

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**FACULDADE DE FILOSOFIA, CIÊNCIAS E LETRAS**

BOLETIM N.º 192

GEOLOGIA N.º 12

SÉRGIO ESTANISLAU DO AMARAL

Sedimentologia e Geologia das  
Camadas Perfuradas na Região  
da Foz do Rio Amazonas



SÃO PAULO  
1955

Os Boletins da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo, são editados pelos Departamentos das suas diversas seções.

Toda correspondência deverá ser dirigida para o Departamento respectivo da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras - Caixa Postal 8.105, São Paulo, Brasil.

The "Boletins da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo" are edited by the different Departments of the Faculty.

All correspondence should be addressed to the Department concerned, Caixa Postal 8.105, São Paulo, Brasil.

## UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Reitor: - Prof. Dr. Alípio Corrêa Netto

## FACULDADE DE FILOSOFIA, CIÊNCIAS E LETRAS

Diretor: - Prof. Dr. Eurípedes Simões de Paula

Secretário: - Lic. Odilon Nogueira de Mattos

---

## DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA E PALEONTOLOGIA

Diretor:

*Prof. Viktor Leinz, Ph. D.*

Professor Cooperador:

*Josué Camargo Mendes, (Liv. Dcc.)*

Livre Docente:

*Ruy Ozório de Freitas*

Assistentes:

*Setembrino Petri, D. Sc.*

*Sérgio Estanislau de Arrabal, D. Sc.*

*Reinholt Ellert, Lic. Sci.*

*Alfredo J. Simon Bjornberg, Lic. Sc.*

Auxiliares de Ensino:

*Ana Maria Vieira de Carvalho, Lic. Sci.*

*Roberto de Freitas*



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
FAC. DE FILOSOFIA, CIÊNCIAS E LETRAS

BOLETIM N.º 192

GEOLOGIA N.º 12

SÉRGIO ESTANISLAU DO AMARAL

Sedimentologia e Geologia das Cama-  
das Perfuradas na Região da Foz  
do Rio Amazonas



SÃO PAULO  
1955

**SECÇÃO GRÁFICA** da Faculdade de Filosofia, Ciências  
e Letras da Universidade de São Paulo, *imprimis*

## Í N D I C E

SUMMARY .....	5
RESUMO .....	9
<b>I — INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1 — Dados técnicos sôbre as perfurações .....	14
2 — Fisiografia e geologia da região .....	15
3 — Métodos usados .....	17
a) Granulometria .....	17
b) Minerais pesados .....	19
c) Análise mineralógica .....	19
d) Arredondamento .....	20
e) Densidade e porosidade .....	20
<b>II — DESCRIÇÃO DOS TESTEMUNHOS DE SONDAGEM</b>	<b>21</b>
1 — Perfuração de Limoeiro .....	21
a) Descrição macroscópica .....	21
b) Composição mineralógica .....	28
arenitos .....	28
siltitos .....	31
argilitos .....	32
c) Estratificação e condições de deposição	32
d) Côr dos sedimentos .....	34
2 — Perfuração de Cururu .....	35
a) Sedimentos marinhos (146 a 1.470 m)	35
litologia .....	35
glaucônita e diatomácea .....	35
composição mineralógica geral ....	36
b) Sedimentos parálicos finos (1.720 a	36
2.375 m) .....	36
litologia .....	36
composição mineralógica geral ....	37
c) Sedimentos deltáicos grosseiros (2.505 a	37
3.675 m) .....	37
litologia e estratificação .....	37
composição mineralógica e coloração	38
d) Diabásio (3.729 a 3.741 m) .....	39

e) Sedimento arcossiano e argilito (3.742 a 3.510 m) .....	39
f) Embasamento (3.862 a 4.048 m) ....	40
3 — Perfuração de Badajós .....	41
III — GRANULOMETRIA .....	43
1 — Sedimentos de Limoeiro .....	43
2 — Sedimentos de Cururu .....	45
3 — Considerações sôbre os dados estatísticos ....	49
IV — ARREDONDAMENTO .....	51
V — MINERAIS PESADOS E DERIVAÇÃO DOS SEDI- MENTOS .....	56
1 — Arenitos de Limoeiro .....	57
2 — Arenitos de Cururu .....	60
3 — Considerações gerais .....	62
VI — AMBIENTE E TECTONISMO .....	63
1 — Sedimentos inferiores .....	64
a) Limoeiro .....	64
b) Cururu .....	67
c) Ambiente tectônico geral .....	68
2 — Sedimentos superiores .....	70
a) Limoeiro .....	70
b) Cururu .....	71
VII — IDADE GEOLÓGICA .....	72
1 — Complexidade da composição mineralógica ...	73
2 — Diatomáceas .....	73
3 — Indícios de vulcanismo .....	74
VIII — COMPACTAÇÃO E POROSIDADE .....	76
1 — Arenitos .....	77
2 — Siltitos .....	80
3 — Argilitos .....	80
4 — Considerações sôbre a descontinuidade das curvas	81
IX — RELAÇÕES COM A SÉRIE BARREIRAS .....	82
X — AMBIENTE PALEOGEOGRÁFICO .....	83
XI — CONCLUSÕES .....	86
OBRAS CITADAS .....	91

## SUMMARY

*The present study is based on deep well cores coming from the region of the Rio Amazonas mouth. This region corresponds to a trough reaching a thickness of 4.000 meters deep and over 6.000 km<sup>2</sup>. This trough is full of exclusively clastic sediments, of Tertiary to Recent age.*

*The main purpose of this paper has been a study of the general structure of the beds and the general conditions of sedimentation, including an investigation of the tectonic conditions operating during the deposition of these sediments. In connection with those purposes, granulometric analysis have been made, as well as a study of the heavy and light minerals (quantitative and qualitative), kind of stratification, grade of roundness according to their sizes and the grade of compaction.*

*Limoeiro Well — The first 2.000 meters starting from the surface correspond mainly to fine clastics: variegated clays and siltstones and subordinated fine sandstones. There occurs some centimetric levels of quartz pebles. Coarsely speaking the sediments show a horizontal stratification. They characterize quiet waters; perhaps an environment of lagoons close to the sea. Just one sample is surely of marine origin, because its glauconitic character.*

*In the last 2.000 meters predominate medium grained sandstones, sometimes coarse grained, always feldspathic. Sometimes a diagonal structure is present. Dark siltstones are rare and when they occur are also feldspathic. Such sediments characterize agitated waters. Their environment seems to be a deltaic one, and they correspond, probably, to a topset.*

*Cururu Well — The first 1.500 meters (estimated from the surface) correspond to friable siltstones and fine sandstones with obscure bedding. They are marine glauconitic sediments, probably deposited in neritic zone. Then, follows 1.000 meters of obscure bedded sediments, mainly clays, sometimes containing a great amount of plant remains. Their probable environment seems to correspond to deep lagoons close to the sea.*

*Below the level of 2.500 meters predominate medium and coarse grained sandstones (sometimes conglomeratic), badly stratified but showing diagonal structure. Plant remains sometimes are abundant. They*

correspond to a topset of a delta. Some 12 meters of diabase have been cut in the lower section of the well; than followed yet 120 meters of sediments before reaching the basement. A variety of granite (tonalite) constitutes the basement, besides some subordinate diorites.

Badajos Well — In the first 1.500 meters predominate unbedded mudstones and reddish siltstones; the last 600 m correspond mainly to siltstones and sandstones presenting fine to irregular stratification. The basement rocks are quartz-diorite and dark quartzite with a high content of feldspar.

---

During the production of the lower sediments of the above mentioned wells conditions of strong and rapid subsidence imperated, while rapid sedimentation was going on. These sediments have been deposited as a large delta. The upper section characterizes an uninterrupted but moderate sinking. The environment seems to correspond to lagoons close to the sea. Such lagoons have been shallow in the region of Limoeiro; and deep in the Cururu region.

The roundness of the heavy and light minerals points out that the source of the present beds have been old reworked sediments, volcanic rocks, highly metamorphosed rocks, granitic intrusives and in a smaller degree, basic rocks.

The rather frequent presence of quartz grains in the lower section of the sediments showing primary crystal faces may suggest an origin in acid volcanic activity. The intensive Andean Tertiary volcanism could be the case. The idiomorphic quartz grains correspond, perhaps, to material coming from volcanic tuffs.

On the basis of such a presumption, the A. is inclined to refer the lower section to Tertiary. The occurrence of Diatoms in the samples coming from the deepest levels of the Limoeiro well indicates that the lowest possible limit in age could be the Upper Jurassic.

The pressing effects exercised by the upper sediments is detected in the claystones, siltstones and sandstones through progressive increasing of density in connection with the depth. The highest indurated sediments are the deepest ones.

Qualitative and quantitative analysis of the heavy minerals and several other factors, including the paleontological ones, have been used in cor-

*relating the Limoeiro and Cururu wells. According to this correlation it has been estimated that the beds dip to the North of about 3 to 4 m: km. This dip probably corresponds to the original one, because the supplying providing direction for the detritic material has been South-North.*

*The North dip and the increasing of marine sediments in that direction indicate a higher possibility for oil further North regarding the Cururu Well.*



Faculdade de Filosofia  
Ciências e Letras  
Biblioteca Central

RESUMO

*O presente trabalho baseia-se no estudo dos testemunhos de sondagens executadas pelo Conselho Nacional do Petróleo na região da foz do rio Amazonas, onde se localiza uma fossa de 60.000 km<sup>2</sup> com mais de 4.000 metros de profundidade. Essa fossa acha-se preenchida por sedimentos exclusivamente clásticos de idade terciária a recente. O autor realizou estudos sedimentológicos dos testemunhos de três sondagens. As principais finalidades foram apreciar a estrutura geral das camadas e as condições gerais de sedimentação, inclusive as condições tectônicas, reinantes durante a deposição desses sedimentos. Foram, pois, realizados os seguintes estudos: análise granulométrica, estudos dos minerais pesados e leves (qualitativos e quantitativos), tipo de estratificação, grau de arredondamento dos grãos segundo os seus tamanhos, e estudo da compactação dos sedimentos testemunhados.*

*Perfuração de Limoeiro: — Os primeiros dois mil metros (a partir de cima) constituem-se sobretudo de clásticos finos; argilas e siltitos de côres avermelhadas e subordinadamente arenitos finos. Ocorrem alguns níveis com seixos centimétricos de quartzo. Os sedimentos, de um modo geral, apresentam estratificação horizontal. Caracterizam águas tranquilas, num ambiente de lagoas rasas, em nível próximo ao do mar. Apenas uma das amostras é de origem certamente marinha, por ser glauconítica. Nos dois mil metros finais predominam arenitos médios, às vezes grosseiros, sempre feldspáticos. Apresentam por vezes estrutura diagonal. Raramente ocorrem siltitos escuros, de estrutura similar. São também feldspáticos. Tais sedimentos são característicos de águas movimentadas. Formaram-se em ambiente deltáico, predominando, provavelmente, condições de "topset". A sondagem não atingiu o embasamento.*

*Perfuração de Cururu: — Nos primeiros 1.500 m de cima para baixo predominam siltitos e arenitos finos muito incoerentes com estratificação horizontal pouco nítida. São sedimentos glauconíticos formados em ambiente marinho, provavelmente nerítico. Após os sedimentos marinhos, seguem-se mil metros de sedimentos predominantemente argilosos, mal estratificados, às vezes ricos em restos vegetais. Devem ter-se formado*

em lagoas profundas e próximas ao mar. De 2.500 m para baixo, predominam arenitos médios e grosseiros, às vezes conglomeráticos. São mal estratificados, apresentando estrutura diagonal. Foram formados em ambiente deltáico, devendo ter predominado condições de "topset". Antes de ser atingido o embasamento foram perfurados 12 m de diabásio, a seguir mais 120 m de rochas sedimentares, para depois ser atingido o embasamento. Este é representado por uma variedade de granito, tonalito. Ocorrem subordinadamente dioritos.

Perfuração de Badajós: — Nos primeiros 1.500 m predominam argilitos e siltitos avermelhados sem estratificação, e nos últimos 600 m predominam siltitos e arenitos com estratificação fina e irregular. O embasamento é representado por quartzo-diorito e quartzito escuro, altamente feldspático.

---

Na formação dos sedimentos inferiores das perfurações estudadas imperaram condições tectônicas enérgicas, de rápida "subsidência" e rápida sedimentação. Foram depositados sob a forma de um grande delta. Os sedimentos superiores caracterizam um afundamento contínuo, porém, morerado. O ambiente de sedimentação devia ter sido o de lagoas em nível próximo ao do mar. Eram rasas na região de Limoeiro e profundas na região de Cururu.

O estudo do arredondamento dos minerais pesados e leves demonstrou que antigos sedimentos retrabalhados forneceram detritos formadores dos sedimentos estudados. Além destes, citam-se também rochas de origem vulcânica, rochas metamórficas de alto grau de metaformismo, rochas intrusivas graníticas e raramente rochas básicas. A existência de grãos de quartzo que apresentam primariamente faces cristalinas, muito freqüentes nos sedimentos inferiores das perfurações, sugerem uma derivação de rochas relacionadas a intenso vulcanismo ácido, podendo ter sido responsável, o vulcanismo andino terciário. Seus respectivos tufos seriam retrabalhados e os grãos de quartzo idiomorfos (fenocristais) ajuntar-se-iam aos detritos, na formação dos referidos sedimentos.

Baseando-se na idade desse vulcanismo ácido, o Autor datou os sedimentos em questão como terciários. A presença de diatomáceas encontradas entre as amostras mais profundas de Limoeiro levaria a estabelecer o limite máximo inferior no Jurássico superior.

O efeito da pressão exercida pelos sedimentos superiormente colocados é evidenciado nos argilitos, siltitos e nos arenitos, por um aumento progressivo na densidade conforme a profundidade. Também a coerência dos sedimentos é alterada com a profundidade, sendo os mais profundos, os mais coerentes.

Além das análises, qualitativa e quantitativa dos minerais pesados, vários outros fatores (inclusive os paleontológicos) contribuíram para que fosse estabelecida a correlação entre os poços de Limoeiro e de Cururu. De acordo com a correlação, as camadas inclinam-se para o norte de cerca de 3 a 4 m por km. É provável que se trate de uma inclinação original, dado o fato da direção do fornecimento dos detritos ser de sul para norte.

A inclinação das camadas para norte e o aumento de sedimentos marinhos também para norte são fatores que indicam haver maior possibilidade da existência de petróleo mais ao norte da perfuração de Cururu.





estendendo-se até os arredores de Monte Alegre. Nas proximidades de Antônio Lemos, uma elevação do cristalino indica a separação das duas fossas, sendo que a segunda é limitada ao norte e ao sul por afloramentos do cristalino nos rios Jari, Paru e Xingu. (Dados colhidos nos Relatórios do Conselho Nacional do Petróleo).

Processos geofísicos de refração e reflexão indicaram a existência de falhamentos e de estruturas favoráveis ao acúmulo de petróleo (anticlinais) em três localidades; Limoeiro, Cururu e Badajós (fig. 1). Uma vez feitas as perfurações nessas três localidades, com resultados infelizmente negativos para petróleo, aproveitamos os testemunhos das duas primeiras perfurações, com o objetivo de procurar esclarecer a estrutura geral das camadas, condições de formação dos sedimentos amostrados, ambiente paleogeográfico e tectônico e provável idade das rochas estudadas. Por motivo de força maior, não nos foi possível estudar a testemunhagem da terceira perfuração. Limitamo-nos a estudar alguns fragmentos típicos, mais representativos, gentilmente cedidos pelo Dr. *Setembrino Petri*.

Deixo aqui os meus agradecimentos ao Conselho Nacional do Petróleo pelas facilidades que nos foram proporcionadas, a fim de que pudéssemos realizar tal trabalho. Ao Professor Dr. Viktor Leinz, insigne mestre e grande amigo, pela criteriosa e segura orientação, impressa a êste trabalho — o meu especial agradecimento. A minha cordial gratidão ao Professor Dr. Octavio Barbosa, pelos sábios conselhos e oportunas sugestões, que tanto melhoraram estas laudas. Ao Dr. Josué Camargo Mendes, a quem rendo o maior preito de amizade, e de admiração, e a meu pai, Dr. Milton Estanislau do Amaral, os meus profundos e sinceros agradecimentos, pelo esmero e carinho na correção e melhoria dêste trabalho.

#### 1 — *Dados técnicos sobre as perfurações:*

a) Limeiro: a sondagem atingiu 4.027 m de profundidade, sem ter perfurado o embasamento. Foram testemunhados cêrca de 400 m, porém, freqüentemente, o sedimento era de tal modo friável, que a recuperação era de poucos palmos. (Em condições ideais deveria ter três metros). Desta maneira, pudemos observar diretamente quase 6% dos 4.027 metros perfurados, fora as amostras de calha. A temperatura da lama circulante tomada à bôca do poço é de 100°C. Êste valor

deve ser aumentado para a rocha situada no fundo, dado o resfriamento parcial da lama durante sua ascensão.

b) Cururu: 4.048 m de profundidade. Foi atingido o embasamento cristalino a 3.858 m. Talvez seja a perfuração mais profunda da América do Sul. Na maior parte dos testemunhos, a recuperação foi pequena, dada a grande incoerência dos arenitos. Por êste motivo, não puderam ser observados diretamente e estudados mais que 4% dos 4.048 m perfurados. As temperaturas medidas foram as seguintes: (também da lama circulante, tomada à bôca do poço).

3.021 m — 146°C

3.845 m — 176°

3.872 m — 178°

Sendo em volta de 25° a temperatura média da região, calculamos um valor de 25 metros, aproximadamente, para o grau geotérmico naquela região.

## 2 — *Fisiografia e geologia da região*

Como podemos ver na fig. 1, a região, onde se localizam as perfurações, é coberta por sedimentos recentes, que formam, em extensa área, grandes e temporários alagadiços na época das enchentes. Em certos lugares desenvolve-se uma alta e cerrada mata, recebendo a denominação local de igapó. Quando ausente a mata, denomina-se várzea; nesta, depositam-se continuamente os detritos trazidos pelas águas do rio Amazonas e tributários, por ocasião das enchentes. Nesses detritos encontram-se principalmente argila rica em material orgânico, ácidos húmicos e areia fina, segundo estudos de *Katzer* (1903) que fez aprofundados estudos geológicos na Amazônia. Diz *Euclides da Cunha* tratar-se de terra ainda em formação essa da Amazônia. Não há dúvida de que tal afirmativa é válida para o caso das várzeas, nas quais “decantam-se-lhes as águas carregadas de detritos, numa colmatagem plenamente generalizada. Baixam as águas e nota-se que o terreno cresceu;...” é o que se lê em “À Margem da História”, de *Euclides da Cunha*. Cêrca de seis a quinze metros acima do nível médio das marés, estende-se o chamado “teso”, que é a planície enxuta; trata-se de um terraço for-

mado por sedimentos mais antigos que os sedimentos holocenos das regiões alagadiças. Segundo *Pedro de Moura* (1944) os tesos são de idade pleistocênica, sendo formados por levantamento epirogenético recente.

Outra movimentação epirogenética, anterior a essa, teria elevado de 200 a 300 metros os sedimentos terciários da Amazônia, dando origem às chamadas "terras firmes", que formam grande parte da planície amazônica, na qual os rios tendem a atingir o seu perfil de equilíbrio, tendo erodido os sedimentos pouco consistentes do Terciário. Algumas serras tabulares testemunham a antiga espessura das camadas terciárias erodidas, como as de Almerim, (serra de Paranaquara) com 300 metros de altitude, o morro da Piroca, próximo de Santarém, com 120 metros, e várias outras elevações, que acompanham, de um modo geral, o curso do rio Amazonas. As encostas dessas elevações, quando abruptas, e as barrancas dos rios, constituem na Amazônia os únicos afloramentos, razão pela qual é difícil a geologia de detalhes naquela região.

Os recentes estudos geofísicos do Conselho Nacional do Petróleo esclareceram a forma do embasamento de uma grande área, situada nas proximidades do leito do rio Amazonas, e a nossa contribuição foi a de estudar com pormenores, sob diversos aspectos petrográficos, o material testemunhado. Tivemos o objetivo de esclarecer os fenômenos geológicos que determinaram a formação do espesso pacote sedimentar. Para êste fim estudamos pouco mais de cem amostras da perfuração de Limoeiro, das quais, pormenorizadamente, 37 arenitos, sob diversos pontos de vista. Da perfuração de Cururu estudamos pouco mais de cinqüenta amostras, das quais, 35 arenitos com pormenores.

Procedemos ao estudo dos arenitos sob vários pontos de vista: granulometria, composição mineralógica, minerais pesados, tipo de estratificação, arredondamento dos grãos e porosidade relacionada à profundidade.

Em alguns casos, quando a coerência era favorável à execução de secções delgadas, estudamos a textura. Os siltitos e argilitos foram estudados sob a lupa binocular e microscópio petrográfico, tendo sido feitos estudos sobre a respectiva "compactação" em função da profundidade. Tôdas as amostras foram examinadas sob luz fluorescente, sendo que nenhuma delas acusou qualquer fluorescência.

## 3 — Métodos usados:

a) Granulometria: das diversas escalas existentes no estudo granulométrico, adotamos a de *Wentworth*. Segundo a opinião de *Correns* (1934) não existe nenhuma escala que seja satisfatória sob todos os pontos de vista. Com efeito, tôdas têm seus inconvenientes, seja pelo artificialismo e critério pessoal na subdivisão, seja pela dificuldade na visualização do tamanho das frações, como é o caso da escala "fi", na qual dificilmente se relaciona o número da escala ao tamanho do grão.

Adotamos neste trabalho a escala de *Wentworth* (1929), na qual o autor se baseia na velocidade da queda das partículas na água, segundo a lei de Stoke (p. 789 do trabalho citado). *Wentworth*, neste mesmo trabalho, argumenta que a escala logarítmica por êle adotada é tão natural como a aritmética, tendo a vantagem da possibilidade de representação gráfica tal, que mostre diferenças entre variações submilimétricas e centimétricas, simultâneamente. Esta escala é a mais usada na literatura norte-americana, sendo, pois, a mais divulgada e seguida no nosso meio. Desta forma, torna-se mais fácil a comparação com outros sedimentos. Além disso, o intervalo das subdivisões é menor (portanto, maior número de frações) do que a escala adotada pelos europeus, que é a escala de *Atterberg*. Esta possui a vantagem de ser fundamentada em dados físicos, portanto, de tender a ser natural quanto ao critério de classificação das diferentes frações, pois as classifica em base do valor capilar. Êste valor é de importância para a classificação de solos, pois é esta a principal finalidade desta escala, que foi adotada pelos sedimentólogos na classificação de rochas sedimentares.

Sendo maior o número de subdivisões, torna-se menor o êrro da interpolação dos valores para a construção da curva acumulativa, com a qual se torna possível a obtenção de outro gráfico segundo outra escala qualquer, caso seja necessário, para efeito de comparação. Além disso, a bateria de peneiras por nós usada tem as malhas classificadas pelos tamanhos da escala de *Wentworth*.

Para determinarmos a fração argilosa, (menor de 4 microns) usamos a pipeta de *Andreasen*, cuja descrição e funcionamento encontramos em *Krumbein* e *Pettijohn* (1938). Embora não haja grande exatidão nos resultados, apresenta a grande vantagem da rapidez nas determinações. Uma partícula de 4 microns de diâmetro, com densidade igual a do quartzo, leva seis horas e nove minutos para decantar numa altura

de 30 cm. Sendo necessárias cinco retiradas no mínimo para cada amostra, levar-se-iam 30 horas se se pudesse trabalhar ininterruptamente, o que é praticamente impossível. Com a pipeta, em poucas horas pode-se fazer a determinação do teor aproximado em argila de um sedimento. Em seguida, eram determinadas as frações silticas pelas decantações contínuas, até limpar o material. A quantidade de argila, já determinada pela pipeta, é subtraída da primeira retirada da decantação, que vai conter parte do silte, mais a argila. Neste processo são tratadas 100 gramas do sedimento, que são dispersas em tubos de um litro, com 40 cm de altura, aproximadamente. É de grande importância a quantidade de água em relação à de sedimento, pois, se este for muito rico em argila, haverá um aumento na viscosidade da água e conseqüente diminuição na velocidade de queda das partículas. A primeira série de retiradas por decantação vai conter partículas argilosas mais silte de 4 a 8 microns de diâmetro. Para evitar que a argila obstrua os poros do papel de filtro, adicionávamos pouco menos de meia grama de sulfato de alumínio, que ocasionava a imediata floculação, impedindo desta maneira a formação de um ultrafiltro, que tornaria a filtração muito lenta (de alguns dias, só para a argila). Esta técnica não deixa de introduzir um pequeno fator de erro, dado pelo acréscimo do sal floculante, que não pode ser descontado, pois nem todo sal é ativo na floculação. Parte d'ele é acarretado pela água, que passa pelo papel de filtro. A quantidade, porém, é mínima em relação ao peso total da amostra estudada, (100 g) e o pequeno erro introduzido é compensado pelo tempo ganho na filtração. Para se evitar a floculação durante o processo de decantação, usamos, além da água destilada, o amoníaco em quantidades variáveis, conforme o comportamento da amostra, ou oxalato de sódio, segundo a técnica recomendada por *Krumbein* e *Pettijohn* (obra citada). Certos sedimentos floculavam tôdas as vezes, apesar de adicionarmos vários antifloculantes em diversas concentrações.

