

FACULDADE DE FILOSOFIA CIÊNCIAS E LETRAS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

BOLETIM No. 304

MINERALOGIA N.º 19

SÃO PAULO · BRASIL · 1969

INSTITUTO DE CIÊNCIAS USP
Biblioteca

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, CIÊNCIAS E LETRAS

EDITOR RESPONSÁVEL:
PROF. DR. WILLIAM GERSON ROLIM DE CAMARGO

BOLETIM N.º 304
MINERALOGIA N.º 19
SÃO PAULO
BRASIL
1969

Instituto de Geociências



**Boletins da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da
Universidade de São Paulo
no.19(1969)**

ANTONIO CARLOS MONIZ

**ESTUDO MINERALÓGICO DE ARGILAS DO MACIÇO
ALCALINO DE POÇOS DE CALDAS**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Reitor: — Prof. Dr. Luís Antônio da Gama e Silva

Vice-Reitor: — Prof. Dr. Alfredo Buzaid

FACULDADE DE FILOSOFIA, CIÊNCIAS E LETRAS

Diretor: — Prof. Dr. Eurípedes Simões de Paula

Vice-Diretor: — Prof. Dr. Candido Lima da Silva Dias

Secretário-substituto: — Lic. Eduardo Marques da Silva Ayrosa

DEPARTAMENTO DE MINERALOGIA E PETROGRAFIA

Diretor: — Prof. Dr. William Gerson Rolim de Camargo

Tôda correspondência deverá ser dirigida à Faculdade de Filosofia,
Ciências e Letras da Universidade de São Paulo
Caixa Postal 8 105 — São Paulo, Brasil



Impresso na Universidade de São Paulo

AGRADECIMENTOS

Expressamos os nossos agradecimentos ao Prof. Rui Ribeiro Franco, pela valiosa orientação dada ao presente trabalho; ao Prof. Pêrsio de Souza Santos, pelo apôio, estímulo e crítica ao manuscrito; à Dra. Helena Lopes de Souza Santos, pela microscopia eletrônica que muito auxiliou a elucidação de certos problemas; ao Geólogo Don Duane Williams, da Companhia Geral de Minas, Eng.º-Min. Ricardo Affonso Junqueira, pelo auxílio material aos trabalhos de campo, o que tornou possível o estudo de tôda a área do planalto de Poços de Caldas, assim como a discussão de alguns problemas da Geologia da região; ao Eng.º-Min. Resk Frahya e aos Geólogos da Comissão Nacional de Energia Nuclear, pelas sugestões apresentadas a respeito de problemas específicos surgidos durante os trabalhos de campo; à Cerâmica Togni Ltda., pelas análises químicas de depósitos de argila refratária, assim como pelas facilidades que nos proporcionou para o estudo de suas jazidas; ao Químico Augusto Baptista pela espectrografia de raios-x; ao Eng.º-Quím. Alcyr Cesar do Nascimento, Chefe da Seção de Agrogeologia, cujo apoio foi essencial para levar a bom têrmo a elaboração dêste trabalho.

Agradecemos, ainda, a todos os que nos ajudaram nesta tarefa, funcionários do Instituto Agronômico e especialmente o Eng.º-Agr.º José Pereira de Queiroz Neto; o Geólogo Dr. Adolpho José Melfi; os Srs. Jordão Nepote, pelas análises químicas; Raphael Pompêo de Carmargo e Ferdinando Domingos, pela execução de numerosos desenhos.

* * *

Êste trabalho foi desenvolvido na Seção de Agrogeologia, do Instituto Agronômico de Campinas.

INTRODUÇÃO

A atenção com que pesquisadores dos vários setores da geologia voltam suas vistas para o maciço de Poços de Caldas prende-se à sua natureza geológica que consiste, essencialmente, de rochas alcalinas; nêle se encontram depósitos minerais de valor econômico, provenientes: a) do estágio final de atividade hidrotermal, quando foram depositados, principalmente, minérios de zircônio (caldasito) contendo urânio, concentrações de terras raras e de tório; b) encontram-se também depósitos de argilo-minerais de natureza supérgena e hidrotermal e depósitos de bauxito, ambos os tipos provenientes da alteração das rochas alcalinas do planalto.

Inicialmente, o interêsse pela região do planalto de Poços de Caldas foi de natureza mais acadêmica, por ser constituída por rochas alcalinas e, ainda, por ser a maior ocorrência dêsse tipo de rocha no Brasil, com cêrca de 800 km² de área.

Atualmente, em face da grande atenção com que tem sido objeto os diferentes tipos de depósitos minerais de valor econômico, o planalto de Poços de Caldas tem sido estudado de maneira mais profunda, o que conduzirá, por certo, a um conhecimento mais detalhado sob vários pontos de vista, visando, assim, um melhor aproveitamento de seus recursos naturais. Sob o ponto de vista tecnológico, o maior interêsse pelo planalto de Poços de Caldas se prende ao grande e variado número de depósitos, principalmente de zircônio contendo urânio, de terras raras e tório, de bauxitos e de argilas refratárias. Com exceção dêsse último, todos os mais já foram estudados, existindo uma boa bibliografia a respeito.

O objetivo do presente trabalho é o estudo da composição mineralógica dos depósitos de argilas do planalto de Poços de Caldas e, nos casos em que foi possível, estabelecer o mecanismo da sua formação a partir das rochas alcalinas.

A área estudada neste trabalho, o planalto de Poços de Caldas, está situado ao sul do Estado de Minas Gerais entre as longitudes de 46° e 47° W (Greenwich) e as latitudes de 21° e 22° S (Fig. 1)



Fig. 1 — Localização da área estudada.

1 — TRABALHOS ANTERIORES

Após Derby (1) ter reconhecido a natureza das rochas do planalto de Poços de Caldas, uma série de outros investigadores estudaram a região. Assim é que Barbosa (2,3,4), Guimarães (5) prosseguiram no estudo da geologia do planalto. Ellert (6) depois de estudar a geologia, apresentou, juntamente, com Björnberg e Coutinho, o mapa geológico do maciço. Björnberg (7) realizou estudos sobre as rochas clásticas da região; a petrografia foi estudada por Machado (8) e Branco (9), que também fez considerações sobre a geologia. Guimarães e Moraes (10) estudaram um mineral raro, que contém zircônio e terras raras, eudialita, encontrado num foiaíto do Morro do Serrote. Os depósitos de zircônio foram estudados por Teixeira (11), Franco (12), Guimarães (13); estudos sobre a utilização tecnológica dos minérios de zircônio foram feita por Angeleri (14), Bergström Lourenço e Souza Santos (15,16); os constituintes radioativos foram estudados por Tolbert (17 e 18), Guimarães, Campos e Figueiredo (19), Frahya (20); a extração do urânio foi estudada por Maffei, Pucci e Ferreira (21); os depósitos de bauxito foram estudados por Souza Santos (22), Teixeira (23), Harder (24), Weber (25); Souza Santos e Santini (26) estudaram a sua composição mineralógica por análise térmica diferencial; Guimarães e Dutra (27) estudaram a distribuição e a geoquímica de alguns elementos menores das rochas alcalinas do Brasil, entre as quais as do Planalto de Poços de Caldas.

Muito embora as rochas do planalto de Poços de Caldas se apresentem bastante decompostas, sendo comum pacotes até 40 metros de rocha alterada, além do grande número de depósitos de argilas utilizadas para indústria de cerâmica branca e de refratários, há vários anos em exploração, não havia sido ainda publicados nenhum trabalho, sobre as mesmas, havendo apenas os estudos das propriedades cerâmicas das argilas refratárias feitas por Souza Santos e Ferron (28) e por análise térmica diferencial de Souza Santos e Santini (26) Ilchenko e Guimarães (30) estudaram a possibilidade de utilização agrícola, como fertilizante potássico, os sienitos decompostos, em que são encontrados teores apreciáveis de potássio. Os mesmos autores (31) estudaram o processo de decomposição das rochas do

planalto, mas deixaram de lado o estudo de natureza dos argilo-minerais formados. Ashry (32) estudou 3 lâminas petrográficas de nossas rochas decompostas coletadas por Correns, tendo encontrado caulinita, mica e meta halloysita ou halloysita — $2\text{H}_2\text{O}$ em uma lava aglomerática decomposta da localidade de Laranjeiras, Poços de Caldas.

