e o outro é N 50° E a N 70° E. Praticamente tôdas elas são verticais. Às vêzes observa-se o diaclasamento sòmente no banco basal, em certos casos formando-se grandes sulcos pela dissolução mais fácil ao longo da diáclase, não se vendo o menor indício de diaclasamento nas camadas rítmicas acima do banco. É provável que a maior plasticidade dos leitos de folhelho tenham se acomodado às pressões (ou tensões, não sabemos) que determinaram tais diáclases. Esta direção parece não ter a menor influência na drenagem, que, como já referimos, obedece à direção das falhas existentes na região. O diaclasamento existente na região afetada pelas intrusões de diabásio (sil) parece ser outro. Muito embora o número de observações seja pequeno, insuficiente para uma conclusão definitiva, temos a impressão de que predomina a direção NE, que sem dúvida alguma é uma direção de tensão, pois, numa das pedreiras de calcário marmorizado do Rio das Pedras ocorre um pequeno dique de poucos centímetros de largura, cuja direção é N 40° E, vertical. Também entre Piracicaba e Taquaral, nas proximidades de um grande corpo intrusivo, ocorre intenso fendilhamento N 60° E na formação Corumbataí, havendo um pequeno dique de diabásio de poucos palmos de espessura segundo a mesma direção.

Quanto às falhas, citaremos algumas que chamaram a nossa atenção, além das já referidas no capítulo preceden

te. Uma delas é semelhante à ilustração de Almeida e Barbosa (1953, fig. 40), pelo fato de ter falhado o banco basal mais rijo e dobrado a zona rítmica mais plástica, com a diferença de que a nossa falha é normal e a citada é inversa, caso mais raro. Sua direção é NS, com um mergulho de 70° para leste. Situa-se numa das pedreiras do Bairrinho, pequeno povoado a cerca de 1,5 km a NW da pedreira do Sr. Maluf (fig. 5-1). Outra direção que parece ter relação com as falhas normais é a direção NE. Uma das falhas observadas, que obedece a esta direção, merece ser mencionada, pelo fato de formar um belo e nítido "graben". Ambas as falhas que o delimitam se alinham segundo NE com caimento de 80° para SE. Situa-se entre Tatuí e Itapetininga, na rodovia estadual. A distância entre os planos da falha é de apenas 20 metros, e as camadas abatidas (provavelmente da Formação Corumbataí) acham-se lindamente encurvadas para cima num dos lados, junto às camadas do Irati, mostrando bem pelas dobras de arrasto o abatimento da parte central.

A única conclusão que tiramos a partir das nossas observações em conjunto é que predominam largamente as rupturas (diáclases ou falhas) ocasionadas por forças de tensão, e não de compressão, fato que coaduna com as estruturas falhadas ao invés de dobradas. A única falha inversa que conhecemos situa-se nas proximidades de intrusões de diabásio, o mesmo se dando com a falha inversa citada por Almeida e Barbosa, à qual nos referimos poucas linhas atrás, que ocorre junto a um dos maiores corpos de diabásio que se observa no mapa geológico do Estado de São Paulo. É provável que a intrusão do corpo magmático produza esforços secundários responsáveis pela compressão de zonas restritas, pois, as falhas referidas parecem ser de pequeno deslocamento.

2. Estruturas atectônicas de deformação -

Trataromos somente das estruturas penecontemporâneas, deixando de lado as deformações causadas pela dissolução do banco calcário basal com a conseqüente acomodação das camadas rítmicas de cima. Estas também se apresentam muito

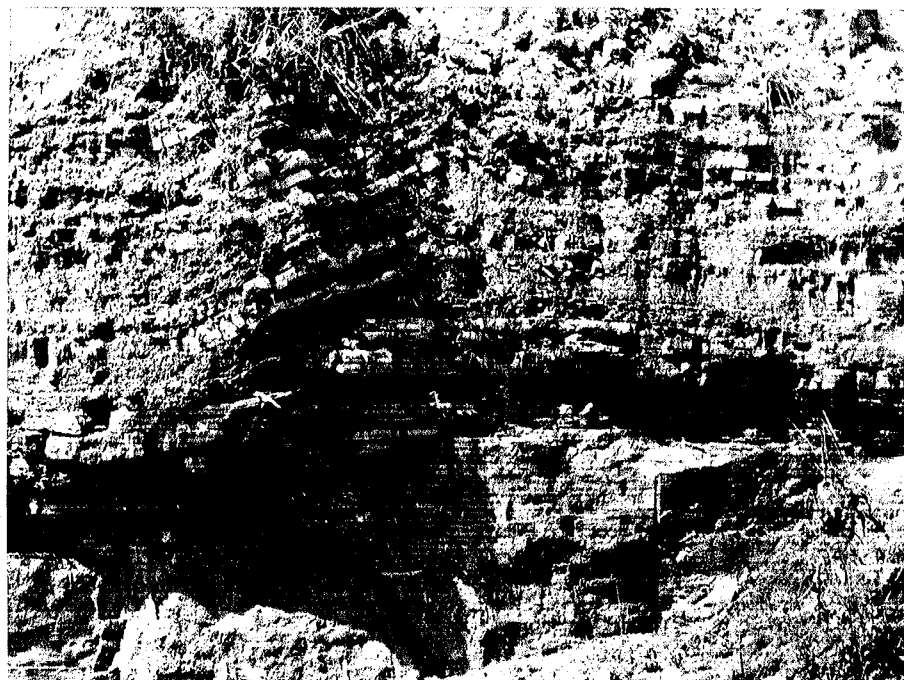


Fig. 5-1. Pequena falha normal de meio metro de rejeito no banco basal. A parte superior da zona rítmica acomodou-se à falha por meio de suave dobra, graças à maior plasticidade da zona rítmica. (Bairrinho).

comumente dobradas de maneira irregular nas proximidades do solo (a menos de 1 metro de profundidade), graças à plasticidade das camadas de folhelho agora decomposto, que facilmente se acomodam ao movimento de solifluxão.

a - Dobras produzidas por escorregamentos -

A estrutura mais espetacular às **vêzes** encontrada consiste em dobras anticlinais bem pronunciadas, ligeiramente assimétricas, que afetam somente a zona rítmica, sem afetar o banco basal. Junto à base da dobra, que mede cêrca de um metro de lado a lado, as camadas costumam ser mais intensamente dobradas, e mais acima vão se tornando gradativamente mais suaves (figs. 5-2 e 5-3). Os leitos de sílex acompanham o dobramento, o que vem indicar que o processo de silificação foi posterior ao fenômeno, pois, a espessura dos leitos de sílex é de alguns centímetros, o que dá alta rigidez ao pacote sedimentar. Numa das dobras observadas (pedreira Monte Belo, situada a 3 km SSW da pedreira do Sr. Maluf) as camadas rítmicas apresentam-se inclinadas de 3 a 4°, junto à pequena dobra. Entre ela e o banco existe ainda um leito de sílex e outro de folhelho sem a menor perturbação. Sem dúvida alguma representam o substrato sobre o qual se deu o escorregamento subaquático responsável pela citada estrutura. Durante o fenômeno o citado leito de sílex deveria ter sido um calcário, porque o sílex não poderia ter-se dobrado, dada a sua rigidez. O porque da ausência de perturbação destas duas camadas entre a dobra e o banco, são sabemos. Tudo indica que a lama calcária recém depositada, ora era plástica, ora quebradiça, fato já descrito na brecha.

Quanto à orientação da declividade pretérita que determinou tais dobras, tudo indica ser caótica. Assim é que na pedreira do Sr. Maluf observamos duas destas dobras, distanciadas de cêrca de 200 metros, ambas assimétricas, uma com o flanco mais abrupto mergulhando para nordeste e outra para NNW. Muito provavelmente tenha havido irregularidades no fundo, a deposição teria acompanhado esta declividade original, até que num certo momento o pêsso das camadas ven-

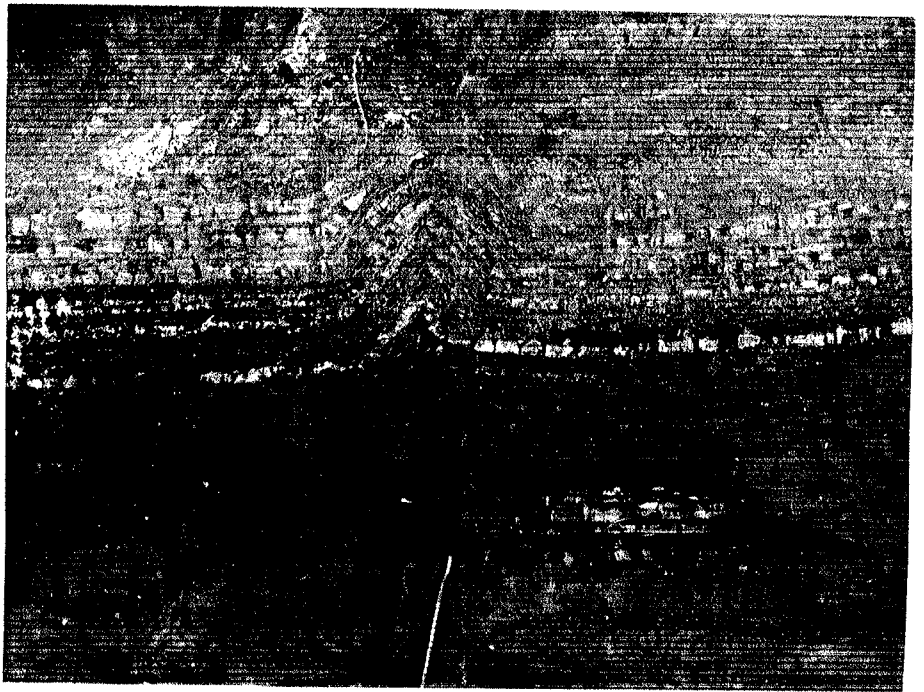


Fig. 5-2. Dobra adiastrófica das camadas rítmicas produzida pelo deslizamento da lama calcária e argilosa antes da diagênese. A camada clara de baixo, bem dobrada é de sílex, que só pode ter-se formado após o dobramento. (Pedreira Monte Belo).

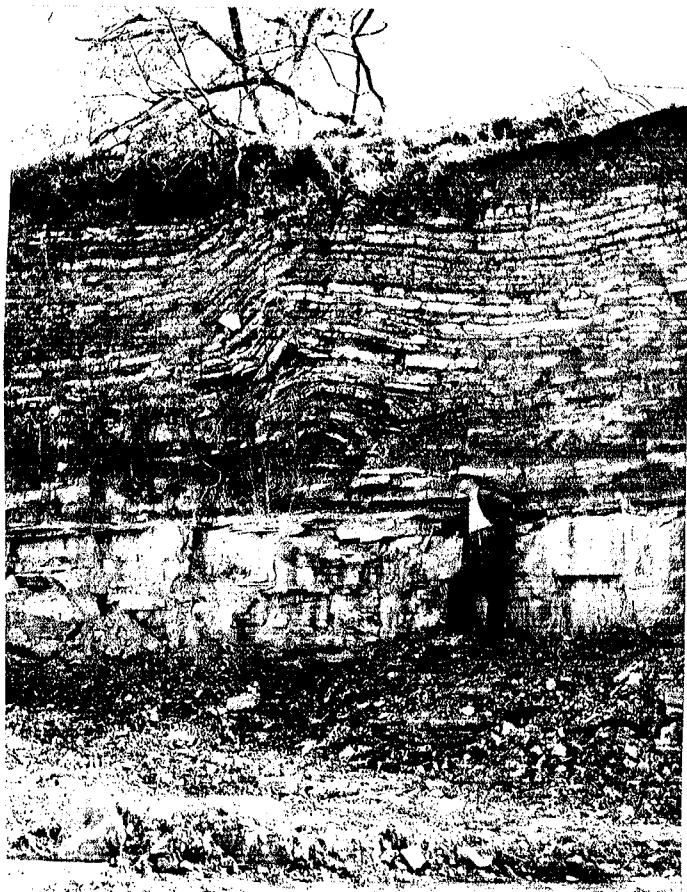


Fig. 5-3. Dobra semelhante à anterior, porém, menos pronunciada. (Pedreira do Sr. Maluf).

ceu o atrito, e estas, ainda plásticas, escorregaram e se encurvaram, comprimidas de encontro às camadas que deveriam estar em posição estável. Uma das dobras foi observada há quase 4 anos, e hoje, com o avanço da pedreira (impossível de se saber de quantos metros), desapareceu, o que vem indicar tratar-se de dobramento localizado, muito provavelmente relacionado às irregularidades do banco onde se assentam as camadas rítmicas. Estas irregularidades são por vezes observadas quando o banco é exposto antes de ser desmontado. Por outro lado, estas dobras vêm demonstrar que a lama, tanto a argilosa como a calcária, perduraram por longo tempo no estado plástico. Em nenhum dos casos pudemos medir a altura máxima afetada pela dobra, pois, acima dela acha-se o solo. Uma delas tem ao redor de 2 metros de espessura de camadas perturbadas, o que indica um longo tempo durante o qual permaneceram ainda plásticas.

Nem sempre, contudo, estes deslizamentos produzem as dobras que acabamos de descrever e de ilustrar. Em outros casos, mais ou menos raros, podem eventualmente ocasionar ligeiras flexuras, o que se acha ilustrado na fig. 5-4. Esta configuração é bem mais rara do que as dobras.

No banco basal são muito raras as dobras. Os deslizamentos provocaram mais comumente rompimento das camadas mais quebradiças. A fig. 5-5 mostra uma destas raras e minúsculas dobras, cuja localização coincide com a do nível brechado. Devemos esta observação a esta foto ao Prof. Josué C. Mendes.

b - Estruturas diapíricas -

Um segundo tipo de estrutura passaremos a descrever, muito embora seja relativamente raro, pois observamos somente 3 casos. O interesse desta estrutura é o de confirmar a plasticidade da lama calcária, fato aliás conhecido há tempos, segundo estudos de Pia (1933). Trata-se de estruturas diapíricas em pequena escala, tendo a lama calcária penetrado, atravessado as camadas de cima, certamente graças ao peso das camadas superiores, que comprimiram as de baixo a-



Fig. 5-4. Ligeira flexura na zona rítmica, a pouco mais de 1,5 m acima do tópo do banco. Note-se que uma das camadas se acha dobrada (quase no centro da fotografia) enquanto que outras se encontram nitidamente imbricadas. (Pedreira situada a menos de um quilômetro ao sul da do Sr. Maluf).



Fig. 5-5. Pequenos enrugamentos originados pelo deslize da lama calcária. Este aspecto, relativamente raro, ocorre no mesmo nível da brecha do banco, cuja origem é a mesma. (Pedreira do Sr. Maluf, foto do Prof. Jonué C. Mendes).

inda plásticas. Sendo desiguais as pressões, pode dar-se o escape da lama para um dos lados, formando-se corpos à maneira de um sil, ou para cima, como foi o nosso caso. Não encontramos na literatura referências sobre este tipo de estrutura em rochas calcárias, provavelmente por tratar-se de caso raro.

A primeira ocorrência observada situa-se na estrada de rodagem Itapetininga - Angatuba, km 195, onde predominam folhelhos pirobetuminosos com 10% de perda ao fogo, chegando a arder sob a chama. Uma das camadas calcárias parece emitir uma verdadeira protuberância de forma irregular, fazendo com que os estratos ao seu lado se encurvem para cima, forçados pela protuberância, que é ligeiramente inclinada; de meio metro de altura por 20 cm na sua parte mais larga (fig. 5-6). É formada por um calcário cinzento escuro, muito compacto, rijo, e cheio de pequenas vesículas preenchidas parcialmente com betume, já semi-endurecido. Sua textura é uniformemente fina, predominando cristais de 5 microns de tamanho médio. Ocasionalmente a calcita se recristaliza em cristais milimétricos, raros. Trata-se de um calcário bastante puro, com somente 3% de resíduo insolúvel, constituído, como praticamente todos os demais, de calcedônia, cuja descrição acha-se no capítulo X. Queremos apenas lembrar de que não encontramos a resposta para a plasticidade no resíduo insolúvel, tal como se dá com a brecha da pedreira do Sr. Maluf.

A segunda ocorrência é bem maior do que a do km 195. Acha-se em Assistência, na pedreira do Sr. Anafrain Huppert, no mesmo local onde Landim (1965) fez interessante estudo da deformação por compactação dos leitos situados abaixo do banco calcário explorável. Acha-se bem ilustrado nas figuras 1 e 4 do referido trabalho. O calcário é homogêneo, apresenta-se todo fraturado, medindo o corpo "intrusivo" pouco mais de um metro por menos de 0,5 m de largura. Tal como a amostra anterior, a porcentagem de resíduo insolúvel deste calcário é nitidamente menor do que a dos calcários adjacentes. Enquanto que estes possuem de 20 a 30 % de resíduo,

aquêle possui somente 5 %, constituído quase que exclusivamente de calcedônia. Tanto nesta ocorrência como na de Angatuba (km 195) o teor em elásticos do resíduo é mínimo, de cerca de 1 % apenas (em relação ao resíduo, e não à amostra toda), o que não coaduna com a suposição de que o calcário tenha sido argiloso para ser plástico.

c - Falhas -

As falhas adiastróficas penecontemporâneas à sedimentação são raras. Uma delas mereceu a nossa atenção pelo fato de relacionar-se à brecha, como ilustra a fig. 5-7. No entanto, as falhas produzidas pela dissolução do calcário do banco e posterior assentamento são mais ou menos comuns na região estudada.

d - Considerações sobre a diagênese -

Do que acabamos de expor concluímos que deve ser grande o tempo que leva para completar-se o processo diagênético que transforma tanto a lama calcária como a argilosa em rocha dura. Segundo Weller (1959) a consolidação dos calcários é fenômeno ainda desconhecido, pois, apesar de ser grande a porosidade inicial os fósseis geralmente não mostram sinais de esmagamento. Também não se sabe de onde teria provindo o calcário que cimentou os grãos previamente depositados. De acordo com dados experimentais citados por Weller, a lama calcária custa mais a consolidar-se do que a argilosa. A textura geralmente é tão fina, que não se pode ter idéia se a lama original seria constituída de acúmulos de aragonita. Estas, nas Bahamas têm um tamanho de um a cinco microns (Hatch e Rastall, 1952, pag. 172), cuja ordem de grandeza muito se aproxima da cristalinidade de grande parte dos calcários que observamos. Assim sendo, é plausível imaginar-se uma recristalização e conseqüente soldadura dos minúsculos cristais, que passaram de aragonita a calcita. Há quem suponha que o giz cretáceo não se litificou por causa da precipitação original ter sido de lama de calcita ao invés de aragonita (Pettijohn, 1957, pag. 401). Não há duvi

da de que são grandes as dificuldades da interpretação de sedimentos tão finos, ficando tudo por enquanto no campo das conjecturas.

3. Estruturas primárias sem deformação -

a - Marcas onduladas -

Obedecendo à criteriosa classificação de Pettijohn (1957, pag. 158) das estruturas sedimentares, descreveremos brevemente algumas marcas oriundas da correnteza das águas onde foi depositado o Irati. A mais espetacular delas consiste nas marcas onduladas (ripple marks). Graças à remoção das camadas rítmicas de calcário e folhelho para a exploração do banco calcário, ficam muitas vezes expostas muitas dezenas de metros quadrados da superfície superior do banco, onde são observadas as citadas marcas, além de outras que ainda serão descritas. O valor médio de λ é de 10 a 15 cm, e a altura é de cerca de 2 cm, sendo estes valores mais ou menos constantes para todas as ocorrências observadas (fig. 5-8). Aparentemente são simétricas, mas todas as vezes que se nota uma ligeira assimetria, esta indica uma correnteza de nordeste para sudoeste. Mais notável é a constância da orientação das cristas, quase sempre para NW, desde as pedreiras de Laranjal até às dos arredores de Piracicaba. Numa delas, situada a meio caminho entre as citadas (bairro Conceição), observamos marcas onduladas numa camada distante 2 metros abaixo do topo do banco, orientadas exatamente com a mesma direção das de cima. Sem dúvida, trata-se de fato notável o da constância da direção da correnteza em tempo tão longo, ou seja, o tempo para que se depositem e se consolidem 2 metros de lama calcária, o que deve corresponder a muitas centenas de milênios. Mais ao norte, nas pedreiras de Assistência, não observamos as referidas marcas, mas observamos sulcos de erosão, que também sugerem a correnteza rumo sudoeste, assunto ainda a ser discutido no final deste trabalho.

Como era de se esperar, a textura dos calcários das marcas onduladas mostrou tratar-se de um calcarenito(se

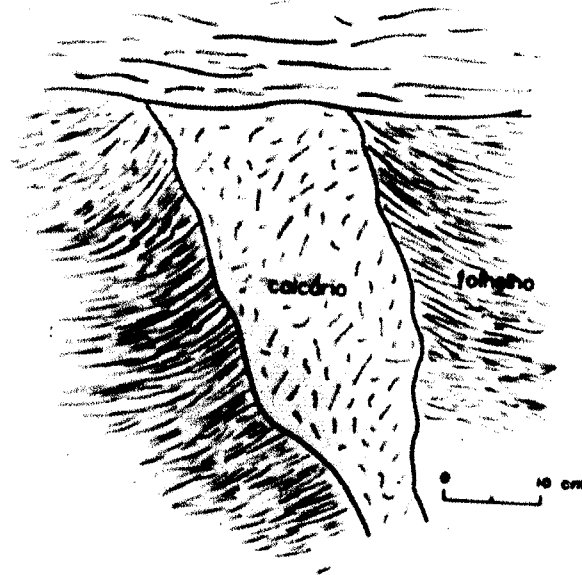


Fig. 5-6. Penetração do calcário através do folhelho pirobetuminoso, cujas lâminas se encurvaram no sentido da penetração da lama calcária, cuja plasticidade é patenteada nesta ocorrência. (Em 195 da rodovia Itapetininga - Angatuba).



Fig. 5-7. Pequena falha de acomodação logo acima da camada de brecha, cuja espessura é de 15cm. É provável ter-se originado da plasticidade da camada de brecha, cuja base não foi afetada pelo deslocamento. Note-se que muitos fragmentos acham-se imbricados pelo deslocamento da lama calcária. (Fez a descoberta o Sr. Maluf).

gundo a conhecida classificação de Grabau), cuja descrição será feita no capítulo referente às texturas. As únicas exceções quanto à orientação das cristas foram encontradas na pedreira do Sr. Maluf. Além das comuns, orientadas para noroeste, ocorrem também cristas orientadas para N 70° W.

b - Marcas de erosão -

Como já referimos, ocorrem também sobre a superfície do tampo do banco basal diversas marcas que tudo indicam tratar-se de sulcos de erosão. Foram observados na já citada pedreira do Sr. Fanico e na vizinha, a menos de um quilômetro de distância, do lado oposto da rodovia estadual. Um dos sulcos se apresenta bifurcado, como se duas correntezas se unissem, tendo escavado cerca de 5 cm numa largura de 15 a 20 cm, numa extensão de vários metros de comprimento. Em função da suposta afluência dos cursos d'água (muito provavelmente subaquáticos) esta se dirigia para sudeste, concordando com a direção dos demais sulcos observados nas pedreiras vizinhas. A cerca de 500 metros ao sul, próximo à estrada asfaltada, ocorre o famoso conglomerado tão discutido, considerado por muitos como a base do Irati e por outros tido como "bone-bed" local. Sem entrarmos nesta discussão, citaremos o imbricamento de seixos neste conglomerado atípico, que também indica a correnteza para sudeste, assunto que ainda será discutido mais pormenorizadamente.

A fig. 5-9 ilustra com clareza uma destas marcas de erosão, formada no meio do banco. O sulco esculpido na lama calcária ainda inconsolidada foi posteriormente preenchido pelo mesmo tipo de material. Esta estrutura não é comum, sendo encontrada no bairro Conceição, situado 12 km a NNE de Laranjal.