De um modo geral os sedimentos, ricos em cimento carbonático ou ricos em óxidos de ferro, são os mais propícios à floculação, segundo as nossas observações. Uma vez retirado o material argiloso e parte do silte (de 4 a 8 microns), passamos a usar água comum, de torneira, porque somente a argila flocula. Retiramos então os grãos contidos entre 8 e 16 microns e finalmente os de 16 a 32 microns. Fizemos diversas verificações ao microscópio, medindo as partículas decantadas. Concluímos que quase tôdas elas obedecem realmente à lei de Stokes, que é

válida para partículas esféricas da mesma densidade. Fazem exceção os grãos micáceos, geralmente raros, e os grãos de forma alongada. As partículas maiores que 32 microns são separadas na peneira mecânica tipo Ro-Tap. É importante o tempo de funcionamento da peneira, que vai depender da abertura da malha. Trabalhos experimentais de *Berthois* (1951) e *Wentworth* (1927) demonstram que um tempo muito prolongado promoverá um quebramento dos grãos de feldspato e outros minerais, mais moles que o quartzo, que existam no sedimento, aumentando assim a fração fina, em detrimento da grosseira. Por outro lado, um tempo demasiadamente curto não permite a passagem total dos grãos finos, a não ser que se usasse uma quantidade pequena de material. Dessa forma haveria certamente um maior erro, pois é inevitável a perda de grãos, que sempre ficam presos nas malhas da peneira, ou em suspensão no ar, ao passarem da peneira para a balança. Baseando-nos na tabela apresentada por *Wentworth* (obra citada) achamos razoável peneirar por 10 minutos os grãos maiores que 125 microns (inclusive) e 20 minutos para os mais finos, trabalhando com 70 a 80 g de material, conforme o teor em silte mais argila existente nos 100 g iniciais, retirados na decantação. As malhas das peneiras usadas no presente estudo possuíam as seguintes aberturas: 1.000, 500, 297, 246, 210, 125, 105, 74, 61, 53 e 43 microns.

b) Minerais pesados: na separação dos minerais pesados, adotamos a técnica comum, aconselhada pelos livros textos. O bromofórmio, de densidade 2,89, é colocado em funis simples, sendo retirados simultaneamente os grãos retidos na peneira 125, 105 e 74, frações estas existentes em quase tôdas as amostras estudadas, sendo portanto mais correta a correlação. A observação de outras frações da mesma amostra foi feita separadamente. Os minerais opacos não foram estudados. Foram separados com um ímã forte e desprezados, dadas as dificuldades técnicas de classificação. Para estabelecer-se as proporções entre os minerais pesados, foi feita a contagem de 150 a 200 grãos e, em seguida, a verificação da totalidade dos grãos existentes na lâmina, para que fossem assinalados os minerais raros, que podiam escapar à observação.

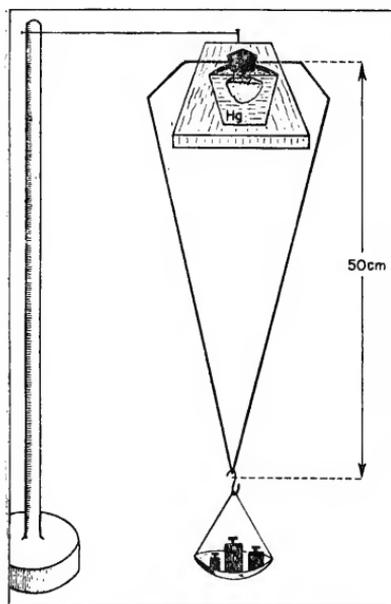
c) Análise mineralógica: tôdas as frações peneiradas para o estudo granulométrico foram guardadas e estudadas separadamente sob a lupa e sob o microscópio petrográfico, tendo em vista a verificação

das variações existentes entre cada fração da mesma amostra. Foram tiradas as médias ponderais nas proporções das respectivas porcentagens para o cálculo da composição mineralógica total. Os grãos superiores a 0,2 mm foram estudados sob a lupa binocular, dada a dificuldade da montagem de lâminas. Devemos ao Prof. Dr. *Elysiario Távora* a gentileza de ter analisado a fração argilosa de várias amostras pelo raio X, método do pó.

d) Arredondamento: nossa finalidade foi a de estudar o caráter da superfície do grão, independente da sua esfericidade. Esta medida pode, em certos casos, dar idéia da derivação dos grãos. Os alongados ou achatados devem derivar-se preferencialmente de rochas metamórficas, e os equidimensionais, de rochas plutônicas, segundo *Bokman* (1952). A superfície do grão, seja qual fôr sua forma, indica o grau de desgaste. No nosso estudo, aproveitamos as frações separadas pelas peneiras, observando sob a lupa binocular desde os grãos mais grosseiros até os mais finos, contando cêrca de 50 grãos e estabelecendo as proporções dos grãos com seus respectivos graus de rolamento. (Ver figs. 25 e 26). Seguimos a técnica adotada por *Russel e Taylor* (1937) que fizeram pormenorizado estudo do arredondamento das areias do Mississipi. A técnica consiste em avaliar o grau de desgaste, comparando a sua angulosidade com um gráfico proposto por *Pettijohn* (1949, p. 52) e adotado por diversos estudiosos. A vantagem dêste método é permitir a observação de vários grãos em pouco tempo, facilitando a comparação com outros sedimentos estudados.

e) Densidade e porosidade: foram determinadas, com a finalidade de verificarmos a "compactação" em função da profundidade. Foram adotadas duas técnicas, de acôrdo com a natureza do sedimento. Para os siltitos e argilitos, usamos o aparelho descrito por *Fancher* (1950, p. 693) e idealizado por *W. L. Russel*. Como os poros do sedimento são muito finos, não há penetração do mercúrio, o que se dá no caso de arenitos friáveis e porosos, pela pressão hidrostática da coluna de mercúrio. A marcação do tubo graduado é em décimos de centímetro cúbico. Obtendo-se o peso da amostra com a exatidão de um centésimo de grama, determinamos a densidade da amostra com êrro de mais ou menos dois centésimos, sendo necessário para isso que o volume da amostra seja pouco menor que 10 cm<sup>3</sup>. Desta maneira, um êrro mais ou menos de 0,1 cm<sup>3</sup> no volume não afetará o gráfico que fizemos para mostrar a variação da densidade com a profundidade da amostra. Não há, pois, no nosso caso,

necessidade de maior exatidão. Este método não se presta para arenitos pouco coerentes e porosos, por ser grande a penetração de mercúrio na amostra. Adotamos o processo de *Athy* (1930) com modificações originais, que ao nosso ver simplificaram o processo original sem alterar a exatidão que necessitamos, isto é, o valor da densidade na segunda casa decimal. Na fig. 2, vemos o esquema do aparelho, que difere na forma (esta é de grande importância, pois dela depende a estabilidade do aparelho) e na falta da mola da balança de Jolly, que julgamos desnecessária para calcularmos a densidade até a segunda casa decimal. O peso da



- Fig. 2 -

amostra mais o peso do aparelho (que deve ser obtido com exatidão) mais os pesos adicionados para haver o equilíbrio, visto na fig. 2, divididos pela densidade do mercúrio nos vão dar o volume da amostra. Esta deve ser aparelhada de maneira tal a facilitar o ajuste com os estiletos de aço (em número de três), que devem afundar o mínimo no mercúrio quando o conjunto estiver fluando. Esta operação é delicada, pois a tensão superficial do mercúrio faz com que seja ultrapassado de muito o peso exato para o aparelho flutuar afundando a amostra. É mais fácil retirarmos aos poucos os pesos colocados em ligeiro excesso do que os adicionarmos, pelo motivo explicado. A principal causa de erro é dada pelas três pontas que tocam a amostra, obrigadas a mergulhar no mercúrio. Contudo, para as nossas finalidades, este erro é desprezível.

## II — DESCRIÇÃO DOS TESTEMUNHOS DE SONDAGEM

### 1 — Perfuração de Limoeiro

#### a) Descrição macroscópica:

Passemos a descrever a litologia do material testemunhado em Límoeiro. Estudaram-se tão somente os testemunhos. As amostras de calha, isto é, o material trazido pela lama da sonda Rotary, não só é muito fragmentado, como também sofre um processo de seleção artificial dos fragmentos, havendo um enriquecimento dos fragmentos sílticos mais resistentes, em detrimento do material arenoso, geralmente incoerente, que se perde no processo da lavagem do material. Por êste motivo, somente em casos excepcionais estudamos as amostras de calha. Especificaremos as amostras estudadas segundo sua profundidade em metros. Em alguns casos, onde a recuperação foi total, pudemos traçar alguns perfis, que se vêem na fig. 3. Observamos nestes perfis a seqüência, espessura dos sedimentos e simbolizamos o tipo de estratificação ou sua ausência. Quanto ao tipo, distinguimos no gráfico, conforme a disposição dos símbolos, se a estratificação é horizontal, inclinada ou cruzada. Em outro gráfico esquematizamos os casos mais interessantes de estratificação (fig. 4). Procuramos também, na fig. 3, esquematizar a granulação dos arenitos de maneira aproximada. Na maior parte das vezes não nos foi possível anotar os perfis pormenorizados, pelo fato da recuperação não ser total, conseqüência da alta friabilidade da maior parte dos arenitos e conseqüente destruição pela pressão da broca.

**Coerência:** na descrição dêste caráter, usaremos a expressão *coerente* para o material que não se desfaz com os dedos, ou se desagrega com dificuldade, e *incoerente* para o que se desfaz facilmente ao ser manuseado.

**Granulação:** em se tratando de uma descrição sumária de toda a testemunhagem, classificaremos os arenitos de maneira aproximada, visualmente, pois a finalidade é darmos uma idéia das principais feições macroscópicas, seqüência e predominância aproximada dos sedimentos observados.

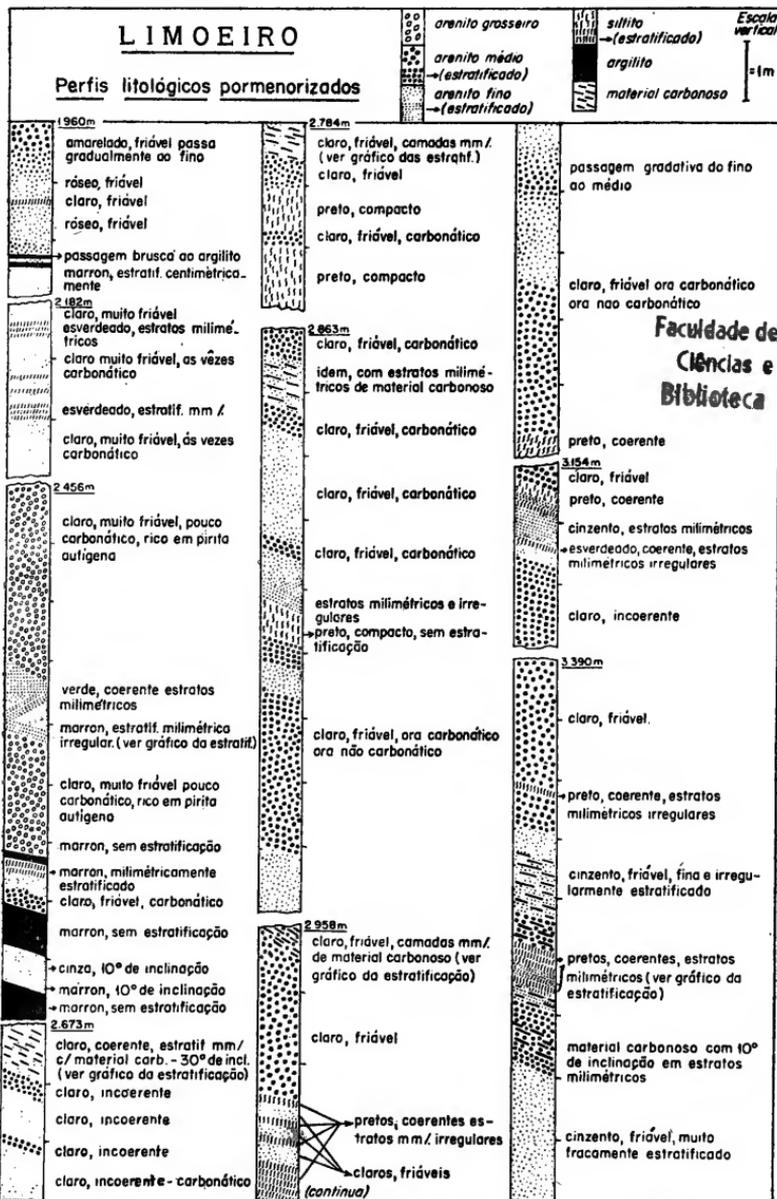
Como conseqüência da pequena recuperação dos testemunhos, não traçamos o perfil litológico de toda a perfuração, pois, seria inexato. Descreveremos apenas os sedimentos observados, macroscópica e sumariamente. As espessuras das camadas citadas são as observadas diretamente no testemunho. Êste, quando completo, possui um comprimento de 3 m.

244 a 275 — Argilitos e siltitos, em iguais proporções. Argilitos variados, manchados de vermelho, amarelo e branco. Sil-

titos claros, sem estratificação, incoerentes. Há passagens graduais entre êles, sendo as espessuras observadas de 1 m ou de poucos decímetros.

- 318 a 396 — Predominam os arenitos finos, cinzento-claros, incoerentes, sem estratificação. Menos freqüentemente vemos algumas amostras de silito cinzento e de argilito amarelado ou cinzento. Em seis níveis observam-se conglomerados. Os seixos apresentavam-se soltos, sem a matriz. Possuem um a três cm de tamanho, predominando os seixos de quartzo leitoso, ou de côr escura. Muito raramente se vêem pequenos seixos provàvelmente de calcedônea.
- 580 a 672 — Nos primeiros 30 metros predominam os arenitos, sempre finos, cinzento-claros alguns milimètricamente estratificados, de camadas róseas e claras. Espessuras até de um metro. Entre os sedimentos restantes, predominam os argilitos variegados ou esverdeados, com intercalações finas de silitos esverdeados ou claros, dispostos horizontalmente. Espessuras de três metros de silito claro, sem estratificação. Neste intervalo assinalamos três níveis de conglomerados, seixos no máximo de 1,5 cm de tamanho, predominando os de quartzo.
- 764 a 789 — Predominam os argilitos variegados, vermelho e branco, e alguns cinzento-claros. Devem atingir até 8 m de espessura. Subordinadamente ocorrem silitos claros, sem estratificação.
- 855 a 870 — Argilitos variegados, análogos aos anteriores, e silitos cinzento-claros, sem estratificação.
- 943 a 951 — Silito cinzento-claro sem estratificação e um nível de conglomerado com seixos de 1 até 4 cm de tamanho. Predominam os de quartzo. Estão presentes seixos de calcedônea clara.
- 1129 a 1162 — Predominam os silitos claros, sem estratificação, talvez com mais de três metros de espessura. Os argilitos são subordinados, variegados ou pardos. Muito raramente são vistos arenitos finos, róseos.
- 1222 a 1234 — Silitos cinzentos, fragmentados.

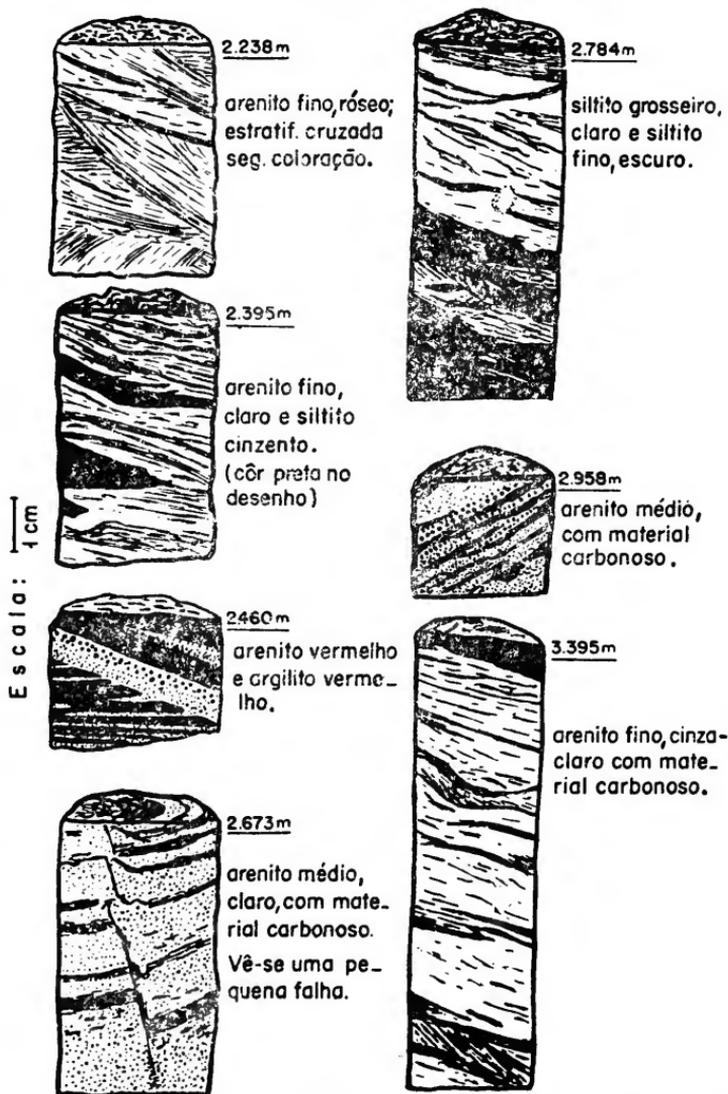
- 1480 a 1492 — Arenitos finos, claros, incoerentes, com espessuras até de três metros. Argilitos pretos, carbonosos, às vezes folhelhosos, de poucos dm, e dois níveis de conglomerado, seixos de 0,5 a 1 cm de quartzo, às vezes avermelhado.
- 1543 a 1546 — Arenitos médios, claros, incoerentes e conglomerado, seixos de quartzo de 0,5 a 1 cm.
- 1652 a 1655 — Arenitos finos, claros, incoerentes, 3 m de espessura.
- 1740 a 1749 — Arenitos finos, róseos, incoerentes, às vezes irregularmente estratificados, 3 m de espessura.
- 1845 a 1857 — Arenitos finos, róseos, incoerentes, às vezes irregularmente estratificados, 3 m de espessura.
- 1957 a 1963 — Arenitos finos, róseos, incoerentes, às vezes irregularmente estratificados, 3 m de espessura. (Ver fig. 3).
- 2170 a 2173 — Arenitos finos, claros, incoerentes, sem estratificação, de 2,5 m de espessura e siltito cinzento, estratificado milimetricamente, com 0,5 m de espessura.
- 2230 a 2249 — Arenitos finos, claros, incoerentes, com ou sem estratificação irregular e milimétrica, tendo a espessura até de 5 m. Raramente encontramos siltitos escuros, carbonosos, em camadas delgadas no arenito.
- 2282 a 2393 — Argilitos compactos, homogêneos, cinzento-claros, ou vermelhos, com espessura de 2 m. Associado, arenito fino, claro, incoerente, com camadas milimétricas de siltito escuro.
- 2455 a 2466 — Arenitos grosseiros, claros, sem estratificação, incoerentes, com 2,5 m de espessura, e subordinadamente siltito esverdeado fino, irregular e obliquamente estratificado. Seguem arenitos médios, pardos, fina, irregular e obliquamente estratificados. (Ver fig. 3).
- 2570 a 4027 — Nestes 1.457 metros predominam os arenitos. São, na maioria de finos a médios, havendo um nível apenas com arenitos grosseiros. Predominam os de coloração clara, quase sempre coerentes e, quando estratificados, o são sempre obliquamente em relação à direção da sonda que deve ter perfurado de modo vertical. (Ver fig. 3). Estes predominam em relação aos não estratificados. A inclinação das lâminas estratificadas é da ordem de 20 a 30°, sendo em um caso de 45° (fig. 4 — 2.958 m). A estra-



Faculdade de Filosofia  
Ciências e Letras  
Biblioteca Central

- Fig. 3 -

**LIMOEIRO : tipos de estratificação inclinada**



- Fig. 4 -

tificação é dada pela alternância de finos leitos lenticulares de siltito carbonoso.

Na fig. 3 observamos a seqüência litológica, a predominância e tipo de estratificação, quando presente, e as espessuras dos sedimentos. Aham-se representados em escala aproximada de 1:65, tendo sido escolhidos os testemunhos completos mais interessantes. Procuramos representar o verdadeiro ângulo de inclinação das lâminas, assim como as suas seqüências e espessuras, quando as condições de conservação permitiram. Verificamos em certos testemunhos (não foram representados no perfil por serem muito homogêneos) 6 metros consecutivos de arenito claro, com pequenas variações na granulação (testemunho 3.758 m) sem indícios macroscópicos de estratificação. Neste arenito acha-se presente uma camada centimétrica de carvão vegetal fortemente inclinada, com 50° em relação ao plano do horizonte. Trataremos novamente desta questão mais adiante. Outro exemplo interessante é o intervalo entre o testemunho 2.873 m até o último, em baixo (4.026 m). Neste intervalo de mais de 1.000 m, encontramos nos testemunhos unicamente arenitos, sendo muito raros e delgados os siltitos existentes. Estes só aparecem em quantidade apreciável nas amostras de calha, neste intervalo. Podemos admitir, portanto, a existência de espessuras consideráveis de arenitos. Não deve ter havido perda dos siltitos na recuperação dos testemunhos, pois são bastante coerentes, duros, sendo este o motivo do seu enriquecimento nas amostras de calha. O arenito friável desmancha-se facilmente e perde-se com a lama.

Os siltitos são sempre, de cinzentos a pretos, ora com, ora sem estratificação. Esta é fina, sempre inclinada, irregular, decorrente da diferença de coloração, em camadas claras e escuras.

Em resumo, verificamos que a metade superior da perfuração é constituída preferencialmente por sedimentos finos, todos clásticos: arenitos muito finos, siltitos e argilitos, com 14 níveis testemunhados de conglomerados. Os arenitos são sempre incoerentes, cinzento-claros, ou róseos, raramente estratificados e, quando o são, as camadas apresentam-se horizontais, milimétricas. Os siltitos e argilitos são ora claros, ora variegados de branco, vermelho e amarelo, ou totalmente amarelos. A metade inferior constitui-se na sua quase totalidade de arenitos médios a finos, claros, com estratificação inclinada, quando estratificados, e raros siltitos escuros. Nas respectivas amostras de calha encontram-se com freqüência fragmentos centimétricos róseos de calcita fi-

brosa, de aspecto típico das formadas em fendas. Nunca vimos este mineral nos testemunhos, certamente porque se quebram durante a penetração da sonda, indo acumular-se junto aos fragmentos moídos. Dada a frequência deste mineral e a ausência de carbonatos que talvez se precipitassem durante a formação dos arenitos, supomos que essa calcita seja originada da dissolução por águas descendentes e precipitação nas fendas.

E' interessante notar que a diferença na litologia é coincidente com a diferença na composição mineralógica dos arenitos e na existência de grãos de quartzo com faces cristalinas, sobre os quais discorreremos oportunamente (fig. 5). Na metade inferior, onde predominam os arenitos, há grande frequência de feldspatos e quartzo facetado, enquanto que na metade superior, o feldspato torna-se raro, desaparecendo os grãos facetados. E' digno de ser mencionado previamente que fato análogo acontece com os sedimentos da perfuração de Cururu, concordando com a correlação efetuada por meio dos minerais pesados assunto que será tratado adiante.

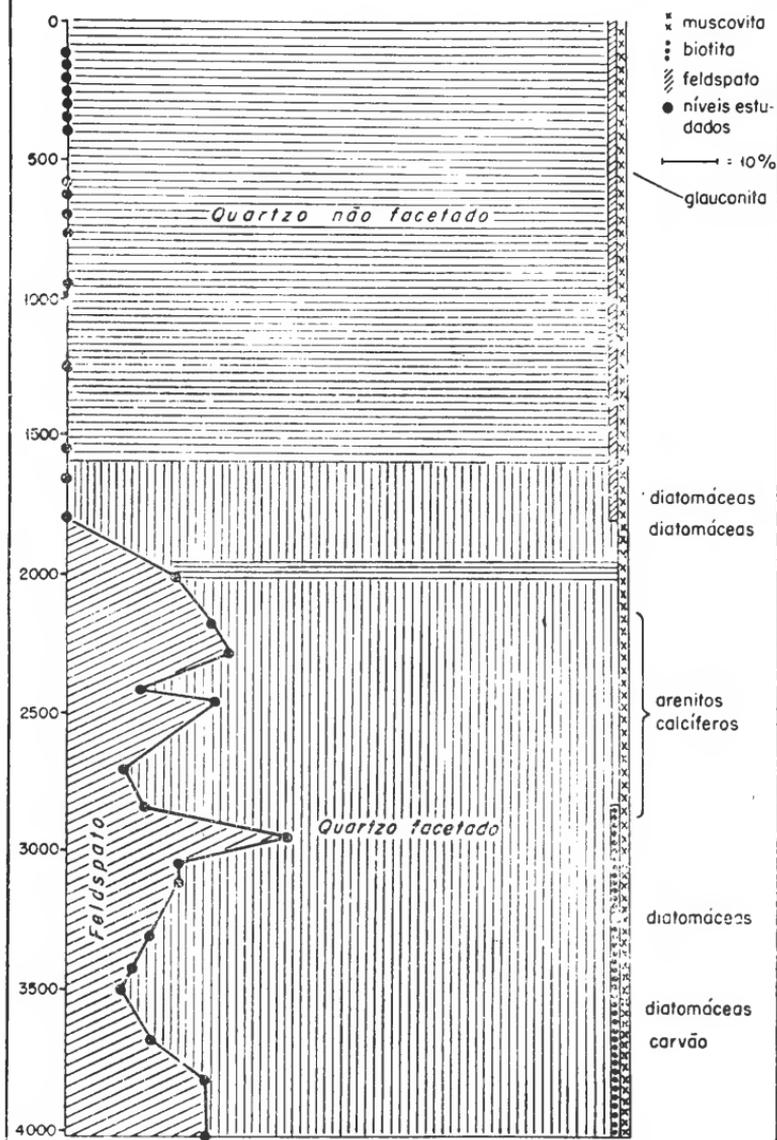
#### b) Composição mineralógica

*Arenitos* — a particularidade mais notável quanto à composição mineralógica é a variação da metade inferior e da superior, em relação à quantidade de feldspato. Na fig. 5 está simbolizada esta variação, que se relaciona com a presença de quartzo facetado, que ocorre junto aos arenitos mais feldspáticos.