2 — REVISÃO SUCINTA DA LITERATURA SÔBRE A FORMAÇÃO DE ARGILO-MINERAIS NA NATUREZA

Numerosos trabalhos sôbre a formação de argilo-minerais na natureza podem ser encontrados, sendo de ressaltar o livro de Grim (33) e a monografia de Keller (34); visando a atualizar os conhecimentos nesse campo, selecionou-se alguns trabalhos que melhor ilustram os diferentes processos de formação de argilo-minerais a partir de minerais e rochas e que servirão de base para a interpretação dos resultados obtidos para as argilas do planalto de Poços de Caldas.

a — Argilo-minerais formados pela ação hidrotermal

Sales e Meyer (35) estudando a alteração hidrotermal de quartzo-monzonito de Butte, Montana, U.S.A., encontraram um zoneamento na distribuição dos argilo-minerais formados apela ação de soluções mineralizadoras; a partir do veio responsável pela alteração encontraram, inicialmente, uma zona de mica moscovita finamente dividida ou sericita (*) que continham além dêsse mineral, quartzo e pirita; todos os minerais primários estavam alterados; segue-se uma zona de caulinita, na qual o ortoclásio permanecia praticamente inalterado; nesta zona, a caulinita estava sempre acompanhada por montmorilonita, cuja concentração aumentava até se constituir numa zona bem definida; essa montmorilonita se originou da alteração do plagioclásio e está normalmente acompanhada por pequena quantidade de material amorfo; finalmente, encontraram na região mais externa a hornblenda e a biotita alterando-se em clorita.

(*) — Não confundir com micas hidratadas ou illitas, ricas em ferro e de elevada capacidade de troca de cátions, que também apresentam espaçamento basal de 10 angstroms.

Grim (33) cita exemplos de depósitos constituídos de um único mineral, como, por exemplo, o de Eureka, Utah, que é formado de halloysita; também faz menção de depósitos em que não apareceu o zoneamento encontrado por Sales e Meyer, mas uma superposição dos argilo-minerais. Grim (33) cita o conceito defendido por vários autores (Lovering, Kerr, Schwartz, Anderson), de ação hidrotermal desenvolvida em estágios por soluções diferentes, aparecendo em diversos períodos de tempo, separadas por fases de relativa inatividade. Em alguns casos os produtos desenvolvidos num dado estágio mostraram zoneamento, sendo o mais freqüente o que produzia sericita junto ao veio; halloysita, caulinita e montmorilonita acham-se mais afastadas e por último, encontram-se clorita e mica moscovita finalmente dividida ou sericita; em outros casos, a halloysita e caulinita ocorrem junto com o veio.

b — Argilo-minerais formados pela ação do intemperismo

Goldman e Tracey (36) estudando depósitos de bauxito de Arkansas, proveniente de decomposição de nefelina-sienito mostraram que a ressilicização do bauxito é mais comum do que tem sido reconhecido; êstes autores não encontraram evidência da formação de bauxito a partir da caulinita; estas conclusões se baseiam em observações de campo.

Allen (37) estudando lâminas petrográficas de sienitos alterados de Arkansas, encontrou caulinita ou halloysita como produto inicial de decomposição de feldspato ocupando o centro de um matacão; à medida que se aproximava das partes externas, aquele autor encontrou gibbsita, que se formaria às expensas dos argilo-minerais; o autor controlou os resultados dos exames petrográficos com difração dos raios-X.

Goldman (38), estudando petrograficamente rochas alteradas, desde o núcleo até as camadas concêntricas mais externas de um matacão de esfoliação de nefelina sienito de Arkansas, encontrou o feldspato se transformando diretamente em gibbsita, com subsequente caulinição daquele mineral; êstes resultados confirmaram as conclusões apresentadas no seu trabalho anterior, feito em colaboração com Tracey (36)

Bates (39) apresentou em gráfico o campo de estabilidade de halloysita-4H₂O com a halloysita-2H₂O ou caulinita, cuja separação dos campos é feita por uma curva muito próxima daquela da vaporização da água. O gráfico mostra que a halloysita-4H₂O só é estável em baixas temperaturas e em contacto com a água e a relação entre halloysita e caulinita encontrada sugere que a caulinita seria formada sob condições de menor umidade: outra evidência de natureza estrutural, a favor da relação obtida, é que, devido à insuficiência da pressão de vapor, as moléculas de água não seriam incorporadas à estrutura, o que impediria a formação de tubos, resultando, por isso, a formação de caulinita bem cristalizada. Nas condições em que a umidade não é constante, como nos casos de variação do lençol freático, a halloysita-4H₂O e caulinita se formariam juntas.

A gênese dos argilo-minerais do grupo da montmorilonita está associada a ambientes úmidos alcalinos, ricos em ferro, cálcio e magnésio e a gênese do grupo da caulinita está associada a ambientes ácidos e boa drenagem das águas de lixiviação.

Harder (24), estudando depósitos de bauxito de Poços de Caldas, encontrou transição brusca entre a rocha alcalina não alterada e o bauxito; o exame com microscópio petrográfico revelou a transformação direta da nefelina em gibbsita. Aquêl autor representou na figura 2 a estrutura do bauxito formado.

Bates (Ref. 40, p. 207), discutindo o mecanismo de formação dos argilo-minerais, lembrou as seguintes questões que bem traduzem o problema: “em que extensão a estrutura do feldspato é destruída?” “Em que extensão os géis de alumina ou sílica são formados na superfície?” “Existe alguma evidência de que a estrutura atômica dos argilo-minerais é “herdada” dos feldspatos sem passar por uma fase de gel intermediária?” Estes problemas ainda estão pendentes, havendo divergência sobre os possíveis mecanismos de formação, por parte de vários autores que se dedicam a êsse assunto.

Sand (41), em tese de doutoramento feita sob orientação de Bates, estudou a gênese de caulins residuais provenientes de rochas ácidas; mostrou que os feldspatos, ora produzem, por decomposição, mica moscovita finamente dividida ou sericita, que depois se altera para caulinita, ora formam diretamente halloysita-4H₂O, constituída por partículas de formato tubular. Ambos os casos podem se verifi-

car concomitantemente na mesma ocorrência. Foi observado que a mica moscovita produz caulinita por alteração, e que a halloysita- $2\text{H}_2\text{O}$ só ocorre em locais expostos à irradiação solar direta, que eleva a temperatura.

Bates (42), estudando decomposição de rochas básicas das ilhas do Havaí, encontrou óxidos e hidróxidos de alumínio, ferro e titânio, como produtos finais, quando as chuvas eram de intensidade moderada a alta e o terreno apresentava declives favoráveis para a lixiviação contínua. Contudo, o processo principal era a formação de produtos intermediários, em condições desfavoráveis para a transição completa, como, por exemplo, nos lados secos de cada ilha que compõe o arquipélago. Os produtos intermediários são constituídos de halloysita, formada a partir do plagioclásio, e que é o principal componente, e de nontronita, serpentina e maghemita todos formados a partir da olivina. A caulinita não foi encontrada, nem tampouco a mica moscovita finamente dividida ou sericita que é o mineral intermediário na transformação feldspato--caulinita.

Garrels e Howard (43) estabeleceram o campo de estabilidade dos feldspatos potássicos, mica moscovita e caulinita, em pressão e temperatura baixas, em função da atividade de K^+ e OH^- , como pode ser visto na figura 3, onde a mica aparece como produto intermediário, na seqüência de transformação do feldspato para caulinita; e a linha pontilhada indica a reação metastável do feldspato em caulinita.