4. Estruturas secundárias de origem química -

São duas as estruturas desta natureza que poderiam ser descritas. Contudo, uma delas é tão complexa, que preferimos tratar à parte. Trata-se do problema do sílex, tão controverso, complexo e difícil, que ao nosso ver, merece destaque neste trabalho. Assim sendo, reservamos um dos ca-



Fig. 5-8. Marcas onduladas do t \hat{o} po do banco calc \acute{a} rio de uma pedreira situada 2,5 km a SE da do Sr. Haluf. As cristas acham-se orientadas para N 45 $^{\circ}$ W, como a maioria delas.

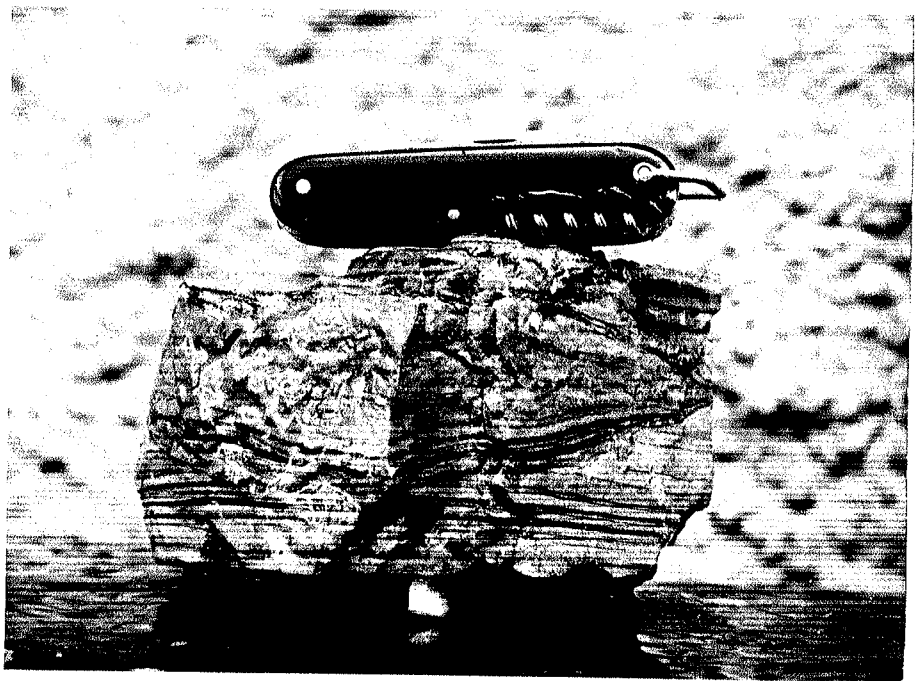


Fig. 5-9. Pequeno canal esculpido na lama calc \acute{a} ria e posteriormente preenchido. As lâminas pretas são de folhelho calc \acute{a} stico. (Bairro Conceição, a 12 km a NNE de Laranjal).

pítulos ao problema do sílex.

Outra estrutura de origem química, formada pela dissolução do calcário, consiste nas suturas, também denominadas juntas suturadas, que são verdadeiros estilólitos em miniatura. Realmente, sob a lupa binocular de forte aumento, exibem as colunas estriadas com o mesmo aspecto dos estilólitos normais. Diferem somente no tamanho, não ultrapassando de 2 a 3 mm de comprimento. Como nos demais casos, esta linha de sutura é paralela à estratificação e se destaca pela coloração preta, às vezes brilhante. Trata-se de material pirobetuminoso, dá odor bem característico quando aquecido à chama, e insolúvel no éter. Junto a esta substância orgânica ocorrem grânulos de quartzo, de feldspato fresco e muito abundante, ocasionalmente de mica e turmalina. Acha-se assim concentrado o resíduo insolúvel análogo ao que já havíamos observado no resíduo insolúvel ao ácido clorídrico. A única diferença, que chamou a nossa atenção, consiste na ausência ou quase ausência de calcedônia, mineral que forma 50 % do total do resíduo insolúvel da mesma amostra. Esta, por sua vez, possui 7 % de resíduo insolúvel. É possível que tenha aumentado o pH das águas que continuaram a percolar através da zona suturada, vindo a dissolver também a calcedônia, certamente mais fácil de ser solubilizada do que o quartzo, graças à sua menor dimensão.

5. Estruturas de origem orgânica -

Neste subcapítulo serão descritos muito brevemente o modo de ocorrência dos principais fósseis da Formação Irati, sendo alguns deles até então desconhecidos. Não entraremos na discussão paleontológica, pois, trata-se de assunto já estudado por outros e que foge à finalidade deste trabalho. Além das estruturas orgânicas propriamente ditas, que obedecem à citada classificação de Pettijohn, acrescentaremos neste subcapítulo a descrição dos demais fósseis observados. Podemos, portanto, no arranjo da matéria, mas por outro lado, unimos assuntos intimamente correlatos.

a - Mesosaurus e Stereosternum -

O mais espetacular dos fósseis, pela beleza, pela perfeição na fossilização e ainda pela abundância em que ocorre, é sem dúvida alguma o famoso Mesosaurus brasiliensis (fig. 5-10), estudado por Mac Gregor (1908, IIª parte). Segundo este autor o Mesosaurus ocorre preferencialmente na região sul do Irati, a partir do Paraná, enquanto que em São Paulo ocorre o Stereosternum tunidun de Cope, que difere pelo número de vértebras (segundo informação do Prof. Josué C. Mendes), bem como, pelo tamanho e forma dos dentes, bem menores no Stereosternum e longos e finos, quase aciculares, no Mesosaurus, como tivemos a oportunidade de observar. No entanto, von Heune (1941) os considera iguais, opinando para a existência de formas jovens e adultas, ao mesmo tempo que os compara com os da África, da Formação White Band.

Os esqueletos apresentam-se ora inteiros (são muito raros os com cabeça) ora desarticulados, o que certamente se deve à movimentação da água. Já citamos a abundância de ossos soltos associados às marcas onduladas no topo do banco basal, predominando largamente as costelas, como era de se esperar. Os membros, quer anteriores ou posteriores, são igualmente raros junto aos esqueletos mais completos. Mais raros ainda que a própria cabeça são os ossos que constituem a costela abdominal, que nada mais são do que ossículos delgados que ocorrem junto aos ossos do esterno.

Mais comumente os ossos do referido réptil são conservados, pois, ao microscópio mostram-se constituídos de material fosfático bi-refringente, provavelmente da natureza da dahllita. Outras vezes, inclusive na mesma ocorrência, os ossos podem ser substituídos por carbonato de cálcio. Nunca observamos a substituição dos ossos pelo sílex, o que está de acordo com o trabalho de Rogers (1924), que considera a silicificação dos ossos um caso extremamente raro. Um tipo de fossilização raríssimo que observamos, mas digno de nota pelo interesse científico, consiste num molde externo de um setor do tronco do réptil, de 10 cm de comprimento, formado de calcedônia microcristalina (fig. 5-11). A sílica, ao in-

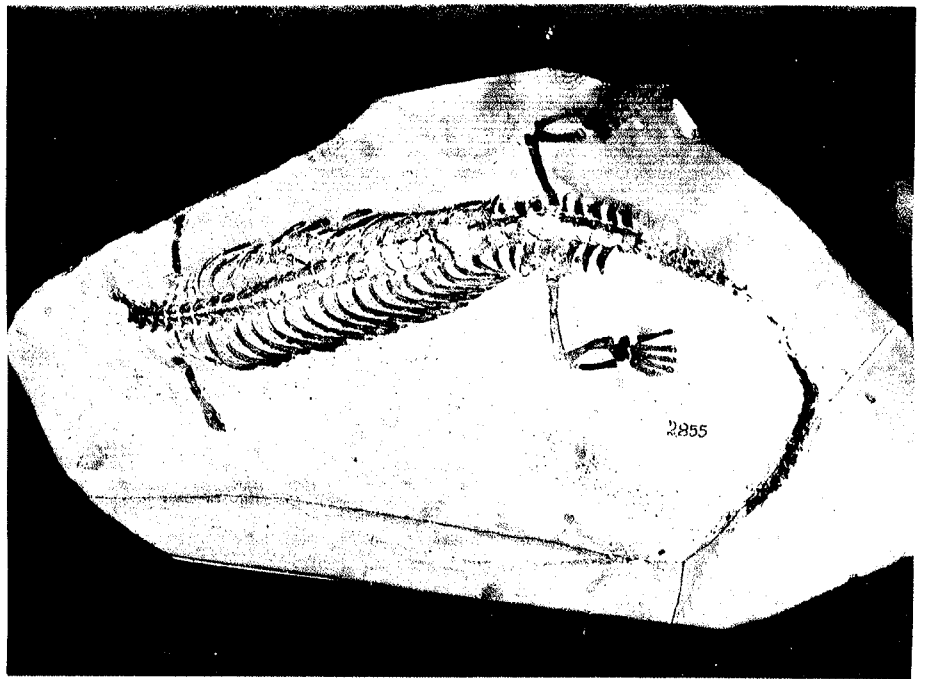


Fig. 5-10. Fóssil do réptil Stereosternum, onde os ossos se fossilizaram por conservação. Trata-se de um exemplar raro pela sua perfeição. Foi doado ao Autor pelo seu tio, Prof. Sylvio de Aguiar Souza, em 1940.

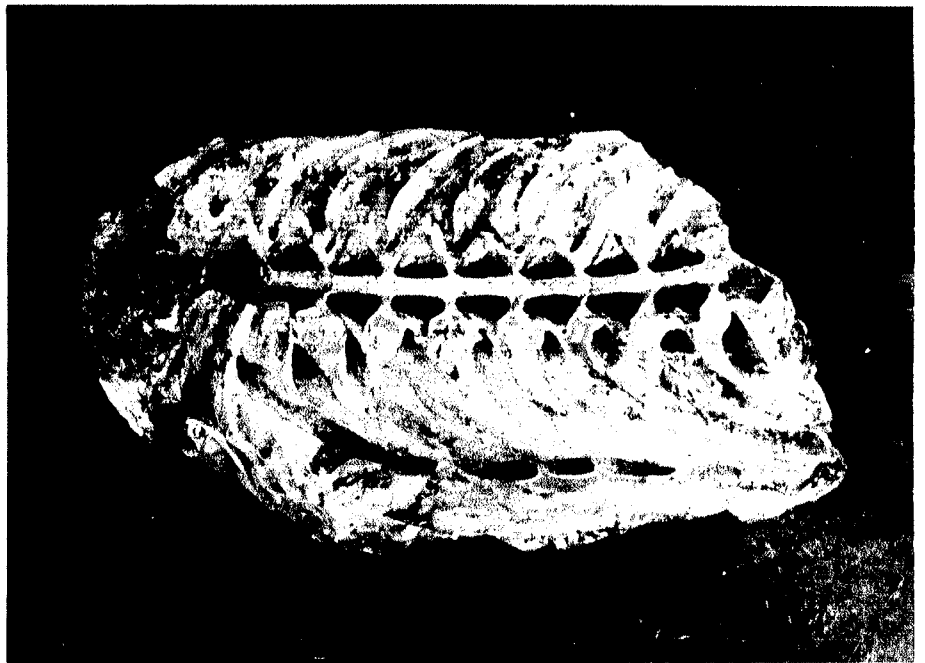


Fig. 5-11. Molde externo silicificado de um fragmento de Stereosternum. Note-se a região da medula vertebral preenchida pelo sílex. (Arraial São Bento).

vés de substituir os ossos, preencheu os interstícios e adjacências do esqueleto, de modo que o lugar ocupado pelos ossos é agora vazio, e o correspondente à medula vertebral é cheio. Achan-se presentes alguns pequenos vazios delgados que correspondem às costelas abdominais, osso extremamente raro pela sua pequena dimensão. Sua presença indica a máxima tranquilidade das águas onde se deu a deposição. Finalmente, outro tipo de material formador dos ossos fósseis descritos é um fosfato amorfo análogo à colofana, provavelmente formado por hidratação do fosfato original do osso.

Numa secção longitudinal de uma costela podemos observar com muita nitidez os canais de Havers, geralmente tortuosos e anastomosados, de 0,1 a 0,2 mm de diâmetro. É interessante o fato de estarem comumente preenchidos de betume amarelado, em quantidade suficiente para que os ossos ardam sob a chama. O mesmo se dá com os ossos pretos encontrados no folhelho, com a diferença de que se acham impregnados de substâncias pirobetuminosas, insolúveis no éter, mas que se desprendem e se inflamam facilmente sob uma chama comum, de álcool. A orientação óptica das fibras ósseas é diferente da dos ossos atuais. Enquanto que estes possuem elongação positiva, aquêles são negativos, fato que foge à regra geral, segundo os citados estudos de Rogers. Entre os ossos fósseis estudados por êle são mais comuns os de elongação negativa, ou seja, "o raio mais rápido é usualmente paralelo ao maior comprimento do osso, mas raramente o raio mais lento possui esta direção". Logo a seguir cita a existência de ossos de Mosasaurus do cretáceo de Kansas onde a orientação é caótica, ora positiva, ora negativa, com zonas isotropas no mesmo osso. Em secção transversal ao comprimento de uma costela de material fosfático podemos observar com nitidez o conjunto dos canais de Havers. Cruzando-se os nícois observa-se bem a chamada estrutura pseudo-esferulítica (Rogers, 1924, pag. 548), que se deve à disposição concêntrica das camadas anisótropas, e não à disposição fibro-radiada como é o caso dos esferulitos, segundo a explicação do autor citado, que estuda com pormenores petrográficos os os-

ses fósseis. O periósteeo é igualmente visível, com uma espessura relativamente grande, de 1 mm, numa costela de 4 mm de diâmetro.

b - Liocaris -

Outro fóssil bastante comum, que chega a predominar entre os componentes de certas camadas calcárias é o crustáceo Liocaris, do qual acham-se conservadas as suas caparaças, cujo tamanho médio é de 2 a 3 mm, podendo atingir a 5 mm. Acham-se dispostas quase sempre deitadas segundo a estratificação mas de maneira caótica, o que é compatível com a tranquilidade das águas em que se depositaram. Algumas delas acham-se dispostas em posição vertical, o que vem confirmar a calma do ambiente de sedimentação. Apesar destas evidências da pouca movimentação, junto às citadas caparaças muitas vezes predomina o calcário clástico, sob a forma de grânulos de 0,1 a 0,2 mm de diâmetro, sem o menor sinal de estrutura interna, constituídos de cristais de 1 a 2 microns de tamanho. Poderiam certamente ser considerados "pellets" de calcário, que deveriam ter sido transportados por correntes brandas, de pouca velocidade, sem a devida competência para rearranjar e orientar as valvas já depositadas.

Nas amostras estudadas o tipo de fossilização parece ser por conservação, tendo em vista a constância da cristalinidade no interior das valvas, que provavelmente são de natureza calcária. Os demais crustáceos da Formação Irati foram estudados com pormenores por Mezzalana, encontrando-se a documentação bibliográfica na citação Mezzalana (1964).

c - Espículas de esponja -

Passemos agora à citação dos fósseis inéditos, encontrados no decorrer das observações ao microscópio petrográfico. O mais interessante deles, sem dúvida alguma, é representado pelas espículas silicosas de Demospongia, ordem Haplosclerida, ou Poccilosclerida, ou ainda, Epipolasida, segundo informação por carta de Robert M. Finks, especialista no assunto, professor de Queens College, Flushing, New York,

E.U.A. Segundo informação do colega Vicente Fúlvaro, o já citado descobridor dêste interessante fóssil, estas mesmas espículas ocorrem espalhadas em grande extensão geográfica e em grande espessura, dentro da Formação Corumbataí, sempre com o mesmo aspecto, ou seja, monoaxônica, delgada, ligeiramente curva e medindo 30 a 40 microns de diâmetro por um comprimento de cerca de 0,5 mm no máximo, sendo mais comuns as de 0,3 mm. Ópticamente mostram-se sempre recristalizadas de maneira difusa, sem orientação preferencial e extinção ondulante indefinida em toda a extensão da espícula. Muito comumente exibem o canaliculo interno bem conservado. O índice de refração é próximo ao do quartzo, o que evidencia a perda d'água da opala original, agora recristalizada em calcêdônia, fato comum entre as espículas silicosas antigas, citado pela literatura paleontológica.

Tomando conhecimento da existência de espículas dentro da Formação Corumbataí, procuramos o referido fóssil nas nossas amostras em vias de estudo, tendo sido fácil a descoberta em certos horizontes, tal a sua abundância. Enumerando as ocorrências na sua ordem estratigráfica temos o seguinte: ocorrem com extrema raridade nos argilitos do topo do Tubarão, a poucos metros da base do Irati, o que foi visto nos afloramentos da rodovia para Piracicaba, nas proximidades de Tupi, a 11 km da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. O mesmo observamos no topo do Tubarão situado a menos de 2 km da estação de Taquaral, rumo a Piracicaba, onde o banco basal do Irati acha-se logo acima dos argilitos siltosos do Tubarão. Poucos metros acima, estratigráficamente falando, nos siltitos argilosos cinzentos levemente azulados, que se situam abaixo do banco calcário do Sr. Maluf, são abundantes as espículas. Foram as escolhidas para serem enviadas aos Estados Unidos, tal a abundância em espículas. Poucos metros acima, já no banco calcário basal (junto à brecha calcária situada a 0,5 m acima da base do banco), encontramos raríssimas espículas junto a fragmentos de sílex certamente primário, singenético, certamente graças à proteção contra as soluções que as teriam dissolvido,

tal como se deu com os calcários com sílex estudados por Pittman (1959), assunto que será tratado no capítulo seguinte. Da mesma maneira que o autor citado, não encontramos o menor vestígio de espícula no resíduo insolúvel ao ácido clorídrico das cento e poucas amostras dissolvidas e estudadas. Nos folhelhos pretos das camadas rítmicas observamos cerca de três espículas após a observação de mais de uma dezena de amostras. Podemos afirmar que são quase inexistentes. No entanto, no afloramento já descrito anteriormente, situado entre Itapetininga e Angatuba, logo acima de folhelhos pretos betuminosos isentos de espículas, são muito abundantes as espículas. Este afloramento, sem dúvida alguma, representa um fácies oxigenado dentro da Formação Irati. Não temos dúvida de que a matéria orgânica acumulada junto à lama calcária determinou o aumento do pH e a conseqüente dissolução das espículas. Acredita-se que a causa da alcalinidade reside na formação de amônia, proveniente da decomposição da matéria orgânica nitrogenada. Ainda voltaremos a este ponto ao tratarmos da silicificação.

Deve aqui ser lembrado de que a ocorrência de espículas silicosas de esponja não se restringe aos horizontes citados, pois, foram também encontrados por Almeida e Barbosa (1953) no membro Tatuf, situado logo abaixo do Taquaral. Segundo os autores citados trata-se de espículas poliaxiais típicas de ambiente marinho. Tais espículas acham-se associadas a uma provável glauconita, segundo os autores citados, ocorrendo nas imediações de Paraíso (E.F.S.).

d - Esporos -

Outro fóssil encontrado em várias amostras são esporos alados de gimnospermas, muito parecidos com os descritos por Jizba (1962), tanto na forma como nas dimensões. Segundo esta palinologista são formas típicas do Paleozóico superior, sendo encontradas em grande abundância em folhelhos continentais. Todos os esporos observados se apresentam com o mesmo aspecto, diferindo apenas em pequenos detalhes. Constituem-se de uma esférula de 50 microns de diâme-

tro rodeada de duas aletas semiesféricas, diametralmente opostas, que determinam o tamanho em conjunto de 100 microns. Ao microscópio mostram-se isótipos, e índice de refração inferior ao do bálsamo do Canadá, motivo pelo qual admitimos que o material tenha se conservado sem alteração. Além do mais, uma vez incinerado o material ao maçarico, desaparecem os esporos, o que não se daria se fôsem silicificados. É provável que a sua estrutura não permita a penetração das soluções silicosas, pois, as madeiras encontradas no Irati são sempre silicificadas. Entre parêntesis, estas são raras. Nunca as vimos "in situ", mas segundo informações de proprietários de pedreiras, ocorrem sempre indicando a tanatoceno- se, como era de se esperar, sendo a única exceção a ocorrência já descrita no 3º capítulo, quando tratamos do Rio Grande do Sul. Voltando aos esporos, a sua presença vem indicar a proximidade das margens onde aflora o banco calcário, bem como, a abundância destas gimnospermas, confirmando o que já disse Jizba (1962). Ocorrem em várias pedreiras situadas ao sul da cidade de Piracicaba, em Angatuba, onde são muito raras e um tanto diferentes das já citadas, e finalmente, no Rio Grande do Sul, onde os observamos em duas ocorrências. Uma, já mencionada anteriormente, em Passo de São Bórja, e outra, numa rocha calcária testemunhada numa sondagem da Petrobrás em São Sepé. Da mesma maneira que a anterior, o resíduo insolúvel deste calcário é em tudo análogo aos de São Paulo, inclusive na forma dos esporos alados e no aspecto da calcedônia. Tais esporos são mais comumente encontrados no resíduo insolúvel dos calcários. Digno de nota é o fato de serem extremamente raros nos folhelhos e comuns no interior dos nódulos de sílex do folhelho pirobetuminoso. Tudo indica que os esporos foram decompostos na lama argilosa sapropélica, e que foram protegidos pelo sílex, certamente de origem primária neste presente caso.

o - Restos orgânicos no betume -

Encontramos ainda uns poucos e raros vestígios organizados no resíduo insolúvel (ao éter ou benzina) dos betu

mes que ocorrem nas fendas e cavidades dos calcários marmorizados de Assistência. Muito provavelmente tenha se dado a conservação destes raros restos no material betuminoso. Entre estes, predominam fragmentos de tecidos vegetais, onde são bem visíveis os vasos condutores. Encontramos também alguns raros apêndices de artrópodo, provavelmente de crustáceos, que ocorrem em grande quantidade em certos níveis do banco calcário daquela região. Em outras preparações, contudo, não mais observamos este tipo de fóssil, o que dá margem a suspeitar-se de uma eventual contaminação. Ocorrem com relativa freqüência corpos amarelados isótipos, provavelmente de natureza resinosa, juntamente com filamentos que lembram algas. A maioria destes restos citados desaparecem com o aquecimento ao rubro, o que vem indicar o processo de conservação, salvo algumas células talvez silicificadas.

f - Estruturas incógnitas -

Finalizando, citaremos a ocorrência de estruturas em parte semelhantes às descritas por Kegel (1965), que são bilobites do devoniano médio do Piauí. Enviamos duas amostras ao referido estudioso, sendo uma delas da pedreira do Sr. Maluf e outra encontrada numa única pedreira existente nas proximidades de Limreira. Recebemos como resposta um pequeno trabalho que dentro em breve deverá ser o Número 136 das Notas Preliminares e Estudos da Div. de Geol. e Min. do D.N.P.M. Nesta publicação, que será intitulada "Rastos do Grupo dos Bilobites da Formação Irati, São Paulo", Kegel cita a existência de marcas semelhantes no permo-carbonífero da Austrália. As marcas que encontramos são elípticas, medindo de 0,5 a 1 cm de tamanho, e possuem no centro uma pequena crista alongada no sentido do maior eixo. Fato digno de nota é que sobre a mesma superfície da rocha (num caso calcário, noutra folhelho), noutras marcas idênticas, ao invés de crista tem-se uma pequena reentrância alongada. Se se tratasse de marcas de dissolução (segundo a opinião de outros estudiosos), dificilmente ambos os casos estariam com a mesma orientação. Da nossa parte, preferimos registrar -

trar o que foi observado, pois, não nos julgamos aptos para tomar partido num assunto que não é do nosso conhecimento . Mesmo fora da paleontologia, são muito freqüentes as marcas inorgânicas que constituem verdadeiro mistério aos sedimentólogos, pois, nem sempre o Princípio do Atualismo ajuda na interpretação de muitas marcas em superfícies sedimentares.