*Quartzo* — ao microscópio, de modo geral, os grãos de quartzo apresentam-se hialinos, com freqüentes inclusões de bôlhas orientadas ou de cristais aciculares, provavelmente de apatita ou rutilo. Menos freqüentemente ocorrem grãos leitosos, ou turvos. Os freqüentes agregados são na maioria de quartzo. Possivelmente sejam grãos fragmentados de quartzitos. Comumente encontramos agregados finos, formados possivelmente pela aglutinação de material argiloso e síltico. Trataremos à parte dos grãos de quartzo facetado, ao encarmos o problema da idade dos sedimentos.

*Feldspatos* — predomina o ortoclásio, ora alterado, ora sem alteração alguma, límpido, observado ac microscópio. Os grãos grosseiros quase sempre possuem coloração rósea, sob a lupa binocular. Encontramos com frequência plagioclásios sempre sódicos. Estes são mais fre-

COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DOS ARENITOS DE LIMOEIRO



- Fig. 5 -

qüentemente alterados. Em raras amostras ocorre a micropertita. De um modo geral, os feldspatos tornam-se muito mais freqüentes nas frações finas dos arenitos, certamente dada sua clivagem, que os reduz de tamanho mais facilmente.

Micas — como vemos na fig. 5, todos os arenitos contêm a muscovita. Nas amostras inferiores a 2.700 m, além da muscovita encontramos com certa freqüência a biotita, sempre alterada, com uma coloração esverdeada. Nas placas de mica dos arenitos inferiores, observamos marcas impressas, bem nítidas e profundas, dos grãos adjacentes. Como não são observadas nos arenitos superiores, atribuímos a tais marcas a maior pressão dos sedimentos acima colocados.

Carvão — é interessante a ocorrência de um fino leito de carvão de poucos milímetros de espessura, obliquamente colocado no arenito de 3.760 metros. Comporta-se à chama de modo análogo ao carvão antracítico, deixando 10% de uma cinza avermelhada. Possui 10% de água. Deve ter sua origem relacionada ao rápido sepultamento da matéria orgânica e conseqüente aumento na temperatura, promovendo-se então a carbonização. Segundo *Stutzer*, (1940, pg. 291) o fator tempo não tem influência decisiva na formação do carvão. Por êste motivo, acreditamos que a existência dêste carvão não implica na idade de tais rochas, e, sim, é conseqüência de condições anormais de sepultamento. Adiante veremos que a idade pode ser datada como cretácea superior, no máximo. Entre outros argumentos que serão discutidos oportunamente, temos no presente caso que ponderar a presença de diatomáceas, encontradas nesses arenitos inferiores, cujas profundidades se acham assinaladas na fig. 5. Segundo a literatura, as diatomáceas nunca se encontram em rochas mais antigas que as jurássicas superiores.

Quanto à composição mineralógica da fração síltica e argilosa dos arenitos, temos a dizer que há poucas variações. Sempre predomina o quartzo. O mineral argiloso é quase sempre o caulim. Quando êste se apresenta sob a forma de leque ou vermiforme, maneiras mais comuns de ocorrência, acreditamos tratar-se de caulim autígeno. *Milner* (1952, p. 499) atribuí o caráter de autígeno ao caulim, de um modo geral. Embora seja provável a existência de caulim detrítico, no nosso caso parece realmente ser oriundo da alteração dos feldspatos do próprio arenito, que se tornam muito aumentados nas frações finas e que devem ser mais facilmente alterados, dada sua maior superfície relativa de contacto aos agentes percolantes, promovedores da alteração. Nos

argilitos adjacentes a êsses arenitos caulínicos, nunca vimos o caulim igual ao dos arenitos, fato êste que nos levou a tal conclusão. Como se vê na fig. 5, foram observados, junto ao silte, diatomáceas em quatro níveis. São fragmentos de carapaças presentes nas frações decantadas, entre 8 e 32 microns. Sòmente foram observadas nos arenitos, não tendo sido vistas nos sedimentos mais finos, quando estudados ao microscópio.

Quanto aos minerais autígenos, encontrados nos arenitos da perfuração de Limoeiro, citamos os seguintes: calcita, às vêzes em romboedros perfeitos (sólidos de clivagem?) outras vêzes sob a forma de grãos angulosos, sempre em quantidade pequena. Uma amostra sòmente (1.485 m) apresenta-se intensamente cimentada e endurecida por dolomita. Nos demais sedimentos carbonáticos, não se nota o menor aumento de coerência pela presença do carbonato. A pirita idiomorfa, em pequenos cubos, é encontrada em raras amostras (2.460 e 2.390 m). Outro mineral autígeno de interêsse no estudo do ambiente de deposição, que ainda será referido, é a glauconita, encontrada no nível 592 metros. Apresenta-se com dimensões de 15 a 40 microns, perfazendo menos que 5% da totalidade do silte grosseiro. Nos grãos de 20 microns, mais freqüentes que os de 40, a glauconita torna-se translúcida, percebendo-se ao microscópio sua coloração verde por transparência. Os grãos maiores possuem a côr verde tão carregada, que se tornam opacos. Percebe-se a côr verde sòmente com luz refletida. Nos grãos transparentes, menores, determinamos o índice de refração 1,62. Êste valor confirma a classificação, pois a variação do índice de refração da glauconita é pequena, apesar de ser muito variada a sua composição química.

### *Siltitos*

Há dois tipos de siltitos, segundo sua profundidade. Os siltitos, situados na metade inferior da perfuração, são diferentes dos da metade superior. Os primeiros acham-se localizados junto aos arenitos feldspáticos com grãos de quartzo idiomorfos. São siltitos compactos, escuros; quando estratificados, o são de maneira oblíqua em relação à direção da sonda (que deve ter sido vertical) da mesma maneira que os arenitos. Êstes siltitos são constituídos essencialmente de quartzo, sempre feldspáticos e micáceos. Entre os micáceos, predomina a biotita alterada de coloração esverdeada, como nos arenitos. A coloração escura é dada por

substâncias carbonosas, derivadas de matéria orgânica. Aquecendo-se ao rubro, desaparece a cor preta, sem nenhum desprendimento gasoso. Não transmite coloração alguma à solução concentrada de hidróxido de potássio.

Os siltitos da metade superior da perfuração caracterizam-se pela incoerência, de coloração cinza-clara a amarelada e, ao contrário dos primeiros, não possuem feldspatos. Em todos eles predomina o quartzo, havendo mais material argiloso do que nos siltitos inferiores.

### *Argilitos*

Não foram estudados com pormenores. Temos apenas a dizer que são sempre sílticos, ricos em quartzo, e agregados anisótropos de índice de refração sempre superior a 1,54. Os agregados argilosos são diferentes no aspecto da argila encontrada nos arenitos, que, como já vimos, é quase sempre caulínica, sendo característica sua forma em leque, o que não se vê nos argilitos. Tal fato vem confirmar a suposição da origem autógena do caulim existente nos arenitos, quando em forma de leque.

### c) Estratificação e condições de deposição

Em todos os sedimentos estudados, a estratificação é determinada simultaneamente pela cor e pela granulação. Tanto os arenitos como os siltitos apresentam a estratificação causada por estes dois fatores, simultaneamente. O tipo de estratificação está aliado, de um modo geral, à litologia, que muda na metade da perfuração. Assim, na metade superior, onde predominam sedimentos mais finos, como já vimos, a estratificação, quando existente, é horizontal ou levemente inclinada. Os argilitos não são geralmente estratificados. São manchados irregularmente de vermelho ou amarelo. Os siltitos raramente são estratificados. Quando o são, sempre observamos a coloração mais clara relacionada à granulação mais grosseira. Este fenômeno é facilmente explicado pela maior facilidade de acúmulo de matéria orgânica (a responsável pela coloração escura) nas ocasiões de maior calma das águas, onde vão predominar os clásticos finos. Os estratos são quase sempre milimétricos e sub-milimétricos.

A predominância de sedimentos finos, como também a raridade da sua estratificação (sendo esta horizontal, quando existente) indicam

condições calmas e monótonas de deposição. Os níveis de conglomerados existentes nessa primeira metade da perfuração, evidenciam mudanças na velocidade da água, que certamente foi o agente transportador dos sedimentos estudados da perfuração de Limoeiro e Cururu. No estudo do ambiente de sedimentação, voltaremos a ponderar êsses tópicos. Os seixos dos conglomerados ocorrem juntos à matriz arenosa (fina ou grossa). Num caso achavam-se em matriz argilosa.

Os sedimentos da metade inferior (onde predominam como já vimos, os clásticos arenosos) possuem estratificação diferente dos sedimentos de cima. Os estratos são sempre inclinados, sendo o ângulo em volta de 20 a 35°. Em uma amostra atinge anormalmente o valor de 50°, ângulo que não pode ser original em nenhum sedimento. Deve ter havido alguma perturbação, cuja natureza não conhecemos, posterior à estratificação original. Aproximadamente a metade das amostras observadas não apresentam estratificação.

Das amostras mais coerentes foram feitas algumas secções delgadas, não tendo sido observada estratificação microscópica. Nos arenitos, havendo estratificação, esta se relaciona à côr e à granulação. Intercalam-se finos leitos de sedimento escuro, carbonoso e quase sempre muito micáceo. Tais leitos são irregulares, às vêzes lenticulares e sempre inclinados. Frequentemente o arenito grosseiro passa bruscamente ao siltito preto, cuja espessura raramente excede 0,5 m. Na fig. 4 vemos os diferentes aspectos da estratificação. Na amostra dos 2.238 m, observamos a forma característica da estratificação cruzada produzida por água corrente. (*Shrock*, 1948, p. 245). Para desenharmos o fragmento de testemunho, o serramos longitudinalmente na serra de diamante e desgastamos a face obtida com carborundum fino. Desta forma, pudemos observar e esquematizar no plano os diversos tipos de estratificação. Notamos a estratificação cruzada, diagonal sendo as camadas de formas irregulares, em lentes delgadas ou cunhas. O siltito ou o material carbonoso dispõe-se sempre de maneira inclinada, formando delgadas lentes com frequentes estratificações cruzadas. Na amostra 2.673 m, vemos uma pequena falha, sendo que no plano da falha notamos delgada camada do mesmo material carbonoso. Dada a falta de amostras, não podemos opinar se se trata de uma falha de acomodação ou de uma falha tectônica.

Deve ser frisado que nos dois mil metros finais (do fundo), consecutivos, encontramos arenitos e siltitos com o mesmo tipo de estrati-

ficação, indicando pois, muita uniformidade nas condições de deposição. Trataremos dêste assunto com mais pormenores ao discutirmos o ambiente de formação dêsses sedimentos. Em outros casos, a causa da estratificação é sòmente a granulação. Porém a forma é sempre a mesma; estratos inclinados de espessuras variáveis, mais comumente centimétricos, mostrando estratificação cruzada.

d) Côr dos sedimentos: Predomina de um modo geral a côr cinzavermelha entre os arenitos; a côr preta a cinza escura entre os siltitos da segunda metade inferior e côres variegadas (clara, vermelha, amarela e verde) nos sedimentos finos da primeira metade da perfuração.

Não temos elementos para afirmar se as côres são primárias ou secundárias. Em alguns casos podemos afirmar que é secundária, pela variação irregular. E' o caso dos siltitos e argilitos existentes nos primeiros mil metros de cima para baixo, que são vermelhos, amarelos, brancos, esverdeados ou variegados. A côr vermelha é de um modo geral dada pelo cimento argiloso ora mais, ora menos abundante, conforme o sedimento. Nos arenitos e siltitos nota-se comumente ao microscópio uma película delgada, vermelha, de óxido de ferro, cobrindo os grãos. Em raros casos a côr vermelha é dada por pequenos pontos vermelhos, salpicados na superfície dos grãos, de maneira análoga aos siltitos vermelhos da série das Barreiras do rio Tapajós, estudados pelo autor (Amaral, 1954). Estes pontos têm de um a poucos microns de diâmetro. Também são vistos nos sedimentos verdes com o mesmo aspecto, porém, destituídos da côr vermelha. Tornam-se esverdeados. Acreditamos que a côr verde seja proveniente da redução dos sais férricos dos sedimentos vermelhos, dada a irregularidade da côr verde entre os sedimentos vermelhos, vistos macroscopicamente. A côr preta dos siltitos inferiores deve ser primária, motivada por material orgânico, carbonoso, pois ao fogo perde rapidamente a côr escura. O ácido sulfúrico e a solução concentrada de hidróxido de potássio não alteram a côr escura. Ao microscópio não distinguimos estrutura alguma que pudesse identificar a natureza animal ou vegetal. Contudo, a presença de carvão e de restos de resina encontrados, faz com que se pense em detritos, preferencialmente vegetais, contribuirem para essa coloração preta dos siltitos mais profundos. Por ser muito pequena a quantidade de resina, não nos foi possível a análise química, que poderia indicar a sua origem animal ou vegetal.

## 2 — *Perturação de Cururu*

De um modo geral, a distribuição dos sedimentos é semelhante nas duas perfurações, pois, em ambas predominam clásticos grosseiros na metade inferior e clásticos finos na metade superior. Em Cururu, o limite divisório não é exatamente a metade, e sim, o nível 2.500 m. Diversas outras semelhanças serão expostas no decorrer da descrição. A recuperação dos testemunhos foi menor que a de Limoeiro, não permitindo uma descrição pormenorizada. Por este motivo, não nos é possível citar com precisão as espessuras e a predominância dos tipos litológicos estudados. Em virtude do número de observações ser reduzido, não há necessidade de separarmos os diversos assuntos estudados, como fizemos com o material de Limoeiro. Assim, descreveremos simultaneamente o tipo de granulação, coerência, composição mineralógica, estratificação e côr, observando, quando possível, a predominância desta ou daquela rocha.

### a) Sedimentos marinhos (146 a 1.470 m)

**Litologia:** Até a profundidade de 1.500 m predomina o siltito ou arenito muito fino. São sempre muito friáveis, levemente acinzentados, às vezes esverdeados, quando muito glauconíticos. Raros são os que apresentam estratificação. Esta, quando existente, é pouco nítida e horizontal, havendo alternância de arenito fino e siltito, em camadas de menos de meio centímetro de espessura. A amostra situada no nível 620 m apresenta-se estratificada como conseqüência da intercalação submilimétrica de camadas constituídas de restos vegetais linhitizados no siltito claro, levemente micáceo. Outras vezes, alternam-se finos e irregulares leitos de siltito claro e argilito levemente esverdeado (amostra 495 m).

**Glauconita e diatomácea:** O fato mais notável é a presença de glauconita nas amostras existentes no intervalo de 495 a 1.468 m, consecutivamente, evidenciado a existência de sedimentos formados em ambiente marinho. A glauconita é encontrada somente nos arenitos e siltitos, junto aos grãos de 20 a 100 microns de diâmetro. A quantidade é muito variável em relação a outros minerais. Geralmente é mais abundante entre os grãos de 30 a 50 microns, perfazendo 5%, no máximo, dos grãos observados. Considerando o sedimento todo, a glauconita perfaz em volta de 0,5 a 1% dos grãos. Como as de Limoeiro, são transparentes

somente os grãos mais finos que 20 microns, quando observados em lâmina delgada, com luz transmitida. Sob a lupa, com luz refletida, apresentam-se com a forma globóide, que faz lembrar a forma das globigerinas. Não só esta forma, como também as cores (verde-escura a verde mais pálida) são tão características da glauconita, que julgamos desnecessário procurar outros caracteres físicos para confirmar a classificação.

Neste intervalo foram encontrados por *Petri* (1954) uns poucos foraminíferos fraturados, que podem ocorrer em água salobra ou salgada. Os fósseis certamente marinhos acima de 460 m, encontrados por esse autor, indicam águas quentes (corais e briozoários). Ao cuidarmos da questão do ambiente de deposição, veremos que é provável a ausência de glauconita, que, segundo *Hadding* (1932) se forma preferencialmente em águas frias. Encontramos na fração síltica das amostras 495 e 1.470 m algumas diatomáceas. As da amostra 495 m assemelham-se à *Melosira italica*, comparando-se as formas e as dimensões com uma das diatomáceas estudadas por *Okuno* (1952, p. 13, pl. 5). Trata-se de uma diatomácea de água doce. Certamente foi transportada e depositada com sedimentos marinhos. Já nos referimos que os sedimentos acima deste nível são certamente marinhos, segundo *Petri* (obra citada).

Composição mineralógica geral: Quanto à composição mineralógica dos arenitos e siltitos deste intervalo, temos somente a dizer que pouco varia. Predomina o quartzo límpido. Nas frações inferiores a 0,1 mm aparecem raros grãos de feldspato, quase sempre frescos. São de ortoclásio, havendo também plagioclásio sempre sódico. Nos grãos abaixo de 40 microns, encontramos às vezes o caulim, com a aparência de autígeno, como os de Limoeiro. Apenas uma das amostras é rica em feldspato (no nível 732 m). Outra amostra que merece ser citada novamente, pela variação na composição mineralógica, é a do nível 620 m, pela riqueza em fragmentos de restos vegetais na fase correspondente ao linhito. Esta amostra é também anormalmente rica em feldspato e glauconita. Como todas as demais, é bastante friável. A muscovita acha-se presente em quase todas as amostras deste intervalo, sempre em quantidade subordinada.

b) Sedimentos parálícos finos (1.700 a 2.375 m)

Litologia: Nestes 655 metros predominam os argilitos. Os siltitos são subordinados e os arenitos muito raros. São nitidamente mais coe-

rentes que os superiores já descritos, exceto os arenitos. Em dois níveis (1945 e 2375 m) ocorrem folhelhos pretos carbonosos, com porcentagem apreciável de restos vegetais em fase correspondente ao linhito, que dão forte coloração castanha à solução concentrada de hidróxido de potássio. A quantidade de material volátil varia entre 20 e 30%. Certos fragmentos chegam a arder à chama. Distinguem-se às vezes restos vegetais, porém sem estrutura favorável a uma classificação segura. Segundo informação verbal do Dr. *Octavio Barbosa*, há grande possibilidade de tratar-se de folhas de Monocotilodôneas. Os argilitos e siltitos pretos a cinzentos, freqüentes nesse intervalo, têm sua côr sempre relacionada à presença de restos vegetais linhitizados. Nos siltitos dipõem-se às vezes sob a forma de camadas finas, de poucos décimos de milímetro de espessura. Os argilitos não apresentam estratificação, de um modo geral, e os siltitos, às vezes. Quando apresentam estratificação, esta é pouco nítida, fina e irregular.

Composição mineralógica geral: Os siltitos e os raros arenitos são feldspáticos. O feldspato, cujo teor varia entre 10 a 20%, é normalmente límpido, predominando o ortoclásio. Os demais grãos são de quartzo límpido. A muscovita ocorre subordinadamente, em poucas amostras. Um dos arenitos (2.295 m) é interessante pelo fato de apresentar pequenos cristais de dolomita de 20 a 40 microns de diâmetro, aderidos à superfície dos grãos acima de 100 microns. Nas frações mais finas desse arenito, êsses cristaiszinhos acham-se soltos junto aos grãos de quartzo. O caulim está sempre presente na fração siltica dos arenitos que contém feldspato, devendo provávelmente provir da alteração deles (caso semelhante ao de Limoeiro, descrito atrás).

### c) Sedimentos deltáicos grosseiros (2.505 a 3.675 m)

Litologia e estratificação: Neste intervalo muda a litologia. Predominam nestes 1.170 metros os arenitos. São todos cinzento-claros, muito pouco coerentes, sem estratificação, exceto a amostra do nível 2.505 m, que se encontra próxima aos siltitos estratificados. Trata-se de um arenito fracamente estratificado, apresentando raros e delgados leitos submilimétricos, de material carbonoso, que se dispõem fazendo um ângulo de 20 graus de inclinação. Nas demais amostras não se nota macroscópicamente estratificação, talvez pelo fato de se apresentarem quebradas, dada a sua pequena coerência. Em alguns níveis encontram-

se seixos de quartzo de quase um centímetro de tamanho, porém esparsos, em pequena quantidade (2.643 m e 2.718 m). Outros arenitos são conglomeráticos (ver fig. 7), sendo que os seixos nunca ultrapassam 1 cm de tamanho. A maioria é de seixos inferiores a 0,5 cm, predominando sempre o quartzo.

Apenas em um nível (3.510 m) foi testemunhado um argilito duro, avermelhado, cheio de espelhos de fricção. Ao microscópio vêm-se manchas irregulares, vermelhas, dando a coloração aos agregados argilosos. Quanto aos raros siltitos, são compactos, cinzento-escuros, com intercalações milimétricas de siltito claro. Estas possuem formas lenticulares, irregulares e inclinadas. Possuem granulação mais grosseira que o siltito escuro, como em todos os casos até agora vistos. São encontrados no nível 2.565 m. A inclinação das camadas é de 10 a 20°. É interessante o fato deste siltito possuir quase dois metros observados de espessura, sempre com a estratificação oblíqua em relação à direção da sondagem. Segundo informações verbais, a direção foi sempre vertical, não sofreu inclinações durante a penetração, não ocasionando pois, erro na espessura dos testemunhos. Além disso, as variações do ângulo de inclinação e a semelhança com a maioria dos sedimentos estudados desse nível, excluem a possibilidade de tratar-se de causas tectônicas para tais inclinações. Assim sendo, este siltito provavelmente tenha-se formado em ambiente de águas levemente movimentadas, com pequenas oscilações na velocidade de deposição. A predominância de clásticos grosseiros, adjacentes a esse siltito, e a frequência de material carbonoso de origem vegetal, favorecem a suposição de tratar-se de sedimentos continentais. Oportunamente discutiremos a origem deltáica, atribuída aos mesmos.

Composição mineralógica e coloração: A composição mineralógica desses arenitos é muito uniforme até o nível 3.457 m. Em todos eles predomina o quartzo, ocorrendo também sempre o feldspato, que se torna mais frequente nas frações silticas. Predomina sempre o ortoclásio, aparentemente fresco, sendo muito frequentes plagioclásios sódicos. Na fração siltica de uns poucos arenitos encontra-se o caulim vermiforme ou sob a forma de leque. Nem todos os arenitos o possuem, não obstante serem feldspáticos. Possuem coloração cinzento-clara a quase branca.

É digno de nota o fato de encontrarmos, com grande frequência, em algumas amostras, grãos de quartzo facetados, semelhantes às amostras de Limoeiro. De 2.505 a 3.162 m são frequentes em todos os arenitos

estudados. Seguem 500 m sem os têrmos encontrado e finalmente, a amostra 3.675 m os possui em quantidade apreciável. A importância dêstes grãos facetados será discutida ao referirmo-nos à idade dos sedimentos em estudo.

De 3.510 a 3.675 m muda o caráter dos sedimentos. Passam a vermelhos, mais coerentes, às vêzes calcíferos, sendo que um dêles é excepcionalmente rico em feldspato e anfibólio. Quanto aos siltitos, são micáceos e feldspáticos. A coloração escura é dada por material orgânico, possivelmente vegetal, transformado na fase correspondente ao lignito, que ocorre em pequena quantidade, pois, dá uma coloração muito leve na solução concentrada de KOH. São freqüentes nesses siltitos, pequenos nódulos de alguns milímetros de diâmetro de pirita, certamente autógena, formada talvez a partir dos processos orgânicos, que são evidenciados pela côr escura do sedimento.

d) Diabásio (3.729 a 3.741 m)

Neste intervalo foram atravessados pela sondagem treze metros de diabásio. Os contactos com os sedimentos não foram testemunhados, por isso nada pode ser afirmado quanto à forma do jazimento, pois, não sabemos se se trata de intrusão ou derrame. O exame da textura sugere tratar-se de uma intrusão, seja na forma de "sill" ou de dique inclinado. A textura do diabásio é intersticial. Os cristais alongados de feldspato são de 0,1 a 0,5 m. A augita, raramente encontrada, ocupa os interstícios entre os plagioclásios, interstícios êstes que são ocupados por uma massa avermelhada anisótropa e microcristalina (vidro desvitrificado). Macroscopicamente nota-se no testemunho um plano quase vertical (tendo como base a direção da sondagem) no qual houve intensa movimentação, tendo-se formado uma zona milonítica. Nesta, formaram-se secundariamente clorita e calcita. O resto é constituído de uma massa muito fina, triturada e endurecida por cimento hematítico.

e) Sedimento arcossiano e argilito (3.742 e 3.510 m)

Após o diabásio, a sondagem perfurou mais 70 m de sedimentos, dos quais observamos dois níveis: o superior, 3.742 m é representado por um arenito pouco coerente, vermelho, com manchas irregulares, verdes, secundárias. Encontra-se neste sedimento o feldspato fresco: ortoclásio, raros plagioclásios e raras pertitas. Além dos feldspatos, há grande quantidade de grãos avermelhados, constituídos por um material mi-

crocristalino, assemelhando-se às vezes a uma textura porfirítica, quando examinados em secções delgadas. São certamente detríticos, pois, os grãos retidos na peneira de 500 microns apresentam-se nitidamente subarredondados. Os mais finos são angulosos. Supomos tratar-se de fragmentos de alguma rocha vulcânica, pela grande freqüência na textura semelhante à porfirítica. Tratar-se-ia de uma lava rica em óxidos de ferro, dada a intensa penetração de limonita hematizada nos grãos da suposta lava.

Entre os demais grãos, encontramos o quartzo, que perfaz menos de 20% dos grãos e raras placas de biotita. Podemos desta maneira classificar êstes sedimentos como um arcósio, com tendências a uma grauvaça.