Grim (33) apresentou algumas generalizações possíveis sobre a formação de argilo-minerais a partir de rochas básicas e ácidas. No primeiro caso, sob condições de drenagem boa ou chuvas intensas, quando o magnésio é lixiviado forma-se caulinita. Illita e montmorilonita são formadas a partir de rochas ácidas que contêm potássio e magnésio; se o conteúdo de magnésio é baixo, forma-se illita; no caso de ser baixo o conteúdo de potássio, forma-se montmorilonita. Remoção rápida de potássio e magnésio conduz formação de caulinita. Com base nos trabalhos citados é possível esquematizar os mecanismos de transformação de um feldspato para se transformar em argilo-mineral por perda de sílica e de metais alcalinos ou alcalino-terrosos. Essas transformações acham-se esquematizadas na figura 4.

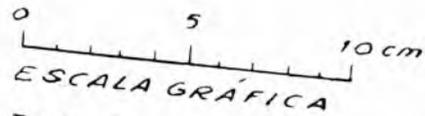
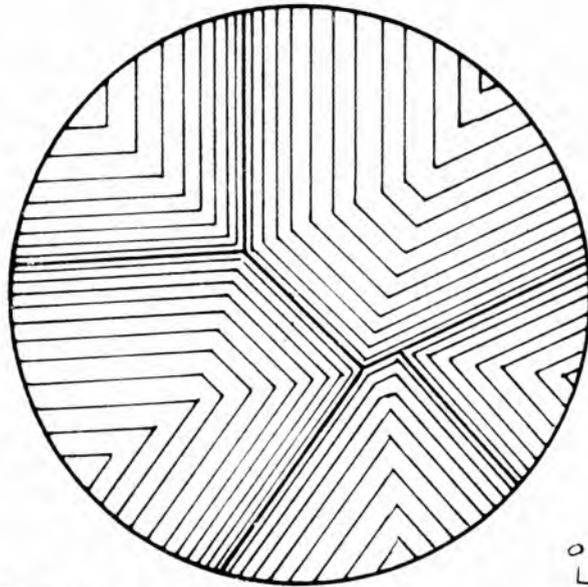


Fig. 2 — Detalhe da estrutura do bauxito de Poços de Caldas, segundo Harder (1952).

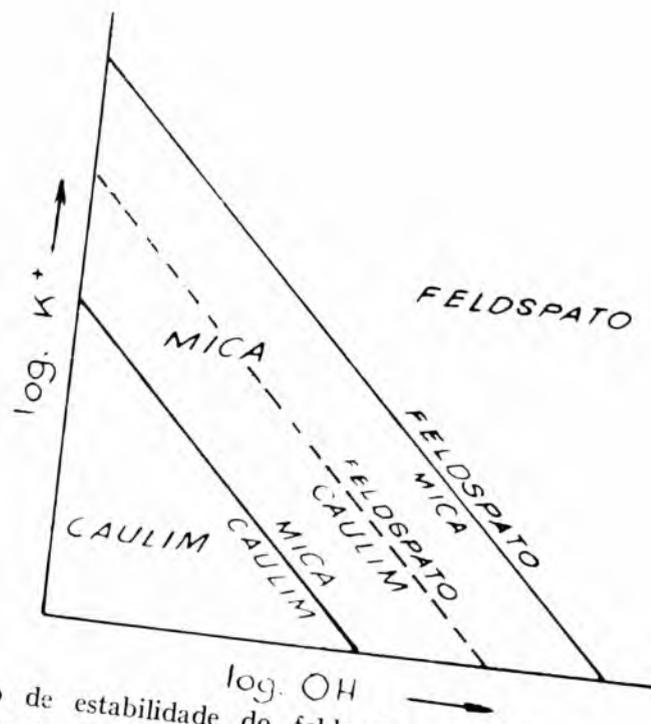


Fig. 3 — Campo de estabilidade do feldspato, mica e caulim, segundo Garrels e Howard (1959).

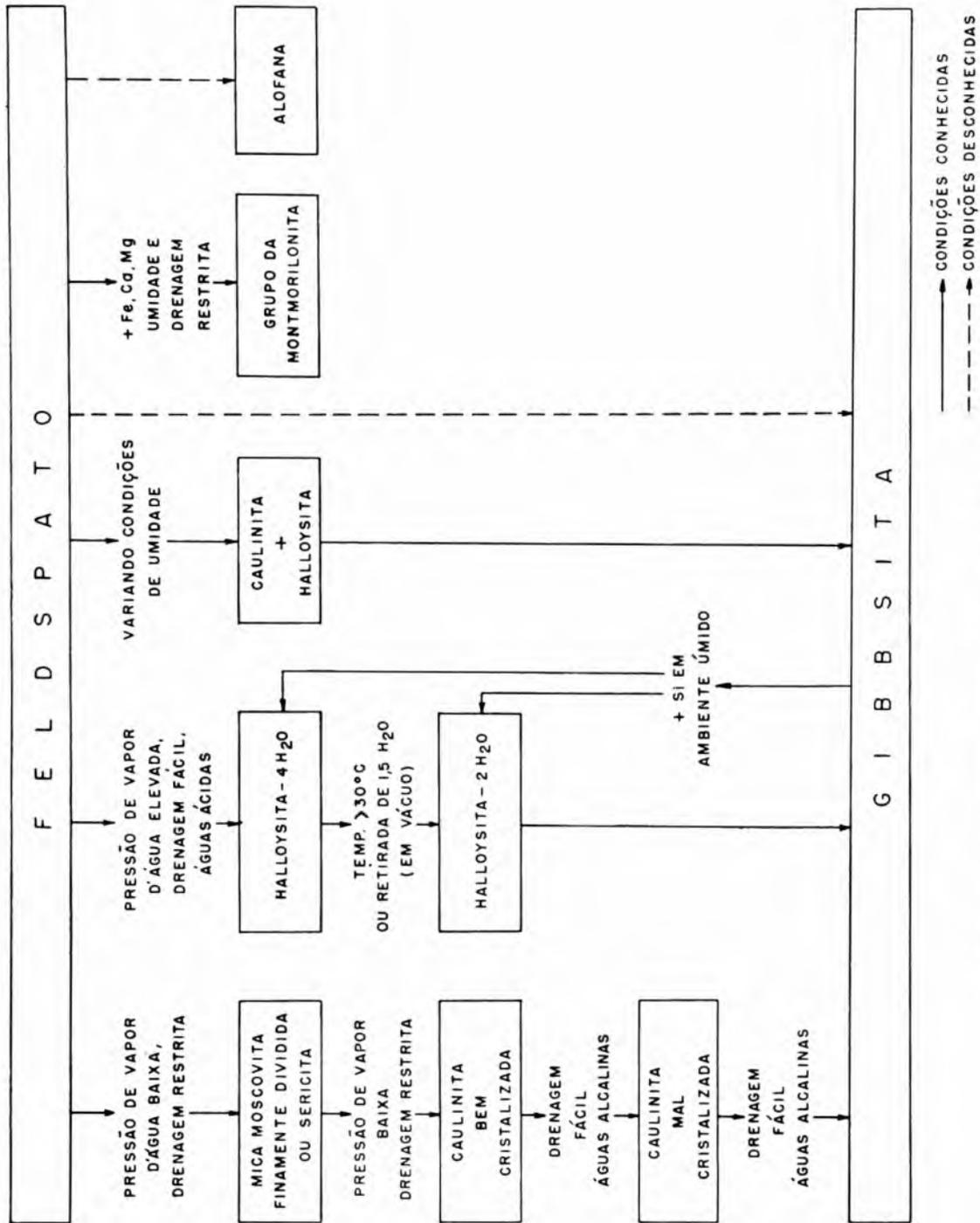


Fig. 4 — Esquema de transformação do feldspato.

3 — GEOLOGIA DA REGIÃO

O maciço alcalino de Poços de Caldas acha-se situado, geològicamente, nos limites da bacia sedimentar do Paraná e dos contrafortes da Serra da Mantiqueira. Segundo Ellert (6), a intrusão da rocha alcalina se verificou em rochas graníticas e gnaissicas do embasamento cristalino. Na borda interna do maciço, acompanhando o contacto com o encaixante, ocorrem sedimentos, conservados entre rochas piroclásticas, lavas e tinguaitos. Êsses sedimentos são folhelhos com intercalações arenosas na base e arenitos com estratificação cruzada no tampo.