-----//---

VI - O PROBLEMA DO SÍLEX

1. Estudos anteriores -

Este problema, cuja importância não se restringe à Formação Irati, mas a todo o Gondwâna (desde o Grupo Tubarão ao tópo do Passa Dois), já foi tratado por diversos estudiosos. De todos os trabalhos e referências sobre a silicificação destaca-se o de Leinz (1938), que estuda com pormenores a petrografia dos sílex de diversas formações gondwânicas, inclusive os do Irati. Segundo este estudioso a origem do sílex reside nas emanações silicosas finais do magma basáltico. Tal interpretação fundamenta-se na abundância de intrusões de diabásio nos sedimentos gondwânicos na parte norte da bacia do Paraná. Antes de Leinz outros pesquisadores opinaram sobre a provável origem do sílex, sem contudo, terem se baseado em estudos petrográficos. A título de complementarmos o histórico das idéias sobre o citado problema citaremos Oppenheim (1934 a), que presume "que a fonte de soluções silicosas tinha relação com o mar triássico, pelo qual foram depositadas as camadas marinhas do topo da Estrada Nova e base do Rio do Rasto". Segundo o mesmo autor a fonte primária seria o magma basáltico. Admite assim a origem singenética para o sílex descrito, ao passo que para o sílex do permiano inferior (certamente referia-se ao Irati), a origem admitida é epigenética, "considerando o caracter estrutural deste sistema de sedimentos". Por sua vez, Moraes Rego (1930) explica a formação do sílex pelo "contacto de magmas em via de consolidação com a água do mar; essas condições provocam reacções geradoras da sílica gelatinosa, que precipitou". Esta explicação diz respeito ao sílex do Estrada Nova, ou seja, da Formação Corumbataí.

Já tivemos o ensejo de focalizar o problema da dissolução, origem e precipitação da sílica sob várias formas cristalinas (Amaral, 1961), ocasião em que discorreremos sobre as dificuldades e diversidade de opiniões sobre este

tema, de alta importância científica e econômica. Não temos a pretensão de dar a resposta definitiva ao citado problema para o caso do Irati, bem mais complexo do que os casos anteriores já estudados. Limitar-nos-emos a dar a descrição do que foi observado, comparar com as descrições de outros autores e concluir somente o que está ao nosso alcance. Mais certo seria o uso do verbo sugerir, ao invés de concluir, e bedecendo-se assim aos preceitos da prudência. Assim sendo, passemos à descrição das maneiras pelas quais ocorre o sílex e da sua distribuição em todo o Irati.

2. Distribuição geográfica do sílex do Irati -

O sílex, sob a forma de massas visíveis macroscopicamente, ocorre desde o Estado de Santa Catarina até aos afloramentos de Goiás. Tivemos o ensejo de observá-lo em diversos testemunhos de sondagem, bem como, lemos sobre a sua presença em praticamente todos os registros litológicos das perfurações da Petrobrás executadas na bacia do Paraná, que se acham demarcados no mapa da fig. 1. Merece menção o poço de Carlota Prenz, Angatuba, SP, onde observamos o sílex laminado (considerado por nós como primário) em uma das amostras e lemos sobre a sua existência em diversos intervalos descritos no Relatório de Sayão Lobato, que descreve em muitos testemunhos 10 até 30% de sílex, ora preto ora cor de fígado. Não observamos o sílex sob a forma macroscópica no Irati do Rio Grande do Sul, mas ocorre a calcedônia, idêntica à de São Paulo, no resíduo insolúvel de alguns dos calcários estudados (os mesmos já citados, onde ocorrem os esporos de gimnospermas). Mais ao sul do Estado de São Paulo torna-se mais raro o sílex, comparado ao Irati dos arredores de Laranjal e Piracicaba. Parece haver maior quantidade de sílex onde o Irati se apresenta com os estratos rítmicos de folhelho e calcário. Muito embora seja mais raro nos afloramentos do Paraná, mormente os da região sul, verificamos também a sua presença em algumas perfurações da Petrobrás que atravessaram o Irati no Est. do Paraná.

3. Distribuição do sílex dentro das camadas do Irati -

Iniciando com os folhelhos pirobetuminosos situados poucos metros abaixo do banco, o que foi observado na pedreira do Sr. Maluf, notamos a ocorrência de sílex sob a forma de nódulos esféricos e subsféricos, isolados, desde 0,5 cm a 3 cm de tamanho; irregularmente espargos no folhelho, perfazendo ao redor de 5% da rocha. Acima situam-se os siltitos cinza azulados (a chamada "lage azul", rica em espículas de esponja), sem o menor vestígio de sílex. Não fôra o folhelho pirobetuminoso prêto de baixo, teríamos considerado esta camada como sendo do tópo do Tubarão. Acima situa-se a chamada "lage fria", já citada, e acima desta o banco explorável. Medimos em diversas secções a porcentagem de sílex, que perfaz 3%. Lembramos que a porcentagem total de sílica é bem maior, pois, muito comumente é levado o teor de calcedônia no resíduo insolúvel destes calcários.

Mais acima, nas camadas alternadas de folhelho e calcário, aumenta a quantidade de sílex, que passa a perfazer 25%, cifra que talvez possa ser aumentada, graças à presença de pequenos nódulos pretos de sílex geralmente abundantes nas camadas de folhelhos da mesma cor, o que dificulta a observação. Mais comumente o sílex se concentra nas partes inferiores das camadas rítmicas, sobretudo nas proximidades do banco. Faz exceção uma pedreira situada próxima a Limeira, onde o sílex, sob a forma de nódulos, é mais abundante nas partes mais altas das camadas rítmicas.

4. Modos de ocorrência -

O sílex ocorre de cinco maneiras bem distintas, que provavelmente correspondam a diferentes processos genéticos, como discutiremos adiante.

a - Camadas -

Mais comumente ocorre sob a forma de camadas de

vários centímetros a um palmo ou mais de espessura, contínuas ou não, substituindo total ou parcialmente os calcários da zona rítmica. Parecem predominar nas partes inferiores, mais próximas ao banco calcário. Não observamos estes leitões de sílex nas camadas rítmicas afetadas pelo metamorfismo optálico produzido pelo diabásio. Nestas ocorrências o sílex é encontrado sob a forma de delgados e descontínuos leitões de 3 a 5 mm de espessura, que consideramos de origem primária por analogia a outras ocorrências que serão descritas adiante. O sílex que ocorre sob a forma de leitões é mais comumente prêto, podendo às vezes ser castanho, cinzento, ou ligeiramente creme. Mais comumente não mostra sinais visíveis de estrutura, pelo fato de substituir calcários muito homogêneos, maciços, como são os leitões das camadas rítmicas. A cor preta perdura após o aquecimento ao rubro. O material pulverizado torna-se cinzento escuro, cor que fica mais escura após o aquecimento com o maçarico. Muito provavelmente trata-se de coloração por estrutura e não por pigmentação, pois, a matéria orgânica certamente seria destruída. O pó, em tubo fechado, desprende água após crepitar intensamente, como era de se esperar. Outras vezes é bem nítida a estrutura original conservada nos bancos de sílex, podendo ocorrer na mesma amostra cores diferentes. Uma delas exhibe delgados leitões de sílex prêto singenético dentro do sílex amarelado de origem metassomática posterior.

b - Nódulos -

Uma segunda maneira pela qual ocorre o sílex consiste nos nódulos esféricos, muito comumente coalescidos em formas bizarras, constituindo as famosas bonecas do Irati, que muito comumente se concentram no solo avermelhado, e que tão bem se prestam para diferenciá-lo da terra roxa (fig. 6-1). São mais comumente achatados segundo o plano da estratificação. Predominam os nódulos centimétricos, havendo também os de poucos milímetros até um decímetro ou mais de tamanho. Excepcionalmente atingem dimensões maiores, como

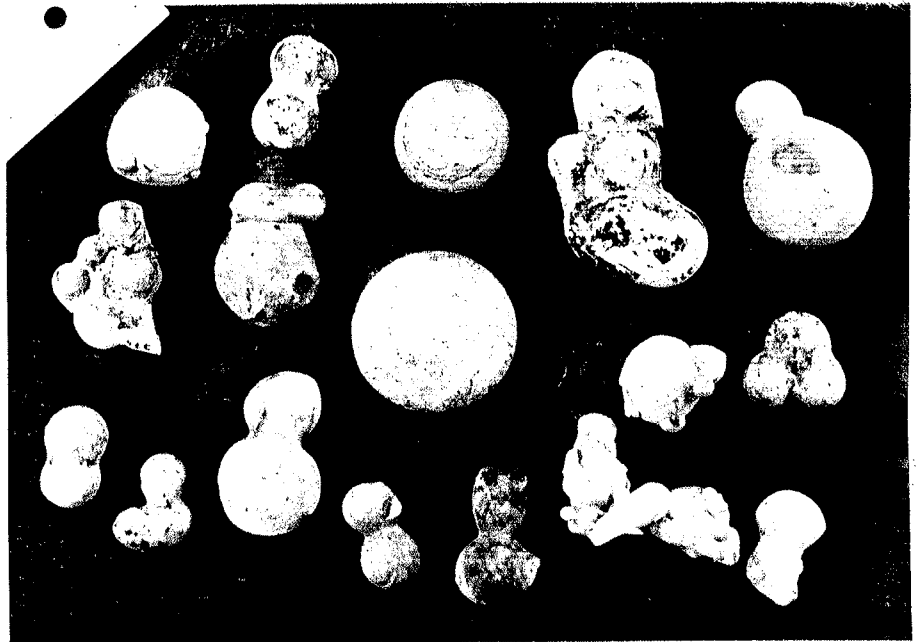


Fig. 6-1. As famosas bonecas de sílex coletadas no solo do Irati da região situada entre Laranjal e Piracicaba. Note-se que em alguns dos nódulos percebe-se a estratificação, enquanto que outros mostram-se homogêneos.

o de Santa Catarina, já descrito anteriormente. Ocorrem tanto nos calcários como no folhelho da zona rítmica, onde são mais abundantes. Às vezes os nódulos se distribuem de preferência num determinado leito de calcário, aparentemente igual aos leitos vizinhos, e outras vezes distribuem-se de maneira caótica. Quando ocorrem nos calcários costumam exibir a estrutura original, o mesmo não se dando com os nódulos existentes no folhelho, que se amolda ao redor dos nódulos de sílex. Numa das pedreiras de Ipeúna o folhelho da zona rítmica chega a ser todo corrugado, tal a intensidade da silicificação, que também afetou grande parte dos calcários da zona rítmica. Contudo, não há indícios diretos se o folhelho se acomodou ou se foi forçado pelo sílex durante o crescimento dos nódulos. No calcário observam-se os dois casos. Ora o nódulo deforma a estratificação ora não a perturba. Mesmo perturbando a estratificação podem existir em seu interior a estrutura do calcário que foi substituído.

Lembramos aqui dos nódulos pretos já mencionados, existentes no folhelho pirobetuminoso, situado abaixo da "lage azul", infra banco (pedreira do Sr. Maluf). A abundância de esporos no interior dos nódulos não deixa dúvida da sua origem singenética. Fato interessante é o da concentração de pirita finamente disseminada no sílex quando em contato com o folhelho. Tem-se a impressão de que a pirita penetrou no gel silicoso antes do seu endurecimento. No interior destes nódulos, ao mesmo tempo que no interior do folhelho aderido a êle, encontram-se fragmentos esparsos de um material absolutamente isotrópico. Acreditamos na reminiscência da opala que não sofreu a recristalização, apesar da antiguidade destes sedimentos em vias de estudos. A granulação deste tipo de sílex (foram observadas outras amostras de outras localidades) é de 30 a 60 microns, como média.

c - Veios -

Não são raros os veios de sílex atravessando o banco calcário. São irregulares, e às vezes a forma é lon

ticular. Nunca os observamos na zona rítmica, menos sujeita ao processo de fissuração. Os citados veios são quase sempre inclinados, de espessura variável entre poucos centímetros a um palmo; ou mais, e comumente se adelgaçam e desaparecem. Este adelgaçamento às vezes se dá para cima, outras vezes para baixo, não informando, portanto, sobre o sentido do movimento das soluções silicosas, se foram ascendentes ou descendentes. Um destes casos extremamente curioso observamos numa das pedreiras situadas junto à rodovia Piracicaba - Tietê (pedreira Amaral-Machado). Trata-se de uma cunha oblíqua de 5 cm de largura por 30 a 40 cm de comprimento; de sílex completamente destituído de estrutura, e que, ao cortar os estratos de calcário determinou pronunciado encurvamento dos estratos, sendo que um deles se amolda à extremidade da cunha (fig. 6-2). Dá a impressão de que um hipotético gel de sílica penetrou forçado, arqueando a lama calcária ainda plástica, sendo a suposta penetração de cima para baixo, pois, a parte acunhada da cunha acha-se voltada para baixo. Outras vezes o calcário acha-se substituído pelo sílex nas proximidades do veio, até 10 a 20 cm de distância das paredes (fig. 6-3). Distingue-se bem o sílex que preencheu o vazio, do sílex que substituiu o calcário logo ao lado. Este tipo é sempre cinzento ou acastanhado. Nunca vimos o sílex preto nestes veios.

b - Blocos grandes e informes -

Um quarto tipo, diferente dos demais, foi observado junto às camadas totalmente decompostas, mas que ainda mantêm a estrutura original. Trata-se de grandes blocos de forma irregular, de pouco mais de 0,5 m de tamanho, mais comumente acastanhados. Entre outras ocorrências, citamos a de Taquaral, junto à via férrea a caminho de Piracicaba. Como nunca vimos estes blocos nas inúmeras pedreiras estudadas, interpretamos sua origem como sendo relacionada ao intemperismo, que teria mobilizado a calcedônia finamente disseminada pelos calcários da Formação Irati.

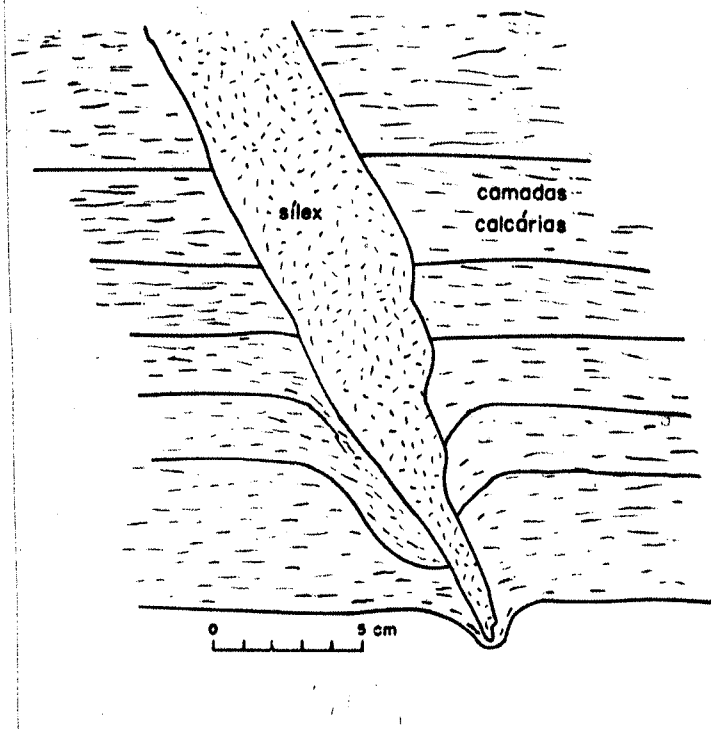


Fig. 6-2. Uma das maneiras pela qual o sílex se relaciona ao calcário, sendo nítida a delimitação entre ambos. Não sabemos explicar o arqueamento dos estratos. (Bairrinho).

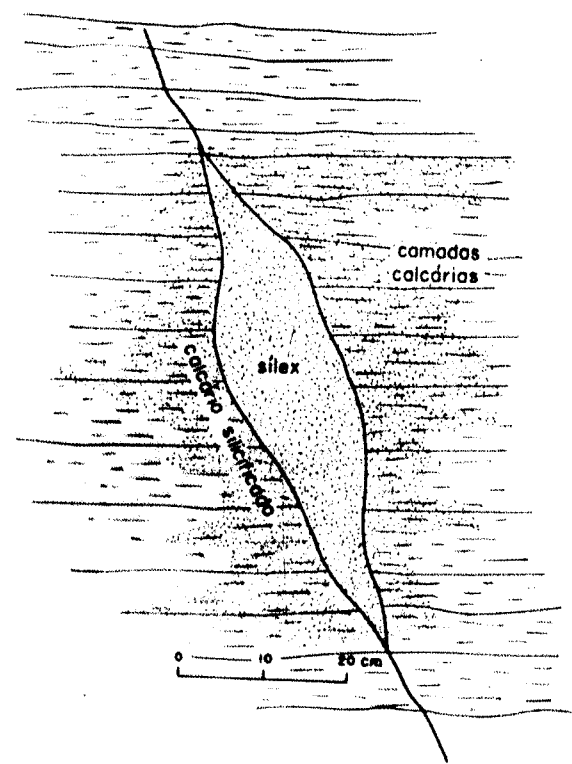


Fig. 6-3. Neste segundo caso o sílex (pontilhado) substitui o calcário adjacente ao veio lenticular. Tanto na fig. 6-2 como no presente caso o sílex é destituído de estrutura. (6,5 km a NNE de La ranjal).

e - Lâminas de origem singenética -

Deixamos para o fim a forma que consideramos a mais importante, pelo fato de não haver dúvida quanto à sua origem primária. Trata-se do sílex finamente laminado, disposto em delgadas e descontínuas lâminas de 1 a 5 mm de espessura, espaçadas de 5 até 20 cm em certas zonas, enquanto que em outras acha-se ausente. Estas lâminas ocorrem tanto no calcário do banco como nos calcários e folhelhos da zona rítmica, sendo descritas na testemunhagem de Lins, SP, onde o Irati ocorre a 1.706 metros de profundidade. Já mencionamos a sua existência nos testemunhos de Angatuba, onde as lâminas de sílex acham-se junto dos folhelhos pretos. Sua coloração é mais ou menos constante, acastanhada ou cinzenta. Em secção delgada este tipo de sílex não exhibe estrutura alguma. Contém raros esporos conservados em seu interior, bem como, impurezas que parecem ser orgânicas. Constitui-se de cristais de 20 a 40 microns de tamanho. Muito interessante é o fato de vários fragmentos tabulares deste tipo de sílex exibirem sinuosidades minúsculas, ou seja, interpenetrações milimétricas com o calcário, sempre na superfície inferior do fragmento. A superfície de cima, no entanto, mostra-se sempre lisa. Em outros casos ambas são lisas, mas nunca vimos o contrário, em algumas dezenas de observações. Trata-se de um dos argumentos que indicam a origem primária deste sílex laminado, o que se acha ilustrado na fig. 6-4. As demais evidências serão discutidas logo a diante.

Antes contudo, de termos considerações sobre as origens do sílex, a título de completarmos a sua descrição, citaremos os dados referentes à quantidade de voláteis, ou seja, a sua perda ao fogo. É altamente provável que além da água tenha sido também expulsa a matéria orgânica, pois, se compararmos com as porcentagens de água citadas por Pettijohn (1957, pag. 435) as nossas medidas são anormalmente elevadas. Para os nódulos, quer existentes junto ao folhelho preto, quer junto ao calcário do banco, determinamos

1,5 % de material volátil. A ausência de qualquer odor sugere ser pequena a quantidade de matéria orgânica. Para o sílex laminado de origem singenética, existente na brecha, determinamos o teor de 1,7 %. Para o resíduo insolúvel de calcedônia determinamos 3,0 % para um índice de refração mais próximo ao do quartzo, ao passo que para outra amostra, de índice de refração inferior a 1,54, como é a grande maioria dos casos, o teor em água e outros eventuais voláteis é de 4,3% o que está de pleno acordo com a relação existente entre teor de água e abaixamento do índice de refração.

5. As prováveis origens do sílex -

Pettijohn (1957, pag. 439), ao tratar deste assunto no seu magnífico tratado sobre rochas sedimentares, usa a expressão "teorias", para o presente problema, o que dá a falsa idéia da existência de mais de uma explicação para o fenômeno. Temos a ousadia de criticar este insigne mestre, pois, na realidade o sílex se forma de muitas maneiras diferentes, fato comprovado pela observação das suas diversas formas de ocorrência, não só no Grupo Passa Dois como também no Tubarão. Twenhofel (1919) apresenta uma síntese das teorias, com especial atenção aos nódulos, optando igualmente pela viabilidade de várias teorias. O difícil do problema, segundo a nossa opinião, consiste em enquadrar este ou aquele tipo de sílex nesta ou naquela teoria. Nem sempre se pode afirmar em que época se deu o processo, se foi durante, logo após ou longo tempo após a sedimentação. A principal divergência de opiniões exposta por Pettijohn reside no problema da origem singenética ou epigenética do sílex. No Irati, certamente ocorrem ambos os casos, e às vezes até mesmo na mesma amostra. Tal pudemos constatar num espécime coletado numa das pedreiras vizinhas à do Sr. Maluf. Sob a luz ultravioleta, é nítida a fluorescência acastanhada do sílex interpretado como singenético. Junto a este ocorre um pequeno nódulo centimétrico de um sílex mais translúcido, cinzento ligeiramente azulado, com uma fluorescência amarela clara bem contrastante com a do sílex inici

almente descrito. Não temos dúvida de que ambos foram formados em tempos diferentes e sob condições também diferentes.

Entre os diversos trabalhos nos quais nos baseamos, dada a semelhança dos fatos citados com os observados por nós, destacam-se os seguintes: Pittman (1959), que estudou os calcários silicificados cretáceos do Texas. Notamos neste trabalho muitas analogias, não somente quanto às nossas observações, como também, quanto aos métodos de estudo. Tarr (1917), que relacionou as condições fisiográficas do ambiente com a formação do sílex, bem como, as condições de salinidade do meio de deposição. Este autor, contudo, nega a influência dos organismos para a formação do sílex. Siever e Scott (1959), que apresentam uma síntese concisa do problema, sobretudo sob o ponto de vista das condições geoquímicas do ambiente. Por fim, o trabalho de Sujkowski (1959), de alto interesse para o nosso estudo, pelos diversos argumentos apresentados que se enquadram perfeitamente no caso do Irati e que vão a favor da interpretação que propuzemos para a gênese de uma das formas do sílex, ou seja, a singenética.

a - Origem singenética -

Já nos referimos a este tipo de sílex. O argumento mais convincente para a origem primária é a sua presença nos fragmentos da brecha intraformacional, limitando-se unicamente ao fragmento sem afetar a matriz, como se vê na fig. 6-5. Não há dúvida alguma de que a camada sofreu o fenômeno da silicificação antes de ser rompida. Até agora referimo-nos ao fator relativo à época em que se deu o fenômeno. Em base das observações de Pittman (1959, pag. 132) procedemos a cuidadosa procura de espículas de esponja englobadas e portanto conservadas pelo próprio produto da dissolução de outras espículas. Fomos felizes na procura, apesar da sua extrema raridade. Assim como aconteceu com Pittman, em mais de uma centena de observações não encontramos vestígio algum de espícula de esponja no resíduo inso-

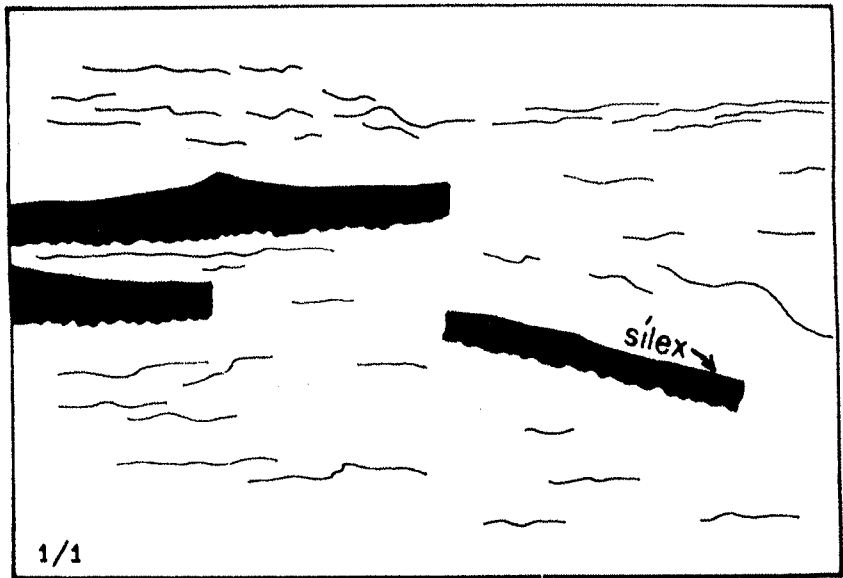


Fig. 6-4. Fragmentos de sílex singenético dentro do calcário com lâminas de folhelho preto. A fragmentação foi devida à plasticidade da lama calcária. Note-se a superfície inferior irregular e a superior lisa. (Pedreira do Sr. Maluf).