Por fim, a última amostra estudada, a 3.812 m de profundidade é um argilito duro, vermelho, muito semelhante ao 3.510 m, já descrito.

f) Embasamento (3.862 a 4.048 m)

Embasamento cristalino. Atingido a 3.862 m e perfurado até 4.048 m. Predominam amostras de um granito róseo, às vezes evidenciando pequena alteração, quando observados macroscopicamente. A natureza desta alteração não foi estudada por falta de material amostrado. Numa das amostras, fresca no aspecto macroscópico, vista em secção delgada, notou-se o feldspato sericitizado parcialmente em todos os cristais examinados. Trata-se de um albita-granito, com a particularidade rara de não possuir feldspato potássico (sodaclase-tonalito de Johannsen) sendo o plagioclásio An 5%. Apresenta apatita, titanita, zirconita e magnetita, como minerais acessórios, e clorita, calcita, epidoto e leucoxênio, como minerais de alteração. A granulação é grosseira, tendo os cristais de albita e quartzo cerca de 0,5 cm de diâmetro máximo.

Outra amostra menos freqüente do embasamento, estudada em secção delgada é um diorito. Macroscopicamente é de coloração verde-escura, compacta, cheia de espelhos de fricção. Sua granulação é milimétrica. Ao microscópio mostra-se constituída essencialmente de hornblenda e feldspatos, predominando êstes últimos. A hornblenda é verde-escura a pardo-clara, conforme a posição de maior ou menor absorção. Os cristais atingem pouco mais de um milímetro de comprimento. Entre os feldspatos encontramos o ortoclásio, que parece predominar, e plagioclásio sódico, provavelmente albita. Os feldspatos estão todos alterados.

Medem de 0,3 a 0,6 mm de tamanho. Muito raramente ocorrem o quartzo e a calcita.

### 3 — *Perfuração de Badajós*

Embora não tenha sido possível o estudo de tódia a testemunhagem, pudemos examinar algumas amostras representativas dos sedimentos perfurados em Badajós. Essa perfuração tem pouco mais de 2.180 m. Atravessa exclusivamente sedimentos clásticos e termina no embasamento.

Nos 1.500 metros superiores examinamos siltitos, que predominam, e argilitos. Estes são avermelhados, duros, sem estratificação. Às vezes apresentam manchas verdes, formadas secundariamente. Os siltitos, mais freqüentes do que os argilitos, são cinzentos, mal estratificados ou sem nenhuma estratificação, apresentando o característico interessante de serem todos eles muito semelhantes nos seguintes caracteres: são altamente feldspáticos, sendo o feldspato quase sempre fresco, são levemente micáceos e possuem todos eles os mesmos minerais pesados. Faz exceção o primeiro testemunho, situado a 90 metros de profundidade. Trata-se de um sedimento fino, branco, altamente caulínico. E' provável ter havido a transformação total do feldspato, ausente nessa amostra e freqüente nas demais. A granada, mineral pouco estável, torna-se rara. Talvez tenha sido destruída pelos mesmos fatores que caulinizaram o feldspato. Esta suposição fundamenta-se no fato da granada existir em todos os outros siltitos examinados, e às vezes em alta porcentagem, como na amostra 1.246 m, que possui 90% de granada entre os minerais pesados. Por outro lado, é também possível que a granada primariamente já não existisse, desde o início da formação desse sedimento. Quanto aos demais minerais pesados existentes na amostra caulínica em estudo (testemunho n.º 1 — 90 m) são os seguintes: zirconita (mais de 90%), turmalina e raros grãos de cianita e apatita. Nos demais siltitos existentes nos primeiros 1.500 m, os minerais pesados são sempre os mesmos. A zirconita predomina quase sempre, e em seguida a granada, sempre freqüente. Às vezes ocorre a apatita. A turmalina é rara, sendo encontrada às vezes nos sedimentos mais profundos que 1.500 metros.

Estes fatores todos fazem com que se suponha ter havido condições monótonas nos processos genéticos desses 1.500 m de sedimentos. Assim, a província distribuidora que forneceu tais detritos deve ter sido

a mesma durante todo o tempo em que se sedimentaram êsses 1.500 metros. Deve ter ocorrido um afundamento lento, contínuo, em topografia suave. Os sedimentos devem ter sido formados em águas calmas e pouco profundas, tendo sofrido a ação dos agentes oxidantes superficiais, transformando os sais ferrosos em férricos, que provávelmente são responsáveis pela coloração vermelha dos sedimentos estudados.

Nos últimos 600 metros, além de siltitos cinzentos, encontramos arenitos. Os siltitos examinados são finamente estratificados, de maneira irregular. Não são feldspáticos como os de cima, sendo semelhantes apenas no conteúdo em minerais pesados. Os arenitos são ora cinzentos-claros, ora levemente avermelhados ou acinzentados. Não evidenciam estratificação nítida. Quando presente, é centimétrica e conseqüente da diferença de coloração. Examinados ao microscópio apresentam-se constituidos quase que exclusivamente de quartzo. Todos êles possuem pequena variedade de minerais pesados, e em pequena quantidade. A zirconita e a turmalina estão sempre presentes e, às vêzes, granada. E' freqüente ocorrer uma variedade rósea de zirconita, que só vimos nos sedimentos de Cururu. Também a granada é semelhante no aspecto às granadas de Cururu e diferentes das dos sedimentos de Limoeiro, que são bem características na sua forma escalonada do rombododecaedro. Característica digna de nota que apresentam três dêsses arenitos é o fato de apresentarem grande parte de seus grãos de meio a um décimo de milímetro de diâmetro, bem facetados, sendo freqüentes os cristais biterminados, examinando-se os grãos, prèviamente desagregados, sob a lupa binocular. Tal fato foi verificado nas amostras situadas a 1.500 m, 2.049 m e 2.157 m. O exame sob o microscópio, com os grãos imersos em óleo de cravo (cujo índice de refração é próximo ao do bálsamo do Canadá) relevou tratar-se de crescimento secundário em todos os cristais estudados, sendo bem nítido o quartzo acrescido, límpido e sem inclusões sôbre o primitivo grão, quase sempre bem arredondado, impuro e cheio de inclusões.

Finalizando, no embasamento examinamos dois tipos de rochas; a de 2.164 m de profundidade, que é um quartzo diorito. Macroscòpicamente assemelha-se a um diabásio, pois é escura, granular e de cristais submilimétricos. Constitui-se essencialmente de hornblenda, plagioclásio ácido, biotita e quartzo em menor quantidade. São freqüentes os halos pleocróicos na biotita, demonstrando, pois, a sua antigüidade. Abaixo desta rocha, a 2.185 m perfurou-se um quartzito escuro, inte-

ressante pela quantidade grande em ortoclásio e biotita, freqüentemente cloritizada, estando esta sempre com a mesma orientação, graças aos esforços sofridos no processo metamórfico. Em pequena quantidade é encontrada a zirconita, epidoto e, muito raramente, pequenos prismas de apatita.

Faculdade de Filosofia  
Ciências e Letras  
Biblioteca Central

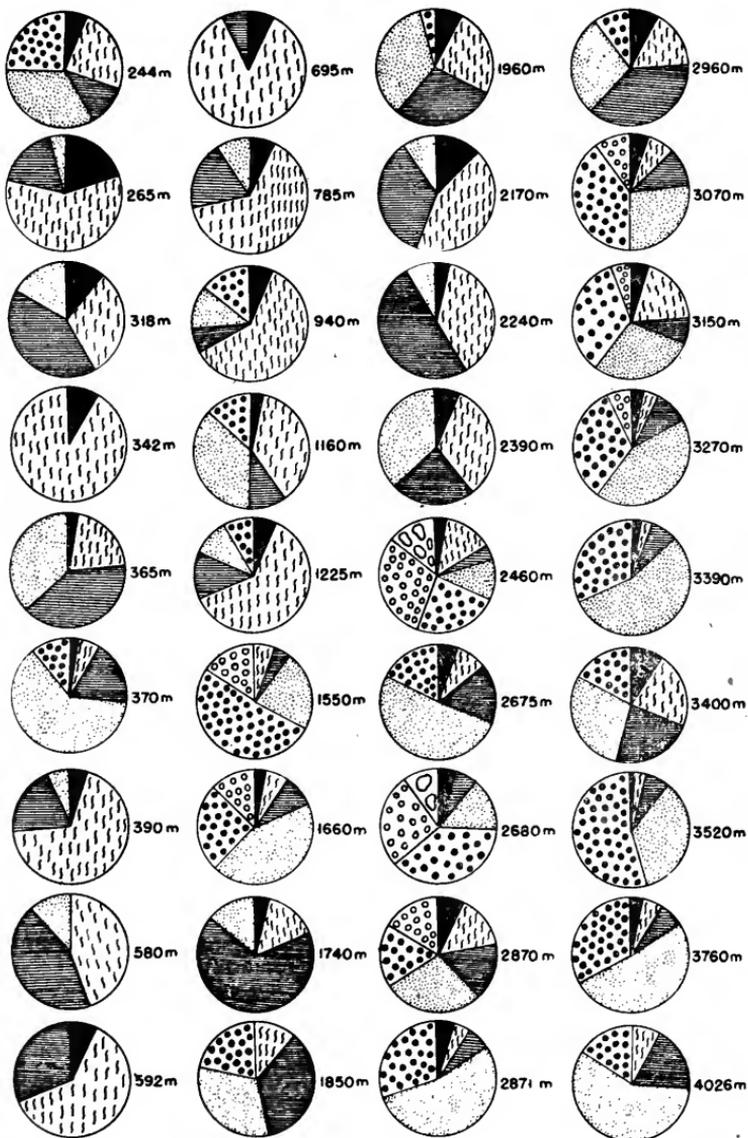
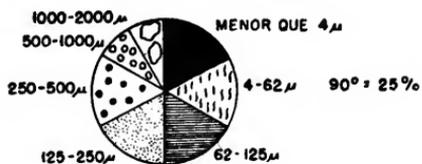
### III — GRANULOMETRIA

Tivemos como finalidade a comparação dos arenitos com outros, estudados por outros autores, para daí, julgarmos o provável ambiente de sedimentação, comparando os dados obtidos, como curvas acumulativas, valores estatísticos e gráficos granulométricos. Preferimos, ao em vez de histogramas, representar os sedimentos como vemos nas figuras 6 e 7. Dêste modo, torna-se possível a representação de maior número de amostras em espaço menor, o que facilita a comparação entre êles em conjunto, tornando-se, além disso, mais fácil a visualização das proporções entre os diversos tamanhos, segundo a escala adotada por *Wentworth*. E' bem nítida a predominância de arenitos finos. Em poucos casos predomina a fração grosseira nestes arenitos, que são mais freqüentes nos sedimentos de Cururu. Notamos a presença da fração argilosa em quase tôdas as amostras de Limoeiro, não se dando o mesmo com as de Cururu. E' possível que a maior quantidade de feldspatos nos arenitos de Limoeiro, uma vez alterados, produzam o caulim que se ajuntaria à argila detrítica. Como não temos meios para estabelecer a proporção entre caulim suposto autógeno e o restante certamente detrítico da argila, incluiremos tudo entre os elementos clásticos que compõem os arenitos estudados. Como já foi referido, supomos tratar-se de caulim autógeno pelo fato de não encontrarmos, nos argilitos adjacentes, êsse mineral, com a forma característica fibro-radiada observada no arenito, quando examinados ao microscópio. Sendo a quantidade de argila existente nos arenitos raramente considerável, não demos importância a êsse provável pequeno fator de êrro.

#### i — Sedimentos de Limoeiro

Examinando-se o gráfico da granulometria dos sedimentos estudados de Limoeiro, e o respectivo conjunto de curvas acumulativas, nota-se que predominam, na metade superior da perfuração, sedimentos mais

**LIMOEIRO**

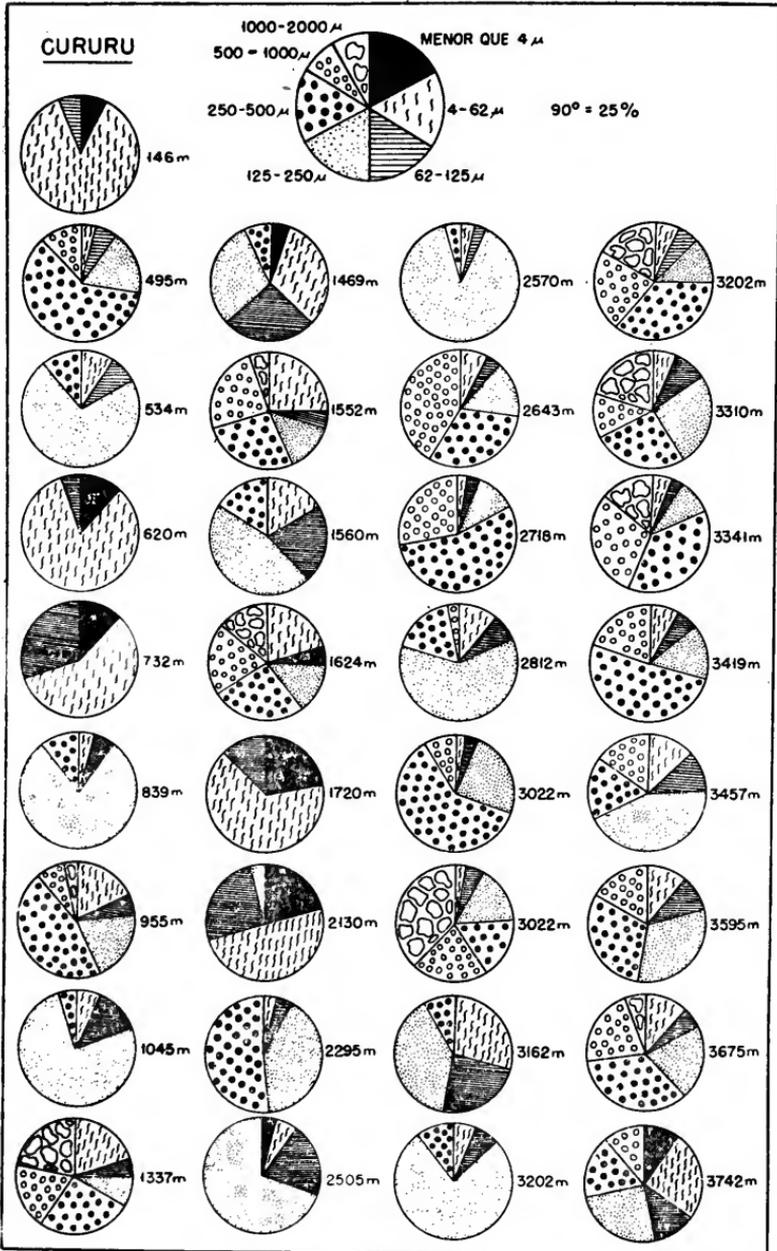


- Fig. 6 -

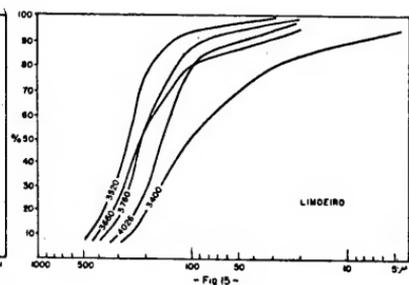
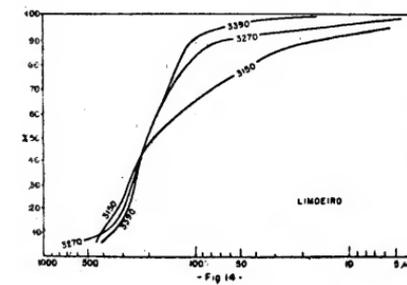
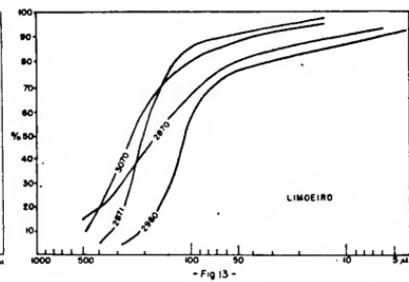
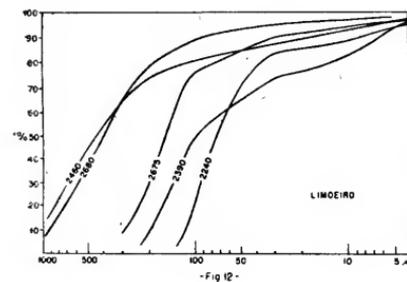
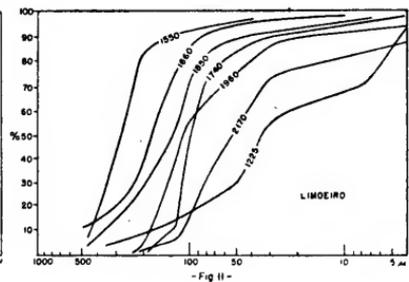
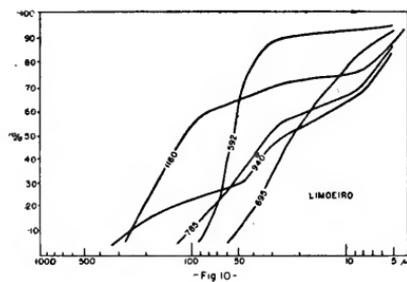
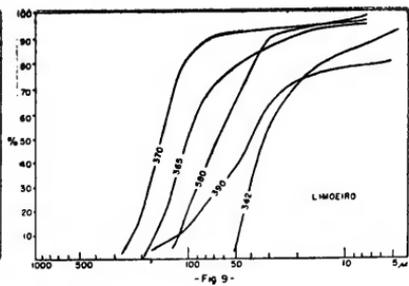
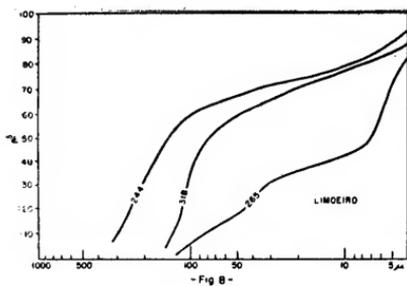
finos do que na metade inferior. Tivemos a precaução de estudar as amostras mais comuns, que melhor representassem a testemunhagem amostrada. Assim é que, das 17 amostras situadas na metade inferior da perfuração, 14 delas, ou 80% possuem grãos maiores que 250 microns em quantidade apreciável (areia média de Wentworth), sendo que em três figura também a areia grosseira, de grãos maiores que 500 microns. Já na metade superior não se verifica o mesmo: em 19 amostras, apenas 8 delas (40%) possuem quantidade apreciável de grãos maiores do que 250 microns. Examinando-se a tabela dos valores estatísticos, notamos nítida diferença entre os valores da distribuição média dos sedimentos superiores e inferiores. Entre os sedimentos superiores sempre predominam valores menores, comparando-se com os sedimentos inferiores. Quanto à fração argilosa, somente em quatro amostras está ausente, sendo que argila sempre figura em proporção raramente superior a 10%. Este fato é de importância no estudo da maturidade dos sedimentos, que será considerada no capítulo referente ao ambiente de sedimentação.

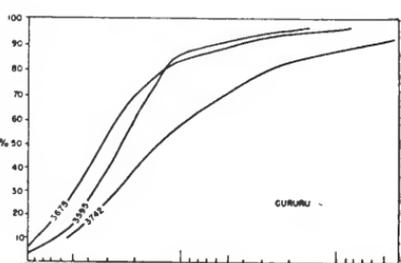
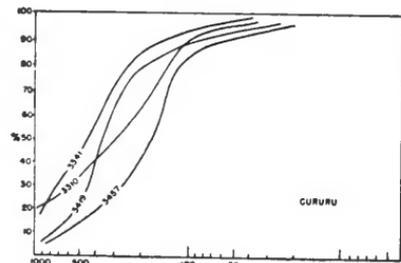
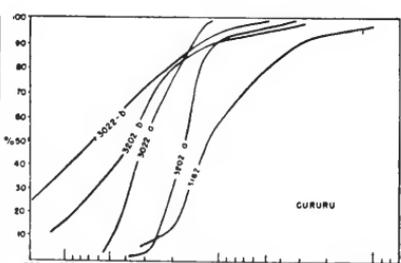
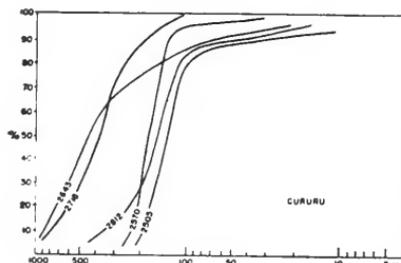
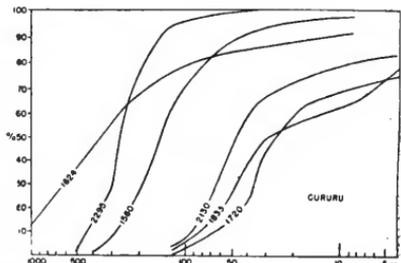
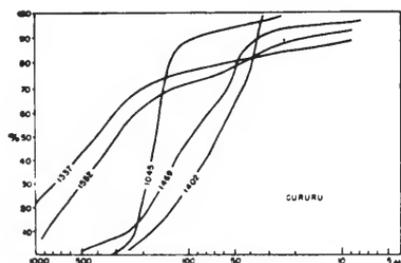
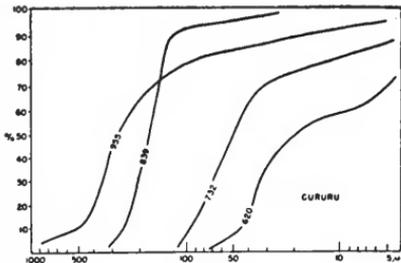
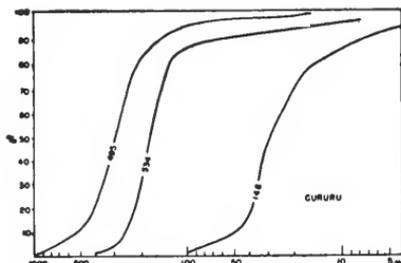
## 2 — Sedimentos de Cururu

Examinando-se o gráfico referente ao estudo granulométrico dos sedimentos de Cururu, comparado com o gráfico de Limoeiro, notamos duas diferenças bem frisantes: a primeira, como já nos referimos atrás, quanto ao teor em argila. Das 33 amostras postas em gráfico, apenas 8 contêm a fração argilosa. Os dois siltitos, a 1.720 e 2.130 m, são as únicas amostras de Cururu, em que a fração argilosa atinge pouco mais de 20%. Outra diferença está na maior porcentagem de arenitos, nos quais figuram as frações entre 500 e 1.000 microns (areia grossa) e entre 1 e 2 mm (areia muito grossa). A fração areia grossa é encontrada apenas em oito amostras de Limoeiro, sendo que destas oito, somente duas apresentam a fração muito grossa, ao passo que nos sedimentos de Cururu, dezoito amostras contêm grãos de areia grossa, sendo que, destas dezoito, nove possuem também a fração muito grossa. A predominância de arenitos grosseiros na parte inferior da perfuração e de arenitos finos na parte superior, é um dos fatores também correlacionáveis com Limoeiro, com um desnível também de 500 m aproximadamente. Este fato é mostrado no gráfico da correlação, fig. 29. É nítida a predominância dos arenitos ricos na fração média e grossa, situados abaixo



- Fig. 7 -





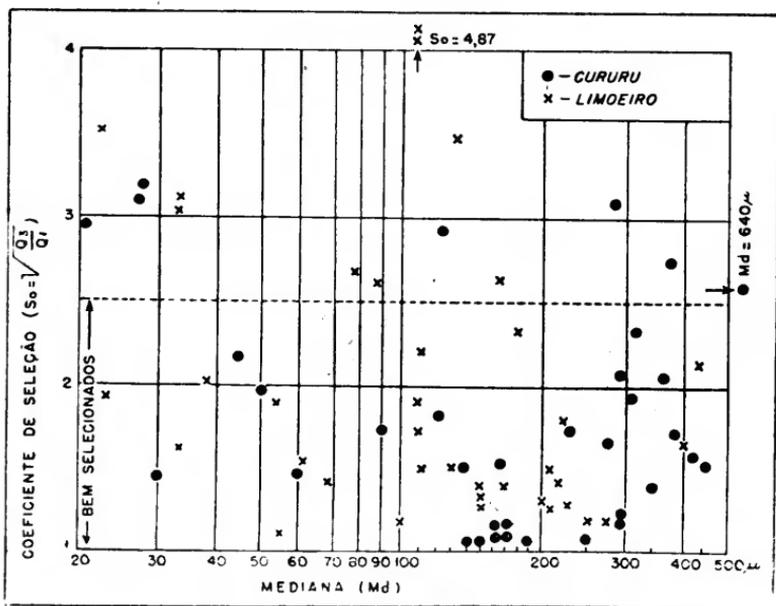
do nível 2.600 metros. O mesmo podemos observar quanto aos valores da mediana, que se torna diminuída para os sedimentos acima dêste nível, e aumentada para os sedimentos inferiormente situados.