Derby (1) estudou êsses sedimentos, que foram identificados posteriormente por Barbosa (3), Freitas (44), e Björnberg (7). Segundo Barbosa (3) os folhetos seriam de idade Permiana, situados nas formações Estrada Nova e Rio do Rastro, enquanto que os arenitos foram identificados como Botucatu.

Geològicamente associados aos sedimentos e às lavas, ocorrem as brechas, tufos e aglomerados dispostos numa faixa contínua, com largura variável.

As rochas alcalinas do planalto de Poços de Caldas são de tipos afins; mineralògicamente, apresentam ligeira variação havendo, contudo, grandes variações texturais ocorrendo desde rochas afaníticas até rochas cristalinas de grã grossa, nas quais os cristais se apresentam, por vêzes, com tamanho que se aproxima do dos pegmatitos.

Como rochas efusivas e hipabissais, encontram-se:

- a) Fonolito — termo extrutivo ou instrutivo de pequena profundidade; forma pequenos derrames com ligeira inclinação para o interior do maciço segundo Ellert (6). Essas rochas, quando inalteradas, sua côr é castanho-escura com textura fluidal visível;
- b) Tinguaitos — grande parte do complexo é constituído de rochas afaníticas, porfiríticas, sacaróides ou granulares, com coloração variando de prêto a verde, sendo consideradas como componentes hipabissais dos fonolitos. O dique anelar da área é formado pelo tinguaito.

Guimarães (13) determinou a seguinte freqüência para os minerais que compõem os fonólitos e tinguaitos:

Feldspato alcalino	44,8%
Nefelina	20,9%
Piroxênio sódico	16,8%
Zeólitas	12,4%
Minerais de zircônio (giannettita e pennaita)	3,3%

No grupo dos tinguaitos encontrados no planalto de Poços de Caldas, aparecem rochas com pequenas variações mineralógicas, descritas por Ellert como os pseudo-leucitas tinguaitos, analcita-tinguaitos ou analcita-fonólito e brecha de tinguaito.

Além das rochas efusivas e hipabissais, encontra-se um terço de rochas plutônicas formando o restante do maciço de Poços de Caldas; essas rochas são foiaíto, foiaíto traquitóide, lujaurito e chibinito.

Harder (24) apresentou duas análises químicas de rochas alcalinas de Poços de Caldas, nas quais se pode notar a semelhança entre a composição do fonólito e o foiaíto (tabela I)

*

As razões principais de natureza teórica de ter sido escolhido o planalto de Poços de Caldas como objetivo de estudo de argilas, prende-se aos fatos seguintes

- a) à grande escassez de mica nas rochas alcalinas, o que permitiu o estudo da transformação feldspato — mica — caulinita, que é difícil de ser seguida numa rocha que contém aquele mineral;
- b) à ausência de rochas encaixantes no tôpo do planalto tornou possível o estudo sem influência de contribuições trazidas por outros tipos de rochas, que não as alcalinas.
- c) à presença de dois tipos de produtos de alteração (intemperismo e metassomatismo hidrotermal) provenientes de um mesmo tipo de rocha e numa mesma área.

*

Tabela I — Análise química de rochas alcalinas de Poços de Caldas
(Harder, 24).

	Fonolito (*)	Foiáito (**)
SiO ₂	53,06	53,18
Al ₂ O ₃	20,85	21,18
Fe ₂ O ₃	4,47	3,39
FeO	0,79	0,76
MgO	0,61	1,60
CaO	1,29	1,01
Na ₂ O	7,18	7,34
K ₂ O	8,32	8,24
H ₂ O+	1,67	1,44
H ₂ O-	0,25	1,20
TiO	0,35	0,70
P ₂ O ₂	0,10	1,10
BaO ⁵	0,20	0,18

(*) Analisado no Departamento Nacional da Produção Mineral.

(**) Analisado no Aluminium Company of Canada, Ltda., Arvida, Quebec

PARTE I

MATERIAIS E MÉTODOS

1 — COLETAS DAS AMOSTRAS

Na figura 5, baseada no mapa Geológico de Ellert, Björnberg e Coutinho estão assinalados os locais da coleta do material proveniente de todos os tipos de rochas alcalinas que afloram no Planalto de Poços de Caldas. As amostras foram coletadas a distâncias regulares, praticamente cobrindo todo o planalto, a fim de se determinar, da melhor maneira possível, sua composição mineralógica e, com isso, obter-se uma idéia da distribuição das rochas alteradas, principalmente as resultantes da ação hidrotermal.

Os locais de coleta correspondem a cortes de estradas de rodagem, caminhos carroçáveis, locais de erosão etc., formando uma rede de pontos bastante densa e permitindo um estudo minucioso. Foram visitados quase todos os depósitos de argilas em exploração para fins cerâmicos, depósitos de bauxito, assim como as principais ocorrências de rochas decompostas cortadas por veios de caldasito.

Em alguns cortes de estradas, principalmente a que liga a cidade de Poços de Caldas a Andradas, foi possível coletar material até a profundidade de 15 metros. Em profundidade semelhante, foi coletado material argiloso em locais de exploração de zircônio, onde existiam um grande número de trincheiras, o que facilitava o estudo do material decomposto em profundidade e a possível ação hidrotermal, por ocasião da formação dos veios de caldasito, sobre as rochas encaixantes. Nos depósitos de argilas em exploração industrial, a profundidade máxima para coleta foi de 9 metros (Campo do Areão). O material estudado de maior profundidade foi coletado no interior do Morro do Ferro, de onde foram retiradas amostras até 90 metros a partir da entrada de uma galeria horizontal, e que deve corresponder a uma profundidade de aproximadamente 50 metros.

Procurou-se coletar amostras, sempre que possível em diferentes alturas num mesmo barranco ou corte de estrada, a fim de verificar possíveis variações na composição mineralógica dos argilo-minerais. A variação da cor do material, assim como da textura, plasticidade, dureza etc., normalmente serviam de critério para a coleta de amostras. Nos casos dos depósitos de baixada, onde havia variação gradativa e mais ou menos constante da cor do material, a partir da superfície até as partes mais profundas, foram coletadas amostras em linha vertical, dando-se uma numeração crescente a partir das amostras coletadas de cima para baixo, isto é, do solo para a rocha matriz. Todo o material coletado para esse estudo foi guardado em vidro ou em saco de polietileno, a fim de manter a amostra úmida e evitar a secagem e desitração, o que dificultaria a identificação da halloysita-4H₂O. Essas amostras foram em seguida examinadas por difração de raios-X, para a identificação dos argilo-minerais; uma vez feita a identificação, nos casos em que houve interesse, voltou-se à mesma região, área ou trecho de estrada, a fim de se fazer novas coletas de material argiloso, para certificar da extensão de cada uma daquelas ocorrências. Dêsse modo, foi possível mapear cada um dos tipos de ocorrências, com certa precisão; isto se fez, principalmente, porque um mesmo processo de alteração pode ocorrer simultaneamente em diferentes tipos de rochas, e em topografias variáveis. Esse mapa se encontra na figura 6.

2 — DIFRAÇÃO DOS RAIOS-X

O material antes de ser analisado por difração de raios-X foi moído completamente a fim de desfazer agregados e, em seguida, ainda úmido, foi colocado, sem orientação preferencial, no suporte do difratógrafo Norelco, com tubo de cobre. As corridas (“scannings”) em papel registrado das amostras que dão as reflexões basais foram realizadas entre ângulos 2θ , variando de 2.º até 63.º. Com isso, captava-se desde os espaçamentos ou distâncias interplanares largas até o espaçamento correspondente ao plano 060 dos grupos de caulinita e montmorilinita, que é fundamental para a diferenciação entre argilo-minerais dioctaedrais e trioctaedrais.