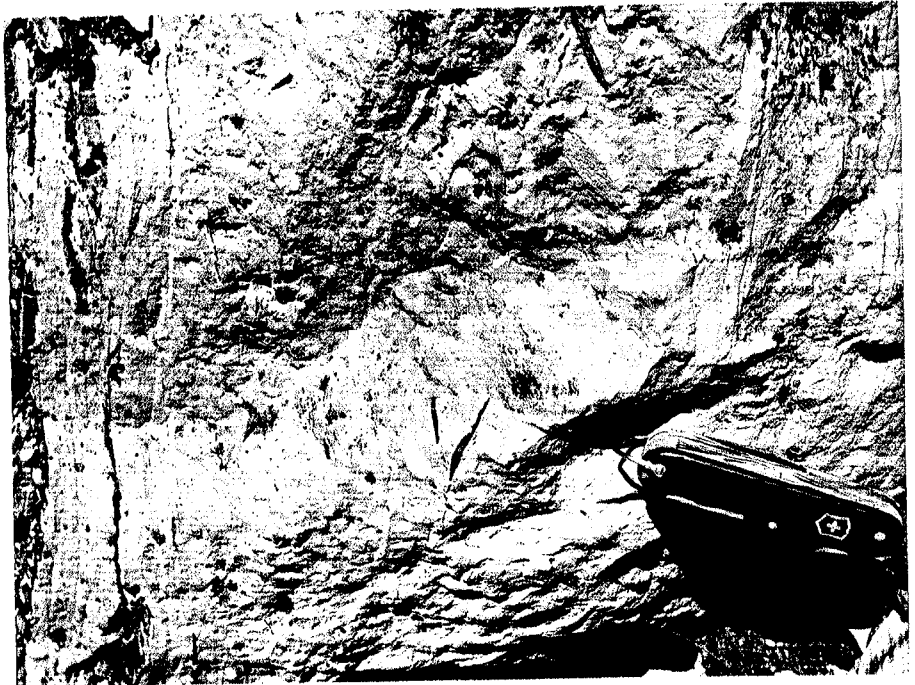


Fig. 6-5. Sílex singenético (dois fragmentos alongados, pretos, logo acima do canivete) da brecha do banco do Sr. Maluf. Note-se que o sílex se restringe ao fragmento da brecha, o que vem comprovar a sua origem primária, anterior à fragmentação.

lúvel dos calcários. No entanto, da mesma maneira que o autor citado, as encontramos junto ao sílex singenético da brecha intraformacional da pedreira do Sr. Maluf. Segundo a explicação de Pittman, a ação bacteriana é heterogênea, ora alcalinizando o meio graças à produção de amônia, ora despreendendo CO_2 ou H_2S , em condições diferentes, que acidificam o meio e conseqüentemente precipitam a sílica. Como predominaram as condições redutoras mais propícias à alcalinização do ambiente, as espículas foram dissolvidas e incorporadas à lama calcária. Sujkowski (1958), ao enumerar os fenômenos diagenéticos que se realizam nos sedimentos marinhos sob condições redutoras, afirma que a sílica livre finamente dispersa é dissolvida graças ao despreendimento de gases resultantes da decomposição da matéria orgânica. Este fato explica a extrema raridade de espículas no Irati e a sua freqüência na Formação Corumbataí e nas zonas de fácies oxigenado dentro do Irati. Desta mesma forma explicaria-se a abundância e a constância da calcedônia, sempre presente no resíduo insolúvel dos calcários de praticamente toda a Formação Irati. Há dez anos atrás tivemos o ensejo de percorrer diversas pedreiras do Irati do mun. de Piracicaba na companhia do Prof. Dr. Carl W. Correns, do qual muito me orgulho de ser amigo. Segundo informações por carta opina este notável cientista pela origem orgânica do sílex do Irati, sendo provável que o estudo do isótopo 18 do oxigênio possa informar com mais segurança. Trata-se de um tema que provavelmente possa ser estudado futuramente, desde que haja meios para a extração do oxigênio da sílica.

Fato interessante é o da presença isolada destas lâminas de sílex consideradas como primárias na zona rítmica, logo acima do banco marmorizado pelo sil de diabásio de Assistência. Não ocorrem junto nem os nódulos nem as camadas espessas de sílex, comuns em toda a região, inclusive nas pedreiras situadas a cerca de 2 km ao sul, próximas à rodovia estadual. Trata-se assim de mais um argumento a favor da origem singenética destas lâminas mais comumente lenticulares de sílex.

b - Origem metassomática -

Quanto aos nódulos e camadas decimétricas de sílex, na maioria dos casos não há dúvida alguma da substituição metassomática do calcário, fato bem evidenciado tanto em certos nódulos como nas camadas oolíticas ou pseudo-oolíticas silicificadas. O sílex de origem metassomática é mais facilmente visível na Formação Coumbataí, onde são frequentes as coquinas ou calcários oolíticos silicificados. No Irati, contudo, onde as rochas calcárias são mais homogêneas, nem sempre pode-se concluir com absoluta certeza pelo fenômeno de substituição metassomática. Não encontramos evidências que pudessem explicar a origem de alguns dos nódulos do folhelho. O principal problema refere-se a época em que se deu o fenômeno e de onde se originou a sílica. Ou ela foi remobilizada do próprio calcário, sempre rico em calcedônia, ou teria sido introduzida por soluções estranhas, fato este que não coaduna com a disposição caótica dos nódulos ou camadas de sílex.

c - Origem magmática -

Quando o sílex corta os calcários e se deposita nas fendas, substituindo lateralmente o calcário nas adjacências do veio, julgamos perfeitamente viável a explicação de Leinz (1938), segundo a qual a fonte da sílica seria relacionada às emanções hidrotermais do magma basáltico. Estas emanções encontrariam caminho mais fácil através de fissuras ou de zonas de fraqueza pré-existentes. A favor desta teoria lembramos a ausência de sílex no Irati do Rio Grande do Sul, onde o Gondwana não se acha influenciado pelas intrusões de diabásio. Lembramos, no entanto, da existência da calcedônia no resíduo dos calcários, que, segundo a nossa interpretação tem origem completamente diferente, como já foi exposto.

d - Origem climática -

Finalmente, os grandes e irregulares blocos de sílex já descritos, que ocorrem junto à rocha decomposta, in

terpretamos como sendo originados por processo climático moderno, provavelmente ativo durante épocas mais sêcas alternadas com épocas mais chuvosas, nas quais a sílica finamente disseminada teria sido dissolvida e precipitada localmente durante as consecutivas estiagens.

-----//----

VII - DOLOMITIZAÇÃO

Quase tôdas as rochas calcárias da Formação Irati são dolomitizadas, ora mais, ora menos intensamente, ocorrendo também os dolomitos puros ou quase puros, juntos a calcários que parecem ser isentos de magnésio. Ambos os casos extremos são raros, sendo o último mais raro ainda. Por êste motivo tôdas as vêzes que nos referimos a calcário, cometemos um êrro, pois, o certo seria escrever dolomito calcítico, ou calcário dolomítico, adjetivado de muito ou pouco. Em muitos casos estudados observamos variações na mesma amostra, o que dificulta a classificação correta. Contudo, predominam largamente os dolomíticos, o que concorda com as análises químicas apresentadas no trabalho de Guimarães (1952), bem como, com as determinações que fizemos.

Nos nossos estudos procuramos mais saber como se acha distribuído êste processo no banco basal e na zona rítmica. Muito embora o número de ensaios seja insuficiente para uma conclusão categórica, pareceu-nos ser a dolomitização mais intensa no banco do que nas camadas da zona rítmica. Não conseguimos observar feições texturais que pudessem esclarecer sôbre a época em que se deu o processo, se antes ou depois da recristalização. A principal dificuldade reside na finura da granulação das rochas calcárias de um modo geral, sejam dolomitizadas ou não. Nem sempre os dolomitos mostram-se idioblásticos na sua textura. Muito co

mumente são idênticos aos calcários.

A fim de resolver o problema da distribuição da dolomita nas rochas calcárias do Irati, procedemos a uma amostragem cuidadosa no banco da pedreira do Sr. Maluf, submetendo as amostras ao nitrato de prata sobre uma superfície previamente alisada. Posteriormente examinamos várias outras amostras de pedreiras próximas e de outras ocorrências mais distantes. Assim sendo, passemos a transcrever os resultados de algumas das observações. Adiantamos aqui que foram encontradas algumas discrepâncias em amostras distanciadas de poucas centenas de metros, o que parece indicar que a dolomitização não se deu de modo uniforme no sentido horizontal.

- Base - dolomito calcítico (cêrca de 50%)
- 20 cm acima - dolomito pouco calcítico
- 40 cm - dolomito calcítico com leitões de 0,5 a 1 cm de espessura (paralelos à estratificação) de dolomito puro.
- 60 cm - trata-se da brecha intraformacional de 20 cm de espessura: dolomito muito pouco calcítico, não havendo diferença entre a matriz e os fragmentos, quanto à dolomitização. A 400 metros de distância a mesma brecha mostra-se calcítica quase que totalmente.
- 80 cm - dolomito muito pouco calcítico, contendo lâminas lenticulares de dolomito calcítico e lâminas centimétricas de calcário pouco dolomítico, sempre paralelas à estratificação.
- 1,0 m - dolomito muito pouco calcítico, o mesmo sendo observado em 1,1 e 1,2 metros.
- 1,4 m - dolomito puro, com raríssimas lâminas submilimétricas de dolomito calcítico.
- 1,6 m - dolomito puro
- 1,8 m - dolomito calcítico

- 2,3 m - dolomito muito pouco calcítico
- 2,6 m - dolomito quase puro e calcário dolomítico em lâminas alternadas de 0,5 cm.
- 2,8 m - calcário pouco dolomítico, com raras lâminas submilimétricas a milimétricas de dolomito puro
- 3,0 m - dolomito, ora puro, ora calcítico, variando irregularmente, mas sempre segundo o plano da estratificação.
- 3,2 m - Tôpo do banco: dolomito quase puro, o mesmo se dando numa das pedreiras vizinhas, poucos km ao sul. Nesta ocorre o calcário dolomítico sob a forma de raras e irregulares manchas ou de delgadas lâminas.
- 3,3 m - Trata-se da primeira camada calcária da zona rítmica, logo acima do banco. A rocha é um calcário pouco dolomítico.
- 4,0 m - calcário praticamente puro, o mesmo se dando numa pedreira situada 15 km a SW
- 6,0 m - dolomito calcítico.

Um dos ensaios foi executado numa secção delgada, a fim de verificarmos o comportamento das bandas dolomíticas e calcíticas ao microscópio. Para isso escolhemos uma amostra pertencente ao banco de uma pedreira situada 3,5 km a SW do Sr. Maluf. Macroscopicamente parece haver perfeita delimitação entre a zona dolomítica e a calcítica, dispondo-se ambas segundo a estratificação, como sempre, sendo a espessura de 0,5 cm. Ao microscópio, contudo, percebe-se uma passagem gradual entre a faixa calcítica e a dolomítica. Esta é praticamente pura, enquanto que a calcítica parece possuir 10 a 20 % de dolomita. Em ambas a granulação é extremamente fina, tendo os cristais cerca de 5 microns de tamanho. Nem sempre se nota a tendência ao idiomorfismo dos cristais de dolomita. Sob o microscópio petrográfico

ambas as partes não parecem diferir na sua textura e na porosidade. Este fato, mais a disposição laminar ou lenticular, mas sempre segundo o plano da estratificação, levam-nos à suposição de tratar-se de um processo singenético, ou penecontemporâneo à sedimentação. Seria difícil imaginar que as soluções magnesianas tenham se infiltrado de maneira tão regular na rocha já consolidada. Esta ideia encontra apoio no trabalho de Pittman (1959), que encontrou evidências na textura das rochas calcárias, segundo as quais a dolomitização se processou antes da silicificação e esta, antes da litificação.

No entretanto, o que acabamos de expor não é a regra geral. Outras amostras, pertencentes à zona rítmica, mostram com grande clareza e aumento de porosidade relacionado ao idiomorfismo dos cristais de dolomita, cujo tamanho de 100 a 150 microns faz com que se destaquem da massa mais fina ao lado (fig. 10-1B). Esta, por sua vez, se contrasta com a camada adjacente (ou seja, a cerca de um centímetro de distância da zona recristalizada pela dolomitização), de granulação finíssima, de poucos microns de tamanho, como é a maioria das rochas calcárias do Irati. Não sabemos, contudo, se a dolomitização com recristalização é também singenética, ou penecontemporânea à sedimentação. Sintetizando as nossas observações, ora a textura não é alterada, ora é pela recristalização e aumento em porosidade, mas sempre obedecendo ao plano da estratificação. Trata-se de um problema complexo e interessante, que sem dúvida alguma poderia ser o tema de outra tese, muito provavelmente a ser elaborada no futuro.

Outro problema que procuramos decifrar se refere à dissolução preferencial de certas camadas, o que é às vezes muito nítido quando o banco se acha exposto. Formam-se às vezes sulcos e saliências regularmente espaçados de 1 a 2 cm de espessura, como se vê na fig. 7-1. No primeiro caso observado (pedreira a 3,5 km a SW do Sr. Maluf) as camadas mais solúveis coincidem com as dolomíticas, dando a falsa impressão de que as camadas calcíticas são mais re-

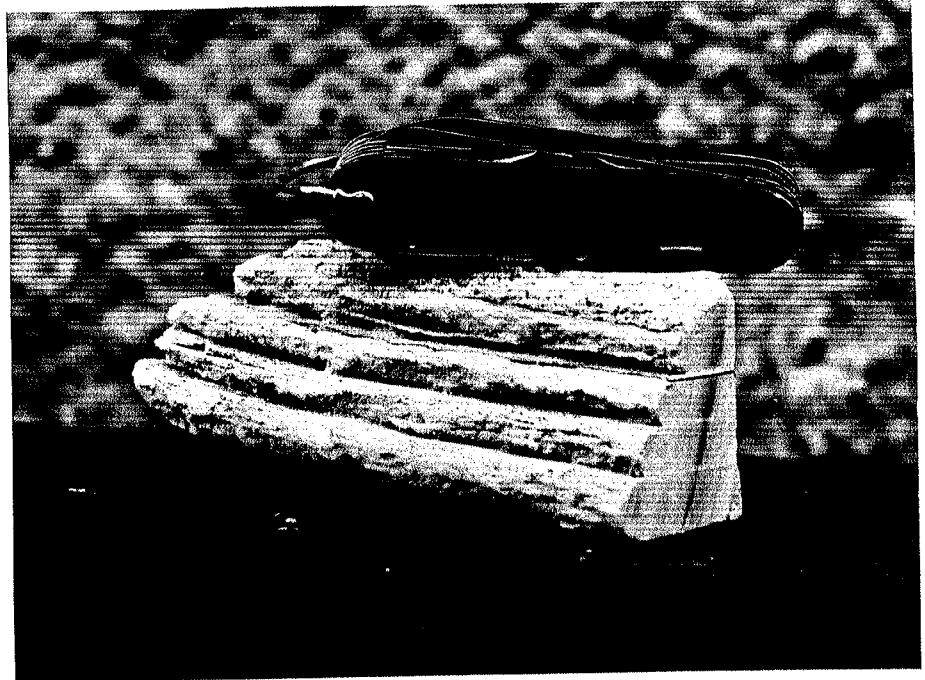


Fig. 7-1. Dissolução preferencial das camadas mais dolomitizadas, graças ao efeito da maior porosidade. (Pedreira Monte Belo).

sistentes à dissolução. Na realidade o que motiva a dissolução mais fácil é a maior riqueza de poros minúsculos, submilimétricos, facilmente visíveis sob a lupa binocular. É fato conhecido que a dolomitização faz aumentar a porosidade, graças à recristalização e conseguinte formação de cristais idiomorfos de dolomita.

Uma segunda amostra estudada, proveniente de uma das pedreiras de Laranjal, mostrou-se exatamente o contrário da primeira. As camadas calcíticas correspondendo aos sulcos, por conseguinte mais solúveis, e também mais porosas que as camadas de dolomito calcítico.

Não encontramos relação alguma do fenômeno da dolomitização com a cor da rocha, o que estudamos no dolomito marmorizado, com faixas bem escuras ao lado de outras bem brancas. Houve somente redistribuição do pigmento carbonoso pela recristalização, tendo o magnésio se conservado onde deveria estar. Não encontramos também relação com as zonas mais betuminosas, onde o betume parece ser singenético, e não infiltrado posteriormente, como será discutido em outro capítulo.

Observamos ainda a dolomitização em várias outras amostras, o que será relatado sucintamente. Assim é, que outras brechas de outras pedreiras do mesmo município mostraram-se sempre idênticas à primeira, ou seja, não há diferença na dolomitização entre a matriz e os fragmentos. Quando há zonas irregulares mais dolomitizadas, estas não têm relação com os fragmentos ou matriz. Parece que o processo se deu após a camada ter-se fraturado.

Finalmente, citaremos uma amostra pertencente ao banco de uma das pedreiras situadas ao norte de Laranjal. Nesta se observa nitidamente a preferência da dolomitização junto à camada rica em carapaças minúsculas de Liocaris. Nesta parece que a calcita e a dolomita ocorrem nas mesmas proporções, ao passo que o resto da amostra se apresenta laminada de zonas mais calcíticas e outras mais dolomíticas. É provável que a zona das carapaças seja mais permeável às soluções magnesianas, ou ainda, que o eventual aumento de

CO₂ produzido pela decomposição dos organismos tenha influi-
do no processo de reação entre as soluções magnesianas e o
carbonato de cálcio previamente precipitado. (Fairbridge ,
1963, pag. 448).

-----////////-----

VIII - AS SUBSTÂNCIAS BETUMINOSAS DO IRATI

A principal finalidade deste capítulo é descre-
ver as maneiras pelas quais ocorre o betume no Irati, bem
como, tecer considerações sobre a provável origem singené-
tica do betume existente nas rochas calcárias. Não entra-
remos nos pormenores deste importante tópico, uma vez que
já foi bem estudado por Fróes Abreu (1946 e 1962), grande
autoridade no assunto.

1. Nas rochas calcárias -

A fig. 8-1 mostra claramente as evidências da ori-
gem singenética do betume nas zonas castanhas do calcário.
Estas, na fotografia, correspondem às camadas mais escuras.
Na parte inferior da amostra observa-se o fragmento de uma
destas camadas castanhas betuminosas, achando-se os frag-
mentos dispersos numa matriz branca, de um calcário mais
compacto com traços de betume. É tão nítida a separação en-
tre fragmentos betuminosos castanhos e matriz, que não é
possível ter-se o betume infiltrado posteriormente (fig.8-
2). Noutra amostra, procedente de uma pedreira situada na
mesma área, as partes betuminosas e não betuminosas acham-
se dispostas em lâminas de 0,5 a 1 cm de espessura, sendo
muito nítida a separação entre elas. O resíduo insolúvel
mostra ligeira diferença na granulação de uma e outra, o
que comprova oscilações nas condições físicas simultâneas

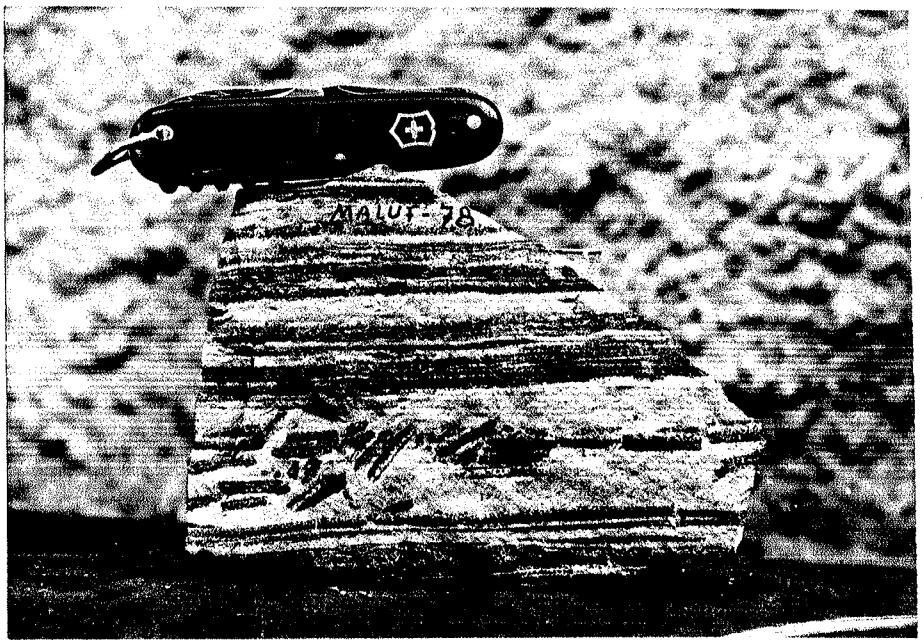


Fig. 8-1. Fraturas sofridas pela camada betuminosa, graças a deslizamentos da lama calcária, o que comprova a origem singenética deste tipo de betume. (Pedreira do Sr. Maluf).

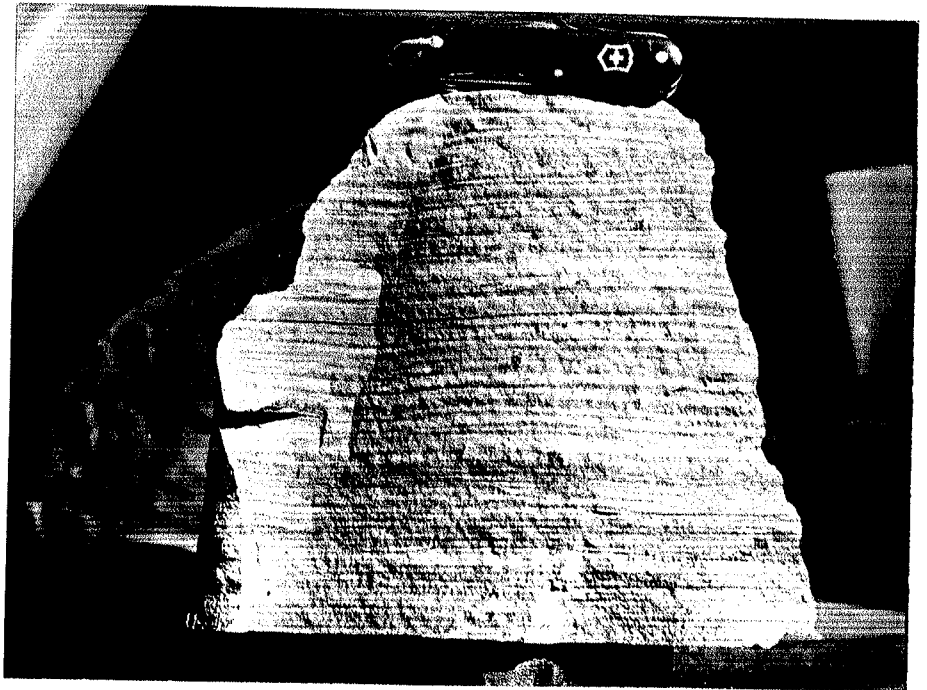


Fig. 8-2. Laminagem produzida pela presença de betume sin genético em zonas preferenciais, de coloração castanha. As faixas claras são mais pobres em betume. (Pedreira do Sr. Maluf).