### 3 — Considerações sôbre os dados estatísticos

TABELA DOS QUARTÊIS, MEDIANA E COEFICIENTE DE SELEÇÃO  
valores em mm

<i>Limoeiro</i>					<i>Cururu</i>				
Am.	Md	QI	Q3	So	Am.	Md	QI	Q3	So
244m	0,130	0,020	0,230	3,39	146m	0,030	0,017	0,036	1,45
265	0,007	0,005	0,037	2,72	495	0,300	0,230	0,380	1,28
318	0,080	0,016	0,115	2,69	534	0,170	0,145	0,210	1,20
342	0,034	0,017	0,044	1,61	620	0,019	0,004	0,035	2,96
365	0,110	0,060	0,140	1,53	732	0,050	0,018	0,070	1,97
370	0,150	0,110	0,200	1,35	839	0,170	0,140	0,220	1,25
390	0,038	0,016	0,065	2,02	955	0,270	0,125	0,400	1,79
580	0,060	0,038	0,090	1,54	1045	0,150	0,135	0,180	1,15
592	0,055	0,044	0,064	1,21	1337	0,370	0,115	0,860	2,74
695	0,022	0,010	0,036	1,90	1402	0,060	0,040	0,105	1,62
785	0,035	0,006	0,060	3,16	1469	0,090	0,050	0,150	1,73
940	0,023	0,006	0,074	3,50	1552	0,280	0,057	0,570	3,16
1160	0,115	0,008	0,190	4,87	1560	0,140	0,085	0,200	1,53
1225	0,035	0,007	0,065	3,06	1624	0,330	0,125	0,670	2,32
1550	0,280	0,230	0,380	1,29	1720	0,026	0,004	0,039	3,13
1660	0,170	0,125	0,260	1,44	1833	0,028	0,005	0,050	3,16
1740	0,100	0,074	0,115	1,25	2130	0,044	0,014	0,068	2,20
1850	0,130	0,100	0,230	1,52	2295	0,250	0,190	0,300	1,25
1960	0,110	0,052	0,150	1,70	2505	0,140	0,115	0,160	1,18
2170	0,053	0,027	0,090	1,83	2570	0,190	0,160	0,220	1,17
2240	0,070	0,045	0,094	1,44	2643	0,410	0,210	0,660	1,77
2390	0,090	0,020	0,140	2,64	2718	0,370	0,280	0,520	2,02
2460	0,430	0,165	0,780	2,18	2812	0,165	0,135	0,220	1,28
2675	0,145	0,094	0,200	1,46	3022-a	0,300	0,220	0,400	1,35
2680	0,400	0,230	0,675	1,71	3022-b	0,640	0,230	1,500	2,56
2870	0,165	0,046	0,320	2,64	3162	0,120	0,052	0,165	1,79
2871	0,220	0,140	0,250	1,34	3202-a	0,160	0,135	0,215	1,26
2960	0,110	0,044	0,145	1,82	3202-b	0,380	0,250	0,700	1,67
3070	0,230	0,125	0,350	1,68	3310	0,300	0,150	0,700	2,16
3150	0,180	0,053	0,280	2,30	3341	0,450	0,280	0,780	1,67
3270	0,210	0,130	0,260	1,41	3419	0,350	0,230	0,470	1,43
3390	0,200	0,140	0,260	1,36	3457	0,170	0,130	0,300	1,52
3400	0,110	0,038	0,190	2,24	3595	0,240	0,130	0,400	1,76
3520	0,250	0,210	0,340	1,27	3675	0,310	0,150	0,510	1,85
3660	0,210	0,125	0,300	1,55	3742	0,130	0,035	0,290	2,88
3760	0,210	0,140	0,270	1,39					
4026	0,150	0,110	0,210	1,38					

Para que o nosso estudo possa eventualmente servir para futuras comparações, julgamos conveniente a apresentação das curvas acumulativas (figs. 8 a 23), que representam as proporções dos diferentes tamanhos dos grãos, de maneira mais natural do que qualquer outro tipo de representação gráfica, pois sua configuração independe da escala granulométrica adotada. Por meio das curvas acumulativas, determinamos os valores dos seguintes dados estatísticos: primeiro quartel (75%- $Q_1$ ) terceiro quartel (25%- $Q_3$ ), mediana (50%-Md) e seleção ( $S_o$ ) valores êsses dispostos na tabela ao lado. As amostras estão designadas segundo suas profundidades em metros, e os valores dos quartéis e mediana, em fração de milímetro. Julgamos conveniente construir um gráfico, mostrando a relação entre os valores da mediana e da seleção, facilitando assim a visualização de tais dados como se vê na fig. 24. Vemos em primeiro lugar que 80% dos sedimentos estudados se apresentam bem selecionados. Dos 20% restantes, apenas um dêles é mal selecionado, tendo os demais seleção normal, de acôrdo com o critério



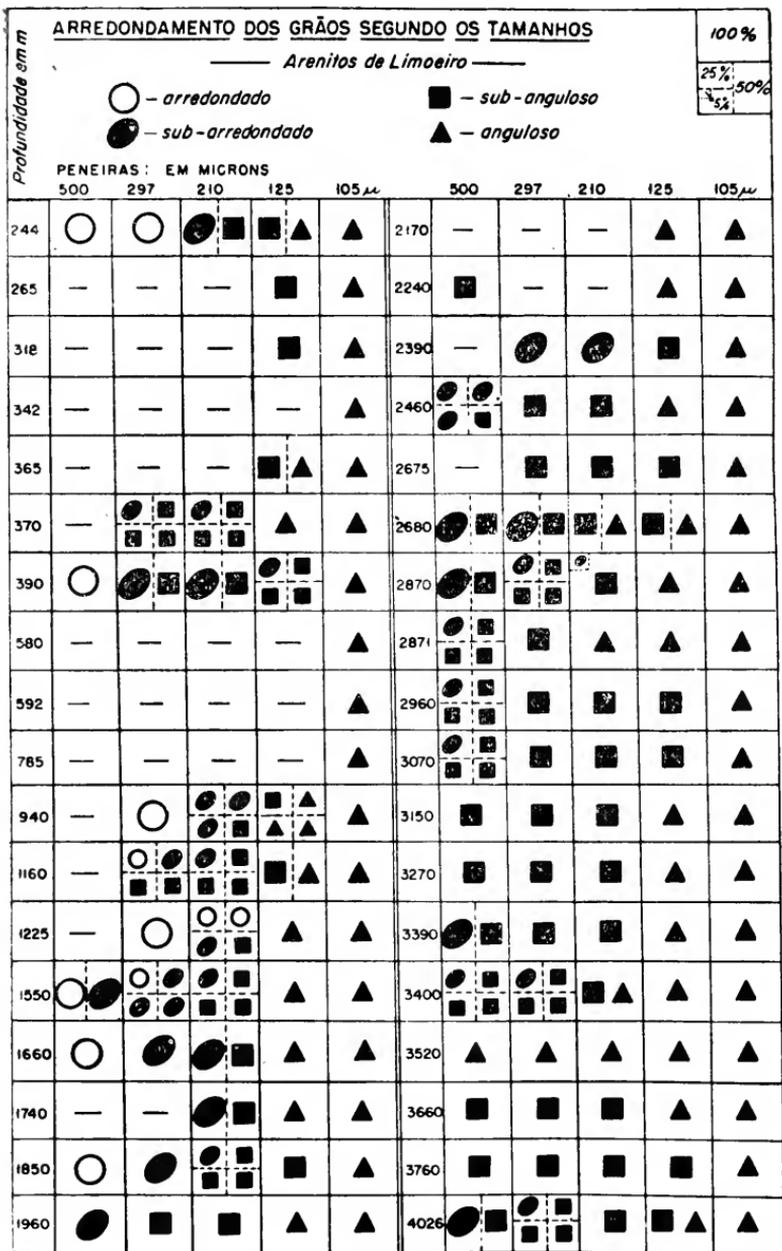
- Fig 24 -

proposto por *Trask* e adotado por diversos autores, entre eles *Twenhofel* e *Tyler*, (1941, p. 111). Em segundo lugar, notamos que 40 amostras possuem suas medianas compreendidas entre os valores 100 e 300 microns; outras 20 amostras, tendo as medianas entre 20 e 100 microns, e as 12 restantes, com medianas maiores que 300 microns. Além disso, em terceiro lugar, notamos uma certa concordância com as verificações feitas por *Wentworth* em 800 amostras estudadas (trabalho citado por *Inman*, 1949) de cujo estudo estabeleceu-se que, tendo a mediana aproximadamente 180 microns, a seleção é mais alta, em se tratando de sedimentos formados por águas correntes. Os sedimentos que possuem a mediana acima ou abaixo de 180 microns possuem estatisticamente um menor grau de seleção. No nosso estudo o número das amostras estudadas é insuficiente para conclusões seguras de natureza estatística. Não obstante, podemos notar uma certa concordância com o estudo citado de *Wentworth*, sendo que no nosso caso a maior seleção é a das amostras com mediana entre 100 e 300 microns, como podemos ver no gráfico anexo. Notamos também que das amostras mais altamente selecionadas, sete delas estão compreendidas entre 140 e 190 microns, valores próximos aos de *Wentworth*. Ao examinarmos as curvas acumulativas em conjunto, verificamos com grande clareza o que foi exposto, principalmente no gráfico das amostras 592 m a 1.160 m (fig. 10), e de 244 m a 318 m de Limoeiro (fig. 8), onde é bem nítida a inclinação da curva, denotando menor seleção. Nas curvas acumulativas de Cururu vemos o mesmo, para as amostras 3.742 m (fig. 23), 3.022-b m (fig. 21), 1.720 m (fig. 19) e 620 m (fig. 17) principalmente.

Julgamos oportuno chamar a atenção para as curvas 580 m e 592 m (fig. 9 e 10) de Limoeiro, cujo aspecto de boa seleção é compatível com o ambiente marinho em que se formaram, tendo em vista, como já vimos, a presença de glauconita em um deles. O mesmo observamos nas figs. 16 a 18, para os sedimentos glauconíticos de Cururu. Chama a atenção a falta de seleção da amostra 1.337 m, fig. 18, que não é glauconítica, nem se assemelha no aspecto da curva acumulativa a sedimento marinho. Encontra-se, contudo, entre sedimentos glauconíticos marinhos.

#### IV — ARREDONDAMENTO

Ao estudarmos o arredondamento dos grãos, não levamos em consideração a esfericidade, que nada tem a ver com o arredondamento,



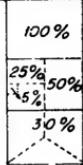
- Fig. 25 -

ARREDONDAMENTO DOS GRÃOS SEGUNDO OS TAMANHOS

— Arenitas de Cururu —

Profundidade em m.

- - arredondado
- - sub-arredondado
- - sub-anguloso
- ▲ - anguloso



PENEIRAS : EM MICRONS

	500	297	210	125	105 μ		500	297	210	125	105 μ
495	●	●	●	●	▲	2505	—	—	■	▲	▲
534	○	●	●	■	▲	2570	—	■	▲	▲	▲
620	—	—	—	■	▲	2643	●	■	■	▲	▲
732	—	●	●	■	▲	2718	●	●	■	▲	▲
839	●	●	●	■	▲	2812	○	○	■	▲	▲
955	●	●	■	■	▲	3022 a	○	○	■	▲	▲
1045	●	●	●	■	▲	3022 b	○	●	●	■	▲
1337	●	●	■	▲	▲	3162	●	●	■	▲	▲
1402	○	○	●	■	▲	3202 a	○	○	○	●	▲
1469	○	●	○	■	▲	3202 b	○	○	○	○	▲
1552	○	○	○	■	▲	3310	○	○	○	○	▲
1560	○	○	○	■	▲	3341	○	●	■	▲	▲
1624	○	○	●	■	▲	3419	○	○	○	○	▲
1720	—	—	○	■	▲	3457	○	○	●	●	▲
1833	—	—	—	■	▲	3595	○	○	●	■	▲
2130	—	—	—	■	▲	3675	●	■	▲	▲	▲
2295	○	○	○	■	▲	3742	■	▲	▲	▲	▲

- Fig. 26 -

pois um grão pode ser bem arredondado e alongado ou achatado, e vice-versa. Pode ser equidimensional, aproximadamente esférico, e apresentar arestas agudas, evidenciando pequeno desgaste. A importância da esfericidade pode relacionar-se à derivação do grão. O confronto das nossas verificações com os estudos de *Bokman* (1952) sugere que a contribuição de rochas metamórficas é pequena para a formação dos detritos de quartzo, mineral que forma a grande massa dos arenitos estudados, pois muito raramente é observado um grão alongado ou achatado. São todos, via de regra, equidimensionais. Parece-nos, contudo, que tal conclusão não deve ser generalizada para todas as rochas metamórficas. Nas de alto grau de metamorfismo (gnaisse) o quartzo apresenta-se com a forma equidimensional, não havendo, portanto, motivo para que se torne alongado ou achatado nos sedimentos, após desagregação e transporte. Em base dos estudos dos minerais pesados, veremos que houve a contribuição de rochas metamórficas, devendo provavelmente predominar as de catazona. Para podermos observar o grau de arredondamento em função do tamanho do grão, construímos os gráficos das figs. 25 e 26. Simbolizamos as proporções aproximadas entre os grãos arredondados, subarredondados, subangulosos e angulosos (ver métodos usados). Tivemos por finalidade simbolizar a predominância deste ou daquele tipo, contando os grãos sob a lupa binocular, com luz refletida. Assim, esquematizamos a totalidade, a metade, a terça e a quarta parte dos tipos observados e contados sob a lupa binocular. Colocamos no gráfico as frações retidas nas peneiras de malhas de 500, 297, 210, 125 e 105 microns, sendo estas frações suficientes para ter-se idéia da variação do arredondamento segundo os tamanhos, pois todos os grãos menores que 105 microns são angulosos e os grãos maiores que 500 não só são pouco frequentes, como também são, de modo geral, arredondados, iguais aos de 500 microns. Julgamos desnecessária a representação dos grãos bem arredondados, por serem muito pouco frequentes. Reunimos portanto numa só categoria — arredondados.

Do exame dos gráficos, figs. 25 e 26, verificamos o seguinte: diminuindo o tamanho dos grãos para qualquer sedimento, aumenta a angulosidade. Em apenas duas amostras de Cururu (3202-b e 3.310 m) encontramos uns poucos grãos arredondados entre os grãos finos e muito finos. Nas demais amostras todos os grãos apresentam-se angulosos, com diâmetro de 105 a 125 microns. Entre os grãos de 125 e 210 microns, as arestas apresentam em algumas amostras um início de desgaste

(grãos subangulosos). Em raros casos são subarredondados. Veremos adiante que estes arenitos estudados são de origem subaquática, tendo sido transportados por águas correntes. Assim sendo, estabelecemos, para o nosso caso, um limite entre 0,1 a 0,2 mm, abaixo do qual não há mais desgaste pelo rolamento sob a água dos grãos de quartzo. Digo para o nosso caso, porque na literatura não encontramos uniformidade para esse valor limite. Assim, para *Grout* (1932, p. 315) esse limite é de 0,05 mm e para *Ziegler* (autor citado por *Tyrrel* (1929, p. 195) é de 0,75 mm, sempre para o quartzo. O valor determinado em base das nossas observações é bem próximo ao obtido por *Russel e Taylor* (1937, p. 267) para as areias do rio Mississipi. O limite determinado por estes autores é de 0,147 a 0,208 mm.

Quanto ao arredondamento dos grãos maiores que 0,3 mm, representados nas colunas referentes às peneiras de 297 e 500 microns, notamos diferenças entre os arenitos de Limoeiro e Cururu. Analisemos os de Limoeiro, fig. 25: observamos claramente a maior freqüência de grãos arredondados nos sedimentos da metade superior do poço. Os grãos maiores que 0,5 mm são todos arredondados ou subarredondados, nas seis amostras onde figura esta fração. Os grãos maiores que 0,3 mm, mais freqüentes que os anteriores, apresentam-se comumente subarredondados a arredondados. Das 10 amostras, apenas em quatro aparecem grãos subangulosos. Na metade inferior do poço o aspecto é diferente: os arenitos apresentam seus grãos com angulosidade bem mais pronunciada que os da metade superior. Mesmo entre os grãos maiores que 0,5 mm, predominam os subangulosos. São raros os grãos subarredondados de um modo geral.

Com os arenitos de Cururu não se dá o mesmo. E' bem nítida a predominância dos tipos arredondados ou subarredondados entre os grãos maiores que 0,3 mm. Exceto as duas últimas amostras inferiores, vemos que quase todos os grãos maiores que 0,5 mm se apresentam arredondados ou subarredondados, ou ambos conjuntamente. Nos grãos de 0,3 mm a 0,5 mm, ainda são mais freqüentes os arredondados a subarredondados do que os subangulosos. Em dezoito amostras encontramos ainda os grãos subarredondados e arredondados nas frações maiores que 0,2 mm, evidenciando tratar-se de alto grau de desgaste, pois é evidente que, quanto mais finos os grãos, maior é a dificuldade para dar-se o desgaste, fato este evidenciado pelo gráfico e facilmente explicável por si mesmo. De acôrdo com os estudos de *Anderson* (1926) é

necessário que os grãos de areia percorram uma distância considerável para que se tornem arredondados. Teriam que percorrer várias vezes a distância do centro de qualquer continente ao mar. *Anderson* conclui então, da necessidade de ter ocorrido o retrabalhamento de antigos sedimentos, ou melhor, vários ciclos de erosão e deposição, para que os grãos arenosos se tornem arredondados. Desta forma, o estudo do rolamento dos grãos de sedimentos do passado não implica na velocidade das águas, que por último transportaram e depositaram tais grãos. Implica num passado bem mais complexo e remoto, havendo também a possibilidade do trabalho milenar das ondas, caso o sedimento seja praiano, onde o vai e vem das águas equivale a longo transporte. A presença de grãos arredondados nas frações finas e muito finas das amostras 3.202-b e 3.310 de Cururu, como já nos referimos, pode ser explicada pela contribuição de grãos eólicos: poder-se-ia admitir uma mudança temporária do clima, o que é muito improvável, ou então, a erosão de antigos sedimentos eólicos, o que é mais verossímil, pelas considerações que passaremos a expor: segundo observações de *Anderson* (obra citada), de oito desertos estudados da Ásia, em dois apenas os grãos de areia mostravam-se bem arredondados, sendo que nos seis desertos restantes as condições de topografia e direção de ventos eram ideais para o desgaste intenso dos grãos, que, no entretanto, não se apresentavam arredondados. *Anderson* explica que o processo é bastante lento, da mesma maneira que para os grãos arenosos aquáticos. No nosso caso, supomos que seria necessário longo período desértico para que os grãos adquirissem o rolamento. Se isso acontecesse, não há dúvida que a porcentagem dos grãos eólicos seria bem mais elevada.

Muito embora não haja ainda na literatura dados seguros e objetivos sobre o arredondamento dos grãos dos sedimentos, para efeito de comparação, apesar dos inúmeros e antigos trabalhos a respeito do assunto (cuja grande dificuldade é a de reproduzir no laboratório as condições da natureza), o estudo que fizemos a respeito, associado ao tipo de estratificação, seqüência e espessura dos sedimentos adjacentes e da análise mineralógica, estudos estes feitos em conjunto, podemos tirar conclusões no que diz respeito à maturidade, condições de transporte e ambiente de sedimentação de tais sedimentos, que passaremos a considerar nos próximos capítulos.

## V — MINERAIS PESADOS E DERIVAÇÃO DOS SEDIMENTOS

O estudo dos minerais pesados dos arenitos das perfurações teve em vista a determinação da correlação entre os sedimentos, saber quais as rochas fornecedoras dos detritos que originaram os sedimentos estudados e o seu grau de maturidade, em base da frequência dos minerais de menor estabilidade, considerando também a forma dos grãos e o grau de arredondamento dos minerais pesados. Nas tabelas apresentadas, os números das colunas correspondentes a cada mineral referem-se às suas respectivas porcentagens (do número de grãos contados) tendo sido retirados das peneiras 125, 105 e às vezes da 74 microns, quando a quantidade de sedimento era insuficiente. Foram desprezados os minerais opacos. Retiramos separadamente os minerais pesados dos grãos retidos na peneira 210 microns dos sedimentos de Limoeiro, a fim de constatar qual a diferença nas proporções entre os constituintes pesados segundo a granulação. Na descrição de cada mineral consideraremos esta questão.

### 1 — Arenitos de Limoeiro

Vemos na respectiva tabela que o mineral predominante é a zirconita. Encontra-se em todos os arenitos estudados, inclusive nos siltitos, que não figuram na tabela. Nos arenitos, a zirconita acha-se somente nas frações inferiores a 0,12 mm (inclusive) de tamanho. Não vimos um grão sequer maior que 0,2 mm, tendo sido examinadas tôdas as amostras nessa fração, separadamente. A zirconita de Limoeiro é sempre hialina, e, na grande maioria das vezes, apresenta-se bem arredondada, inclusive nos grãos de 0,1 mm de tamanho. Embora o limite para dar-se o arredondamento da zirconita seja inferior ao do quartzo, pela maior densidade, supomos, baseando-nos na opinião de *Sindowsky* (1949) e na de *Pettijohn*, (1949, p. 98) que tais zirconitas se tenham derivado ou de xistos para-metamórficos (que são igualmente antigos sedimentos) ou de antigos sedimentos retrabalhados. A mesma conclusão tiramos ao examinarmos a turmalina, mineral que também ocorre em tôdas as amostras estudadas. Nos primeiros 1.200 m, de cima para baixo, a turmalina é sempre prismática, angulosa. Tôdas as demais, de 1.200 m até o fundo, apresentam-se quase sempre bem arredondadas. A discrepância aparente destes 1.200 m iniciais, entre turmalina prismática

## LIMOEIRO — FREQUÊNCIA EM PORCENTAGEM DOS MINERAIS PESADOS

Prof. em m	Zirconita	Turmalina	Granada	Rutilo	Apatita	Andalusita	Baritina	Estaurolita	Monazita	Cianita	Anatásio	Siderita	Anfíbólio
244	49	20	—	tr	—	—	tr	8	—	23	—	—	—
265	60	15	—	16	—	—	tr	6	tr	tr	—	—	—
318	90	tr	—	10	—	—	—	tr	—	tr	—	—	—
342	75	10	—	12	tr	—	—	tr	—	tr	tr	—	—
365	70	10	—	12	tr	tr	—	4	—	4	—	—	—
370	10	tr	tr	tr	tr	tr	tr	35	—	12	—	35	—
390	66	10	—	5	tr	tr	—	5	—	13	tr	—	—
580	66	14	—	11	tr	tr	—	tr	—	9	—	—	—
592	76	9	—	12	tr	tr	tr	—	tr	tr	—	—	—
695	64	19	—	11	tr	tr	—	—	—	tr	—	—	—
785	82	12	tr	6	tr	tr	—	tr	—	tr	—	—	—
940	55	12	tr	12	—	—	—	15	tr	6	—	—	—
1160	25	34	—	12	—	—	—	25	—	4	—	—	—
1225	35	55	—	7	—	tr	—	tr	tr	3	—	—	—
1550	29	10	tr	—	tr	19	—	10	32	tr	—	—	—
1660	85	11	tr	4	tr	—	—	tr	tr	—	—	—	—
1740	69	19	—	12	—	—	—	tr	—	—	—	—	—
1850	91	5	—	tr	—	—	—	tr	tr	—	—	—	—
1960	80	6	—	tr	14	tr	—	tr	tr	—	—	—	—
2170	91	tr	tr	tr	tr	6	—	—	—	—	—	—	—
2240	86	tr	—	tr	14	—	—	tr	—	—	—	—	—
2390	62	tr	11	6	6	15	tr	—	—	—	—	—	—
2460	31	tr	46	—	8	5	10	tr	—	—	—	—	—
2675	23	tr	tr	tr	7	10	52	—	—	—	—	7	—
2680	tr	tr	12	—	tr	—	62	tr	—	—	—	26	—
2870	72	7	7	tr	tr	—	14	tr	tr	—	tr	—	—
2871	68	4	tr	tr	tr	tr	28	tr	—	—	—	—	tr
2960	50	11	tr	—	39	—	—	—	—	—	—	—	—
3070	40	9	10	5	36	—	tr	tr	—	tr	tr	tr	—
3150	44	tr	15	tr	32	—	tr	—	tr	—	9	—	—
3270	79	5	5	—	—	—	—	—	—	—	11	—	—
3390	22	8	5	—	65	—	—	—	—	—	—	—	—
3400	31	6	10	tr	31	12	tr	—	tr	—	10	—	—
3520	22	6	8	—	29	—	—	—	tr	—	33	—	—
3600	60	tr	tr	tr	15	22	—	—	—	—	—	—	—
3760	50	tr	8	tr	14	—	—	—	tr	—	9	19	tr
4026	55	tr	tr	tr	14	—	—	—	—	—	tr	31	tr

e zirconita bem arredondada é explicada pela diversidade das rochas erodidas, que forneceram os detritos. A grande variedade em minerais pesados indica uma grande e complexa área de erosão, e a pequena variação dos diversos tipos encontrados vem sugerir monotonia nas condições pretéritas de degradação da área que forneceu os detritos dos nossos sedimentos. A maior parte das turmalinas observadas deve ter sido formada primariamente em xistos, que possivelmente foram erodidos, resultando daí a formação de antigos sedimentos, cuja história não sabemos (se voltaram a ser rocha metamórfica ou simplesmente sedimentos retrabalhados) e, como consequência destes retrabalhamentos resultou o arredondamento dos grãos de turmalina. A suposição da derivação de xistos é baseada na ausência ou raridade em bôlhas ou inclusões, que caracterizam a turmalina derivada de granitos (*Krynine*, 1946). As turmalinas existentes nos 1.200 metros iniciais diferem das demais apenas no arredondamento. Quanto à coloração e ausência de inclusões, são semelhantes às demais. Ora possuem coloração verde a quase negra, segundo a maior ou menor absorção, ora são pardacentas, mais ou menos carregadas, a negras, dado o intenso pleocroísmo. A turmalina é encontrada entre os grãos da peneira 210 microns. Sua proporção relativa a outros minerais pesados não é alterada nesta fração. E', pois, penetrante em tôdas as frações, quando o sedimento é rico em turmalina.

Outro mineral que ocorre em quase tôdas as amostras de Limoeiro é o rutilo. Este mineral pode derivar-se de diversas rochas. Sua quantidade torna-se aumentada nas amostras acima de 1.200 metros (ver tabela). Nas demais, raramente aparece em quantidade superior a 2%. Acha-se sempre presente junto aos grãos inferiores a 0,1 mm, e sempre prismático. Quanto à baritina, cuja derivação é incerta, predomina nos sedimentos inferiores. Às vêzes é certamente detrítica, pelo seu aspecto arredondado. Possivelmente nas amostras 2.675 e 2.680 m, onde ela predomina sôbre os demais minerais pesados, seja autígena, pela sua forma muito angulosa. Como a alta friabilidade da amostra dificulta o preparo de uma secção delgada, continuamos na dúvida.