MAPA GEOLÓGICO DE POÇOS DE CALDAS
SEGUNDO ELLERT, BJÖRNBERG E COUTINHO (1959)

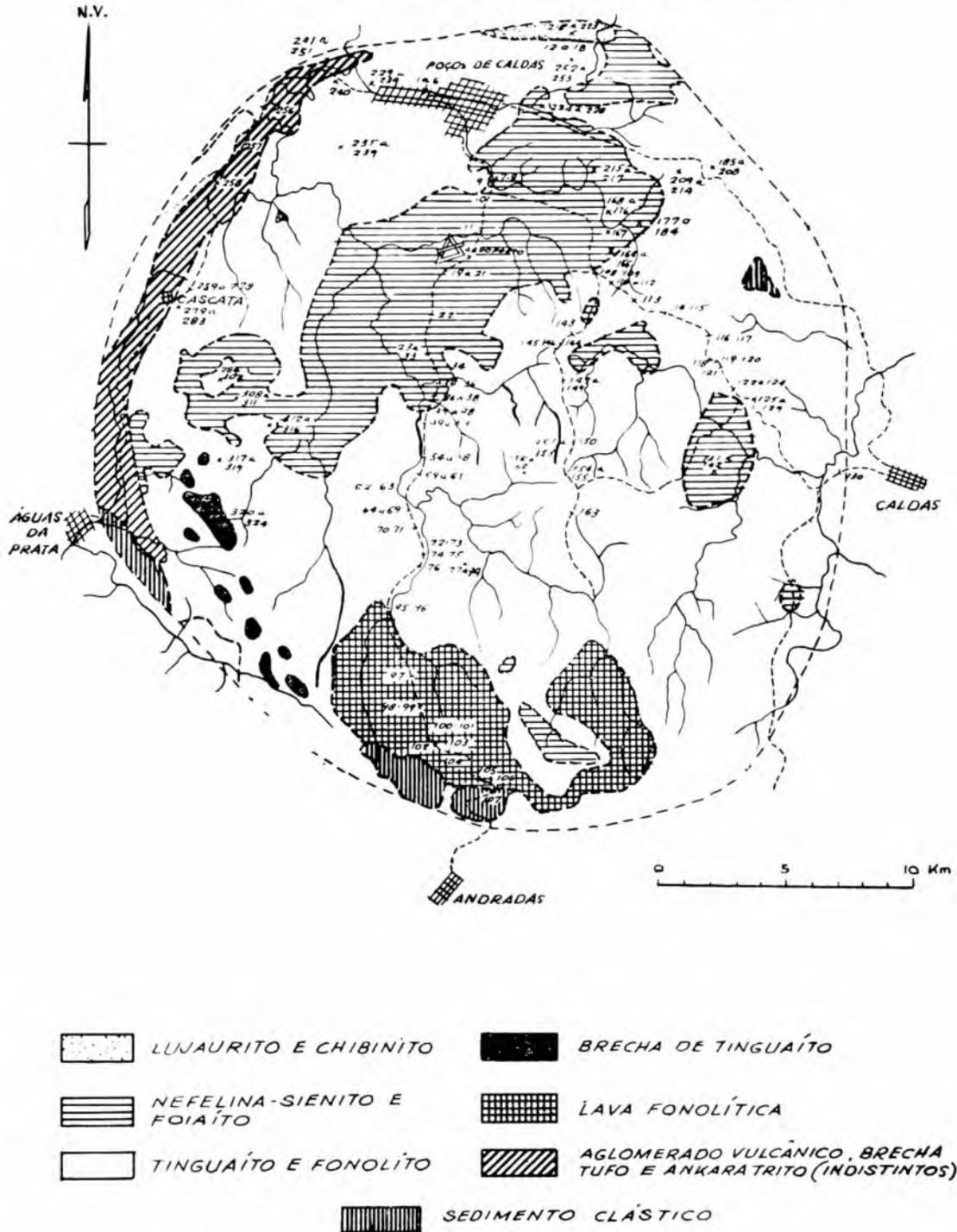


Fig. 5 — O mapa apresenta a distribuição das diferentes rochas do maciço alcalino de Poços de Caldas e a localização das amostras estudadas.

Os argilo-minerais foram identificados pelo seu espaçamento basal, que podemos grupar nos três tipos mais frequentes, que são os espaçamentos de 14, de 10, e de 7,2 angstroms. Como êsses espaçamentos correspondem a mais de um mineral, foi necessário o emprêgo de técnicas auxiliares (Warshaw e Roy — ref. 45) a fim de diferenciá-los. Essas técnicas baseiam-se na contração e expansão do espaçamento basal por meio de moléculas polares e pela ação da temperatura; foram empregadas na diferenciação entre halloysita-4H₂O e minerais do grupo das micas, e na identificação de minerais do grupo da montmorilonita.

A diferenciação entre halloysita-4H₂O e minerais do grupo das micas foi realizada da seguinte maneira: o mesmo material depois de examinado por difração de raios-X entre 2 e 63° era aquecido a 100°C, a fim de verificar qualquer variação no espaçamento de 10 angstroms. A halloysita-4H₂O, que apresenta espaçamento de 10,0 angstroms, portanto semelhante aos minerais do grupo da mica; depois de aquecida seu espaçamento passa para 7,2 angstroms que é o espaçamento basal do grupo da caulinita; a mesma amostra úmida era embebida em etilêno-glicol ou em glicerina, a fim de verificar a expansibilidade do espaçamento basal de 10,0 angstroms da halloysita-4H₂O, o qual se dilata para 11,0 angstroms. Na maioria das amostras estudadas que continham halloysita-4H₂O o emprêgo de etilêno-glicol mostrou-se superior ao da glicerina primeiro, porque dilatava tôdas as amostras; segundo, porque apresentava um pico bem definido correspondente ao espaçamento de 11,0 angstroms no difratograma, o que não acontecia quando se utilizava a glicerina, que normalmente formava um pico de pequena resolução, em forma de banda e de difícil interpretação de seu valor correto.

As amostras de halloysita-2H₂O não foram expandidas quando submetidas ao mesmo tratamento. Nesse caso, a irreversibilidade da reação é devida à possível contração do espaçamento basal da amostra devido ao aquecimento pelos raios solares; nas estações quentes a temperatura pode chegar acima de 30°C, o que impede a absorção de moléculas polares entre suas camadas estruturais no solo.

A montmorilonita quando submetida ao mesmo tratamento com etilêno-glicol para expansão do espaçamento basal, ou mesmo

sòmente embebida em água, apresenta uma dilatação da ordem de 3 a 4 angstroms.

3 — MICROSCOPIA ELETRÔNICA

Depois de examinado com raios-X todo o material coletado, foram selecionadas amostras para serem fotografadas com o microscópio eletrônico. Com êsse dado completavam-se as informações obtidas com a difração dos raios-X. Com a combinação dêsses dois métodos obteve-se dados valiosos para complementar as observações de campo e, ainda tornava possível a determinação da origem de certa ocorrência duvidosa, por meio puro e simples da análise mineralógica. A reunião dessas duas técnicas de análise permite um bom reconhecimento da composição mineralógica dos argilo-minerais do planalto, principalmente nos casos de misturas de caulinita e halloysita, como foi mostrado por Brindley, Souza Santos e Souza Santos (46)

As amostras foram preparadas por dispersão em soluções aquosas de hidróxidos de amônio segundo a técnica de Souza Santos e Souza Santos (47); o exame das preparações, sem sombreamento metálico, foi feito no microscópio eletrônico Elmiskop II; as micrografias de campos representativas foram tomadas com aumentos de três a quatro mil vêzes e ampliadas fotograficamente cinco vêzes.

4 — LÂMINAS PETROGRÁFICAS

Para o estudo da relação argilo-minerais formados a partir do material que lhe deu origem, foram estudadas cêrca 80 lâminas petrográficas.

5 — ANÁLISE TÉRMICA DIFERENCIAL

A análise térmica diferencial foi realizada num grande número de amostras, a fim de confirmar os resultados já obtidos pelos outros métodos, como também para estudar hidróxidos de alumínio amorfos (cliaquita) encontrados nos depósitos de bauxito. O equipamento de

análise térmica diferencial utilizado foi o de registro manual, descrito por Kapel e Souza Santos (48) e calibrado da maneira descrita nesse trabalho com caulim do Sacomã e com mistura de quartzo, carbonato de bário e gibbsita; os termogramas obtidos são desenhados, colocando-se em abcissas as temperaturas e em ordenadas positivas as transformações exotérmicas e em ordenadas negativas as transformações endotérmicas.