às bioquímicas, que regularam a formação do betume. Numa destas zonas castanhas determinamos 6,6 % de material betuminoso, do qual pouco menos que a metade é insolúvel no éter, tratando-se provavelmente de pirobetume.

Nos demais calcários o betume é comumente encontrado em pequena quantidade, de cerca de 1 a 2 %, mais ao redor de 0,5 % de pirobetume. Uma vez dissolvido pelo éter, filtrado e evaporado o solvente, obtém-se um resíduo castanho de consistência rija, mas não quebradiça. Sob a luz ultravioleta fluoresce com uma coloração castanha clara.

Outras vês, ao invés de impregnações no calcário sob a forma de manchas castanhas, o betume ocorre distribuído ao longo de fissuras ou de zonas mais porosas, dando a impressão de ter migrado. Nestes casos sua cor é bem preta, assemelhando-se a um piche endurecido. Este tipo de betume costuma encerrar fragmentos microscópicos semelhantes a restos vegetais silicificados, com a estrutura fibrosa característica, observada sob o microscópio. Pelo fato de serem silicificados mantêm-se inalterados com o aquecimento ao rubro.

Outra maneira pela qual ocorre o betume consiste no preenchimento de pequenas cavidades existentes no calcário. Neste caso o betume se apresenta como líquido mesmo, chegando a fluir lentamente quando a amostra é quebrada. Depois de exposto ao ar vai-se endurecendo aos poucos, sem contudo tornar-se quebradiço. É preto e inodoro, queimando-se com fumaças pretas e odor característico de asfalto queimado. Deixa um resíduo preto e brilhante, de natureza grafitosa, inalterável quando aquecido ao rubro. Este tipo de betume fluoresce com uma coloração castanha escura, quando submetido à luz ultravioleta.

Muito interessante é a maneira pela qual ocorre o betume em Assistência, numa das pedreiras onde o calcário se acha marmorizado por um sill de diabásio. Da mesma maneira que a matéria orgânica é expulsa durante o processo da recristalização, acreditamos que o mesmo tenha se dado com o betume. Não sabemos se a temperatura foi insuficiente ou

ou se as condições de ambiente fechado tenham impedido a volatilização do betume. O fato é que nenhum calcário marmorizado mostra o menor sinal de betume, que ocorre unicamente no interior de cavidades irregulares estreitas, abertas mais comumente segundo a estratificação e quase sempre atpetadas por cristais milimétricos de calcita, tal como descreve Krejci-Graf (1963) em calcários petrolíferos da Venezuela, onde as cavidades são preenchidas por asfalto ou por petróleo. No nosso caso ocorre o betume no interior das cavidades referidas, cuja extensão na horizontal varia desde alguns centímetros até de alguns palmos, com uma espessura máxima de 0,5 a 2 ou 3 centímetros. O betume é bem mais fluido que os já descritos, também de coloração preta e destituídos de qualquer odor em condições normais de temperatura. Às vezes o betume chega a fluir das aberturas recentemente quebradas. Numa destas aberturas coletamos o betume que se achava embebendo uma trama densa de cristais aciculares de anidrita. Acreditamos que esta anidrita tenha se formado a expensas do enxôfre contido no betume, pois, segundo Fróes Abreu (1946) a quantidade de enxôfre (sob a forma de vários compostos de composição complexa) pode atingir até 16%. É provável que a reatividade tenha sido aumentada com o calor do diabásio, favorecendo assim a reação com o carbonato de cálcio. Muito comumente o betume é encontrado nos interstícios de uma espécie de esponja de calcita, cuja origem desconhecemos, mas que se encontra no interior dos vazios cheios de betume. Uma vez retirado o betume e dissolvida a calcita de aspecto esponjoso, obtém-se um resíduo cheio de cristais milimétricos muito bem formados de apofilita, cuja determinação devemos à habilidade e competência do Prof. Dr. José M.V. Coutinho, que conseguiu executar medidas ao goniômetro de reflexão, a fim de certificar-se da classificação previamente feita por êle mesmo. A associação da apofilita com substâncias betuminosas é rara, mas não se trata de novidade, havendo referências na literatura mineralógica.

A existência de material betuminoso líquido numa

rocha metamorfizada pela intrusão de diabásio indica condições de impermeabilidade, que impediram o escape do material betuminoso submetido a temperaturas elevadas, que recristalizaram as rochas calcárias. Segundo dados experimentais de C.B. Osborne (autor citado por Powers et al., 1932) o calor da intrusiva determina a destilação da água contida na rocha, que é vaporizada, e a gaseificação mais a liquefação dos hidrocarbonetos. O gás e os líquidos assim formados ocuparão as juntas ou cavidades, tal como observamos em Assistência. Após o resfriamento dá-se a condensação da fase gasosa em líquida; segundo o autor citado. Acreditamos que o gás já encontrado numa das perfurações realizadas no município de São Pedro, próximo a Assistência, tenha a sua origem no calor das intrusivas comumente encontradas nos poços desta região.

2. Nos folhelhos -

Tudo o que foi descrito até agora refere-se às substâncias betuminosas encontradas nos calcários, que possuem também os pirobetumes. Nos folhelhos nunca encontramos o menor sinal de betume solúvel em éter. Notamos, casualmente, uma pequena solubilidade no bromoformio. Não sabemos, contudo, a natureza da substância que se dissolveu, se se trata de betume ou pirobetume. As substâncias pirobetuminosas eventualmente existentes nos folhelhos podem perfazer até 10 % da amostra, e algumas vezes em espessuras consideráveis, como observamos na Fazenda Boa Vista, na vila dos Alcixos, município de Taguaí, SP. Uma das camadas de folhelho que medimos nesta localidade parece ter mais de 5 metros de espessura.

Também no km 195 da estrada Itapetininga-Angatuba ocorre este tipo de folhelho, cuja espessura parece ser de alguns metros. Na área situada entre Rio Claro e Laranjal é mais raro o folhelho pirobetuminoso, e quando se mostra como tal, é bem menos do que os descritos. Faz exceção o folhelho já citado e descrito que ocorre na base do Irati da pedreira do Sr. Maluf, abaixo dos siltitos argilo

so infra banco.

3. Comportamento sob as radiações ultravioletas -

Os folhelhos pretos pirobetuminosos se comportam de maneira heterogênea. Ora apresentam reação fracamente positiva, parecendo às vezes coincidir com a direção da estratificação, ora não apresentam reação alguma. Não procuramos as razões deste fenômeno por tratar-se de assunto muito afastado do tema do nosso trabalho.

Quanto aos calcários, observamos que muitos deles mostram-se uniformemente acastanhados sob a luz ultravioleta, enquanto que outros mostram-se listados de bandas de cor castanha carregada e pálida, cores estas que coincidem com a estratificação. As faixas castanho escuras coincidem com as camadas de cor mais carregada, sendo provável que possuam teor maior de substâncias orgânicas ou betuminosas, ou ambas, que reagem sob a citada radiação.

O material betuminoso destilado dos folhelhos terciários de Tremembé fluoresce com uma cor castanha bem clara, enquanto que o de São Mateus, PR, da Formação Irati, fluoresce com cor castanha carregada. Já o material betuminoso extraído por aquecimento em tubo de ensaio, por condensação nas paredes frias do tubo, fluoresce com a mesma cor, mas com uma intensidade sensivelmente menor, dando a impressão de que algum composto mais ativo se desprende com o aquecimento muito intenso.

4. Odor -

Tanto os folhelhos como os calcários, uma vez quebrados exalam um odor característico, motivo pelo qual são denominados de calcários fétidos, o que se deve à presença de substâncias orgânicas sulfuradas de composição química complexa, segundo estudos de Fróes Abreu (1946). Realmente, o betume extraído por solventes dos calcários é absolutamente inodoro. No entanto, o material betuminoso extraído pelo aquecimento dos folhelhos e condensados nas paredes frias do tubo de ensaio exala um odor bastante forte e bastante desagradável, difícil de ser definido, mas com-

pletamente diferente do odor obtido pela percussão da rocha.

-----/-----

IX - O EFEITO TÉRMICO DO DIABÁSIO SOBRE AS ROCHAS DO IRATI

1. Estudos anteriores -

Este assunto já foi abordado por Leinz (1937 a), que estudou as transformações de um calcário do município de Corumbataí, SP, que se acha em contato com um sil de diabásio. O citado calcário passou de preto e pirobetuminoso, para branco e sem betume, tendo a sua granulação aumentada. De finíssima que era, passa a indivíduos de 50 a 100 microns de tamanho. Neste presente caso, descrito por Leinz, a espessura afetada é de apenas 1 metro, passando logo acima ao aspecto normal. Certamente não foi possível àquele estudioso saber a espessura do corpo intrusivo, que julga - mos anormalmente pequena para a região, tendo em vista não somente a pequena amplitude do fenômeno, como também, pela existência de intrusões sob a forma de sil de cerca de 50 metros de espessura e com influência considerável na amplitude de fenômeno. Tal foi observado em Assistência (mun. de Rio Claro), onde se observam cerca de 10 metros de Irati afetados pelo diabásio. As exposições, contudo, não permitem observar até onde vai o referido efeito térmico, que passaremos a descrever.

2. Descrição das ocorrências-

Dentre as diversas pedreiras situadas nos arredores da referida vila de Assistência destacam-se as do Sr. Antônio Vit e do Sr. Abílio Pedro, pela beleza da exposição e pela facilidade com que pode ser observada a litolo-

gia. As demais pedreiras, situadas a cerca de 2 km ao sul da vila, bem próximas à rodovia estadual asfaltada (uma delas é a do Sr. Fanico, já citada anteriormente), muito embora se localizem próximas ao diabásio, mostram-se fracamente afetadas pelo metamorfismo optálico. Apenas alguns níveis inferiores do banco calcário apresentam-se mais grosseiramente cristalinos, com textura sacaróide semelhante à dos mármoreos. Os demais calcários são de textura fina, com manchas milimétricas irregulares, caoticamente distribuídas, de calcário mais grosseiro, de 100 a 200 microns de tamanho, numa granulação de 20 a 30 microns em média. Acreditamos que o corpo de diabásio não seja muito espesso nesta área, ao contrário do sil que se acha em contato com as já citadas pedreiras mais próximas da vila de Assistência.

Nestas, a espessura de rochas afetadas pelo metamorfismo talvez ultrapasse de 10 metros. A existência do solo impede a medida exata. Logo abaixo, em contato com o banco, acha-se o diabásio, cuja espessura é da ordem de grandeza de 50 metros. Ocorre até as proximidades do vale do rio Corumbataí, onde observamos arenitos do tipo do Tubarão, bastante endurecidos, certamente pelo efeito do metamorfismo optálico. Poucos metros abaixo, quase junto às águas do Corumbataí, ocorrem sedimentos finos, cheios de delgados leitos de sílex que não conseguimos amostrar pelo fato de serem muito íngremes as margens.

3. Aspectos macroscópicos dos calcários marmorizados -

Retornando ao Irati, passemos à descrição macroscópica dos calcários marmorizados pelo diabásio. A característica que mais chama a atenção é a presença de bandas de espessura irregularmente variável de calcário preto e branco ou cinzento. Quando a espessura da faixa branca é apreciável, de mais de meio metro, a rocha se presta bem para revestimento, o mesmo se dando com os calcários regularmente bandados. São muito frequentes os nódulos elípticos (sempre com o maior eixo paralelo à estratificação) de calcá-

rio bem branco e bem recristalizado no centro. Achan-se comumente rodeados por calcita milimétrica fibro-radiada e outras vezes por uma delgada zona de calcário bem preto, tudo indicando a expulsão do pigmento carbonoso pelo processo da recristalização. Temos observado tais nódulos sempre no calcário acinzentado, ou seja, com maior ou menor quantidade de material carbonoso. Uma vez aquecido perde a coloração preta, e chega às vezes a exalar um leve odor que lembra o do betume. Uma vez moído perde a cor preta, tornando-se um pó acinzentado. Faz exceção um calcário grafitoso, que moído, se conserva preto como antes, certamente pelo fato de ter sofrido um processo mais rigoroso de metamorfismo. Logo adiante faremos referência a esta interessante ocorrência.

Os calcários recristalizados pelo efeito térmico do diabásio recebem a denominação local de "marmorina", termo muito bem cunhado, dada a sua semelhança com o mármore. Muito comumente a granulação varia na mesma banda, seja preta ou branca, aparecendo faixas de 0,5 a 1 cm de calcário sacaróide. Desconhecemos o porquê desta maior facilidade de recristalização, mas este fenômeno parece obedecer à estratificação. A presença das bandas claras e escuras não sempre é devida ao fenômeno da expulsão da matéria carbonosa durante a recristalização. Há casos em que a coloração escura é motivada pela existência da matéria orgânica originalmente existente na rocha. Tal observamos numa das pedreiras de calcário marmorizado do mun. de Rio das Pedras. A brecha que lá observamos possui os fragmentos bem escuros, contrastando com a matriz, de coloração leitosa homogênea e límpida.

4. Aspectos microscópicos dos calcários marmorizados -

a - Cristalinidade -

Quanto à cristalinidade dos calcários marmorizados, as nossas observações ao microscópio petrográfico concordam plenamente com as de Leinz (1937), que determinou, como já

referimos inicialmente, a granulação de 50 a 100 microns. Eventualmente ocorrem manchas irregulares, às vezes contínuas, de cristais maiores. Ocasionalmente ultrapassam de 1 mm, o mesmo se dando no interior dos já citados nódulos elípticos. De um modo geral, coexistindo na mesma lâmina as bandas claras e escuras, nota-se nítida diferença na granulação entre ambas. Parece que as impurezas orgânicas dificultam o processo da recristalização, pois, as partes pigmentadas são sempre de granulação mais fina que as partes não carbonosas.

b - Minerais neo-formados -

Durante as nossas observações tivemos o ensejo de identificar 4 minerais formados pelo metamorfismo óptico das rochas calcárias. Um d'elles é a grafita, presente sob a forma de cristais de 1 a 2 mm de tamanho, concentrados em raras camadas centimétricas do calcário marmorizado que ocorre a 4,5 km a ENE da pedreira do Sr. Maluf, na denominada pedreira da Lapa, propriedade do Eng. Pedro A-bechian. Foi o único local onde encontramos a grafita. Mesmo em outras amostras da mesma pedreira, a coloração preta dos calcários não é motivada pela grafita, uma vez que a coloração desaparece com o aquecimento ao rubro.

Outro mineral comum, que ocorre tanto na pedreira da Lapa como nos calcários marmorizados de Assistência, é o diopsídio. Costuma concentrar-se em determinadas zonas paralelas à estratificação, zonas estas, de 1 a 2 mm de espessura. Muito provavelmente correspondam a leitos originalmente mais ricos em calcedônia finamente subdividida, por conseguinte, mais ativa quanto à reatividade, tendo então se combinado com a dolomita. O diopsídio se apresenta em cristais de 0,3 a 0,5 mm de tamanho, tendo em seus interstícios o carbonato que certamente escapou à reação.

O terceiro mineral, encontrado nos calcários marmorizados de Assistência, e de maneira análoga aos minerais já descritos, não é de diagnose fácil. É provável que

se trate de um mineral do grupo das cloritas, mas pobre em ferro. É alongado, incolor, índices de refração 1,54 e 1,56 negativo, 2V praticamente zero e extinção reta.

Finalmente, o quarto mineral estudado, cuja origem pode ou não ser considerada metamórfica, é a hidromagnesita. É encontrada sob a forma de rosetas achatadas segundo o plano da estratificação, de 3 a 5 mm de diâmetro. Os cristais são ao mesmo tempo placóides e alongados, límpidos e com tôdas as características ópticas da hidromagnesita. Dada a maneira com que ocorre este mineral, até agora ainda não descrito no País, é provável que se tenha formado a partir de soluções residuais aquecidas que teriam hidratado e ao mesmo tempo, lixiviado o cálcio da dolomita pré-existente.

c - Estruturas nodulares -

Muito interessante é a existência de nódulos esféricos, ora isolados ora concrecidos, à maneira das bonecas de sílex. Seu tamanho varia de 0,5 a 2 cm, sendo constituídos de uma mistura heterogênea de minúsculos cristais de diopsídio de 5 a 10 microns de tamanho, mais minúsculas acículas do provável mineral clorítico e a apofilita. Esta, por sua vez encontra-se sob a forma de cristais grandes, milimétricos, alongados e irregularmente interpenetrados. Ao redor dos nódulos costuma ocorrer uma zona regular, de um a dois milímetros de espessura de cor nitidamente mais escura, dando a impressão de uma verdadeira auréola de reação. Dada a forma de tais nódulos, mais a citada auréola, somos levados a acreditar que resultam da reação do antigo sílex com o calcário magnésiano, em zonas preferenciais mais aquecidas ou mais ricas em gases, que não só facilitaram a reação, como propiciaram a cristalização da apofilita. Estes citados nódulos são raros, tendo sido observados na pedreira do Sr. Abílio Pedro, situada a pouco mais de 2 km ao norte da vila de Assistência.

5. Modificações das rochas pelíticas -

Muito embora seja patente a transformação dos fo

lhelhos, não se pode classificá-los como rocha metamórfica, pelo menos sob o ponto de vista da sua textura e composição mineralógica. No entretanto, o aspecto macroscópico da rocha muda por completo, quer quanto à estrutura, quer quanto à coloração. Tais aspectos são bem visíveis na pedreira do Sr. Antônio Vit, onde não mais se observam os folhelhos pretos tão característicos do Irati. Logo acima do banco calcário ocorrem as camadas rítmicas típicas, de calcário marmorizado e camadas de uma rocha esverdeada, bem estratificada em lâminas de 0,5 a 2 mm, diferenciadas unicamente pela coloração, esverdeada mais escura e esverdeada bem pálida. Uma vez molhada, esta rocha é extremamente lisa e untuosa, aparentando ao tacto uma substância graxa ou saponificada, o que faz jus à sua composição montmorilonítica, já referida. Ao microscópio não se percebe a menor diferença entre as lâminas. Não temos a menor idéia sobre a provável causa da cor verde, se poderia ou não haver influência da matéria orgânica sobre o grau de oxidação do pigmento ferroso, eventualmente mais reduzido. Em secção delgada não se nota a presença de minerais neoformados nem aumento de granulação por parte dos minerais argilosos, cujo tamanho varia de fração de micron a cerca de 5 microns, como valor médio.

6. Comportamento do sílex e da calcedônia -

Já referimos que o sílex torna-se raro nas ocorrências marmorizadas, motivo pelo qual as nossas observações são escassas. Do pouco observado parece não haver mudança na granulação, comparando-se com o sílex existente nos calcários não marmorizados. O resíduo insolúvel de calcedônia, existente em ambos, não sofre também a menor modificação no que diz respeito ao tamanho dos indivíduos. Nem mesmo o índice de refração foi modificado pelo aquecimento, o que seria de se esperar, pela eventual perda d'água. A raridade do diopsídio, que seria resultante da reação da dolomita com a sílica sob a forma de calcedônia ou mesmo sílex, talvez pudesse ser explicada pela insuficiên-

cia de temperatura! Em determinadas zonas eventualmente mais aquecidas ter-se-ia verificado a reação e conseqüente desenvolvimento do diopsídio.

-----//----

X - FEIÇÕES MICROSCÓPICAS DOS SEDIMENTOS DO ÍRATI

Pouco temos a discorrer neste capítulo, uma vez que fomos obrigados muitas vezes a complementar a descrição macroscópica com a microscópica. Procuraremos então, sintetizar as nossas observações referentes às texturas mais comumente encontradas, bem como, à composição do resíduo insolúvel dos calcários.

1. Rochas calcárias -

a - Descrição da textura mais freqüente: fina em mosaico -

Tanto os calcários do banco como os encontrados nas camadas rítmicas, apresentam-se de modo muito uniforme quanto à textura. Longe da influência térmica dos diabásios predominam largamente os calcários finamente granulados em mosaico, estando os cristais de calcita ou dolomita, ou ambos, intimamente juxtapostos e sem a menor orientação cristalina, o que se acha ilustrado na fig. 10-1 A. A granulção média ora varia de entre 3 e 10 microns (com um valor médio de 5 microns) ora de 6 a 20 microns (com uma média de 15 microns). Muito embora predominem os tipos mais magnesianos, são raros os casos de idiomorfismo entre os cristais que compõem as rochas. Quando é o caso, a granulção é ligeiramente aumentada, e os cristais idiomorfos de forma losangular chegam a medir de 0,1 a 0,15 mm de tamanho. As secções delgadas mostram claramente a abundância

de espaços vazios nestas camadas mais dolomitizadas, o que já foi discutido anteriormente e que se acha ilustrado na fig. 10-1 B.

b - Influência do betume -

Outro fator que parece intervir na granulação das rochas calcárias (são poucas as nossas observações) vem a ser a presença de material betuminoso, cuja origem singênica já foi discutida. As camadas de coloração castanha (coloração esta dada pelo betume irregularmente distribuído em manchas ao longo das camadas) possuem uma granulação média de 10 a 15 microns, enquanto que as claras, sem betume, possuem granulação média de 5 microns. É provável que a matéria orgânica tenha fluidificado a lama calcária, facilitando o crescimento dos cristais de calcita.

c - Calcarenitos em marcas onduladas -

A fig. 10-1 C esquematiza outro de textura que por vezes ocorre nos calcários estudados. Não é comum este tipo, muito embora seja encontrado em mais de um nível. No presente caso trata-se da secção delgada da crista de uma marca ondulada de uma das pedreiras da estrada Piracicaba-Tietê (pedreira Amaral-Machado, a quase 3 km a SW da pedreira do Sr. Maluf). A textura clástica restringe-se a umas poucas lâminas milimétricas, separadas das camadas microcristalinas por superfícies de suturas. Muito embora trate-se de uma marca ondulada não percebemos qualquer vestígio de uma eventual textura palimpséstica que identificasse um calcarenito. É provável que a dissolução (comprovada pelas várias suturas existentes) tenha diminuído a espessura original das camadas clásticas, pois, num segundo corte de outra marca ondulada do bairro Conceição (a 10 km a SW do Sr. Maluf), a camada de calcarenito varia de 0,5 a 1,5 cm de espessura. Em ambos os casos constitui-se de esferulas de 0,1 a 0,2 mm de tamanho, às vezes bem achatadas segundo o plano de estratificação. Internamente mostram em alguns casos a disposição concêntrica característica dos glóbulos, e ao mesmo tempo, uma aparente disposição radial

dos cristais de carbonato. Dissemos aparente porque os cristais são na realidade pequeníssimos, de poucos microns de tamanho e caóticamente distribuídos. Entre os corpos esféricos, oolíticos ou não, a cristalinidade do calcário é maior, de 20 a 40 microns, contrastando com a pequena cristalinidade do interior dos oólitos ou pseudo-oolitos. Fato idêntico observamos em calcários oolíticos silicificados do sul de Goiás, nas proximidades de Montividiu, bem como, numa amostra de sondagem de Jataí, sul do Goiás (profundidade de 303 metros). Estes calcários oolíticos são considerados como pertencentes à base do Corumbataí.