Quanto à granada, vemos na tabela que este mineral ocorre em quantidade apreciável nos 1.600 m finais da perfuração. Neste intervalo, tôdas as granadas têm o característico particular de apresentar nítido escalonamento em suas faces. As raras granadas existentes nas amostras superiores não se apresentam com esta forma, que por sinal só

foi observada em um arenito da parte profunda do poço de Badajós, e nas amostras 2.457 e 3.419 m de Cururu. Esta distribuição é compatível com a correlação geral das camadas, que será abordada posteriormente. Já a estaurolita e a cianita, minerais característicos de rochas de alto grau de metamorfismo (da mesma forma que a granada), ocupam distribuição contrária à da granada. Tornam-se mais freqüentes nos sedimentos mais próximos da superfície.

A estaurolita encontra-se em quase tôdas as amostras acima de 3.070 m, e a cianita somente acima de 1.550. Da mesma maneira que a granada, a estaurolita e a cianita tornam-se mais freqüentes entre os grãos maiores que 0,2 mm de diâmetro. Nesta fração é a granada o mineral que mais aumenta suas proporções em relação aos demais minerais pesados. Assim é que, em diversas amostras onde êste mineral aparece em quantidade inferior a 1% (nas frações inferiores a 0,12 mm), será o mineral predominante na fração superior a 0,2 mm. E' de importância frisarmos êste fato, que demonstra o cuidado que se deve tomar ao procurar-se estabelecer uma correlação. E' necessário que se examinem sempre as mesmas frações. Como a fração entre 0,1 e 0,2 mm é a mais freqüente entre os arenitos estudados, foi a escolhida para o nosso trabalho.

Dos minerais derivados preferencialmente das rochas magmáticas, encontramos a apatita, que por sinal se acumula nas amostras ricas em biotita. A apatita torna-se muito freqüente na fração da peneira 210 microns. A monazita distribui-se irregularmente a hornblenda ocorre em algumas amostras mais profundas, sempre em quantidade subordinada. O anatásio, cuja derivação é duvidosa, podendo mesmo ser autígeno, é encontrado de preferência nos arenitos mais profundos.

## 2 — Arenitos de Cururu

São pequenas as diferenças existentes entre os minerais pesados de Limoeiro e Cururu, como podemos ver, comparando as duas tabelas. Analisemos, pois, as principais diferenças encontradas. Principiando com a zirconita, que é igualmente o mineral mais comum e que ocorre em tôdas as amostras estudadas, temos a dizer o seguinte: são muito freqüentes as zirconitas prismáticas, mal arredondadas, características de rochas magmáticas ácidas. Estas zirconitas acham-se distribuídas de maneira irregular entre as amostras estudadas. Ora predominam, ora estão junto

muito semelhante às de Limoeiro, sob diversos aspectos. Já a granada se apresenta com forma diferente. Em algumas amostras (abaixo de 3.500 m) é rósea ou avermelhada e em duas amostras apresenta-se se-

*CURURU* — FREQUÊNCIA EM PORCENTAGEM DOS MINERAIS PESADOS

Cururu Prof. em m	Zirconita	Turmalina	Granada	Rutilo	Apatita	Andalusita	Baritina	Estauroлита	Monazita	Cianita	Anfíbólio	Epidoto	Brookita	Titanita	Topazio	Fluorita
146	22	17	8	—	4	11	25	—	—	—	12	—	—	—	—	—
495	67	14	—	tr	—	—	—	4	—	4	—	—	—	—	10	—
534	56	8	6	5	—	4	tr	19	—	tr	—	tr	—	—	—	—
620	57	11	—	—	15	—	—	16	—	—	—	—	—	—	—	—
732	34	22	tr	tr	3	tr	18	6	tr	6	—	7	—	—	—	—
839	71	9	—	2	—	—	—	3	—	6	—	8	—	tr	—	—
955	60	26	—	tr	—	—	—	3	—	9	—	tr	—	—	—	—
1045	51	20	—	2	—	3	—	9	—	6	—	tr	—	—	6	—
1337	68	11	tr	6	4	—	tr	9	—	—	—	tr	—	—	—	—
1402	47	28	tr	tr	—	—	6	7	—	11	—	tr	—	—	—	—
1469	46	31	tr	2	—	tr	3	10	—	7	—	—	—	—	—	—
1552	43	20	10	3	—	—	5	13	—	4	tr	tr	—	—	—	—
1560	28	22	7	3	—	2	12	14	—	6	4	tr	—	—	—	—
1624	30	16	16	—	2	—	10	15	—	tr	8	—	—	—	—	—
1720	11	35	—	7	—	9	28	8	—	tr	—	tr	—	—	—	—
1833	20	45	—	7	—	tr	—	27	—	—	—	—	—	—	—	—
2130	9	19	tr	tr	—	—	69	2	—	—	—	tr	—	—	—	—
2295	48	20	6	5	—	—	tr	20	—	—	—	—	—	—	—	—
2505	54	21	10	2	—	—	—	13	—	—	tr	—	—	—	—	—
2570	21	45	tr	tr	—	—	3	30	—	—	—	—	—	—	—	—
2643	70	12	5	—	—	—	—	12	—	tr	—	—	—	—	—	—
2718	55	20	tr	tr	—	—	—	13	11	—	—	—	—	—	—	—
2812	72	11	—	9	—	—	2	5	—	—	—	—	—	—	—	—
3022	27	7	57	1	—	tr	—	7	—	—	—	—	—	—	—	—
3162	39	16	32	9	—	tr	—	3	—	—	—	—	—	—	—	—
3202	39	6	44	3	—	—	—	7	—	—	tr	—	—	—	—	—
3310	84	13	2	—	—	—	—	tr	—	—	—	—	—	—	—	—
3341	77	8	7	tr	—	—	—	7	—	—	tr	—	—	—	—	—
3419	9	14	73	—	—	tr	—	3	—	—	—	—	—	—	—	—
3457	20	9	40	tr	—	—	—	tr	30	—	—	—	—	—	—	—
3595	5	—	17	tr	4	8	—	tr	—	—	61	—	4	—	—	—
3675	7	tr	10	tr	tr	—	4	—	—	—	77	—	—	—	—	tr
3742	42	—	43	—	—	—	—	tr	—	—	—	—	—	14	—	—

das bem arredondadas, e em outras amostras predominam as bem arredondadas. Comumente encontramos zirconitas avermelhadas ou róseas, não observadas nas amostras de Limeiro. Esta variedade torna-se mais freqüente nas amostras existentes entre 0 — 1.500 m. A turmalina é meliante na forma à granada de Limoeiro, como já foi referido (com escalonamento das faces). A raridade em apatita é outro fator que difere nas duas perfurações. Em apenas sete amostras foi encontrado este mineral, e em pequena quantidade. O anfibólio, também raro, está quase sempre presente nas amostras onde ocorre a apatita. E' provável que ambos se derivem da mesma rocha. Segundo a literatura, deveria ter sido uma rocha ígnea, ácida. Em três amostras apenas ocorrem topázio e fluorita, minerais que caracterizam a fase magmática fluida, seja do próprio magma, seja da rocha encaixante atuada pelos gases ricos em fluor.

### 3 — *Considerações gerais*

Em resumo, da análise mineralógica geral (resíduo pesado e fração leve, conjuntamente) concluímos o seguinte, quanto ao problema da derivação dos sedimentos:

a) Uma única, extensa e heterogênea área forneceu os detritos da fossa oriental amazônica. Única e extensa, pela identidade litológica (deduzida pela correlação) existente entre as duas perfurações. Havendo cêrca de 150 km entre uma e outra perfuração e sendo ambas correlacionáveis, devemos admitir uma área de abastecimento de extensão considerável. Heterogênea, pela grande variedade em espécies mineralógicas características de vários tipos de rochas.

b) O fornecimento dos detritos não foi uniforme e simultâneo durante o processo de sedimentação. Houve, em menor escala, e de maneira local, variações litológicas na área de abastecimento, fato êste inferido da observação de diversos minerais característicos para uma ou outra perfuração, como zirconita vermelha, fluorita, topázio, epidoto, etc. em Cururu, que não encontramos em Limoeiro, que por sua vez possui anatásio, siderita, provávelmente detrítica, e granada em cristais característicos, que não encontramos em Cururu. Também a biotita de uma e outra perfuração são bem diferentes. As de Cururu são pardas e as de Limeiro, esverdeadas, vistas ao microscópio.

c) Durante a sedimentação dos arenitos mais profundos de Limoeiro, houve proximidade de rocha magmática (ácida e básica), que foi a principal fornecedora de detritos. Esta conclusão é fundamentada na abundância em ortoclásio, plagioclásios, biotita, associados à apatita, hornblenda e muscovita.

d) Em ordem de importância, são as seguintes as rochas que forneceram os detritos: 1.º) Para os sedimentos de Limoeiro: rochas de alto grau de metamorfismo (xistos), incluindo sedimentos retrabalhados, rochas ígneas ácidas, e rochas ígneas básicas. 2.º) Para os sedimentos de Cururu: rochas de alto grau de metamorfismo, ao lado das ígneas ácidas, e muito escassamente rochas básicas. Em raros casos, rochas derivadas da fase magmática fluida pneumatolítica.

e) Os sedimentos de Limoeiro situam-se mais próximos à rocha fornecedora do que os sedimentos de Cururu. Os primeiros são nitidamente mais ricos em minerais de menor estabilidade, como apatita e feldspatos. Tendo em vista a inclinação das camadas obtidas pela correlação, o fornecimento da maior parte dos detritos deve ter sido aproximadamente de sul para norte, estando pois, os sedimentos de Limoeiro mais próximos da rocha fornecedora.

f) Na formação dos sedimentos inferiores de Limoeiro e Cururu, deve ter havido entre as rochas fornecedoras, rochas derivadas de tufos vulcânicos, ácidos, pela presença de grãos de quartzo idiomorfos, certamente de origem magmática. Este assunto será tratado mais adiante, ao discutirmos a idade dos sedimentos.

## VI — AMBIENTE E TECTONISMO

Abordaremos neste capítulo não só o ambiente de deposição, como também o ambiente e as condições da província distribuidora, juntamente com as condições tectônicas que deviam imperar durante a deposição. Admite-se que não só os diversos tipos de sedimentos como também suas diversas associações dependem, em grande parte, das condições tectônicas gerais, não somente do ambiente de deposição, como também do ambiente de degradação. O ambiente geográfico, encarado separadamente, não explica a diversidade de associações que podem ser encontradas em um mesmo ambiente, pois, em um caso, pode reinar es-

tabilidade tectônica e noutro, instabilidade. E' certo que o produto da sedimentação será função da reunião de todos êsses fatores em conjunto. Por êste motivo a identificação do ambiente de formação de uma rocha sedimentar é assunto delicado, que exige uma série de observações, sendo de grande importância as paleontológicas, que faltam no nosso caso. E' importante também o conhecimento das variações laterais, da existência e tipo das formações lenticulares e as feições em maior escala da estratificação. Pelo fato de estudarmos amostras de sondagem, carecemos dêstes dados de campo, assim como também dos paleontológicos, pela escassez em fósseis índices para ambiente.

Quanto às condições da área de degradação, sua topografia e sua tectônica também é assunto que exige muitos dados de campo. Por carecermos dêles, estamos sujeitos a falhas na interpretação dos dados. Além disso, são numerosas as condições que interagem e igualmente numerosas as combinações entre estas condições e suas respectivas intensidades, que vão determinar o aspecto final do sedimento estudado em conjunto, isto é, da associação litológica. Como exemplo destas condições, citaremos tipo de decomposição, topografia, litologia, vegetação, transporte, tipo de deposição, fatores êstes sempre associados às condições tectônicas, que, por sua vez, influem e podem mesmo determinar as condições já citadas.

### 1 — *Sedimentos inferiores*

a) Limoeiro: Analisemos então os sedimentos de Limoeiro, iniciando com os mais profundos. Como já foi referido na descrição da litologia, a primeira metade inferior desta perfuração constitui-se de arenitos raramente estratificados e siltitos escuros subordinados, com estratificação oblíqua (ver figs. 3 e 4). Um dado de real valor seria o da orientação dos testemunhos, a fim de verificar-se a existência ou ausência de uma direção preferencial na inclinação das camadas, fato de importância na classificação do ambiente. Com os dados de que dispomos, contudo, podemos afirmar que tais sedimentos foram transportados por águas correntes, cuja velocidade dificilmente pode ser precisada, dadas as grandes variações existentes numa mesma correnteza, conforme o lugar considerado e as turbulências na movimentação das águas. No trabalho de *Hjulström* (1939) lemos sôbre as dificuldades e a complexidade do transporte aquático. Segundo o gráfico apresentado por

éste autor, a velocidade mínima que transportaria em suspensão as partículas dos nossos sedimentos, seria muito diminuta. A maioria dos grãos, contudo, deve ter sido transportada por arrastamento, o que exige uma velocidade maior, velocidade esta, que, por sua vez, é inferior à do eixo do rio, dado o atrito mais intenso próximo ao fundo. De acôrdo com as nossas observações dos sedimentos das margens do rio Amazonas e alguns afluentes e segundo as descrições da granulometria dêste material feitas por *Katzer* (1903) a velocidade atual das águas deve ser pouco menor do que a velocidade das águas que transportaram os detritos dos nossos sedimentos em estudo.

Durante a sedimentação dos arenitos inferiores (2.000 a 4.000 m) de Limoeiro, muito provavelmente não devem ter havido grandes modificações na velocidade das águas, nem modificações de natureza topográfica na área de fornecimento, dada a homogeneidade da granulometria. Podemos admitir, pois, a predominância de um regime de afundamento contínuo, tendo havido uma distância não muito grande da rocha fornecedora e uma topografia montanhosa. Esta suposição é fundamentada também na abundância em feldspatos frescos e em minerais de relativa instabilidade como a granada e apatita. Vem fortalecer a nossa suposição um exemplo semelhante ao nosso, sob diversos pontos de vista; foi estudado e descrito por *Krynine* (1935) no golfo Campeche, região sul do golfo do México, onde há 4.000 metros de sedimentos terciários, cuja descrição muito se assemelha à dos nossos. Outro exemplo muito interessante pela grande semelhança com os nossos estudos são os sedimentos do distrito de Ventura, Califórnia, U.S.A., cuja descrição lemos no trabalho de *Cartwright* (1928). Há semelhança sob diversos pontos de vista; associação litológica, variação da mesma em relação à profundidade, caracteres estruturais e idade. Imaginamos, pois, terem ocorrido condições tectônicas e também de ambiente muito semelhantes às das nossas perfurações estudadas. Um terceiro exemplo de fossa tectônica aproximadamente sincrônica aos exemplos citados é a fossa do Recôncavo baiano com 3.000 m de profundidade de sedimentos. Diferre, contudo, na litologia; predominam os clásticos mais finos, folhelhos e arenitos silticos. Muito provavelmente tenham atuado, nestas áreas citadas, condições tectônicas semelhantes, juntamente com as mesmas variações nas respectivas intensidades, e talvez aproximadamente sincrônicas no tempo geológico. Tais coincidências nos levam a supor a exis-

tência de uma faixa provavelmente descontínua, instável, sujeita em determinada época a processos tectônicos similares, que deveriam ter atuado em larga escala, e em época geológica não muito remota.

Os restos vegetais carbonizados, que ocorrem nos arenitos inferiores, vêm reforçar a nossa suposição quanto às condições de formação, já descritas, de acôrdo com *Sloss e Krumbein* (1949, p. 91), de um afundamento rápido e deposição rápida, determinando desta maneira um conjunto de sedimentos com características tais, que se relacionem com um ambiente tectônico comum. Os autores citados acima denominam *tectótopo* a tal tipo de associação. Temos, pois, no nosso caso, 2.000 metros contínuos de um único tectótopo. A presença de siltito não deve implicar em mudança das condições tectônicas, pois os siltitos são também muito feldspáticos, semelhantes aos arenitos, e de espessuras pequenas. Além disso, encontram-se os siltitos quase sempre associados a arenitos, cuja granulação indica maior velocidade das águas. E' pouco provável que correspondam às fases oscilatórias do afundamento, que determinariam a paralisação das águas durante a ascensão. Segundo *Barrel*, autor citado por *Krumbein e Sloss* (1951), o afundamento nunca é contínuo. Faz-se por numerosas oscilações das quais resultam numerosas discordâncias na estratificação. E' possível que tenham ocorrido no nosso caso (o que não pode ser provado em amostras descontínuas de sondagem), porém, não necessariamente, determinando como conseqüência a formação dos siltitos, que exigem condições de menor velocidade das águas, ao se depositarem. Basta que tivessem ocorrido modificações locais como represamentos esparsos, freqüentes nos "topsets" subaéreos dos ambientes deltáicos (*Twenhofel*, 1932), para que se depositassem sedimentos mais finos, siltíticos. Freqüentemente ocorre êste fenômeno em sedimentos fluviais. E' muito freqüente a deposição de material argiloso sôbre conglomerados ou arenitos, pela formação de qualquer obstáculo que represe localmente a água. Êste aspecto é muito freqüente nos sedimentos recentes do rio Paraná, segundo nossas observações pessoais.

Nas perfurações em estudo, a provável totalidade dos detritos é de derivação continental, dada a predominância absoluta de clásticos grosseiros. A presença de sedimentos marinhos em ambas as perfurações, na parte superior, vem indicar o caráter intermediário entre ambiente continental e marinho.

Pela frequência na estratificação inclinada ou cruzada, de modo irregular, pela frequência em siltitos pretos carbonosos e pela ausência de calcários julgamos admissível o ambiente deltáico, predominando o "topset", ora subaéreo ora subaquático, dependendo das condições locais determinadas pelo afundamento da bacia. Além da associação litológica, compatível com a de ambiente deltáico (seg. descrição de *Twenhofel* (1932, p. 836), o exame da granulometria dos arenitos também favorece esta suposição, pelo aspecto característico das curvas acumulativas, indicando boa seleção, valor aproximado da moda e teor em argila. Entre os diversos autores que serviram de base para a comparação, citaremos um trabalho clássico de *Udden* (1914, p. 655) que apresenta as análises granulométricas de 371 amostras de diferentes ambientes.

Quanto ao fator maturidade destes arenitos, temos a considerar o seguinte: a boa seleção, característica para os sedimentos arenosos, formados nos ambientes de grandes extensões, é um indicio de maturidade. Quanto mais longo fôr o transporte, mais selecionado torna-se o sedimento. Por outro lado, a presença constante em argila, e a angulosidade dos grãos, dão aos arenitos o caráter de submaturidade a imaturidade textural, segundo o critério da classificação de *Folk* (1951, p. 127). O caráter submaturo desses arenitos é compatível com a energia originada pelas condições de relevo, condições tectônicas da área de fornecimento dos detritos e também das mesmas condições para a área de deposição, segundo *Pettijohn* (1949, p. 236). De acordo com este autor, não só a intensidade dos fatores, como também o tempo de atuação destes, dão ao sedimento o grau de maturidade. No nosso caso, o fator tempo está também em concordância com os demais fatores, pois veremos adiante que os nossos sedimentos são no máximo do Cretáceo superior.

A frequência com que aparece a cor preta deve ser explicada em base da velocidade de sepultamento, que permitiu a conservação da matéria orgânica. A coloração vermelha, muito rara nestes sedimentos da metade inferior, também indica pouca oxidação. Somente as amostras 2.460, 2.393 e 2.281 m, apresentam-se com a coloração vermelha.

b) Cururu: O considerado delta deveria ter sido de grandes dimensões, comparável em extensão aos maiores atuais, em vista da correlação existente entre as perfurações de Limoeiro e Cururu, cuja distância é de 150 km, aproximadamente. Assim sendo, o que foi dito até

agora para Limoeiro é perfeitamente válido para os 1.500 m contados a partir do fundo, excluindo evidentemente, o embasamento que não foi atingido em Limoeiro. Quanto à posição do diabásio de Cururu, situado a 3.736 m, não temos elementos para afirmar se é intrusivo nos sedimentos dêsse conjunto, ou se é intrusivo em sedimentos mais antigos. Não conseguimos dados suficientes que permitam a correlação segura dos sedimentos inferiores ao diabásio, com os demais sedimentos correlacionáveis, cuja semelhança e cuja correlação permitem a generalização do tipo de ambiente geográfico e também tectônico.

c) Ambiente tectônico geral: faltam-nos elementos para darmos uma classificação precisa ao ambiente tectônico que reinou durante a deposição dos sedimentos inferiores em estudo. Mesmo em áreas expostas, onde os afloramentos e as feições topográficas auxiliam o geólogo, não é problema simples o da distinção entre os ambientes tectônicos que determinaram certos depósitos sedimentares. Tal é o exemplo do Triássico de Connecticut, formação Newark, situado em uma depressão entre dois maciços de rochas cristalinas mais antigas, no vale do rio Connecticut (Foye, 1922). O primeiro estudioso atribuiu àquela depressão um afundamento sem falhas e, mais tarde, o estudo pormenorizado de fanglomerados provou tratar-se de uma série de falhamentos. É certo que os efeitos determinados pela "subsidência" ou pelo abatimento resultante de falhas serão semelhantes, se forem encarados de maneira local e, na hipótese de haver equivalência nas respectivas intensidades. Não há motivo algum para a litologia diferir num e noutro caso. Da mesma forma, o estudo pormenorizado de uma extensa área indicará a possibilidade da existência ou ausência de uma geossinclinal, onde predomina o regime de "subsidência" em relação ao de falhamento. Segundo *Krumbein* e *Sloss* (1951), entre os diversos fatores que vão determinar os caracteres de um sedimento, temos a intensidade, tipo e distribuição do tectonismo, não só da área de deposição como também da área de erosão. Pela falta de observações suficientes, não podemos afirmar categóricamente se houve uma série de falhamentos conjugados ou se houve abaixamento por inflexão do substrato instável, ou ambos conjugados. Como regra geral, há no centro das bacias, do tipo geossinclinal, um maior afundamento do que nas bordas, determinando assim uma variação litológica no sentido horizontal e também no sentido vertical, fato verificado em todos os sedimentos de geossinclinal. Embora

nas nossas perfurações a distribuição dos sedimentos não indiquem este tipo de variação, não podemos aplicar este critério ao nosso caso, pelo fato de conhecermos apenas duas perfurações.

Pelos dados geofísicos (fig. 1), observamos que a topografia do embasamento sobe abruptamente próximo ao local dos poços. Onde a profundidade do embasamento é pequena, corresponde provavelmente à área estável, denominada "craton". Assim, a zona entre Limoeiro e Cururu (sendo ambos os poços perfeitamente correlacionáveis entre si) representa a zona de afundamento, próxima e paralela ao craton, que, não obstante sua estabilidade, por definição, pode ter sofrido levantamento epirogenético rápido e contínuo. Poderíamos, desta forma, supor com certas reservas para os nossos sedimentos a possibilidade da existência de uma zeugogeossinclinal (do grego *zeygos*, parelha) ou de uma tafrogeossinclinal (do grego *taphros*, fôssio), tipo semelhante ao primeiro, segundo a classificação de *Kay*, transcrita por *Krumbein* e *Sloss* (1951). A zeugogeossinclinal caracteriza-se por uma série de bacias alongadas em afundamento, paralelas ao craton e separadas dêste por falhamentos. Fato digno de nota é a direção dessas referidas falhas (assinaladas por processos geofísicos) concordar com a direção dos falhamentos modernos ocorridos na área cristalina da região do Amapá, segundo verificações de *Leinz* (1949). Este Autor constatou que as cachoeiras nessa região se orientam segundo zonas de falhamentos (evidenciadas pela ocorrência de milonitos), cuja direção N-S é a direção mais freqüente das falhas existentes na fossa sedimentar em estudo. De acôrdo com os dados geofísicos, relativos à profundidade do embasamento, foi determinada uma bacia aberta, o que está de acôrdo com o tipo e distribuição dos sedimentos. Se fôsse fechada haveria a retenção da água e formação de sedimentos característicos de águas calmas, tranqüilas, o que não se verifica. A grande predominância é de sedimentos característicos de águas correntes. O suposto tipo — zeugogeossinclinal, é uma das três variedades de parageossinclinal, que são áreas onde o afundamento do substrato é menor do que nos ortogeossinclinais. São também de duração mais curta que êstes e de forma ovalada.

A formação Newark do Triássico de Connecticut é citada por *Krumbein* e *Sloss* (1951) como um exemplo de zeugogeossinclinal onde houve espessa formação de arcósios em um dos lados da bacia, caso semelhante ao nosso. A ausência de calcários (uma das rochas existentes na

associação litológica do zeugogeossinclinal) não invalida a nossa suposição. A explicação plausível é a maior proximidade com o craton continental em ascensão epirogenética contínua, determinando um regime predominantemente de águas correntes, sendo por isso mais propícia à formação de arenitos.

## 2 — *Sedimentos superiores*

a) Limoeiro: os sedimentos de Limoeiro, situados nos primeiros dois mil metros a partir da superfície, apresentam monotonia e calma nas condições de deposição, assim como nas condições tectônicas que regeram a sua formação. A grande predominância em clásticos finos, como argilitos e siltitos, a horizontalidade da estratificação, a ausência de estratificação cruzada, a freqüente ausência na estratificação quando existente e a ausência de lâminas lenticulares ou irregulares vêm evidenciar condições calmas de deposição. Assim é que pudemos observar espessuras de 12 m consecutivos de argilitos, próximo ao nível 760 m de profundidade. Outras vezes observamos cerca de 10 m também consecutivos de siltitos. A coloração vermelha ou amarelada torna-se muito freqüente, sendo pois possível ter havido modificações de natureza climática juntamente com as mudanças tectônicas.