PARTE II

RESULTADOS

CAPÍTULO I

ARGILAS FORMADAS PELA AÇÃO DO INTEMPERISMO

I — INTRODUÇÃO

A observação de campo com a identificação dos argilo-minerais no laboratório, principalmente pela difração de raios-X, permitiu a distinção de duas regiões do planalto de Poços de Caldas, segundo a natureza supérgena ou hipógena dos processos que atuaram sobre as rochas alcalinas; dentro de cada região foi possível separar os vários produtos de alteração encontrados, o que permitiu sua divisão em áreas menores, as quais se acham assinaladas na figura 6.

Foi feita também a determinação da natureza e da frequência de ocorrência dos argilo-minerais encontrados e da seqüência de sua formação. Nêsse estudo foi necessário retornar às mesmas áreas já estudadas, após realização das análises mineralógicas das amostras coletadas anteriormente, a fim de se verificar a extensão de cada ocorrência.

As principais evidências sobre a gênese dos argilo-minerais, obtidas a partir das observações de campo combinadas com o estudo mineralógico realizado pela difração dos raios-X, foram confirmadas com o estudo por microscopia eletrônica, como ocorreu, por exemplo, com as halloysitas formadas a partir dos processos hidrotermais, ressilicatização e intemperismo.

No presente capítulo são estudados os argilo-minerais provenientes da decomposição das rochas alcalinas pelo intemperismo, o que foi feito, inicialmente, por uma apreciação dos resultados obtidos com a difração dos raios-X de amostras de toda a área envolvida (figura 6) Posteriormente estudou-se um depósito de argila refratária

LOCALIZAÇÃO DOS DIFERENTES PROCESSOS DE ALTERAÇÃO DAS ROCHAS NO MACIÇO ALCALINO DE POÇOS DE CALDAS.

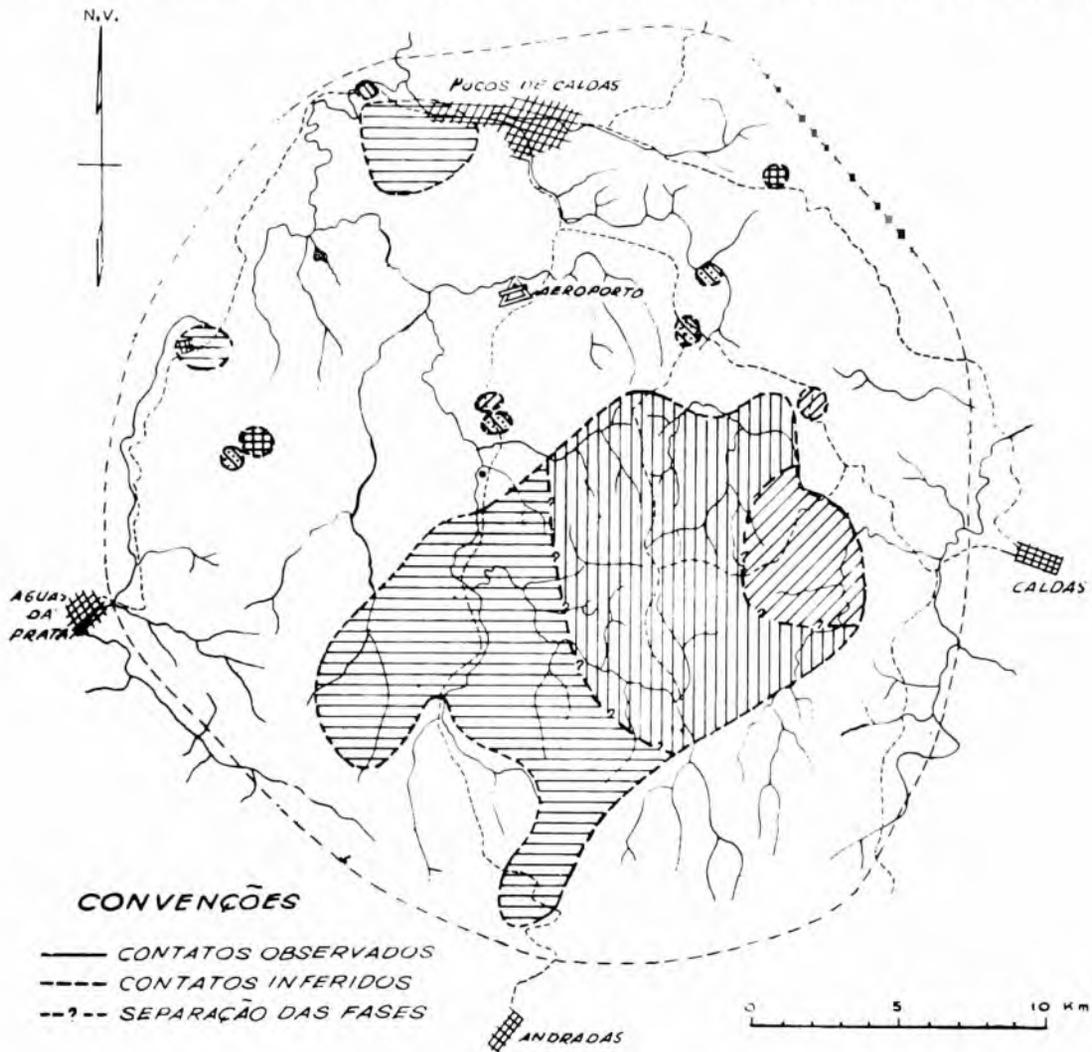


Fig. 6 — Localização dos diferentes processos de alteração das rochas do maciço alcalino de Poços de Caldas.

do Campo do Areão com mais detalhe, a fim de se ilustrar, de maneira mais detalhada, os processos supérgenos encontrados no planalto de Poços de Caldas.

Três quartos da área do planalto 600 km² aproximadamente são constituídos por materiais de natureza supérgena e que podem ser classificados em três tipos diferentes, para facilitar seu estudo; a) depósitos de argilas residuais (regiões elevadas, acima das baixadas); b) depósitos de argilas refratárias de baixadas (praticamente só residuais); c) depósitos de bauxitos, que serão estudados em outro capítulo.

2 — OBSERVAÇÕES DE CAMPO E DIFRAÇÃO DOS RAIOS-X

a — Depósitos residuais (de regiões elevadas)

O que facilmente caracteriza êsse tipo de depósito é a presença de diáclases reliquiaes da rocha matriz (foto 17); ocorrem em grande número, e podem ser facilmente observadas nos cortes de estrada e barrancos, pode-se notar que, freqüentemente, estão preenchidas as fendas, formadas pelas diáclases, por material também argiloso, de côr mais clara, o que dá nítido contraste com o material que o suporta. Em muitos locais, as fendas formadas pelas diáclases reliquiaes têm espessura da ordem de alguns milímetros mas mesmo assim, sua presença é ressaltada por um filme escuro, provavelmente de óxido de manganês, que delimita o veio.

Os depósitos residuais provenientes de foiaito apresentam diáclases em número bem menor do que o encontrado nos depósitos derivados de fonolito e tinguaiço; isso permitiu a formação de matações de esfoliação de dimensões maiores do que aquelas encontradas no fonolito-tinguaiço, enquanto os tufos praticamente não apresentavam diáclases.

A coloração das argilas desses depósitos é variada, predominando, porém, côres escuras devido a presença de ferro cujos teores diminuíam à medida que êsses depósitos se aproximavam das baixadas, quando se tornavam mais claros.

b — Depósitos de argila refratária (em baixadas)

Êsses depósitos se localizam nas baixadas e encostas, (foto 1) principalmente na região norte do planalto; distribuem-se preferen-

cialmente desde o alto de pequenas elevações e se prolongam acompanhando o curso de pequenos rios que banham a região. Na figura (7) estão assinaladas dentro da região dos materiais supérgenos, as áreas onde ocorrem depósitos de argilas refratárias e também de bauxitos; em qualquer das áreas assinaladas, tanto as ocorrências de argilas refratárias, como os depósitos de bauxito não são contínuos; a delimitação apresentada na figura 7 não exclui a possibilidade de existência de depósitos menores fora dessas áreas disseminados pelo planalto. Nas áreas assinaladas na figura (7) os depósitos de bauxito do interior do planalto ocupam as partes mais altas e aqueles de argila refratária as partes mais baixas, sendo pequeno o desnível entre êles. Os depósitos de bauxito da borda norte do planalto avançam até as partes mais elevadas do dique anelar.