Junto à zona dos calcarenitos, ou mesmo, junto às eventuais lâminas mais argilosas dentro dos calcários, costuma aumentar o teor de quartzo clástico, como era de se esperar. Raramente tais grãos clásticos atingem o tamanho da areia fina. São mais comumente de 40 a 60 microns de diâmetro. É freqüente o aspecto corroído dos grãos de quartzo, fato que vem comprovar o meio alcalino favorável à dissolução da sílica, o que já foi tratado no capítulo do sílex. A fig. 10-1 D ilustra a associação de prováveis oólitos, agora silicificados, junto a grãos de quartzo anormalmente grandes, de 0,1 a quase 0,2 mm de tamanho, muito raros no Irati.

d - Textura da brecha intraformacional -

A textura da brecha intraformacional parece ser mais ou menos constante, sendo observada em mais de uma ocorrência. A matriz costuma possuir uma granulação muito fina, ao redor de 3 microns, ao passo que os fragmentos possuem granulação maior, com um tamanho médio de cerca de 10 microns. Fato digno de nota é o da relativa freqüência de cristais maiores, recristalizados, límpidos, medindo de 100 a 300 microns, dentro dos fragmentos da brecha, recristalização esta, não observada na matriz. Uma explicação plausível é que tal recristalização tenha sido singenética e tenha tornado a camada calcária prematuramente quebradiça e

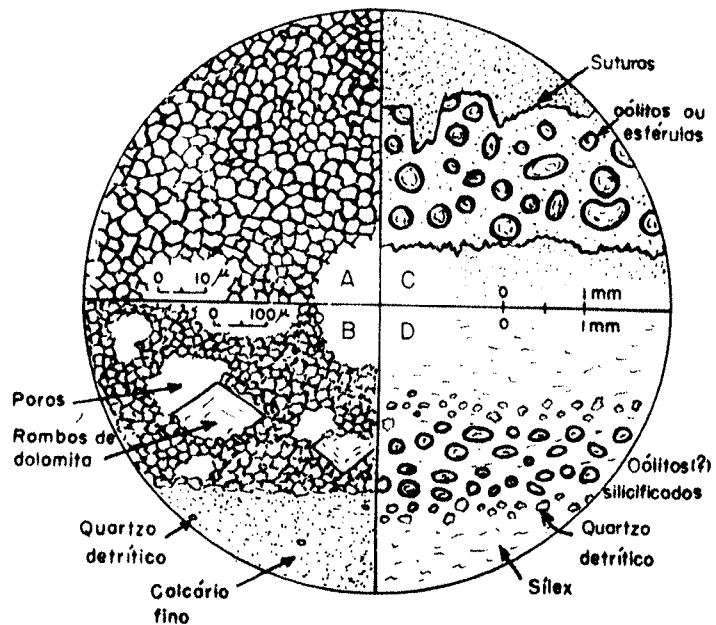


Fig. 10-1. A - Textura microgranular em mosaico do calcário claro, mal estratificado e homogêneo, do Arraial São Bento. Trata-se do tipo mais frequente de textura.

B - Calcário dolomítico recristalizado junto ao calcário de granulação fina, igualmente dolomítico, mas sem recristalização. Aham-se separados pelo plano da estratificação. (Pedreira do Sr. Maluf).

C - Secção do tópo de uma marca ondulada. Alternam-se lâminas de calcarenito (parcialmente dissolvidas) com o calcário microgranular, separados pelas suturas. (Pedreira Amaral-Machado).

D - Sílex de origem metassomática com oólitos (ou pseudo oólitos) agora silicificados junto a grãos detríticos de quartzo. (Assistência, Rio Claro).

endurecida, ao contrário das demais camadas, que tudo indica, por muito tempo conservaram a sua plasticidade, o que já foi discutido. Não acreditamos ser fácil a explicação do porquê dêste fenômeno, pois, a obliteração pela recristalização apaga as estruturas e texturas primárias devidas diretamente das condições de precipitação das rochas calcárias.

Outros calcários pertencentes à Formação Irati de outros estados nada apresentam de particular quanto à sua textura e quanto à natureza do resíduo insolúvel.

2. Folhelhos -

a - Composição mineralógica -

Dada a alta friabilidade dos folhelhos existentes na área estudada com mais pormenores, não nos foi possível a obtenção de secções delgadas, motivo pelo qual executamos cortes de superfícies pequenas, mas que são suficientes para que se tenha idéia da textura do material pelítico, que se acha sempre associado a silte médio e grosso, quartzoso e feldspático. Não é raro encontrar-se inclusive plagioclásios absolutamente frescos, o que vem sugerir a condição de baixa temperatura para a sua conservação. Os minerais micáceos (muscovita e alguma biotita) são abundantes, sempre orientados de acordo com a estratificação.

Os minerais argilosos apresentam-se com dimensões da ordem de grandeza de poucos microns a fração de micron, sendo comumente orientados como são os micáceos. Às vezes percebem-se lâminas de cerca de 5 microns de espessura de material mais escuro, muito provavelmente de natureza orgânica, que em conjunto, dá a cor preta aos folhelhos. O índice de refração do material argiloso é inferior a 1,54, como já referimos ao descrevermos o de Assistência, cuja análise ao raio X revelou tratar-se de montmorilonita. Este mineral foi confirmado pela adição de etileno-glicól, que faz aumentar a distância entre os planos [001] dos filosilicatos, o que modifica a reflexão dos raios X.

-/-

Dada a associação destes folhelhos montmoriloní-
ticos com dolomitos ou calcários dolomíticos, julgamos oportuna a citação de Fairbridge (1963, pag. 457), que se refere à existência de relação entre dolomitos e montmorilonita altamente magnesiânica, o que foi observado em calcários permianos de Kansas, E.U.A. Não encontramos na literatura o porquê desta associação. Julgamos provável ter havido o fenômeno da troca de bases para que tenha aumentado o teor de magnésio desta montmorilonita.

b - Textura -

Uma das amostras de folhelho pôde ser laminada, graças à sua maior coerência, talvez motivada pela influência térmica de algum sill de diabásio. Trata-se da ocorrência situada na rodovia estadual entre Itapetininga e Angatuba, km 195. O folhelho é pirobetuminoso, bem preto, micáceo e o caráter folheado é menos evidente, motivo pelo qual não houve dificuldade em ser laminado. Apresenta lâminas de 0,1 a 1 mm de espessura constituídas de grãos de quartzo e alguns feldspatos, grãos estes de 80 a 100 microns de tamanho, ou seja, da classe da areia fina, o que é raro no Irati. Comumente apresentam-se sob a forma de lentes, indicando a existência de zonas de correnteza mais veloz, que esculpíram pequenos canais na lama argilo-siltosa e depositaram os grãos arenosos. Tanto as citadas lâminas como estas lentes acham-se irregularmente dispersas, afastadas de alguns milímetros e noutras partes, de 1 a 2 centímetros. É nítida a orientação dos minerais micáceos e argilosos segundo a estratificação, e ainda, a presença de uma substância intersticial de cor castanha, isotrópica ou muito pouco bi-refringente, talvez de natureza sapropélica, e finalmente a pirita, sob a forma de minúsculos grãos ou em agregados maiores, lenticulares, chegando a perfazer cerca de 5 a 10 % do total da amostra. Dadas as condições de ocorrência, tudo indica tratar-se de pirita singenética, originada certamente da reação do H_2S próprio

dos sapropelitos sôbre os hidróxidos de ferro que costumam acompanhar o material argiloso.

c - Distribuição granulométrica -

A presença de grãos siltosos e areia fina (esta é bem mais rara) não se restringe a êste folhelho que acabamos de descrever. Outros, de outras procedências possuem igualmente a fração clástica siltosa grosseira, em maior ou menor porcentagem, porém nunca superior a 50%. Como é difícil a desagregação completa dos folhelhos, não podemos precisar o teor da fração argilosa. Quanto aos mine-rais argilosos, medimos sua porcentagem por meio da solubilização pelo ácido sulfúrico a quente. Numa das amostras de Ipeúna, SP, determinamos o valor de 30% em relação ao total da rocha.

d - Considerações sôbre a laminação -

Quanto ao problema da laminação, não encontramos nenhum aspecto que indicasse a existência de fatores secundários, pós-sedimentação, de natureza diagenética, o que é citado por Rubey (1930), que estudou com pormenores o problema da laminação de folhelhos. Entre as demais causas enumeradas por êste estudioso, e que se enquadram nos nossos estudos citaremos a granulação e variação na quantidade de matéria orgânica, segundo as nossas observações ao microscópio. Sôbre o problema de ser a laminação primária ou secundária, lembramos a estrutura ilustrada na fig. 5-6, onde as lâminas do folhelho acham-se encurvadas, obedecendo à penetração da lama calcária. Tal aspecto não deixa dúvida de que a lama argilosa já era laminada antes da diagênese dos calcários, sendo portanto uma laminação primária e não diagenética. "Mutatis mutandis", o mesmo raciocínio pode ser feito em relação às dobras adiastróficas das figuras 5-2 e 5-3.

Passemos agora à descrição das já citadas lâminas pretas de material argiloso folheado microscopicamente, encontradas nos calcários do banco (figs. 3-3 e 5-7).

Em secção delgada apresentam-se como um conjunto de lâminas corrugadas, sinuosas, irregulares, aparentemente anastomosadas, de 5 a 10 microns de espessura. Entre estas delgadas lâminas perdura o calcário com a mesma textura da parte isenta das citadas lâminas. Junto à trama irregular das lâminas escuras aumenta o teor de grãos de quartzo, cujo tamanho oscila entre 20 e 40 microns. Tudo indica a deposição simultânea da lama calcária mais a mistura de matéria orgânica, silte e material argiloso, em disposição laminar certamente ocasionada por correntezas irregulares e extremamente brandas.

3. Sílex -

A textura do sílex, em muitos casos observados obedece à dos calcários mas nem sempre. Quanto ao sílex que interpretamos como sendo singenético, já descrevemos a sua textura. O sílex negro, que ocorre comumente sob a forma de camadas contínuas de até um palmo de espessura, mostra-se heterogêneo na sua textura. Em certas partes da lâmina a textura é muito fina, com granulação ao redor de 5 microns, ao lado de zonas mais grosseiras de granulação média de 50 microns. Estas zonas acham-se dispostas de modo irregular, com interpenetrações mútuas. Localmente ocorrem zonas esferulíticas de 0,1 mm como tamanho médio. Nestes esferulitos a calcedônia despõe-se em fibras radiais, ora com a orientação óptica da calcedônia mesmo, ora o inverso, ou seja, o da quartzina, tal como descreve Leinz (1938). Ambas as formas se encontram lado a lado, o que indica que é realmente impossível saber-se a causa destas diferentes orientações, como já ponderou o citado estudioso. Contudo, de um modo geral, segundo as nossas observações, predominam largamente as de alongação negativa, ou seja, com o menor índice de refração coincidindo com a maior direção da fibra. O tipo quartzina foi também encontrado em outras amostras, mas muito raramente.

4. Resíduo insolúvel ao ácido clorídrico -

a - Finalidades dêste estudo -

Tivemos como principal finalidade do estudo do resíduo insolúvel dos calcários a verificação da natureza dos componentes clásticos não carbonáticos (que podem dizer das condições de sedimentação), bem como, a procura de eventuais fósseis. Para isso, examinamos também as porcentagens entre os componentes em relação ao total do resíduo e em relação ao total da rocha. Antes de iniciarmos êste estudo, tivemos em mente o estudo da suposta variação do material argiloso, e a sua eventual comparação com a argila dos folhelhos da zona rítmica. Contudo, tal não pôde ser executado, dada a ausência quase generalizada de argila junto ao resíduo insolúvel, tanto dos calcários do banco, como dos da zona rítmica.

b - Porcentagem -

As porcentagens de resíduo variam desde 2 % até 25 %. Muito raramente excede de 30 %. Se construíssemos o histograma das porcentagens observaríamos a moda na classe correspondente a 9 a 10 %. Contudo, seria uma moda muito pouco convincente, pois, pouco se destaca das demais classes.

c - Descrição do resíduo mais freqüente -

A maior parte do resíduo é formada por calcedônia, fato que observamos desde o Rio Grande do Sul até Mato Grosso (em amostras de sondagem), quer para os calcários que afloram, quer para os profundos, testemunhados pela Petrobrás. O teor varia de modo irregular, inclusive dentro da mesma amostra. Os práticos que se ocupam do fabrico da cal chegam a reconhecer pelo aspecto macroscópico certos calcários que se tornam "empedrados" pelo aquecimento e não produzem a cal. Procuramos a causa dêste fenômeno, que nada mais é do que a porcentagem anormalmente elevada de calcedônia, que se funde, vitrifica e impede a transformação do carbonato em óxido. Muito interessante é

o fato de certos fragmentos de calcário manterem a sua forma e até mesmo a estratificação após o ataque com ácido clorídrico. Examinando-se a natureza destes fragmentos sob a lupa, nota-se que se constituem de um verdadeiro esqueleto de calcedônia, que se coalesce e mantém os pigmentos carbonosos responsáveis pela estratificação mesmo depois da dissolução dos carbonatos. Em secção delgada não se percebe a calcedônia, que é mascarada pela calcita ou dolomita. A fim de observar a sua textura, conseguimos retirar cuidadosamente uma parte da lamínula, dissolver o calcário e cobrir novamente sem destruir a trama de calcedônia, que perdurou após o ataque. Dada a espessura da secção, a calcedônia mostrou-se opaca, porém leitosa sob luz refletida. Percebe-se uma ligeira tendência à disposição paralela à estratificação, tudo indicando que a sílica, resultante da dissolução das espículas de esponja, distribuiu-se e precipitou-se obedecendo ao arranjo das lâminas calcárias já depositadas.

A calcedônia varia na granulação, desde poucos até 20 ou 30 microns, e ocasionalmente de 50 microns. Seu índice de refração também varia, desde 1,48 a 1,52. Raramente iguala-se ao do quartzo. O caráter de anisotropia pode ser nítido a quase imperceptível. No entanto, o diagrama obtido pelo raio X não revelou qualquer vestígio de substâncias amorfas, de onde se conclui da inexistência da opala. Na realidade, seria de se estranhar se este mineral fôsse encontrado, dada a tendência para a sua recristalização nos sedimentos mais antigos.

d - Descrição dos clásticos -

Além da calcedônia os resíduos insolúveis contêm ainda certa porcentagem de material siltoso. Em raros casos o resíduo clástico é da classe da areia. Quando é o caso, os grãos geralmente não ultrapassam de 0,1 mm. Tanto o silte como a eventual areia fina representam a fração clástica das rochas calcárias. Medimos a sua porcenta

gem em relação à calcedônia pelo método da comparação visual, usando gráficos previamente construídos. Verificamos que a porcentagem de clásticos no resíduo insolúvel é muito variável, sendo a variação muito irregular, fato comprovado pelo exame das secções delgadas. Nestas observa-se às vezes a presença de delgados leitões submilimétricos onde predomina o silte clástico quartzoso, enquanto que em outras, que representam a maioria, o silte é distribuído de maneira caótica, ora quase ausente, ora em quantidade um pouco maior. Considerando-se o resíduo, o teor em clástico é ao redor de 20 a 30 %. Muito comumente é de quase zero a 5 %, e ocasionalmente atinge a 50 %. No entanto, considerando-se a rocha toda, predominam largamente os teores de 1 a 5% de material clástico.

Quanto à composição mineralógica dos grãos clásticos, predomina o quartzo, como era de se esperar. O feldspato acha-se presente em quase todas as amostras, e muitas vezes quase tão abundante como o quartzo. Entre os feldspatos observamos com certa frequência plagioclásios absolutamente frescos. É provável que tenham provindo dos sedimentos do Tubarão que certamente formavam as margens do antigo lago. São muito freqüentes os feldspatos junto aos sedimentos do Tubarão, de maneira que não se torna necessário apelar para o embasamento cristalino para a contribuição de feldspatos. Lembramos que até Jundiá ainda existem restos de cobertura glacial, o que vem sugerir que o cristalino deveria situar-se bem distanciado das águas do lago do Irati.

Outro mineral comum é a muscovita, nem sempre fácil de ser percebida por causa da pequena dimensão. Entre os minerais pesados mais freqüentes citamos o zircão, a turmalina e a granada. Ocasionalmente encontramos a apatita e o rutilo. Lembramos que a granada é um dos minerais mais comuns do Tubarão, não somente nos tilitos, o que já foi verificado por Leinz (1937 b) e por Amaral (1965), como também em vários outros sedimentos pertencentes à cita

da formação permocarbonífera, o que tivemos por diversas vezes a oportunidade de verificar. Trata-se de outro dado que indica que o Irati não transgrediu por sobre o Tubarão, mas sim, sedimentou-se sobre os seus sedimentos, como já referimos poucas linhas atrás.

c - Componentes orgânicos -

Já os citamos no capítulo referente às estruturas orgânicas. Lembramos apenas da relativa abundância de esporos e de fragmentos que lembram tecidos vegetais, que perduram após o aquecimento, devendo estar silicificados. Estes restos são mais abundantes nas camadas de coloração acastanhada, que por sua vez são as mais ricas em material betuminoso, como já referimos. De um modo geral, praticamente todos os resíduos dos calcários de Laranjal a Piracicaba (quando não marmorizados) apresentam material betuminoso (ao redor de 2%) e pirobetuminoso (menos de 1%). Quando aquecidos exalam o odor típico de asfalto queimado e escurecem o resíduo, que se torna claro somente com o superaquecimento.

-----//----

XI - CONDIÇÕES DE SEDIMENTAÇÃO DO IRATI

1. Ideias anteriores -

Já fizemos referências sobre as dificuldades deste problema, tão discutido e controvertido quanto à questão de ser marinho ou continental. Já referimos igualmente que um dos principais objetivos deste trabalho foi o de procurar argumentos mais sólidos que esclarecessem este ou aquele ponto de vista. Infelizmente, apesar da cuidadosa e intensa procura de argumentos convincentes, nada encon-

tramos que pudesse esclarecer definitivamente este importante tópico. Assim sendo, as poucas e resumidas linhas que finalizarão o presente trabalho traduzem em parte as idéias já há tempos elaboradas, desde as de Euzébio de Oliveira (1940), que entre parêntesis, mostram bem a sua conhecida meticulosidade nas observações ao lado da prudência nas conclusões, até às mais modernas, de Maack (1952), de Almeida (1954), de Beurlen (1954 e 1955), de Putzer (1955), de Bischoff (1957), de Sanford e Lange (1960) e de Mendes (1961 e 1963). Todos são unânimes em considerar a quietude e vasta extensão das águas, o que é óbvio. No entanto, quanto ao fato de ser marinho ou continental as opiniões são, como já referimos, discordantes. Assim é que White (1908), o pai do Irati, considera-o continental na região de Santa Catarina. Deixa aberto o problema para o Irati do Paraná e São Paulo, citando a existência de fósseis duvidosos, transcritos por Derby através de cartas. Por sua vez, Mendes (1961 e 1963) afirma categoricamente tratar-se de lagos continentais. Almeida (1954) opina para um ambiente de água salobra. Moraes Rego (1940) acha que ambos os tipos (salobro e marinho) são possíveis. Felicíssimo (1940) interpreta como sendo um mar epicontinental de água provavelmente salobra, e finalmente Washburne (1930), noutro extremo, advoga a existência de águas tão altamente salinas a ponto de impedir a vida dos seres marinhos comuns daquela época. Antes de darmos o nosso parecer sobre este importante tópico, ponderaremos sobre as condições tectônicas, climáticas e físico-químicas.

2. Condições tectônicas -

Basta um relançar de olhos sobre a litologia monótona em tão grande área, e ainda mais, numa espessura tão pequena e tão constante dentro da escala considerada, para concluir-se sobre a quietude tectônica da baía do Paraná, bem como, das terras circundantes. Após o aplainamento generalizado resultante da erosão glacial, perdurou

por longo tempo a fase de repouso, fato comprovado pela su
sência quase absoluta de psamitos. Os grãos de areia, além
de extremamente raros, nunca ultrapassam o tamanho da a-
reia fina de Wentworth. Esta calma tectônica não se
restringe ao Irati. Segundo a descrição litológica de Al-
molda e Barbosa (1953) os últimos e raros vestígios da gla-
ciação permo-carbonífera no Estado de São Paulo são encon-
trados no Membro Tupi, ou seja, na base da Formação Itape-
tininga, a última do Grupo Tubarão. O membro seguinte, de-
nominado de Tatuí, segundo os autores citados, evidencia
a penetração gradual do mar, fato comprovado pela presen-
ça de espículas poliaxônicas silicosas de esponja ao lado
de provável glauconita. Esta idéia concorda também com a
de Maack (1952, pag. 211), que muito embora não seja cate-
górico em suas afirmações, alega a existência de "água sa-
lobre ou salgada e, provavelmente, devem sua origem a um
mar epicontinental, isolado por barras, com periódica en-
trada de água oceânica, ou a um grande mar continental, o
que se torna evidente pela enorme e uniforme extensão des-
ta formação". Os sedimentos do Membro Tatuí não mostram
mais os indícios da glaciação, que, pelo menos na área em
apreço, desapareceu definitivamente. Os sedimentos clásti-
cos são visivelmente mais finos, aparecendo leitos de cal-
cário com sílex.

Finalmente, acima do Tatuí repousa o Taquaral, nem sempre presente, mas que evidencia a mesma tranqüili-
dade tectônica, tal a finura da granulação. Tivemos a o-
portunidade de observar argilitos finíssimos, com muito
pouco silte, no tôpo do Taquaral. Nas demais ocorrências,
fora do Estado de São Paulo, as condições deveriam ter si-
do análogas, o que se depreende da litologia do Palermo
nos estados sulinos.

Por outro lado, Barbosa e Gomes (1958) dão gran-
de importância (ao nosso ver muito exagerada) ao conglome-
rado de seixos de sílex que ocorre em Assistência e Pitan-
ga, concluindo sobre a existência de discordância erosiva

entre o Irati e o tópo do Tubarão, fato que foge por completo das nossas observações de campo. Tudo indica tratar-se de um conglomerado local destituído de importância estratigráfica.

Não temos dúvida de que o ambiente era aquoso e continuou aquoso no decorrer da sedimentação do Irati. Não sabemos o porquê, mas o fato é que durante o tempo geológico em que se depositou o Irati, as condições de sedimentação tornaram-se uniformes em toda a bacia do Paraná, desde os Estados de Goiás e Mato Grosso até ao Uruguai. A uniformidade sob o ponto de vista tectônico é patenteada sobretudo pela constância e pequenez da espessura. Tudo indica que por longo tempo paralizou-se a movimentação negativa da bacia, bem como, a movimentação positiva das terras circundantes.

Mais tarde, quando as condições eufônicas cessaram, continuou a deposição num ritmo mais acelerado, mormente nas partes centrais da bacia, onde a Formação Corumbataí atinge a quase mil metros de espessura, o que foi verificado na sondagem de Pres. Epitácio, SP. Certamente reativou-se simultaneamente o movimento ascendente da área positiva, fornecedora dos detritos (mais comumente silteosos) para o Corumbataí. Finalizando estes eventos tectônicos deu-se o levantamento geral de todo o bloco, seguindo à regra da emersão generalizada do triássico. Nunca mais o nível do mar se aproximou destas terras, transformadas posteriormente em imensos e monótonos desertos.

3. Condições climáticas -

a - Banco calcário basal -

Muito embora seja grande o número de fatores que intervém na precipitação dos calcários, tudo indica que o fator temperatura teve influência decisiva. A abundância de répteis, bem como, de outras formas de vida, animal ou vegetal, nos leva à conclusão do clima quente, que certamente perdurou por longo tempo geológico, pelo menos no

Estado de São Paulo e norte do Paraná, onde predominam largamente os calcários na base do Irati. Mais ao sul os calcários da base são mais ricos em intercalações de folhelho, que deveriam ser formados em ambiente mais frio, segundo as idéias clássicas da literatura palcoclimática.

Entre o banco basal e a zona rítmica, na superfície correspondente ao topo do banco, é muito comum a presença de grande número de costelas de Stereosternum, sempre desarticuladas e sem orientação, apesar das freqüentes marcas onduladas de correnteza. É muito provável ter havido alta mortalidade dos répteis, graças ao frio, que por sua vez, foi o responsável pela mudança da deposição, de calcário para folhelho.