Quanto ao tectonismo, temos a dizer que o abaixamento da bacia e o levantamento do continente continuaram, porém, em grau bem mais reduzido, não só na velocidade do abaixamento como também no grau de erosão, que se tornou mais lento. Ao discorrermos sobre a "compactação" dos sedimentos, abordaremos a possibilidade de haver uma falha separando estas duas metades, tão distintas sob tantos aspectos diferentes. Torna-se bem raro o feldspato, o mesmo acontecendo com a granada, cuja estabilidade à decomposição química é relativamente pequena, segundo *Sindowski* (1949).

Admitimos ter perdurado o ambiente intermediário entre mar e continente, tipo parálico lacustre, onde predominava a influência do continente na derivação dos detritos. Segundo *J. Tercier*, autor citado por *Pettijohn* (1949, p. 438) os sedimentos parálicos podem atingir muitas centenas de metros, sempre predominando os clásticos, ora depositados em água salobra, ou doce, ou marinha, com menor freqüência a última. Na amostra do nível 592 m, determinamos quantidade apreciável de grãos de glauconita junto à fração síltica. Além disso, a alta seleção

(ver fig. 10 e tabela estatística) e a semelhança com histogramas de sedimentos marinhos, como podemos ver no gráfico da granulometria (fig. 6), "mutatis mutandis", comprovam o ambiente marinho, e não intermediário para aquêlo nível, cuja espessura não conhecemos por falta de amostras. A ocorrência dos 14 níveis de conglomerados existentes neste intervalo pode ser explicada pela presença de rios que temporariamente vagueavam naquele ambiente, depositando os seixos, centimétricos e bem arredondados. Parece-nos ser mais plausível esta suposição, pois o aspecto dos arenitos adjacentes aos seixos condiz mais com o ambiente fluvial, dada a presença de argila e dado o aspecto granulométrico característico. E' provável também que êsses níveis de conglomerados correspondam a fases de afundamento mais ativo, fazendo com que os rios aumentassem sua velocidade e, portanto, sua competência para o transporte. E' altamente improvável haver relação com os falhamentos situados nas proximidades das perfurações (assinalados por processos geofísicos), pois a pequena distância entre as falhas e o local perfurado não é suficiente para promover o desgaste a ponto de arredondar os seixos. Houve, certamente, longo transporte para ter-se dado o arredondamento, devendo ter sido em ambiente fluvial. Adiantamos que as falhas assinaladas geofisicamente parecem concordar com os nossos estudos sobre a "compactação" dos sedimentos; neste caso, as falhas seriam posteriores à sedimentação da fossa, nada tendo a ver, portanto, com a formação dos sedimentos em estudo.

b) Cururu: Quantos aos sedimentos de Cururu, situados acima do nível já referido, 2.500 m (notar a correlação com o nível 2.000 m de Limoeiro, fig. 29), embora sejam diferentes sob alguns aspectos dos de Limoeiro, podemos considerar as mesmas condições tectônicas, variando por vêzes o ambiente geográfico. A grande predominância em sedimentos clásticos finos indica também, como em Limoeiro, condições tectônicas mais calmas. Nestes 2.500 m de cima para baixo predomina a cor escura, às vêzes preta, denotando ausência de processos oxidantes. Não devem ter sido expostos em contacto com a atmosfera, como em Limoeiro. Admitimos a existência de um ambiente de lagoas marginais próximas ao mar, em afundamento lento, porém, sempre contínuo. Da mesma maneira que em Limoeiro, por vêzes mudava o ambiente para fluvial. E' fato comum os rios mudarem de lugar, graças à formação de barreiras nos lugares limítrofes com o mar, pela meandragem, determi-

nando assim intercalações de sedimentos fluviais e fluviolacustres junto aos sedimentos de ambiente parálico. Finalizando, vemos na fig. 29 que mais acima se evidencia o ambiente marinho pela presença da glauconita. A amostra mais profunda glauconítica é a 1.469 m, indo até a amostra 495 m, acima da qual não vimos mais glauconita, porém, continuando o ambiente marinho até 245 m, segundo estudos paleontológicos de *Petri* (1954, p. 17). Em todo êste intervalo, a única amostra não glauconítica estudada é a 1.337 m, coincidindo perfeitamente com a falta de aparência de arenito marinho, segundo a granulometria. Vemos nas figs. 7 e 18, que se trata de um arenito com quase 50% de grãos acima de meio milímetro, e um valor mais elevado para a seleção ( $So = 2,74$ ) em relação aos arenitos marinhos adjacentes. Segundo *Petri*, o intervalo 460 a 245 m apresenta características marinhas bem nítidas, segundo os fósseis. Embora tenhamos observado somente a amostra do nível 146 m, amostra esta não glauconítica, supomos, com reservas, que neste intervalo não haja mais glauconita, dada a abundância em fragmentos de corais e briozoários, estudados por *Petri*. E' improvável que se desenvolvessem juntamente com a glauconita, por motivos climáticos. Segundo *Hadding* (1932, p. 159), a glauconita não se forma em temperaturas quentes e ambiente oxidante. Por êste motivo, não ocorre junto a corais nem briozoários, fósseis êstes encontrados no intervalo 460 a 245 m. Tal fato vem sugerir a possibilidade de ter ocorrido uma mudança climática, na hipótese dos corais serem de recife, isto é, de águas quentes. As demais condições necessárias para a formação da glauconita, como proximidade do litoral, águas no máximo até 200 m de profundidade, ausência de oxigenação do meio e pequeno grau de deposição de detritos durante sua formação, concorda plenamente com os caracteres litológicos e com a associação litológica do ambiente tectônico e geográfico, já descrito atrás, juntamente com as condições climáticas. Além disso, a freqüente presença de substâncias vegetais na fase linhítica e a ausência da coloração vermelha nos sedimentos dêste intervalo, vêm concordar com as condições apresentadas por *Hadding*, isto é, predominância de condições não oxidantes.

## VII — IDADE GEOLÓGICA

Não temos dados suficientes e seguros para determinarmos com certeza a idade dos sedimentos estudados. Podemos apenas limitar a

idade ao Jurássico inferior, no máximo, havendo contudo, maior possibilidade de serem sedimentos do Cretáceo Superior a Terciário, os situados na parte mais profunda dos poços, cuja correlação permite que sejam abordados conjuntamente. Citaremos então os argumentos que nos levaram a tais conclusões:

### 1 — *Complexidade da composição mineralógica*

Segundo *Pettijohn* (1941), quanto mais antigo fôr o sedimento, mais simples se torna o seu conteúdo mineralógico, predominando os minerais mais estáveis. Temos no nosso caso não só uma composição complexa, isto é, número grande de espécies mineralógicas, como também vários minerais instáveis, característicos de sedimentos cenozóicos. Entre eles a andalusita, que se encontra em rochas de idade mesozóica a recente, seg. *Pettijohn* (1941). É mineral raríssimo em sedimentos paleozóicos, e mais ou menos comum nos pré-paleozóicos, fato este que não intervém no nosso caso. Também a hornblenda e o epidoto podem ser citados, confirmando a idade cenozóica, embora sua frequência seja pequena. Uma discrepância aparente é notada quanto ao número de espécies de minerais pesados em relação ao gráfico da página 616 do trabalho citado de *Pettijohn*, gráfico que relaciona o número de espécies mineralógicas segundo a idade do sedimento. Os nossos sedimentos deveriam conter cerca de 12 espécies diferentes, para que fôssem considerados terciários. *Pettijohn* estabeleceu, baseado em dados estatísticos, números mais elevados de espécies mineralógicas para os sedimentos mais recentes, pela razão da maior possibilidade de ter havido a dissolução dos minerais menos estáveis nos sedimentos mais antigos. Em nossas tabelas referentes aos minerais pesados, vemos que o número de espécies mineralógicas é sempre inferior a 12. A razão disto é o fato de termos desprezado os minerais opacos, sempre presentes em todas as amostras estudadas, e muitas vezes em grande predominância, contudo, sem interesse na correlação, pelo fato de serem penetrantes nas duas perfurações e de difícil reconhecimento.

### 2 — *Diatomáceas*

Na fig. 5 estão assinalados os níveis em Limoeiro nos quais encontramos diatomáceas, sempre nos arenitos, junto à fração síltica, entre

16 e 32 microns, e sempre em quantidade muito pequena. A ocorrência mais interessante, evidentemente, é a do nível 3.760 m (Limoeiro) por ser a mais profunda. Por uma casualidade, os raros fragmentos de diatomáceas encontrados (sendo apenas duas inteiras) achavam-se neste fragmento estudado, pois, em outras amostras da mesma profundidade, não tornamos a encontrá-las. Tivemos a precaução de examinar a lama da sonda, aderida à mesma amostra, e concluímos não ter havido contaminação. Essa amostra (3.760 m de Limoeiro) foi tratada com água destilada. As demais, tratadas com água de torneira, não devem ter sido contaminadas, pois, segundo informações verbais de *Jordano Marniero*, estudioso no assunto, não há resíduos de diatomáceas nas nossas águas de torneira. Trata-se provavelmente do gen. *Denticula*, pela semelhança com as diatomáceas estudadas por *Ruttner* (1932), que as encontrou no plancton e nos sedimentos do lago Toba, Sumatra. Embora não haja certeza absoluta, não se acredita na existência de diatomáceas em sedimentos mais antigos que o Jurássico inferior (*Emberger*, 1944, p. 58). Confirmando êste limite para a idade, encontramos em Cururu nos níveis 1950 e 2360 m, folhelhos altamente carbonosos, com restos de plantas provavelmente monocotilodêneas, que também só existem em sedimentos do Jurássico superior ao recente.

### 3 — *Indícios de vulcanismo*

Já nos referimos da abundância com que são encontrados grãos de quartzo com faces cristalinas. Acham-se nos arenitos da parte mais profunda das três perfurações, sendo que em Limoeiro e Cururu, o limite destes arenitos acompanha a correlação geral, como vemos na fig. 29. Não vimos nenhum cristal perfeito, e sim, faces freqüentemente esparsas em escalonamento pela superfície dos grãos. A fim de constatar a continuidade e a freqüência dos arenitos com tais grãos, observamos sob a lupa quase 50 amostras de diferentes níveis, no intervalo 4.026 até 1.600 m de Limoeiro. Observamos que todos êles continham maior ou menor quantidade de quartzo facetado, cuja quantidade é variável. Em raros casos atinge 50% dos grãos contidos nas frações entre 0,15 a 0,30 mm aproximadamente. Os mais finos e os mais grossos que êsses limites muito raramente apresentam facetas. Como se vê na fig. 5, a presença destes grãos em Limoeiro coincide com a presença de arcósios e também com o período de atividade tectônica mais intensa.

Este tipo de grão deve ter origem vulcânica. Não há outra explicação para a existência de uma quantidade tão grande de cristais idiomorfos. Devem, pois, ter origem análoga aos tufos ácidos depositados no lago Toba, Sumatra, estudados por *Leinz* (1933), com a diferença que estes tufos apresentam cristais idiomorfos bem conservados, pois, sofreram curto transporte. Além do caráter idiomórfico dos grãos facetados das perfurações, cuja melhor explicação está na derivação vulcânica, temos a favor desta suposição os seguintes argumentos: a) — Ocorrência de vidro vulcânico em sedimentos da série Barreiras em Alter do Chão, Pará, estudadas pelo autor (*Amaral*, 1954), indicando ter havido vulcanismo terciário. b) — Constatação de vulcanismo postcretáceo citado por *Moura* (1938, p. 65), que descreve camadas cretáceas fossilíferas, (fólias de dicotiledôneas) perturbadas pela atividade vulcânica, posta no Cretáceo com reservas pelo autor citado, que acha que “mui temeraria seria, sem mais elementos, a fixação de sua idade no terciário”. . . “uma vez que não se tenha notícias do vulcanismo andino no Brasil”. c) — A instabilidade tectônica recente, segundo estudos geomorfológicos e constatações de terremotos na Amazônia feitas por *Sternberg* (1950) são fatores compatíveis com a existência de atividades vulcânicas não muito remotas. d) — As atividades vulcânicas andinas durante todo o terciário, no Peru (Cordilheira dos Andes), caracterizam-se pela sua acidez, tendo havido grandes intrusões de granodiorito e andesito riolítico, segundo *Steinmann* (1930, p. 316), que cita a ocorrência de muitas centenas de metros de tufos ácidos e brechas vulcânicas, tendo predominado o vulcanismo ácido explosivo. Tais tufos, depois de terem sido espalhados pela explosão, poderiam ser retrabalhados e transportados. e) — Ocorrem fragmentos muito semelhantes a quartzo pórfiro entre os grãos inferiores a 0,12 mm de um arenito da perfuração de Limoeiro, a 1550 metros de profundidade.

Encarados estes tópicos em conjunto, aventamos a possibilidade da contribuição de detritos derivados das atividades vulcânicas terciárias, da fase andina, após o retrabalhamento dos tufos previamente depositados. Verificamos assim a coincidência interessante do diastrofismo andino (cujo material vulcânico foi transportado por uma drenagem de oeste para este) com a intensa atividade tectônica no lado oriental, que foi responsável pelos arenitos arcosianos de Limoeiro. Segundo *Katzer* (1903, p. 238), a drenagem na bacia Amazônica era de este para oeste, tendo invertido após o levantamento andino, que teria ocorrido no Mio-

cenio médio. Esta data está em desacôrdo com os estudos mais recentes e mais pormenorizados de *Steinmann*, e também com a determinação de idade em bases paleontológicas estabelecidas por *Petri*, que determinou camadas miocênicas no tôpo da perfuração de Cururu. A parte superior das perfurações, situada acima do nível 1.600 m para Limoeiro e acima de 2.300 m para Cururu (linha que separa a presença e ausência de quartzo facetado, fig. 29), onde os sedimentos estão em provável discor-dância com os inferiores (como será visto adiante, ao tratarmos da "compactação"), é posta no Eoceno ou Oligoceno por *Petri*, em base dos foraminíferos encontrados no intervalo 1.692 a 740 m da perfuração de Cururu.

Além das perfurações, o autor encontrou grãos de quartzo facetados em mais duas localidades do Pará: Aveiros e São Luís (fig. 1). Em Aveiros, nos arenitos da série Barreiras e em São Luís em um quartzo pórfiro, cuja idade é discutida pelo autor. Nessas localidades, a causa das facetas nos grãos de quartzo é o crescimento secundário, sempre verificado nos grãos superiores a 0,15 mm, graças à menor superfície relativa de contacto que vem determinar uma tensão de vapor menor, permitindo portanto a deposição secundária da sílica (*Keller*, 1954, p. 67), que se dá em perfeita continuidade ótica, portanto estrutural com o primitivo grão. E' interessante o fato dos próprios fenocristais do quartzo pórfiro de São Luís apresentarem êste aspecto de crescimento secundário. Examinamos um fragmento intemperizado, que, pela incoerência do feldspato alterado, permitiu que fôssem isolados e observados ao microscópio os fenocristais de quartzo. Tendo-se o meio tornado alcalino, graças aos processos intempéricos que alteraram o feldspato, pôde talvez ser a sílica localmente dissolvida e precipitada com a forma cristalina sôbre a superfície dos fenocristais.

Entre os grãos facetados existentes nas nossas perfurações, ocorrem também, com grande freqüência, grãos com nítido crescimento secundário, cuja origem vulcânica é incerta. Em outros grãos vemos nitidamente uma continuidade entre a parte externa, facetada, e o centro do grão. Esta continuidade (evidenciada pela continuidade das inclusões) vem demonstrar que a causa das facetas é primária, devendo, portanto, tratar-se de antigos fenocristais.

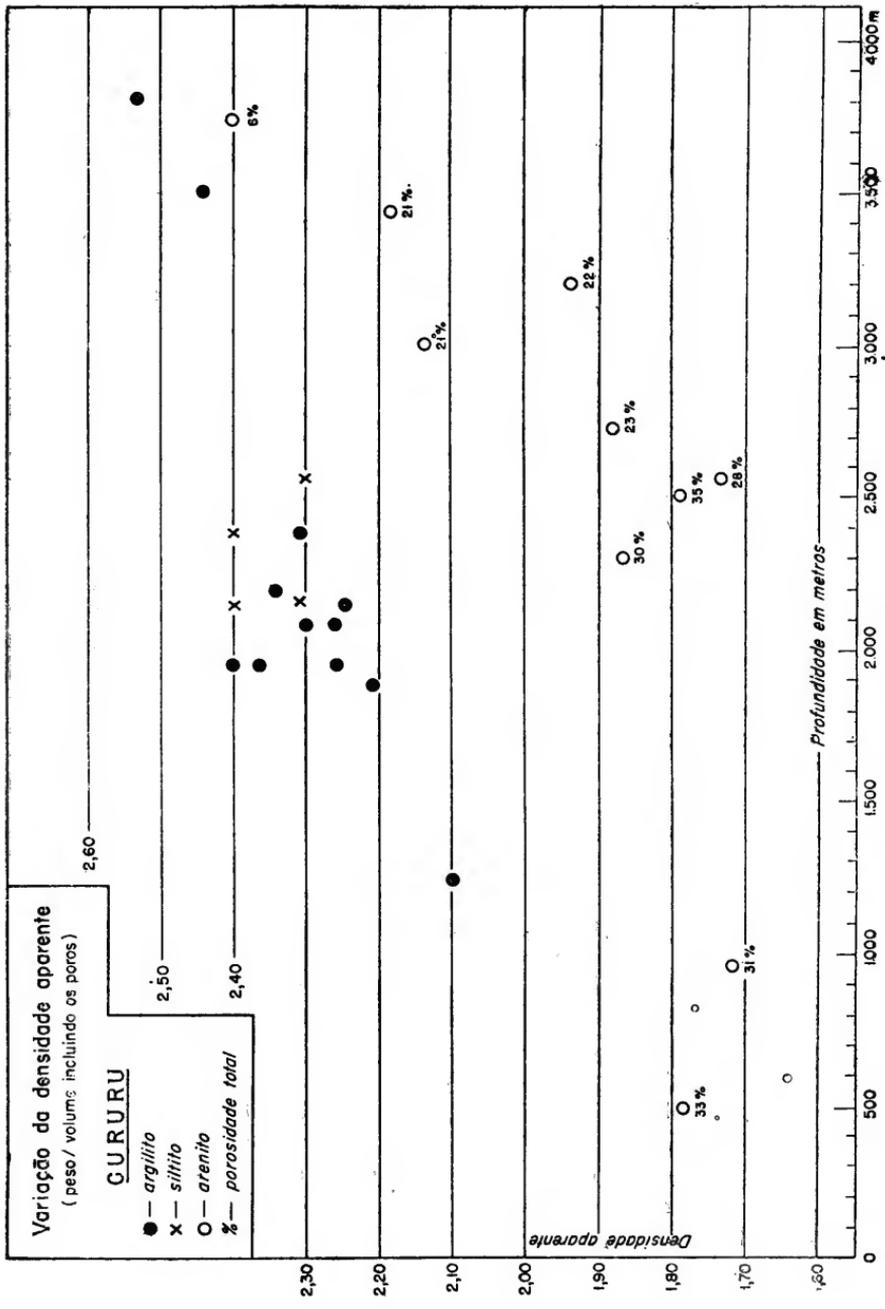
## VIII — “COMPACTAÇÃO” E POROSIDADE

Seja-nos permitido fazer uso dêste neologismo, por não encontrarmos termo que melhor exprima o efeito da pressão, fazendo diminuir o volume dos poros, aumentando portanto a densidade aparente. A técnica adotada encontra-se no início do trabalho (ver métodos).

1 — *Arenitos*

Para os arenitos, além da densidade, determinamos também a sua porosidade total, assinalando ambos os valores no mesmo gráfico. Desta maneira, torna-se fácil a verificação da diminuição da porosidade em função da profundidade. Graças à pequena variação da granulação, arredondamento dos grãos e teor em argila dos arenitos (fatores êsses que intervêm na porosidade, na densidade (ver fig. 27 e 28), obtivemos uma variação aproximadamente regular, tornando possível a obtenção de curvas. No gráfico de Limoeiro, vemos que os arenitos de 230 e 1.140 m possuem densidades anormalmente altas e porosidade baixa, pelo fato de serem ricos em material fino, que toma o lugar dos poros, que deveriam existir se a granulação fôsse mais homogênea. A regularidade desta variação, para os arenitos, somente pode ser observada em espessuras muito grandes, com um grande número de observações, levando-se sempre em consideração, além dos fatores já citados, a cimentação por carbonatos ou pela sílica. Já escrevemos atrás sôbre a deposição secundária de sílica em nossos arenitos, determinando a formação de parte dos grãos facetados. Contudo, a intensidade dêste processo foi tão reduzida, que não deve ter interferido nos resultados gerais. *Athy* (1930, p. 8) cita o exemplo de arenitos a 1.200 m de profundidade com porosidade maior e conseqüente densidade menor do que arenitos de pequenas profundidades, sem ter havido preenchimento secundário no arenito menos poroso. Segundo êste autor, o efeito da pressão sôbre os arenitos é mínimo, tendo em vista os efeitos produzidos por diversos outros agentes, como cimentação e arranjo dos grãos, fator êste que vai depender da seleção e da forma dos grãos. Assim, de acôrdo com os nossos dados, há nítida relação entre profundidade e “compactação”, como podemos ver nos gráficos anexos. A explicação desta divergência com as verificações de *Athy* pode ser explicada da seguinte maneira: a profundidade que estudamos é muito maior do que a profundidade estudada





— Fig. 28 —

por *Athy*, e a uniformidade dos nossos arenitos é tal (quanto aos caracteres já citados que fazem alterar a "compactação" dos arenitos), que permitiu evidenciar a variação determinada pela pressão. Além da densidade e porosidade, também a coerência é afetada pela pressão das camadas superiores. Os arenitos mais profundos são, de modo geral, muito menos incoerentes que os superiores. O mesmo fato se dá com os argilitos e siltitos. Os inferiores são bem mais duros, não se desfazendo com a pressão dos dedos, o que se verifica nas amostras superiores, mais ou menos de 1.500 m para cima.

## 2 — Siltitos

Quanto aos siltitos, vemos no gráfico de Limoeiro, onde há maior número de dados, que há também nítida variação conforme a profundidade, se forem observados em conjunto. A discrepância dos valores dos três siltitos de Limoeiro (entre 200 e 350 m) não é facilmente explicável, uma vez que não encontramos diferenças na coloração nem impurezas de carbonatos. As demais amostras têm valores aproximadamente iguais aos valores dos argilitos.

## 3 — Argilitos

Os efeitos da profundidade são mais evidentes nos sedimentos argilosos. Nestes, a "compactação" depende da pressão e também, em menor escala, segundo nossa opinião, do tempo de atuação da pressão. *Athy*, baseado em dados experimentais, chegou a estabelecer diferenças na densidade de argilitos carboníferos ( $d = 2,55$ ) permianos ( $d = 2,15$ ) e atuais ( $d = 1,50$ ). Tais dados, contudo, não podem ser aplicados a outras regiões, pelo fato das condições tectônicas de sedimentação variarem muito com o local e com a época. Assim é que determinamos o valor máximo de 2,66 para o argilito situado a 3.150 m de profundidade em Limoeiro, valor superior ao do argilito de idade carbonífera citado por *Athy*. Os valores das densidades dos nossos argilitos são sempre inferiores aos encontrados por *Athy*, inclusive para as nossas amostras mais profundas e mais densas, apesar do gráfico de *Athy* atingir somente 2.070 m de profundidade. Se fizermos a extrapolação do gráfico de *Athy* até 4.000 m de profundidade, (admitindo-se uma continuidade na curva) determinaremos valores tais, que serão sempre maiores do que

os nossos, comparando-se as mesmas profundidades. Assim é que os nossos argilitos da mesma profundidade dos de *Athy* possuem quase sempre 0,4 a menos, no valor da densidade. Deve ser esclarecido que não há a possibilidade de ter havido diminuição (pela erosão de eventuais camadas superiores) das espessuras de *Athy*. Este autor tomou as devidas precauções na construção de sua curva, para não proceder tal êrro. Parece-nos que a explicação mais razoável deve fundamentar-se na diferença de idade. Os argilitos estudados por *Athy* são do Carbonífero e Permiano. Sendo os nossos de idade terciária, atribuímos ao fator tempo a causa desta diminuição da densidade, portanto, da "compactação".

#### 4 — Considerações sôbre a descontinuidade das curvas

Como já nos referimos, acima dos níveis 2.000 m em Limoeiro e 2.500 m em Cururu, muda a litologia. Vão predominar sedimentos mais finos, formados sob condições mais tranqüilas. Examinando-se as figuras 27 e 28, nota-se, nesses níveis citados, uma possível quebra na continuidade da curva dos argilitos de Limoeiro e também na curva dos arenitos de Cururu (nestes, de modo menos visível). Vemos que a densidade dos sedimentos inferiores aos níveis citados devia ser mais alta, se a curva fôsse homogênea. Uma possível explicação seria a existência de uma falha inversa, cujo plano teria sido atravessado pela sondagem. Teríamos então que imaginar a coincidência da sonda ter atravessado o plano da falha num ponto situado bem próximo à separação das duas zonas, superior e inferior. Em outras palavras, a sondagem atingiu o plano da falha e a separação das duas metades (superior e inferior), aproximadamente no nível de 2.000 m em Limoeiro e 2.500 m em Cururu. Como consequência da falha, os sedimentos foram rebaixados a um nível inferior, mais profundo, sem ter havido ainda um ajuste nas condições de "compactação", provavelmente por falta de tempo suficiente. Esta suposição coaduna-se com a existência de falhamentos situados próximos ao local das perfurações. Como estas falhas ter-se-iam realizado de maneira semelhante nas duas perfurações, não há discrepância com a correlação geral das camadas, havendo apenas uma pequena diferença no ângulo de inclinação, assunto que será abordado na correlação das perfurações, no capítulo XI — Conclusões, n.º 1.

Há também a possibilidade das condições de sedimentação dos argilitos mais profundos terem influído na intensidade do aumento pro-

gressivo da "compactação". Já vimos que os ambientes e as condições tectônicas foram bem diferentes para os sedimentos superiores e inferiores.