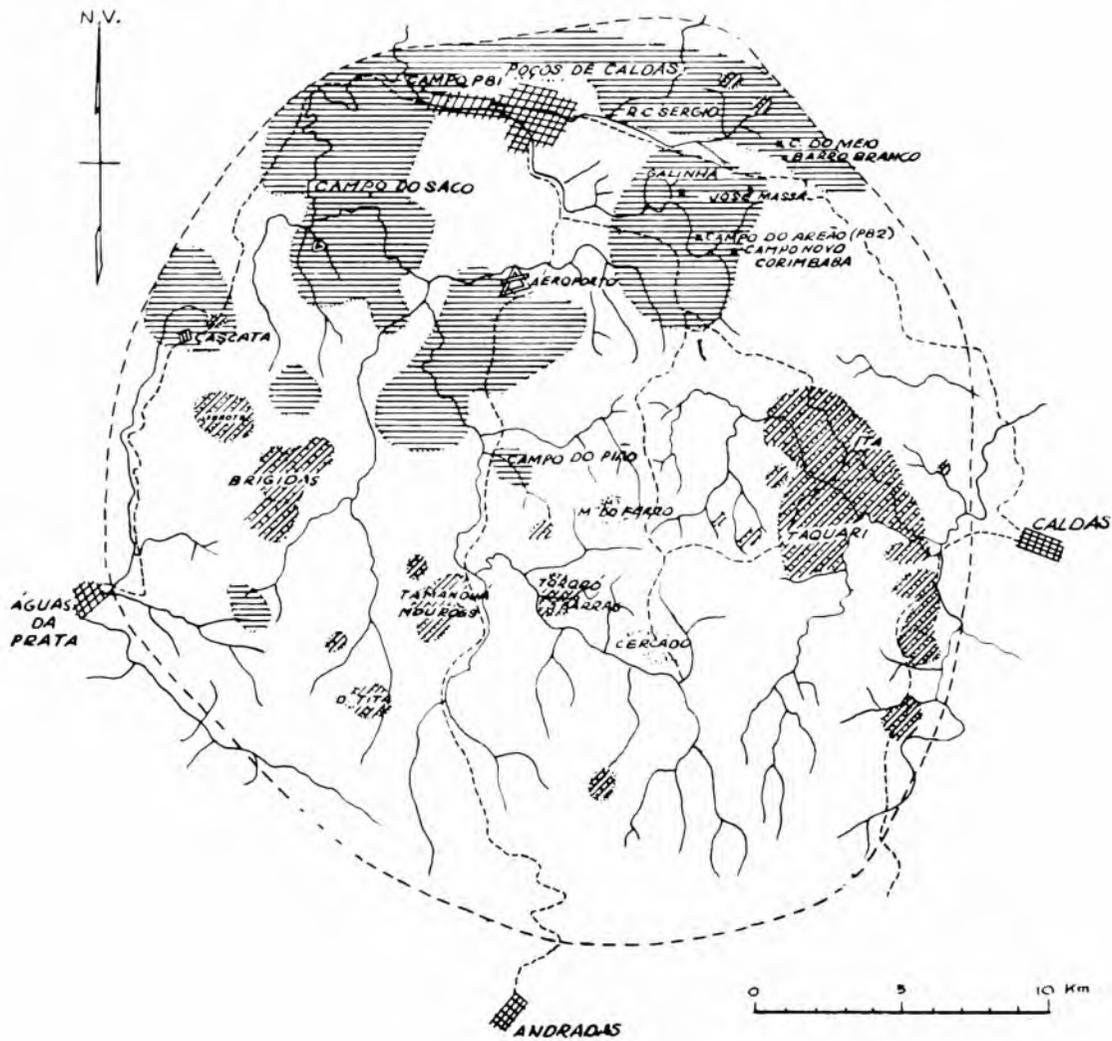
Examinado-se um perfil típico de depósito de argilas refratárias de baixada (foto 2), observou-se uma variação gradativa na coloração cinzenta das argilas. Verificou-se que os tons escuros predominavam nas partes superiores (maior teor de matéria orgânica), tomando tonalidades mais claras à medida que se aprofundavam no perfil, até desaparecerem por completo. Abaixo do material cinza encontrou-se uma camada de argila não mais considerada refratária e que tem sido utilizada com veículo inerte para inseticida; mais abaixo ainda dessa camada, encontrou-se a rocha em decomposição.

É comum se encontrar uma espessa camada de matéria orgânica no solo desses depósitos (foto 2), que devido à percolação das águas da superfície através do perfil, transporta essa matéria orgânica em profundidade, dando uma cor escura às camadas superiores.

Os depósitos de argila refratária que foram estudadas são provenientes, na sua maioria, da decomposição de foiaítos, que normalmente têm menor número de diáclases reliquiaes e que devido à intensa decomposição e ao transporte de matéria orgânica em profundidade, torna a sua origem autóctone menos evidente do que os depósitos das partes elevadas.

A parte superior de muitos desses depósitos é constituída por material transportado, caracterizado pela presença de uma camada geralmente irregular e não contínua de bauxito branco, devido à extração do ferro, que é realizada nas novas condições físico químicas do meio onde se depositou. Esse bauxito apresenta evidências de

LOCALIZAÇÃO DOS DEPÓSITOS MINERAIS DO MACIÇO ALCALINO DE POÇOS DE CALDAS



LEGENDA

-  ARGILA REFRACTÁRIA E BAUXITO
-  CALDASITO (ZIRCÃO E BADDLEYITA) ASSOCIADO COM URÂNIO (*)
-  ARGILA CONTENDO TERRAS RARAS E TÓRIO (*)

• SEGUNDO RESK FRAHYA

Fig. 7 — Localização dos depósitos minerais do maciço alcalino de Poços de Caldas.

pequeno transporte, devido ao seu tamanho bem irregular e grande número de arestas.

c — Difração dos raios-X

Depois de realizado o estudo pela difração de raios-X das amostras coletadas no campo, obteve-se grande número de dados que, para mais fácil compreensão dos seus significados, foram colocados na tabela II, dividida em depósitos residuais (acima das baixadas) e depósitos de argila refratária (baixada). Cada depósito, está subdividido em quatro colunas, segundo a natureza da rocha que lhe deu origem; foi assinalada em porcentagem, a frequência da ocorrência de cada argilo-mineral ou de uma determinada associação de argilo-minerais encontrados. Convém assinalar que o número de amostras em cada perfil, barranco ou trincheira é variável e que, portanto, as porcentagens apresentadas se referem apenas às amostras estudadas e não devem, estatisticamente, ser considerada representativa da distribuição dos argilo-minerais.

Os argilo-minerais encontrados foram caracterizados da seguinte maneira, através da interpretação dos difratogramas obtidos: a) Grupo de caulinita — Identificaram-se como argilo-minerais pertencentes a esse grupo, os materiais que apresentaram espaçamento basal de 7,2 angstroms e de 3,5 angstroms e cujas alturas dessas linhas foram superiores à altura da linha 020; podem ser constituídos somente por caulinita, que se apresentou desde bem cristalizada até mal cristalizada, isto é, com desordem ao longo do eixo *b* (Brindley e Robison (49)); podem ser constituídos também por mistura de caulinita com halloysita-2H₂O, o que impossibilita a identificação específica apenas com a difração dos raios-X, devido ao mascaramento que a halloysita até à proporção de 75% pode estar sujeita, quando misturada com caulinita, conforme demonstrou Souza Santos e Brindley (46). Realizou-se exame, com microscópio eletrônico, de várias dessas amostras, tendo sido evidenciada a presença de halloysita, como será visto mais adiante. b) Halloysita-4H₂O — Foi assim classificado o material que apresentava espaçamento basal de 10 angstroms (halloysita-4H₂O) que, saturado com etilêno-glicol, teve dilatado o espaçamento basal para 11 angstroms e submetido a tratamen-

to térmico por aquecimento a 100°C, aquêles espaçamentos contraiu para 7,2 angstroms. As amostras de halloysita-2H₂O apresentaram espaçamento basal de 7,2 angstroms, com picos de forma abaulada no difratograma, não expansíveis com tratamento por etilêno-glicol, cuja altura era inferior à da banda 020 c) Grupo das micas — O material que apresentava espaçamento basal de 10 angstroms, e que não sofreu nenhuma alteração com etilêno-glicol e nem com aquecimento, foi identificado como sendo do grupo das micas d) Gibbsita — Esse mineral foi identificado pelo seu espaçamento basal de 4,85 angstroms, e) Montmorilonita — Esse mineral foi identificado pelo seu espaçamento basal de 14 angstroms; quando saturado com etilêno-glicol dilatou para 17-18 angstroms.