Por outro lado, Mendes (1961) cita a existência de aneis anuais nas madeiras fósseis do Irati. Estas, por sua vez, são mais comumente encontradas no interior do banco calcário da base. Isso vem demonstrar a variabilidade climática inclusive na época de deposição dos calcários, sendo provável ter havido flutuações da precipitação pluviométrica, ocasionando assim a formação dos aneis anuais.

b - Camadas rítmicas -

Não temos dúvida da influência do clima no ritmo da deposição decimétrica de calcários e folhelhos, tal a pureza de ambas as rochas. Pelo menos no Estado de São Paulo, nunca observamos a presença de margas. A quase ausência de argilas nos calcários e a raridade de calcário junto aos folhelhos indica a ação marcante do clima no controle da deposição destes sedimentos.

H. Stetson (em Shrock, 1948) tenta explicar o ritmo de calcário e lama sapropélica da seguinte maneira: a amônia resultante da decomposição da matéria orgânica reage com o bicarbonato de cálcio, formando-se carbonato de amônio e de cálcio, que se precipita. Atingida uma determinada espessura, o carbonato de cálcio precipitado impermeabiliza o meio e impede a reação, dando ensejo a

novo acúmulo de lama mais matéria orgânica, continuando o ciclo. Este tipo de deposição coaduna bem com os calcários laminados de cor cinzenta e castanha, sendo esta rica em betume e aquela pobre. No entanto, para a formação dos estratos de um a três decímetros de espessura, certamente não tem cabimento a explicação citada.

Hallan (1964), por outro lado, estuda o ritmismo folhelho - calcário do jurássico da Inglaterra, que, segundo a sua descrição assemelha-se ao Irati quanto à estratificação. Tal ritmismo é por êle interpretado como sendo produzido por processos originais, primários, bem como, pela migração diagenética, por conseguinte, por processos secundários. Apresenta interessante argumentação, baseada no esmagamento de fósseis nos folhelhos e a sua boa conservação nas camadas calcárias, fato interpretado como de calcificação do folhelho. Para o caso do Irati não há por enquanto nenhuma evidência de transformação pela diagênese. Tudo indica que o ritmismo é o produto das condições de sedimentação, refletindo as variações originais do clima, o que ainda será discutido.

Muito embora não tenhamos dúvida quanto às causas climáticas na alternância dos estratos em discussão, o principal problema, ao nosso ver insolúvel, consiste na causa da variação climática. Segundo Anderson (1964), que classifica as unidades rítmicas de acordo com os respectivos tempos que levaram para se formar, não se pode saber se o ciclismo das manchas solares teria influência na variação rítmica de camadas com esta espessura decimétrica. O autor citado discute igualmente o tempo de deposição. Se compararmos os estratos rítmicos do Irati com os citados por Anderson e por Bradley (1929), imaginamos um tempo de mil a três mil anos para ter-se depositado uma das camadas. A velocidade média de deposição de sedimentos análogos aos do Irati, segundo Bradley, é de um decímetro por milênio, de onde se conclui da impossibilidade de se conjecturar sobre as causas primárias da estratificação

que estamos considerando.

O citado trabalho de Bradley versa sôbre sedimentos rítmicos miocênicos lacustres do Colorado e Utah (Formação Green River). cuja litologia é semelhante à do Irati. Difere apenas na espessura dos estratos, que lá são milimétricos, ou seja, são sedimentos laminados. "Mutatis mutandis", comparando o que foi estudado e interpretado por Bradley com as nossas observações, admitimos um clima quente e pouco chuvoso para os calcários, quer do banco, quer da zona rítmica. Já referimos sôbre a quase ausência de argilas e a raridade de silte nos calcários, tudo indicando que além das condições de clima quente, a precipitação pluviométrica deveria ter sido pequena. As eventuais e delgadas lâminas onde se concentram os grãos clásticos indicam efêmeras fases de maior pluviosidade, e como consequência, ligeiro aumento da velocidade das águas que fluíam à bacia de sedimentação. A abundância de feldspatos frescos, inclusive de plagioclásios, entre os grãos clásticos siltosos vem igualmente a favor desta interpretação. Passados alguns milênios, rapidamente o clima ter-se-ia mudado para frio e mais chuvoso. Continua abundante o feldspato, a granulação do silte e a sua quantidade aumentam em relação aos calcários e o fornecimento de detritos orgânicos parece obedecer a um ritmo anual, segundo o que se observa nas secções delgadas.

4. Profundidade -

A raridade de perturbações nos estratos, provocadas pela turbulência da água nos leva a supor a existência de uma profundidade razoável, porém, impossível de ser avaliada. A planura da região certamente favorecia a ação de vendavais fortes, que certamente determinariam a formação de ondas vigorosas. Apesar disso, os estratos todos são típicos de águas calmas, o que vem sugerir a profundidade relativamente grande, livre das ondas de tempestades ou de vendavais. Por êstes motivos citados concordamos com

o ambiente proposto por Rich (1953), que considera o Irati como sendo de ambiente "fondo". A existência de brechas intratransformacionais originadas por movimentos de fluxo, mais os "ripple marks", podem indicar também o ambiente "clino" proposto por Rich (1951). Este autor preferiu deixar aberto o problema referente ao ambiente continental ou marinho.

O relevo suave das terras adjacentes à bacia certamente não permitiu a formação de correntezas suficientemente fortes para obliterar a laminação da lama previamente depositada. Por sua vez, a profundidade das águas impediu que as ondas de tempestades alterassem a estratificação, fato que determinaria o caráter de "onda", segundo a classificação de Rich (1951). A estas alturas devemos nos lembrar que a paisagem certamente era altamente favorável a ventos. Em tão larga superfície exposta, com pouca admissão de água pluvial, a evaporação certamente foi de alta intensidade. No entanto, não há evidências de formação de evaporito de espécie alguma. De onde viria a água para repor a que foi evaporada? Este assunto será discutido no último subcapítulo.

5. Condições físico-químicas do ambiente -

A presença de substâncias betuminosas mais a pirita, ambas generalizadas por quase todo o Irati, inclusive o existente nas partes centrais da bacia (conhecido por meio dos testemunhos de sondagem), tanto nas rochas calcárias como nos folhelhos, não deixa dúvida quanto às condições de pH e Eh. Em base do trabalho de Krumbein e Garrels (1952), que relacionam tais condições às diferentes associações mineralógicas mais aos compostos derivados da matéria orgânica, julgamos razoável considerar o valor de ao redor de 8 para o pH e um valor negativo ao redor de 0,3 para o potencial de oxidação-redução das águas onde se depositaram os sedimentos do Irati. Segundo os autores citados os sedimentos químicos não se misturam ao acaso.

São muitas as limitações que controlam as diferentes associações, fato que não se verifica nas misturas de sedimentos químicos com clásticos, como era de se esperar. A afirmação citada se aplica bem ao Irati, tal a homogeneidade e persistência do material não detrítico, ou seja, do calcário, da pirita e das substâncias betuminosas.

Quanto às condições de salinidade temos somente evidências indiretas de tratar-se de água salobra, com o que concordamos com Almeida (1954). Pettijohn (1957, pag. 601) refere-se à escassez de fósseis em águas de baixa salinidade, dando ênfase à dificuldade da diagnose deste tipo de ambiente, tal como o nosso caso, discutido e controvertido. Lembramos apenas de que não existe no Irati o menor sinal de evaporito salino, ao contrário do que se dá com o lago miocênico estudado por Bradley (1948, pag. 643), já citado anteriormente.

Finalmente, quanto à matéria orgânica conservada e posteriormente transformada em betume, pirobetume e material carbonoso, tudo indica que durante todo o tempo de deposição e em praticamente toda a área de sedimentação do Irati verificou-se a conservação, pelo menos parcial, da matéria orgânica depositada. A configuração das margens, imaginada pelos que já estudaram o Irati, coaduna bem com a idéia de Bradley (1948), que dá ênfase à existência de praias de grande extensão, propícias ao desenvolvimento da vida vegetal e animal em grande intensidade. Seriam assim, as regiões fornecedoras dos detritos orgânicos que se espalhariam posteriormente por meio das correntes aquáticas ou mesmo dos ventos. Uma vez depositados, tudo indica que a superfície limitante que separa os valores positivos e negativos do Eh deveria situar-se acima do plano água-sedimento. A ausência de seres bentônicos mais a existência de pirita vêm indicar que se formou o H_2S , que envenenou o fundo de lama e material sapropélico. Julgamos viável imaginar que de tempos em tempos houvesse movimentações de turbulência nas águas, tal como se deu duran-

te a deposição do célebre folhelho Burgess cambriano, da Colúmbia Britânica. No nosso caso a mortandade afetaria os Liocarids, que em certos níveis chegam a perfazer mais de 50% da rocha.

6. Ambiente geográfico de sedimentação -

a - A principal controvérsia -

Os traços gerais da paisagem já foram esboçados, tanto no presente trabalho, como em alguns dos já citados. Resta-nos discutir se esta imensa bacia de águas quase es tagnadas, onde parece ter sido pequena a admissão de água provinda das terras elevadas, de fundo redutor, envenenado pelo H_2S , estaria ou não ligada ao mar. Não há a menor dúvida de que os 40 m da Formação Tatuí, mais os 28 m (quando presentes) do Taquaral, foram depositados em ambiente aquoso, tendo o mar penetrado na base do Tatuí, no dizer de Almeida e Barbosa (1953). No entretanto, segundo informações verbais do Prof. Josué C. Mendes, ocorrem Conchostráccos (são todos êles de água doce) na Formação Tatuí. Por outro lado, nega a existência de braquiópodos acima do Irati em Irati, PR (Beurlen, 1954). Muito embora não nos seja possível opinar a respeito, julgamos cabível a existência de fósseis de diferentes ambientes, pois, encontramos argumentos que vão a favor da comunicação desta imensa bacia com o mar. Trata-se, evidentemente, de argumentos pouco convincentes quando isolados, mas que em conjunto adquirem alguma fôrça. De maneira alguma representam a resposta definitiva. Simplesmente vêm sugerir, e ainda com ressalvas, a comunicação com o mar, o que se daria num local situado ao sul do Uruguai, talvez muito ao sul, porque lá também não são conhecidos fósseis marinhos no Irati.

b - Os principais argumentos -

Antes de apresentarmos os nossos argumentos, citaremos e discutiremos a argumentação de Mendes (1961) e

1963), que opta para a existência de lagos continentais para o Irati. Seu principal argumento reside na ausência de fósseis num meio tão propício à sua conservação. Realmente, apesar da nossa intensa procura nos resíduos insolúveis dos calcários, em seções delgadas, nos folhelhos desagregados e sobre a superfície dos estratos em exame macroscópico, nada encontramos. Por outro lado, se o ambiente foi bom para a conservação, foi péssimo para a vida, quer bentônica (H_2S), quer planctônica (salinidade baixa). Se os sedimentos de águas salobras se caracterizam pela escassez de fósseis (Pettijohn, 1957, pag. 601), com mais razão ainda as águas salobras e sapropélicas. Deve ainda ser acrescentado de que existem muitas ressalvas aos melhores fósseis indicadores de ambiente. Assim é que Krejci-Graf (1964), entre muitos exemplos, cita a existência de Asteroidea em concentração salina de 8 por mil, no Báltico. Por outro lado, cita a ocorrência de Charáceas (são características de água doce) em água com salinidade de 15 por mil. Neste trabalho Krejci-Graf dá ênfase ao estudo dos elementos traços, dos isótopos e do teor de porfirina existente na matéria orgânica dos sedimentos, quando se quer decifrar as condições físicas, químicas e físico-químicas em que foram formados. É provável que no futuro tenhamos a possibilidade material e pessoal de desenvolver tais estudos no nosso meio. Graças ao auxílio dos colegas Dr. Franco Levi e Dna. Maria Szikszay pudemos executar parte dos estudos referentes a alguns elementos traços, assunto que passaremos a abordar.

b¹ - Teor de níquel das cinzas do betume -

São vários os elementos traços que se concentram preferencialmente nos sedimentos argilosos ou na fração orgânica, graças a processos biológicos, podendo dar-se a formação de complexos metalo-orgânicos, ou por fenômenos de adsorção seletiva e posterior sedimentação (Keith e Duggens, 1959). Muitos destes elementos apresentam discrepân-

cias, ora maiores, ora menores, quando se concentram em material marinho ou não marinho. Entre os diversos elementos traços existentes na matéria orgânica escolhemos o níquel, por ser grande a discrepância e por ser de fácil análise espectrográfica. Enquanto que nas cinzas da matéria orgânica dos sedimentos continentais dos ciclotomas pensilvanianos da Pensilvânia (E.U.A.) o teor de níquel é de 20 a 25 ppm, nas cinzas de material marinho o teor varia de 70 a 150 ppm (Degens et al. 1957).

Como o níquel acha-se ligado a porfirinas, num complexo metalo-orgânico, seguimos a técnica recomendada por Dwiggins (1962), que consiste na incineração a cerca de 500°C em corrente de oxigênio, cuja função é a de oxidar totalmente a matéria orgânica. Usamos neste estudo o betume existente nas fendas e cavidades do calcário marmorizado de Assistência (pedreira do Sr. Antonio Vit), onde por vezes o betume chega a fluir, sendo fácil a sua coleta. Este betume foi solubilizado em éter, filtrado, evaporado e incinerado. O controle da temperatura foi feito com par termo-elétrico, e o oxigênio circulou durante todo o tempo de aquecimento. O resíduo grafitoso foi então submetido ao exame espectroográfico, numa análise semiquantitativa. O resultado foi de mais de 80 ppm. Não temos a menor dúvida de que o valor destas cifras reside na comparação com outro material certamente terrestre, o que não pôde ser feito. Contudo, tivemos o cuidado de comparar os nossos dados com os de outros trabalhos. Um deles é o já citado de Dwiggins, que analisa as cinzas de vários petróleos adotando a mesma técnica de Degens et al. (1957). Os valores encontrados variam desde 30 a 270 ppm, em média. Em outro trabalho, de Borchert e Krejci-Graf (1959) as cifras são menores, ao redor de 1 a 10 ppm. É provável ter havido o superaquecimento e perda de níquel, tal como aconteceu com o material estudado por nós, antes de conhecermos a técnica proposta por Dwiggins. Os autores citados referem-se ao aumento de níquel nos sedimentos sapropélic-

cos associados ao sílex, como é o nosso caso.

b² - Teor de boro nos folhelhos -

Segundo o trabalho de Keith e Degens (1959) o boro se concentra nos minerais argilosos dos sedimentos marinhos, sendo grande a discrepância em relação aos continentais. Naqueles a quantidade é de 115 ppm, enquanto que nos continentais é de 44 ppm, como valor médio. A causa da maior concentração do boro nas argilas marinhas reside na reação destes ions existentes na água do mar com os hidrossilicatos aluminosos, que fixam o boro por adsorção.

Os resultados obtidos por meio do espectrógrafo, usando-se um padrão equivalente a 112 ppm, o que foi feito pela Sra. Maria Szikszay, deu um valor aparentemente baixo, de 50 ppm. As razões deste valor baixo são as seguintes: o mineral argiloso não foi isolado da amostra, e os folhelhos usados são ricos em quartzo e muscovita. Examinamos os mesmos folhelhos analisados quimicamente, sendo que numa das amostras determinamos o valor de 30% de perda após o ataque com ácido sulfúrico aquecido (concentração de 50%). Não completamos este tipo de análise, pois, visávamos uma avaliação apenas aproximada do teor de minerais argilosos. Descontando-se a sílica que não foi atacada na nossa análise, mais os sulfetos e matéria orgânica, acreditamos que os 50 ppm dosados na nossa amostra possam ser duplicados.

b³ - Relação dos isótopos C¹³ e O¹⁸ dos calcários -

Graças à correspondência que mantivemos com o Prof. MacKenzie Keith, da Universidade da Pensilvânia, E. U.A., a respeito da técnica da análise do níquel, propôs-se este conceituado especialista em Geoquímica a estudar a relação dos referidos isótopos dos nossos calcários, relação esta que pode dizer do ambiente de sedimentação, independentemente da idade da rocha (Keith e Weber, 1964). Enviamos ao Prof. Keith 5 amostras do banco basal do Irati (da pedreira do Sr. Maluf, de Laranjal e do Assistên -

cia), uma da Formação Corumbataí de Rio Claro (trata-se de um calcário onde foram encontradas "Estérias") e finalmente, outra da Formação Corumbataí do município de Fartura. Transcreveremos parte da carta enviada por Keith, datada de 25 de novembro de 1966.

"It seems to me that the most striking feature of the results is that all of the samples, except those from Rio Claro (near diabase sill) have carbon isotopic compositions consistent with marine origin. You may find it surprising that sample 68-356, from the Estrada Nova horizon of plants and Estheria, has a marine isotopic character. I suppose one should consider the possibility of continental forms being preserved in a near-shore marginal marine environment".

Não temos dúvida em acatar a interpretação deste emérito mestre, interpretação esta que se harmoniza bem com o nosso ponto de vista, que por sua vez se fundamenta na observação dos tópicos que estamos apresentando, mais os já citados, sobre a presença de esporos e abundância de restos de répteis, indicando a proximidade do continente e pequena profundidade das margens.

Algumas amostras possuem certa deficiência em C^{13} . Segundo o trabalho citado (Keith e Weber, 1964, pag. 1792) a causa desta deficiência pode residir na influência do isótopo 12 fornecido pela decomposição da matéria orgânica. É provável ter-se verificado fato análogo com os nossos calcários, por vezes ricos em material betuminoso primário. Citamos este fato porque os calcários de água doce caracterizam-se pela deficiência do isótopo 13.

A análise do gráfico construído pelos citados autores, à pag. 1790, mostra claramente que se trata de um método estatístico, e os próprios autores, no resumo do trabalho, afirmam tratar-se de um método importante mas não infalível. Assim sendo, trata-se de mais um dado que se vem somar aos demais, que estão sendo enumerados.

b⁴ - Espículas silicosas de esponja -

Já mencionamos a referência de Almeida e Barbosa (1953) sobre as espículas marinhas poliaxônicas silíceas no tópo do Tubarão. No entanto, as espículas encontradas por Vicente Fúlvaro na Formação Corumbataí de Angatuba e várias outras localidades, mais as espículas que encontramos no Irati, são sempre monaxônicas. Segundo a literatura especializada as espículas silíceas de água doce ocorrem a partir do jurássico. A fim de nos certificarmos da natureza destas espículas, enviamos um fragmento do siltito avermelhado do Irati de Angatuba (onde é grande a quantidade de espículas) ao Prof. Dr. Norman Herz, atualmente no Geological Survey dos E.U.A. Este professor e amigo, não encontrando no referido departamento quem pudesse classificá-las, muito gentilmente enviou a um dos grandes especialistas no assunto, o Prof. Dr. Robert M. Finks, que remeteu o resultado do seu exame. Segundo ele nada se pode afirmar sobre o ambiente, apesar dos Spongilidae serem conhecidos somente a partir do jurássico. Mais adiante diz não conhecer nenhum registro de esponja de água doce do permiano.

b⁵ - Dolomitização primária -

O dolomito primário, como é o caso do Irati em grande parte, exige condições de salinidade e presença de CO₂ (Fairbridge, 1963, pag. 448). Por outro lado, Petti - john (1957, pag. 424) diz que a água doce também pode transformar calcários em dolomitos, mas secundariamente, percolando através de fendas. Sendo menor a concentração dos ions de magnésio na água doce, certamente seria necessário longo tempo de percolação. Afirma ao mesmo tempo que os dolomitos primários são formados pelo magnésio da água do mar que reage sob condições especiais com o calcário já depositado. Esta afirmação vem fortalecer ainda mais a nossa hipótese. Segundo Fairbridge (1963, pag. 456) o dolomito primário pode também ser formado em ambiente de lagos, porém de alta salinidade, graças à sua associação com eva

poritos, principalmente sulfatos, o que não é o nosso caso.

b⁶ - Ausência de evaporitos -

Não havendo evaporitos salinos e tudo indicando um clima pouco chuvoso, seria de se esperar a existência de inúmeras gretas de contração ou evaporitos. A melhor explicação, ao nosso ver, reside na existência de uma comunicação com o mar. Além do clima quente, a paisagem plana certamente favorecia a existência de ventos fortes, fatores que fazem aumentar a evaporação. Tais eventos muito provavelmente se verificaram nos lagos miocênicos do Colorado e Utah (Formação Green River), onde se formaram sedimentos betuminosos associados a camadas de evaporitos, segundo descrição de Bradley (1948).

b⁷ - Alcalinidade da água -

Já referimos sobre o caráter alcalino das águas da bacia. Analisando-se o gráfico de Krunbein e Garrels (1952, pag. 26) não se tem a menor dúvida do valor elevado do pH em meio redutor. Lembramos que à água doce costumam associar-se depósitos húmicos, cuja acidez não coaduna com as condições de sedimentação do Irati, fato que se apoia no trabalho de Twenhofel (1939, pag. 1106). Assim sendo, a alcalinidade do meio mais as condições propícias à formação de substâncias betuminosas, muito embora nada comprovem, favorecem a idéia da penetração da água do mar, tornando o meio alcalino. Outras analogias são encontradas no trabalho de Sujkowski (1958), que descreve vários aspectos relativos à formação do sílex singenético marinho, aspectos estes, muito semelhantes aos que observamos no Irati.

Por outro lado, sabemos da existência generalizada de sedimentos pirobotuminosos de água doce e de sílex em calcários continentais, como tivemos a oportunidade de observar em Itaboraí, Estado do Rio de Janeiro. Não

temos a menor dúvida de que todos os argumentos apresentados estão longe de serem conclusivos, mas que em conjunto assumem importância, fortalecendo-se mutuamente.

7. Considerações finais -

Uma vez apresentados os argumentos que acabamos de expor, resta-nos esboçar os traços gerais da paisagem hipotética que reinava na ocasião em que se depositaram as rochas da Formação Irati. A bacia tãda, incluindo as terras circundantes, caracterizava-se pela monotonia e extensão da planície. A vegetação certamente era luxuriante ; tal a abundância de esporos. Twenhofel (1939), ao explicar as condições de formação dos folhelhos negros, dá ênfase à existência de áreas aplainadas extensas e em vias de subsidência, bem como, à existência de lagoas marginais com estreita ligação ao mar. Cita ainda êste famoso cientista as espessuras pequenas das camadas. Os três tópicos citados se enquadram bem no caso do Irati.

Já referimos que a suposta comunicação da bacia com o mar deveria situar-se muito ao sul do Uruguai. Sendo geométrico o decréscimo da concentração dos restos de organismos marinhos com a distância do local de acesso , torna-se fácil explicar a ausência de fósseis marinhos . Tais organismos, levados pelas marés ao interior da bacia, morreriam logo pela baixa salinidade ou pela toxidez da águas estagnada no fundo, fato óbvio e citado por Twenhofel (1939). Sendo os fusulinídeos de águas quentes, a sua ausência é explicada pela localização geográfica da entrada de água do mar, certamente fria.

Quanto ao sentido das correntes aquáticas, lembramos a constância da orientação das marcas onduladas , tanto no tempo como em área, bem como, das marcas de erosão subaquáticas, que sempre indicam uma correnteza dirigida para sudoeste. Segundo a nossa interpretação, as águas da bacia penetravam em zonas mais sulinas, dirigiam-se para o norte, e uma vez atingido o limite setentrional

da bacia, ter-se-iam infletido no sentido horário e tomado o rumo sudoeste, no Estado de São Paulo, onde são encontrados os registros desta paleocorrente aquática. Na bacia do Recôncavo Bahiano existem diversas evidências de que a água circulou no mesmo sentido que acabamos de descrever para o Irati, apesar da declividade do fundo voltar-se para o interior da bacia, segundo Murphy e Schlange (1962).