\*

Outro efeito interessante, produzido pela pressão dos sedimentos superiores, consiste nas impressões negativas dos grãos de areia gravadas nas placas de mica dos arenitos mais profundos. Nos arenitos de Limoeiro, inferiores a 2.000 m, nos quais é freqüente a biotita e a muscovita, encontramos estas marcas com muita freqüência. Não existem, evidentemente, nas placas clivadas durante a desagregação do arenito.

### IX — RELAÇÕES COM A SÉRIE BARREIRAS

Não possuímos elementos suficientemente seguros para estabelecer com certeza relações entre os sedimentos das perfurações e a série Barreiras, pois estudamos apenas alguns afloramentos do vale do rio Tapajós. Segundo as nossas observações e segundo a descrição que encontramos em diversos autores, concluímos ser pouco provável a correlação cronológica entre os sedimentos inferiores das perfurações (abaixo de 2.000 m em Limoeiro e abaixo de 2.500 m em Cururu) com a série Barreiras, pela grande diversidade existente nas condições tectônicas e topográficas, que reinaram na área de deposição e na área de denudação para um e outro caso. As associações litológicas e o tipo de arenito são muito diferentes nos dois casos. As condições de rápida deposição, rápido e contínuo levantamento, e erosão intensiva numa topografia acidentada, condições estas que reinaram durante a formação dos arenitos arcosianos de Limoeiro, não poderiam coexistir na formação dos sedimentos da série Barreiras, típicos de águas tranqüilas e muito calmo tectonismo. Não nos aventuramos estabelecer a idade relativa de ambos — série Barreiras e perfurações. O material de origem vulcânica nada indica, pois, o vulcanismo foi bastante prolongado, estendendo-se por todo o Terciário. O feldspato, abundante em Limoeiro e muito raro na série Barreiras, estudada pelo autor, também não serve de base, pois basta ter havido uma área heterogênea de degradação, estando os granitos mais próximos de Limoeiro, para que aí se acumulassem os feldspatos.

Contudo, a semelhança litológica (inclusive na frequência da coloração vermelha) e a semelhança nas condições tectônicas de formação, sugerem a maior possibilidade de ser plausível a correlação entre os sedimentos da série Barreiras e os sedimentos superiores das perfurações (nível 2.000 m em Limoeiro e 2.500 m em Cururu). Em ambos os casos identificamos condições brandas de tectonismo, ambiente de águas calmas e alguns outros fatores que reforçam esta suposição, como: o arenito situado à profundidade de 1.547 m de Limoeiro possui quantidade apreciável de grãos muito semelhantes a fragmentos de quartzo-pórfiro; estes fragmentos poderiam ser relacionados com o material de origem vulcânica encontrado em Alter do Chão, localidade próxima a Santarém. Trata-se de vidros alterados, existentes numa rocha argilosa muito compacta de mais de 10 m de espessura, contendo 60% de vidro vulcânico (*Amaral*, 1954, p. 44),

Outra semelhança interessante é a seguinte: em Cururu, o siltito vermelho de 2.087 m de profundidade apresenta-se colorido de maneira análoga aos siltitos vermelhos da série Barreiras do Tapajós, que interpretamos como tendo coloração primária (*Amaral*, 1954). Este tipo de pigmentação, raramente encontrado nas amostras estudadas das perfurações, e existente em todos os siltitos vermelhos do Tapajós é o seguinte: pontos vermelhos bem distintos de pouco mais de um micron de diâmetro, salpicando a superfície dos grãos de quartzo ou dos agregados argilosos. Este siltito de Cururu situa-se próximo a um arenito, que contém baritina detrítica, mineral que ocorre em abundância em todas as amostras estudadas da série Barreiras do Tapajós, segundo verificações do autor. Essas amostras de Cururu e de Limoeiro, citadas atrás, acham-se dispostas segundo a direção geral da correlação, isto é, há entre elas 540 m de diferença, com a inclinação voltada para Cururu. Não encontramos nos nossos testemunhos vestígios de "cabeça de jacaré", também denominadas "pedra do Pará", tão encontradas nas margens dos rios do Estado do Pará. Trata-se de arenitos grosseiros quaternários, segundo *Katzer* (1903, p. 94), que discute a origem e idade destas rochas.

## X — AMBIENTE PALEOGEOGRÁFICO

Tendo em base as nossas conclusões sobre o ambiente local de sedimentação juntamente com as condições tectônicas gerais que reinaram durante a formação dos sedimentos estudados, passaremos a considerar

quais teriam sido as paisagens que teriam imperado no decorrer do processo sedimentar. Principiando com os sedimentos mais profundos, temos a ponderar que a paisagem que mais condiz com o tipo de sedimentação seria a seguinte: a principal área de erosão já correspondia à atual, exposta presentemente. Tratava-se de uma topografia montanhosa, com formas escarpadas, em contínua e intensiva elevação epirogenética e também orogenética, considerando-se a orogenia andina, que certamente influenciou na formação dos sedimentos situados no nosso Território. Grandes áreas do embasamento cristalino e de formações sedimentares estavam expostas, sendo intensamente erodidas, e os seus respectivos detritos transportados por águas que corriam para este. No local correspondente à nossa fossa em estudo ocorria uma contínua e igualmente rápida "subsidiência", numa faixa alongada na direção norte-sul. Tal faixa, adjacente à área continental em ascensão, situava-se em nível próximo ao do mar. Daí a formação de um extenso delta, crescendo rumo norte, mar a dentro. A razão de sedimentação correspondia sempre à de "subsidiência", motivo pelo qual não houve alterações na profundidade das águas, onde se depositavam os detritos. A extensão do delta formado deveria ser equiparada à dos maiores atuais, sendo a sua velocidade de crescimento anormalmente elevada, como consequência da topografia altamente acentuada do continente. Neste, a erosão devia estar em fase de juventude, tudo indicando a existência de velozes águas transportando os detritos em questão. O diastrofismo andino, num crescente ativo nesta época, refletiu no nosso território não só no fornecimento de detritos como também na drenagem. Esta, que antigamente era rumo oeste, passou a ser rumo este, e os tufo vulcânicos ácidos, muito abundantes (sendo mesmo característicos do vulcanismo andino do terciário) passaram conseqüentemente a ser transportados para este. Em se tratando de material incoerente, facilmente desagregável, o grau de fornecimento devia ter sido muito intensivo. Segundo exemplos de hoje, como o conhecido vulcão Katmai, sabe-se que o vulcanismo ácido é predominantemente explosivo. Seus produtos podem ser lançados e acumulados a grandes distâncias, sendo então facilmente erodidos e transportados. Acreditamos que fato análogo se tenha dado no nosso caso, durante a formação dos sedimentos da metade inferior das perfurações.

Quanto ao clima, vegetação, fatores de grande importância no tipo de degradação, não temos elementos seguros para opinar. São muito va-

riadas e numerosas as causas que podem determinar as mesmas feições nos sedimentos. Acreditamos contudo, em base das nossas observações e estudos da literatura a êsse respeito, que é mais provável um clima chuvoso, para que houvesse rápido e intensivo transporte. Quanto aos demais fatores, é preferível não abordá-los, para não abusarmos da especulação.

Numa determinada época houve então a tendência para ser atingido o perfil de equilíbrio, entulhando-se a área de deposição e aplainando-se a área de degradação. Principiaram desta maneira a depositar-se os sedimentos da metade superior das perfurações. A paisagem assumiu, pois, configuração diferente quanto à topografia. Conseqüentemente mudou também a intensidade de transporte e de degradação. O relêvo tornou-se mais suave, devendo ter predominado a degradação química. O perfil de equilíbrio, que provavelmente tenha sido realmente atingido por diversas vezes, era rompido temporariamente, graças a suaves levantamentos e correspondentes suaves "subsidiências" da área de deposição. O caráter plano da paisagem não só caracterizava a área de degradação, como também a de sedimentação.

A região de Limoeiro devia ter sido nesta época constituída por extensos e rasos alagadiços, situados em nível próximo ao do mar. Os sedimentos deviam ter sido expostos mui freqüentemente à ação atmosférica. De tempos em tempos meandravam rios neste ambiente, contribuindo assim para a formação dos arenitos fluviais. Em determinada ocasião, a "subsidiência" foi tal, que permitiu a invasão temporária do mar. Ou diminuiu a velocidade de sedimentação ou aumentou a velocidade de "subsidiência". O mar, contudo, tornou a recuar, voltando o mesmo ambiente que reinava antes. Essa grande baixada em lenta "subsidiência" prolongava-se até a região de Cururu, onde havia maior proximidade com o mar. Como conseqüência desta maior proximidade, deveria haver maior profundidade nas águas que recebiam os detritos. Com isso, impossibilitou-se a ação oxidante, podendo então dar-se a conservação dos restos vegetais. Finalmente, tendo havido uma "subsidiência" mais intensiva, sem ser acompanhada pela respectiva intensidade na deposição, deu-se a invasão do mar, tendo-se depositado mais de mil metros de sedimentos provavelmente neríticos. Enquanto isso, na área de Limoeiro perdurava a extensa baixada, acompanhando sempre a lenta "subsidiência" geral, determinando a conseqüente sedimentação de detritos finos, quase sempre avermelhados a amarelados.

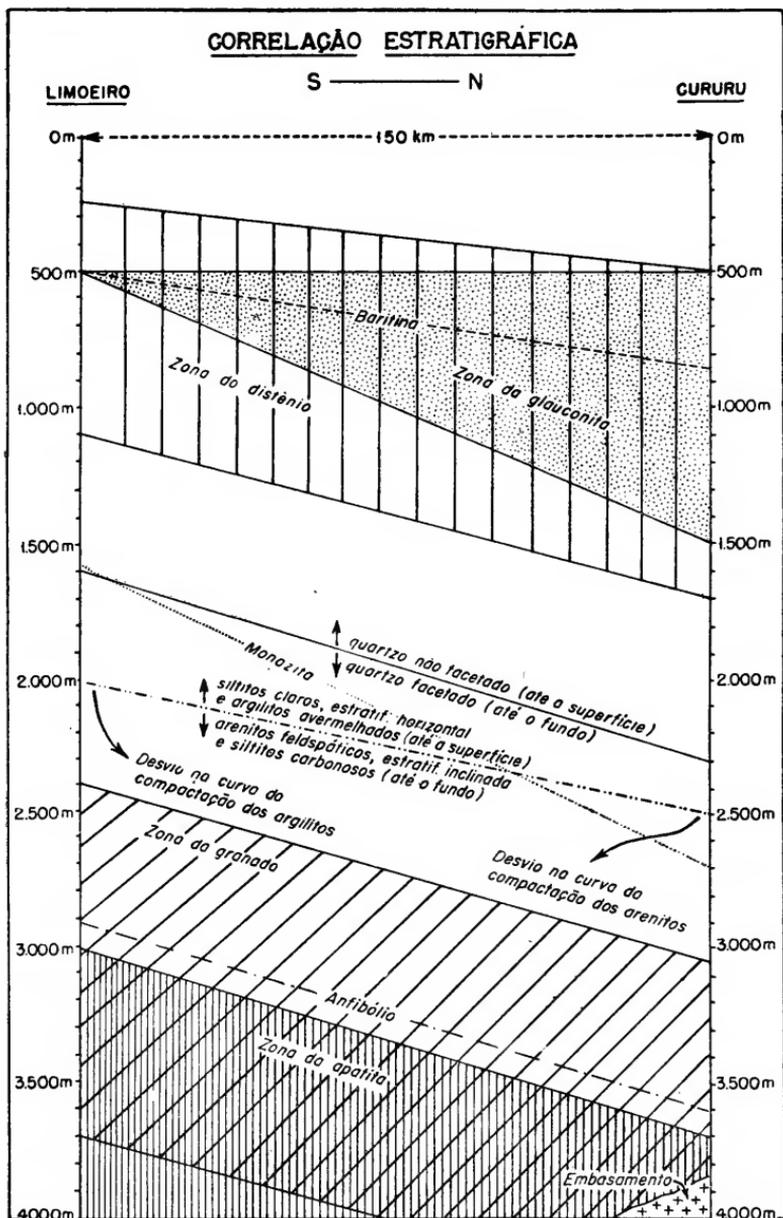
Apesar de ter havido grande mudança nas condições de sedimentação dos sedimentos inferiores e superiores, a correlação e a variação do tipo de ambiente vêm indicar que não se alterou a principal direção da drenagem na área de deposição. E' possível que a já citada elevação do embasamento em Antonio Lemos (local situado entre as duas fossas esquematizadas na fig. 1) tenha desviado as águas vindas de oeste, fazendo com que tivessem direção de sul para norte antes de atingir a desembocadura.

Para finalizar as nossas conjecturas, acrescentamos que se deu recentemente, no quaternário, novo levantamento epirogenético, que está sendo o responsável pela atual erosão da área da desembocadura do Amazonas. Havendo continuidade entre os sedimentos do quaternário e os sedimentos superiores estudados, podemos supor que tal levantamento corresponda a uma das oscilações no processo geral de "subsidência". E' provável, pois, no caso de haver continuidade, que perdure o mesmo fenômeno do passado, muito embora, presentemente, esteja o maior rio do mundo em fase predominantemente erosiva, destituído de um atual delta, destacando-se nele a função destruidora, no dizer do nosso escritor e engenheiro patricio, Euclides da Cunha.

## XI — CONCLUSÕES

1 — *Correlação entre Limoeiro e Cururu*: de acôrdo com os nossos dados, há perfeita correlação entre as duas perfurações. São vários os fatores correlacionáveis, como, presença ou ausência de diversos minerais pesados, mudança da associação litológica, presença e ausência de quartzo facetado e condições tectônicas de formação (ver fig. 29). Nossa correlação vem confirmar a correlação estabelecida com interrogações por *Petri* (1954, p. 24), que se baseou em dados paleontológicos, na maior parte das vêzes, podendo desta maneira, ser omitidas as interrogações, cautelosamente postas por êsse autor.

2 — *Inclinação das camadas*: caem para norte, cêrca de 3 a 4 metros por km (500 a 600 m em 150 km). Podem, pois, ser consideradas praticamente horizontais. E' possível ter sido maior esta inclinação, originalmente, tendo sido diminuída graças a um levantamento posterior dos sedimentos, determinado por falhas. Estas teriam levantado o embasamento (cujas amostras evidenciam movimentações) que foi atingido



- Fig. 29 -

pela sondagem, o mesmo não acontecendo em Limoeiro. Por serem mais freqüentes, mais espessos os sedimentos de ambiente marinho em Cururu do que em Limoeiro, tendo as águas corrido de sul para norte (fato que já abordamos no capítulo referente aos minerais pesados, p. 56), supomos ser original a inclinação das camadas, não se tratando, pois, de causas tectônicas.

3 — *Possibilidades de petróleo*: dada a queda original das camadas para o norte, e o aumento de sedimentos de ambiente marinho em Cururu, há maiores possibilidades do petróleo ser encontrado ao norte da perfuração de Cururu. Os falhamentos existentes poderiam determinar estruturas acumuladoras. Os arenitos possuem boas qualidades como rocha armazenadora (ver porosidade, figs. 27 e 28). Os argilitos como rocha protetora e os folhelhos pretos, ricos em matéria carbonosa vegetal, indicam ter ocorrido ambiente propício à conservação de substâncias que poderiam gerar o petróleo.

4 — *Granulação dos arenitos*: predomina quase sempre a fração de média a fina de *Wentworth*. A grande maioria enquadra-se entre os bem selecionados. O teor em argila, a abundância em minerais instáveis e o grau de arredondamento dão aos arenitos o caráter de submaturidade.

5 — *Derivações dos detritos*: a freqüência em grãos de zirconita bem arredondados e a freqüência do arredondamento nos grãos submilimétricos de quartzo vêm demonstrar a derivação parcial de antigos sedimentos retrabalhados. Por outro lado, a complexidade no número de variedades mineralógicas vem demonstrar a heterogeneidade da área de degradação que forneceu os detritos. As principais fontes de abastecimentos dos detritos foram: rochas vulcânicas ácidas, rochas de alto grau de metamorfismo, rochas ígneas ácidas de profundidade e raramente básicas.

6 — *Sedimentos e ambiente geográfico*: em ambas as perfurações, a totalidade dos sedimentos examinados é de natureza clástica, formados em condição subaquosa, predominando os detritos derivados da área continental. Os sedimentos abaixo do limite 2.000 m de Limoeiro — 2.500 m de Cururu são formados em ambiente deltáico, presidindo con-

dições de intenso tectonismo e os sedimentos acima dêste limite são característicos de condições menos intensas de tectonismo. Em Limoeiro o ambiente devia ter sido o de lagoas rasas, próximas ao mar. Em Cururu o ambiente seria o de lagoas mais profundas, passando posteriormente a marinho nerítico. Não foram observados sedimentos químicos nem evaporitos.

7 — *Ambiente tectônico*: é altamente provável a existência de um ambiente do tipo zeugogeossinclinal, podendo também tratar-se do tipo denominado tafrogeossinclinal de Kay. Tudo indica a existência de uma fossa aberta, não havendo evidências que venham sugerir o represamento das águas durante a “subsidência” que deu origem à fossa.

8 — *Idade*: atribuímos aos sedimentos mais profundos da fossa a idade terciária, em base da presença de grãos de quartzo, derivados de vulcanismo terciário, provavelmente andino.

9 — *Efeitos da “compactação”*: não só os argilitos e siltitos, mas também os arenitos sofreram o efeito da “compactação” como consequência da pressão das camadas superiores, alterando a densidade, a porosidade e também a coerência dos sedimentos. As densidades dos argilitos estão em desacôrdo com a idade geológica que lhes foi atribuída, pelo fato de terem atingido uma grande profundidade em tempo relativamente curto. Quanto à idade geológica são, pois, relativamente mais compactos. Contudo, quanto ao fator profundidade, os nossos valores são relativamente baixos, uma vez comparados com os argilitos mais antigos, da mesma profundidade, dada a ação do tempo relativamente curto em que atuou a pressão.

10 — *Relações com a série Barreiras*: é provável haver relação entre a série Barreiras e os sedimentos situados acima do nível 2.000 m em Limoeiro e 2.500 m em Cururu e improvável a relação com a parte inferior.

11 — *Interesse em estudos posteriores*: a fim de ser elucidado o problema da relação dos nossos sedimentos com a série Barreiras e com o vulcanismo andino, é de alto interesse o estudo petrográfico e estratigráfico da série Barreiras e dos sedimentos tuffíticos próximos aos Andes, onde foi intenso o vulcanismo, que muito provavelmente se relacione aos sedimentos da fossa do Marajó.



**Faculdade de Filosofia**  
**Ciências e Letras**  
**Biblioteca Central**

**OBRAS CONSULTADAS**

- Amaral, S. E. do*, 1954, Nota sobre a série das Barreiras no vale do rio Tapajós: Bol. Soc. Bras. Geol., v. 3, n. 1 (no prelo).
- Anderson, G. E.*, 1926, Experiments on the Rate of Wear of Sand Grains: Journ. Geol., v. 34, p. 144-158.
- Athy, L. F.*, 1930, Density, Porosity and Compaction of Sedimentary Rocks: Bull. Am. Ass. Petr. Geol., v. 14, p. 1-35.
- Berthois, L. et C.*, 1951, Note sur la Precision des Tamisages Mécaniques: Bull. Soc. Geol. Fr., 1951, p. 87-92.
- Bokman, J.*, 1952, Clastic Quartz Particles as Indices of Provenance: Journ. Sed. Petr., v. 22, p. 17-24.
- Cartwright, L. D. Jr.*, 1928, Sedimentation of the Pico Formation in the Ventura Quadrangle, California: Bull. Am. Ass. Petr. Geol., v. 12, p. 235-269.
- Correns, C. W.*, 1934, Centralblatt f. Min. Abt. A., n. 11, p. 321-331.
- Emberger, L.*, 1944, Les Plantes Fossiles, dans leur rapports avec Les Vegetaux Vivants: Masson et Cie., Paris.
- Fancher, G. H.*, 1950, The Porosity and Permeability of Clastic Sediments and Rocks: Em Subsurface Geologic Methods, 2a. ed. de L. W. LeRoy, Colorado School of Mines, p. 685-713.
- Folk, R. L.*, 1951, Stages of Textural Maturity in Sedimentary Rocks: Journ. Sed. Petr., v. 21, p. 127-130.
- Foye, W. G.*, 1922, Origin of the Triassic Trough of Connecticut: Journ. Geol., v. 30, p. 690-699.
- Grout, F. F.*, 1932, Petrography and Petrology: McGraw-Hill Book Co, New York.
- Hadding, A.*, 1932, The Pre-Quaternary Sedimentary Rocks of Sweden: Meddelanden fran Lunds Geol. Min. Inst.
- Hjulström, F.*, 1939, Recent Marine Sediments: Symposium de P. D. Trask, da Am. Ass. Petr. Geol., p. 5-31.
- Inman, D. L.*, 1949, Sorting of Sediments in the Light of Fluid Mechanics: Journ. Sed. Petr., v. 19, p. 51-70.
- Katzer, F.*, 1903, Grundzüge der Geologie des unteren Amazonas Gebietes (des Staates Pará in Brasilien): Trad. port. de Hugo Mense, Bol. Museu Paraense, t. IX, 1933.

- Keller, W. D.*, 1954, The Energy Factor in Sedimentation: Journ. Sed. Petr., v. 24, p. 62-68.
- Krumbein, W. C. and F. J. Pettijohn*, 1938, Manual of Sedimentary Petrography: Appleton—Century, N. Y.
- and *L. L. Sloss*, 1951, Stratigraphy and Sedimentation: W. H. Freeman, California.
- Krynine, P.*, 1935, Arkose Deposits in the Humid Tropics.: Am. Journ. Sci., n. 172, p. 353-363.
- 1946, The Tourmaline Group in Sediments: Journ. Geol., v. 54, p. 65-87.
- Leinz, V.*, 1933, Petrographische Untersuchung der Sedimente des Tobas-ees (Nord-Sumatra): Archiv Hydrobiologie, Suppl. Bd. XII, p. 635-669.
- 1949, Pequenas Notas Geológicas e Petrográficas Sobre o Território do Amapá. Bol. Mus. Nac. — Geol. n. 7. Minist. Ed. Saúde, Rio de Janeiro.
- Milner, H. B.*, 1952, Sedimentary Petrography: 3a. ed. Thomas Murby, Co., London.
- Moura, P. de* 1938, Geologia do Baixo Amazonas: Bol. 91, Serv. Geol. Min. do D.N.P.M., Rio de Janeiro.
- 1944, Artigo de Amazonia Brasileira: Exertos da "Rev. Bras. Geogr.": Ed. do Cons. Nac. Geogr. do "X Congr. Bras. Geogr.", Inst. Bras. Geogr. Est. Rio de Janeiro.
- Okuno, H.*, 1952, Atlas of Fossil Diatoms from Japanese Diatomite Deposits: Bot. Inst., Un. Ind. Arts and Textiles Fibers Kamikyoku, Kyoto.
- Petri, S.*, 1954, Foraminíferos Fósseis da Bacia do Marajó: Bol. Fac. Fil. Ciên. Letr. Un. S. P., Geologia n. 11.
- Pettijohn, F. J.*, 1941, Persistence of Heavy Minerals and Geologic Age: Journ. Geol., v. 49, p. 610-625.
- 1949, Sedimentary Rocks: Harper and Brothers, N. Y.
- Russel R. D. and R. E. Taylor*, 1937, Roundness and shape of Mississippi River Sands: Journ. Geol., v. 45, p. 225-267.
- Ruttner, F.*, 1932, Seenstudien in Niederländisch-Indien: Mittl. Geograph. Gesellsch, v. 75, Wien, p. 114-146.
- Shrock, R. R.*, 1948, Sequence in Layered Rocks: 1a. ed. McGraw-Hill Book Co., London.
- Sindowski, F. K. H.*, 1949, Results and Problems of Heavy Minerals Analysis in Germany: A Review of Sedimentary-Petrological Papers, 1936-1948, Journ. Sed. Petr., v. 19, p. 3-25.
- Sloss, L. L., W. C. Krumbein and E. C. Dapples*, 1949, Integrated Facies Analysis: Memoirs n. 39, Geol. Soc. Am., p. 91-124.

- Steinmann, G.*, 1930, Geologia del Perú: Trad. esp. Carl Winters. Heidelberg.
- Sternberg, H. O.*, 1950, Vales Tectônicos na Planície Amazônica?: Rev. Bras. Geogr. n. 4, p. 511-534.
- Stutzer, O.*, 1940, Geology of Coal: Trad. de Adolph C. Noé, The Un. of Chicago.
- Twenhofel, W. H.*, 1932, Treatise on Sedimentation: 2a. ed. The Williams & Wilkins Co., Baltimore, U.S.A.
- and *S. A. Tyler*, 1941, Methods of Study of Sediments: 1a. ed. McGraw-Hill Book Co., N. Y.
- Tyrrell, G. W.*, 1929, The Principles of Petrology: 2a. ed. E. P. Dutton and Co., N. Y.
- Udden, J. A.*, 1914, Mechanical Composition of Clastic Sediments: Bull. Geol. Soc. Am., v. 25, p. 655-744.
- Wentworth, C. K.*, 1927, The Accuracy of Mechanical Analysis: Am. Journ. Sci., n. 73, p. 399-408.
- 1929, Method of Computing Mechanical Composition Types in Sediments: Bull. Geol. Soc. Am., v. 40, p. 771- 790.

São Paulo, Setembro, 1954



**O Departamento de Geologia**

pede e agradece a remessa de suas publicações  
vous prie de lui envoyer vos publications.  
shall be glad to receive your publications.  
le agradecerá el envío de sus publicaciones.

**Endereço:**

Departamento de Geologia  
Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras  
Caixa Postal, 8.105  
São Paulo (Brasil)



SECÇÃO GRAFICA da Faculdade de Filosofia, Ciências  
e Letras da Universidade de São Paulo, *imprim.u.*