A ausência da Formação Irati no Paraguai (Harrington, 1950) poderia talvez ser explicada pela maior correnteza das águas que fluíam para o interior da bacia. Neste caso, a região uruguaia corresponderia a remansos em locais abrigados da influência das águas correntes. Estas localizar-se-iam na região paraguaia, dando origem aos sedimentos arenosos com restos de Mesosaurus. É admissível que estes répteis tenham vivido nas regiões mais rasas e conseqüentemente mais aquecidas. A discordância existente com o Passa Dois (citada por Harrington) poderia ao nosso ver ser explicada por meio do regime de correntezas mais vigorosas, que numa certa fase seria aumentada, passando de construtiva a uma fase erosiva.

Acreditamos que este movimento circular da água tenha trazido as esponjas, cujas espículas foram espalhadas pela água corrente por toda a bacia.

A fim de explicar a existência de zonas de água oxigenada, onde os sedimentos são isentos de substâncias de origem orgânica, imaginamos que em determinados locais tenha se verificado a penetração lenta, mas contínua, de água doce vinda da região continental. Beurlen (1955), muito a propósito, já afirmara que a sedimentação sapropélica teria obedecido a variações geográficas dentro da própria bacia. A maior oxigenação apenas destruiu a matéria orgânica, e a sedimentação contínua impediu a laminação, carácter peculiar aos sedimentos argilosos de toda a formação estudada.

Infelizmente o Irati não aflora em toda a borda

ocidental da bacia, onde deveriam ser menos raras as evidências de vida marinha. Lembramos aqui do interesse da procura de microfósseis nos testemunhos das sondagens daquela região, assim como, nos arenitos com Mesosaurus existentes no Paraguai. Lembramos ainda do interesse do estudo da variação do conteúdo de boro nos folhelhos da formação em seu conjunto.

Passados alguns milhões de anos mudou-se definitivamente o clima cíclico que caracterizou o Irati. As épocas quentes não mais voltaram e as águas passaram a mais oxigenadas, sem que se saiba também o porquê. Os répteis, tão abundantes outrora, não resistiram ao abaixamento da temperatura. A subsidência continuou no mesmo ritmo, e as terras emersas provavelmente se reativaram no seu movimento ascendente, pois, aumentam-se os sedimentos clásticos em espessura e também em granulação, após o tempo em que se depositou o Irati. Assim, nestas condições formou-se o Corumbataí, ou Serra Alta dos paranaenses, de litologia muito semelhante à dos fácies oxigenados dentro do Irati. Muitos milhões de anos depois iniciou-se o movimento ascendente generalizado de todo o setor meridional do escudo brasileiro. A Formação Corumbataí passa a sofrer então o desgaste erosivo, patenteador por extensa canchada de brecha logo acima do contato com o Grupo São Bento. Desta maneira soergueram-se definitivamente as terras acima do nível do mar, para mais tarde formar-se o maior dos desertos do mundo, de todos os tempos da história da Terra.

-----//---

XII - CONCLUSÕES

1. A Formação Irati que aflora no Estado de São Paulo é caracterizada por um banco calcário mais comumente dolomitizado, junto ou muito próximo à base da formação, tendo por cima estratos alternados decimétricos de folhelho prêto ocasionalmente betuminoso e calcário, muito comumente silicificado.
2. Na faixa compreendida entre Limeira e Laranjal, Estado de São Paulo, o Irati se apresenta com a direção N 35° E, mergulhando de 1° 20' para NW.
3. O betume existente nas camadas calcárias da região central do Estado de São Paulo é em grande parte singênico, conferindo a elas uma coloração castanha. Nos folhelhos é encontrado o pirobetume, não ocorrendo o betume.
4. Acha-se presente nos folhelhos do Irati da faixa central do Estado de São Paulo a montmorilonita, sendo provavelmente o mineral argiloso mais comum.
5. A Formação Irati ocorre em praticamente toda a extensão da bacia do Paraná, consistindo num delgado pacote de 20 a 40 metros de espessura média. Caracteriza-se por folhelhos escuros (por vezes betuminoso) e rochas calcárias mais comumente dolomitizadas. Tanto os folhelhos como os calcários acham-se acompanhados de nodulos, lâminas ou camadas de sílex e de pirita finamente subdividida.
6. Os rumos dos mergulhos das camadas do Irati dirigem-se sempre para o interior da bacia do Paraná, de onde se conclui da existência pretérita de um único lago, e não de diversos lagos isolados.
7. Dentre as deformações tectônicas predominam as fallas, mais comumente de pequeno deslocamento.
8. Dentre as deformações atectônicas predominam aquelas resultantes de escorregamentos, que determinaram pequenas dobras locais ou a formação de brechas delgadas (ge

ralmente em 3 níveis) no banco calcário basal, sendo estas observadas na faixa central do Estado de São Paulo e na região norte do Estado do Paraná.

9. As diversas formas de sílex que ocorrem em praticamente toda a formação estudada (inclusive nas ocorrências profundas, testemunhadas), têm várias origens, a saber: singenética, metassomática, a partir de soluções provavelmente relacionadas ao magmatismo basáltico e **ocasionalmente** de origem climática. O sílex singenético pode ter-se originado da dissolução e posterior precipitação de espículas silicosas de esponja.
10. O fenômeno da dolomitização processou-se, pelo menos em parte, logo após a deposição da lama calcária. Além desta dolomitização singenética é possível também ter-se processado a dolomitização epigenética, ou seja, após a diagênese.
11. As intrusões de diabásio exerceram modificações na textura das rochas calcárias (aumento na granulação), sendo relativamente rara a neo-formação de minerais pelo metamorfismo. Formaram-se por este processo o diopsídio, a grafita, a apofilita e a hidromagnesita. Nos folhelhos as únicas transformações observadas consistiram na mudança de cor (de preta para esverdeada) e na perda da folheação.
12. Os novos fósseis encontrados na Formação Irati consistem em esporos alados de gimnospermas, de espículas silicosas monoaxônicas de esponja e de apêndices de artrópodos no betume.
13. A ~~plasticidade~~ da lama calcária perdurou por longo tempo, após a sedimentação das ~~camadas~~ alternadas de calcário e folhelho.
14. As rochas calcárias do Irati são praticamente isentas de impurezas argilosas. Predominam largamente as impurezas de calcedônia, sendo na maioria das vezes desprezível a contribuição de clásticos. Estes, por sua vez, consistem de quartzo, muito comumente acompanhado

- do de feldspatos frescos, por vêzes em porcentagem elevada.
15. A granulação das rochas calcárias do Irati costuma ser extremamente fina. Ocorrem com relativa frequência calcarenitos de grãos esféricos, ocasionalmente de textura oolítica.
 16. Deveria ter imperado clima quente e pouco chuvoso durante a deposição da base do Irati. Posteriormente passaria a frio e chuvoso alternado com épocas quentes e sêcas.
 17. Reinou a tranqüilidade tectônica durante a deposição de todo o Grupo Passa Dois.
 18. O pH do ambiente deveria ter sido ao redor de 8 e o potencial de oxidação - redução (Eh) ao redor de -0,3 , o que se infere a partir da litologia, da associação mineralógica e da matéria orgânica conservada nos folhelhos.
 19. As águas do lago movimentaram-se para sudoeste no flanco nordeste da bacia, o que se deu como consequência do movimento de sul para norte.
 20. Este imenso lago comunicava-se com o mar na região sul da bacia.
 21. Muito embora predominassem as condições redutoras por quase tóda a bacia, eventualmente, em certos locais raros e esparsos, as águas eram oxigenadas. Tal mudança de condições verificou-se tanto no espaço geográfico como no tempo geológico, do que resultou um fácies semelhante ao da Formação Corumbataí dentro da Formação Irati.

-----/////

BIBLIOGRAFIA

- Almeida, F.F.M. e Barbosa, O. (1953), Geologia das quadrículas de Piracicaba e Rio Claro, Estado de São Paulo: Div. Geol. Min., Bol. 143, Rio de Janeiro.
- Almeida, F.F.M. (1954), Geologia do centro-leste matogrossense: Div. Geol. Min., Bol. 150, Rio de Janeiro.
- Amaral, S.E. (1961), Silicificação intersticial de arenitos de Sergipe (Série Barreiras) e de Varnhagen, SP (Série Itararé): Bol. Soc. Bras. Geol., vol. 10, nº 1, pp. 79-99, São Paulo.
- Amaral, S.E. (1965), Nova ocorrência de rocha moutonnée em Salto, SP: Bol. Soc. Bras. Geol., vol. 14, pp. 71-82, São Paulo.
- Anderson, R.Y. (1964), Varve calibration of stratification: em Symposium on Cyclic Sedimentation: Bol. 169, State Geol. Survey Kansas, Univ. de Kansas, pp. 1-20, E.U.A.
- Barbosa, O. e Gomes, F.A. (1958), Pesquisa de Petróleo na bacia do rio Corumbataí, Estado de São Paulo: Div. Geol. Min., Bol. 171, Rio de Janeiro.
- Beurlen, K. (1954), Horizontes fossilíferos das camadas Serra Alta do Paraná: Div. Geol. Min., Bol. 152, Rio de Janeiro.
- Beurlen, K. (1955), As Formações gondwânicas do sul do Estado do Paraná: Div. Geol. Min., Bol. 153, Rio de Janeiro.
- Bischoff, von G. (1957), Stratigraphie, Tektonik und Magmatismus des Perms und Mesozoikums in Gebiet von Jacarézinho, Nordparaná: Geol. Lands., Beihefte Geol., J. 25, pp. 81-100, Alemanha.
- Borchert, H. e Krejci-Graf, K. (1959), Spurenmetalle in Sedimenten und ihren Derivation: Bergbauwissenschaften, nº 130. Sonderdruck aus Bergb.-Wiss. 6, Heft 9/10, Seite 205-215, Alemanha.

- Bradley, W.H. (1929), The varves and climate of the Green River Epoch: U.S.G.S., Prof. Paper 158, pp. 87-110, E.U.A.
- Bradley, W.H. (1948), Limnology and the Eocene lakes of the Rocky Mountain Region: Bol. Geol. Soc. Am., vol. 59, nº 7, pp. 635-648.
- Caorsi, J.H. e Goñi, J. (1958), Geologia Uruguaya: Inst. Geol. del Uruguay, Bol. 37, Montivideo.
- Degens, E.T., Williams, E.G. e Keith, M.L. (1957), Environmental studies of carboniferous sediments. Part. I: Geochemical criteria for differentiating marine and fresh-water shales: Bol. Am. Ass. Petr., Geol., vol. 41, pp. 2427-2455.
- Dwiggins Jr., C.W. (1962), Quantitative determination of trace metals in crude oils by X-ray spectrography: Report of Investigation, Bureau of Mines, 6039 U. S. Depart. of the Interior, E.U.A.
- Fairbridge, R.W. (1963), The importance of limestone and Ca/Mg content to Palaeoclimatology: em Problems in Palaeoclimatology: Interscience Publ., John Wiley & Sons, Ltd., N.Y.
- Felicissimo Jr., J. (1940), Xistos pirobetuminosos e arenitos asphalticos no Estado de São Paulo: Inst. Geogr. e Geol., Secr. Agric., Bol. 27, pp. 275 - 280, São Paulo.
- Felicissimo Jr., J. (1952), Histórico das pesquisas de petróleo no estado de São Paulo: O I.G.G., Inst. Geogr. e Geol., Secr. Agric., Revista vol. X, nº 4, pp. 262-275, São Paulo.
- Freitas, R.O. (1951), Ensaio sobre a tectônica moderna do Brasil: Fac. Fil., Ciên. Letr. da Univ. de São Paulo, Bol. 130, (Geologia nº 6), São Paulo.
- Friedman, S.A. (1954), Low temperature authigenic magnetite: Econ. Geol., vol. 49, nº 1, pp. 101-102.
- Fróes Abreu, S. (1946), O Irati e suas relações com o problema do petróleo: Min. e Met., vol. X, nº 60 ,

- pp. 267-279, Rio de Janeiro.
- Fróes Abreu, S. (1962), Recursos Minerais do Brasil, 2º volume: Ministério da Indústria e Comércio, Ins. Nac. de Tecnologia, Rio de Janeiro.
- Guimarães, J.E.P. (1952), Calcário no Estado de São Paulo. Inst. Geogr. e Geol., Bol. 32, Secr. Agric., São Paulo.
- Gutmans, M. (1949), Tectônica da bacia do Paraná: Min. e Met., vol. XIV, nº 80, pp. 47-49, Rio de Janeiro.
- Hallan, A. (1964), Origin of the limestone-shale rhythm in the Blue Lias of England: a composite theory: Jour. Geol., vol. 72, nº 2, pp. 157-169.
- Harrington, H.J. (1950), Geología del Paraguay Oriental: Ministerio de Educacion, Univ. de Buenos Aires, Fac. de Cie. Exactas, Fisicas e Naturales, Buenos Aires, Argentina.
- Hatch, F.H., Rastall, R.H. e Black, M. (1952), The Petrology of the Sedimentary Rocks: 3ª ed., Thomas Murby & Co., Londres.
- Holmes, A. (1921), Petrographic Methods and Calculations: Thomas Murby & Co., Londres.
- Huene, F. von (1941), A idade permiana inferior de todas as camadas contendo mesossáurios, trad. por Gerson de Faria Alvim: Min. e Met., vol. VI, nº 32, pp. 64-68, Rio de Janeiro.
- Jizba, K.M.M. (1962), Late Paleozoic bisaccate pollen from the United States midcontinent area: Jour. Paleont., vol. 36, nº 5, pp. 871-887.
- Kegel, W. (1965), Rastos de Bilobites no Devoniano Médio do Piauí: Div. Geol. e Min., Notas Preliminares, nº 122, Rio de Janeiro.
- Keith, M.L. e Degens, E.T. (1959), Geochemical Indicators of Marine and Fresh-Water Sediments: em Researches in Geochemistry, pp. 38-61, Ed. por Philip H. Abelson, John Wiley & Sons, Inc., N.Y.
- Keith, M.L. e Weber, J.N. (1964), Carbon and oxygen iso-

- topic composition of selected limestones and fossils: *Geoch. et Cosmoch. Acta*, vol. 28, pp. 1787-1816.
- Keller, W.D. (1941), Petrography and origin of the Rex Chert: *Bol. Geol. Soc. Am.*, vol. 52, nº 8, pp. 1279-1298.
- Krejci-Graf, K. (1963), Origin of oil: *Geophysical Prospecting*, vol. XI, nº 3, pp. 244-275, Holanda.
- Krejci-Graf, K. (1964), Geochemical Diagnosis of Facies: *Proceedings of Yorkshire Geol. Soc.*, vol. 34, nº 23, pp. 469-521.
- Krumbein, W.C. e Garrels, R.M. (1952), Origin and classification of chemical sediments in terms of pH and oxidation-reduction potentials: *Jour. Geol.*, vol. 60, pp. 1-33.
- Krumbein, W.C. e Sloss, L.L. (1953), *Stratigraphy and Sedimentation*: W.H. Freeman and Co., Califórnia.
- Landin, P.M.B. (1965), Deformações por compactação em sedimentos da Formação Irati: *Bol. Soc. Bras. Geol.*, vol. 14, pp. 53-59, São Paulo.
- Leinz, V. (1937 a), Observações nos contatos de diabásio com sedimentos: *Serv. Geol. e Min., Notas preliminares e estudos*, nº 7, pp. 13-16, Rio de Janeiro.
- Leinz, V. (1937 b), Estudos sobre a glaciação Permo-carbonífera do Sul do Brasil: *Serv. Fom. Prod. Min., Bol. nº 21*, Rio de Janeiro.
- Leinz, V. (1938), A silicificação nos sedimentos gondwânicos no sul do Brasil e sua origem: *Serv. Fom. Prod. Min., Publicação especial nº 5*, Rio de Janeiro.
- Maack, R. (1947), Breves notícias sobre a geologia dos estados do Paraná e Santa Catarina: *Arquivos Bio. e Tecnol., Inst. Bio. e Pesq. Tecnol.*, vol. II, pp. 63-154, Paraná.
- Maack, R. (1952), O desenvolvimento das camadas gondwâni-

- cas do sul do Brasil e suas relações com as formações Karro, da África do Sul: Arquivos Bio. e Pesq. Tecnol., vol. VII, pp. 201-253, Paraná,
- Mac Gregor, J.H. (1908), *Mesosaurus Brasiliensis* nov. sp. do Permiano do Brasil: Com. Estudos das Minas de Carvão de Pedra, Relatório Final, parte II, pp. 302-336, Rio de Janeiro.
- Maia, J. (1961), Relatório Final da exploração da área a NW de São Mateus do Sul - Jazida Ten. Kurt Wolff: Relatório inédito da Petrobrás, Petróleo Brasileiro, S.A., Superint. de Industr. do Xisto.
- Mendes, J.C. (1961), Algumas considerações sobre a estratigrafia da bacia do Paraná: Bol. Paranaense Geogr. nº4 e 5, pp. 3-33.
- Mendes, J.C. (1963), Novos aspectos da estratigrafia das camadas eogondwânicas da bacia do Paraná: Eng. Min. Met., vol. 38, nº 226, pp. 189-192, Rio de Janeiro.
- Mendes, J.C., Fulfaro, V.J., Amaral, S.E. e Landim, P.M. B. (1966), A Formação Irati (Permiano) e fácies associadas: Bol. Soc. Bras. Geol., vol. 15, nº3, pp. 55-69, São Paulo.
- Mezzalira, S. (1952), *Clarkecaris*, novo gênero de crustáceo Syncarida do Permiano: Bol. Soc. Bras. Geol., vol. 1, nº 1, São Paulo.
- Mezzalira, S. (1954), Novas ocorrências de crustáceos fósseis da Formação Irati do Sul do Brasil: em Paleontologia do Paraná, ed. por F.W. Lange, Vol. Co. memoração 1º Centenário Est. Paraná, pp. 165-173.
- Mezzalira, S. (1957), Ocorrências fossilíferas novas da Série Passa Dois na região de Limeira-Rio Claro-Piracicaba: Bol. Soc. Bras. Geol., vol. 6, nº 2, pp. 37-58, São Paulo.
- Mezzalira, S. (1964), Grupo Estrada Nova: em Geologia do Estado de São Paulo, Bol. 41, Inst. Geogr. Geol., Secr. Agric., São Paulo.

- Moraes Rego, L.F. (1930), A Geologia do Petróleo no Estado de São Paulo: Serv. Geol. e Min., Bol. 46, Rio de Janeiro.
- Moraes Rego, L.F. (1940), A Geologia do Estado de São Paulo: Bol. do D.E.R., Vol. VI, pp. 25-47, São Paulo.
- Moraes Rego, L.F. (1945), Nota sobre a localização de uma sondagem no Estado de São Paulo: Geol. e Metalurgia, Bol. 1, pp. 27-47, Esc. Politécnica da Univ. de São Paulo.
- Murphy, M.A. e Schlanger, S.O. (1962), Sedimentary structures in Ilhas and São Sebastião Formations (Cretaceous), Recôncavo Basin, Brazil: Bol. Am. Ass. Petr. Geol., vol. 46, nº 4, pp. 457-477.
- Niggli, P. (1954), Rocks and Mineral Deposits: W.H. Freeman and Co., San Francisco, E.U.A.
- Oliveira, E.P. (1927), Geologia e recursos minerais do Estado do Paraná: Serv. Geol. e Min., Monografia nº VI, Min. Agric., Ind. e Com., Rio de Janeiro.
- Oliveira, E.P. (1940), História da Pesquisa de Petróleo no Brasil: (obra póstuma) Min. da Agricultura, Rio de Janeiro.
- Oliveira, F.P. (1889), Reconhecimento geológico do vale do Rio Paranapanema: transcrito na Revista O I.G. G., Ano VIII, nº 3, pp. 219-241, Secr. Agric., São Paulo.
- Oppenheim, V. (1934 a), Nota sobre o sílex (chert) no sul do Brasil. Acad. Bras. Sci., Annaes, vol. VI, pp. 83-87, Rio de Janeiro.
- Oppenheim, V. (1934 b), Rochas gondwânicas e geologia do petróleo do Brasil Meridional: Serv. Fom. Prod. Min., Bol. 5, Rio de Janeiro.
- Oppenheim, V. e McLamphy, M.C. (1935), Sobre a tectônica da área São Pedro-Xarqueada: Minist. Agric., Bol. 24, pp. 69-80, Rio de Janeiro.
- Pettijohn, F.J. (1957), Sedimentary Rocks, 2ª ed.: Harper & Brothers, N.Y.

- Pia, J. (1933), Die Rezenten Kalksteine: Akademische Verlagsgesellschaft M.B.H., Leipzig, Alemanha.
- Pittman Jr., J.S. (1959), Silica in Edwards Limestone, Travis County Texas: em Silica in Sediments, Symposium ed. por H. Andrew Ireland, Soc. Econ. Paleont. and Mineralogists, Sp. Public. nº 7, Tulsa, Oklahoma, E.U.A.
- Powers, S. e Clap, F.G. (1932), Nature and origin of occurrences of oil, gas and bitume in igneous and metamorphic rocks: Bol. Am. Ass. Petr. Geol., vol. 16, nº 8, pp. 719-726.
- Putzer, H. (1955), Geologia da Folha de Tubarão, Estado de Santa Catarina: Div. Fom. Prod. Min., Bol. 96, Rio de Janeiro.
- Rich, J.L. (1951), Three critical environments of the deposition, and criteria for recognition of rocks in each of them: Bol. Geol. Soc. Am., vol. 62, nº 1, pp. 1-20.
- Rich, J.L. (1953), Problems in Brazilian Geology and Geomorphology - suggested by reconnaissance in summer of 1951: Fac. Fil. Ciên. Letr. da Univ. de São Paulo, Bol. 146 (Geologia nº 9), São Paulo.
- Rogers, A.F. (1924), Mineralogy and petrography of fossil bone: Bol. Geol. Soc. Am., vol. 35, pp. 535-556.
- Rubey, W.W. (1930), Lithologic studies of fine-grained Upper Cretaceous sedimentary rocks of the Black Hills region. Prof. Paper 165, U.S.G.S., pp. 1-54.
- Sanford, R.M. e Lange, F.W. (1960), Basin-study approach to oil evaluation of Paraná Miogeosyncline, South Brazil: Bol. Am. Ass. Petr. Geol., vol. 44, nº 8, pp. 1316-1370.
- Sena Sobrinho, M. (1942), Sondagens para pesquisa de folhelho piro-betuminoso na Estância Santa Cruz - São Gabriel: Secr. de Est. dos Neg. da Agric. Ind. e Com., Bol. 95, Rio Grande do Sul.
- Shrock, R.R. (1948), Sequence in Layered Rocks: McGraw -

- Hill Book Co., Inc., N.Y.
- Siever, R. e Scott, R.A. (1959), Organic geochemistry of silica: em Organic Geochemistry, editado por I.A. Breger, The MacMillan Co., N.Y.
- Sujkowski, Zb. L. (1958), Diagenesis: Bol. Am. Ass. Petr. Geol., vol. 42, nº 11, pp. 2692-2717.
- Tarr, W.A. (1917), Origin of the chert in the Burlington Limestone: Am. Jour. Sci., vol. XLIV, nº 264, pp. 409-452.
- Teixeira, E.A. (1938), Folhelho pirobetuminoso de São Gabriel, R.G. do Sul: Min. e Met., vol. III, nº 13, pp. 53-54.
- Twenhofel, W.H. (1919), The chert of the Wreford and Foraker Limestones along the State Line of Kansas and Oklahoma: Am. Jour. Sci., Vol. XLVII, nº 282, pp. 407-429.
- Twenhofel, W.H. (1939), Environments of origin of black shales: Bol. Am. Ass. Petr. Geol., Vol. 23, nº 8, pp. 1178-1198.
- Washburne, C.W. (1930), Petroleum Geology of the State of São Paulo- Brasil: Com. Geogr. Geol., Bol. 22, São Paulo.
- Weller, J.M. (1959), Compaction of Sediments: Bol. Am. Ass. Petr. Geol., Vol. 43, nº 2, pp. 273-310.
- White, I.C. (1908), Relatório Final da Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil, Rio de Janeiro.

-----//-----