Como se pode observar na tabela II, qualquer que seja o tipo de rocha matriz, os argilo-minerais formados praticamente são os mesmos, quer se originem de fonolito, tinguaito, de foiaíto, de tufo, ou de lava fonolítica.

Dentre as associações de minerais encontradas, predominam mica + caulinita (20-50%), freqüentes mica + caulinita + gibbsita (15-20%) A mica é o primeiro mineral a se formar dos feldspatos, por depender do potássio que é encontrado disponível logo após a destruição dos minerais da rocha alcalina, enquanto as águas de lixiviação ainda não tiverem tempo de afastá-lo do ambiente. A transformação feldspato-mica foi confirmada inúmeras vezes quando se examinaram rochas em fase inicial de alteração onde, invariavelmente, além dos minerais primários se encontrava mica secundária, já que as rochas alcalinas, com raras exceções, não apresentam mica primária.

A ocorrência freqüente (15-20%) de caulinita + gibbsita representa o estágio seguinte no processo de dessilicatização. Este se iniciou pelos minerais da rocha matriz e prosseguiu nos argilos-minerais, quando apareceu a gibbsita, representativa do produto final cristalino dessa transformação, proveniente da caulinita pela perda de sílica pela ação de água alcalinas, ricos em carbonatos alcalinos, especialmente de sódio, (Pedro ref. 50) Ao se estudar um corte de estrada com cerca de 400 metros de comprimento, próximo da fronteira de São Paulo e Minas Gerais, na estrada que une as cidades de Águas

Tabela II — Percentagem de argilo-minerais provenientes da ação do intemperismo em rochas do Planalto de Poços de Caldas.

Mineral	Argilas residuais				Argilas de baixadas			
	Tinguaíto e Fonolito	Nefelina Sienito e Foaíto	Tufo	Lava Fonolito	Tinguaíto e Fonolito	Nef. Sienito e Foaíto	Tufo	Brecha Tinguaíto
C	—	14%	3%	—	—	9%	—	—
H	1%	—	—	8%	—	—	—	—
M	6%	6%	—	—	—	—	16%	—
G	—	—	6%	—	—	—	—	—
C+H	17%	14%	4%	—	2%	—	—	—
C+M	21%	46%	30%	49%	14%	31%	16%	—
C+G	—	—	12%	—	14%	5%	—	37%
H+M	8%	—	6%	8%	—	—	—	—
H+G	1%	—	—	8%	—	—	—	—
M+G	1%	—	—	—	—	—	—	—
C+H+M	9%	—	6%	—	4%	—	16%	—
C+H+G	—	—	—	—	2%	5%	—	—
C+M+G	21%	14%	24%	—	58%	50%	52%	63%
H+M+G	—	—	—	27%	—	—	—	—
C+H+M+G	—	6%	9%	—	6%	6%	—	—

C = Caulinita, ou mistura de caulinita com halloysita $2H_2O$

H = Halloysita- $4H_2O$

M = Mica

G = Gibbsita

da Prata a Poços de Caldas, onde se estudaram 14 amostras de argilas provenientes da decomposição de tufo vulcânico. Verificou-se que 8 amostras eram constituídas de caulinita bem cristalizada e mica, e não continham gibbsita, enquanto nas restantes 6 amostras, que apresentavam cor escura devido ao maior teor de ferro presente, encontrou-se mistura de caulinita mal cristalizada com gibbsita, indício da desordem estrutural que a caulinita sofreria antes de sua transformação em gibbsita por dessilicatização.

3 — ESTUDOS DE DETALHE DAS ARGILAS REFRATÁRIAS

As argilas refratárias do planalto de Poços de Caldas (contêm acima de 46% de Al_2O_3 , após a calcinação, devido à presença de gibbsita) começaram a ser exploradas para fabricação de material refratário, há cerca de 10 anos, em substituição às argilas aluminosas do Triângulo Mineiro e de Moji-das-Cruzes. Essas argilas constituem matéria prima fundamental na fabricação dos refratários Togni e também são vendidas para o Estado de São Paulo para uso na fabricação de material refratário e de material cerâmico branco (sanitário e louça doméstica)

a — Ocorrências estudadas

As principais ocorrências estudadas de argila refratária de Poços de Caldas em exploração, cuja composição mineralógica foi estudada por difração de raios-X foram as seguintes, com a designação usual da região: Campo do Areão PB2, (1.^a e 2.^a frente); Campo do PB1; Barro Branco; Campo do José Massa; Campo do Saco; Campo Novo do Curimba. Esses campos acham-se assinalados na figura 7

Desses depósitos, o mais detalhadamente estudado neste trabalho foi o do Campo do Areão, cujas amostras estudadas foram coletadas pelo Dr. Pérsio de Souza Santos e pelo autor; os campos do PB1 e do Saco por serem constituídos de materiais provenientes de ação hidrotermal, serão estudados em outro capítulo.

Os depósitos de baixada, provenientes de rochas situadas a pouca profundidade, apresentam um desenvolvimento do perfil, onde se pode notar a seqüência completa de todos os argilo-minerais forma-

dos numa mesma frente de exploração ou furo de sondagem. O mesmo, contudo, não ocorreu nos depósitos das partes elevadas, onde a rocha matriz se encontrava em profundidades maiores. Por isso os diferentes estágios em que aparecem os argilo-minerais se apresentavam mais espaçados, o que tornava difícil captar uma seqüência completa de transformação.

Os depósitos do Campo do Areão são provenientes da decomposição supérgena de foiaítos de textura pegmatítica, que chegam a aflorar em alguns locais escavados por rios que drenam a região, onde são facilmente observados pseudomorfos de leucita até 6 cm de largura; a rocha que ainda conserva a sua textura primitiva encontra-se em estágio avançado de decomposição. Analisada pela difração dos raios-X revelou a presença de montmorilonita.

Num furo efetuado nesse campo (PB2 — 2ª frente) coletaram-se 9 amostras, da superfície até a profundidade de 9 metros, em cujas camadas mais profundas encontraram-se teores altos de potássio proveniente do feldspato ainda presente da rocha matriz. As amostras desse furo foram coletadas nas seguintes profundidades: I (0,3 — 0,5m); II (0,5 — 0,7m); III (0,7 — 1m); IV (1 — 3m); V (3 — 4m); VI (4 — 5m); VII (5 — 6m); VIII (6 — 7,5m); IX (7,5 — 9m)

Os difratogramas obtidos com as análises das amostras desse perfil se encontram na figura 8, onde estão assinalados os principais picos de caulinita, mica, gibbsita e feldspato alcalino. Examinando-se êsses resultados, observa-se nas amostras VIII e IX, a presença de feldspato, representante dos últimos minerais primários não decompostos da rocha matriz. O feldspato, nas amostras de níveis superiores deixa de aparecer, o que pode ser notado claramente através do comportamento do potássio (tabela III), que apresenta mudança abrupta de seu teor numa pequena zona do perfil, entre as amostras VII e VIII. A mica, que aparece em tôdas as amostras, forma-se principalmente nas camadas mais inferiores, onde ainda existe potássio disponível. Com o decréscimo constante daquele elemento nas camadas superiores, ocorre diminuição correspondente da quantidade de mica formada, que ainda sofre processos de dessilicatização que a

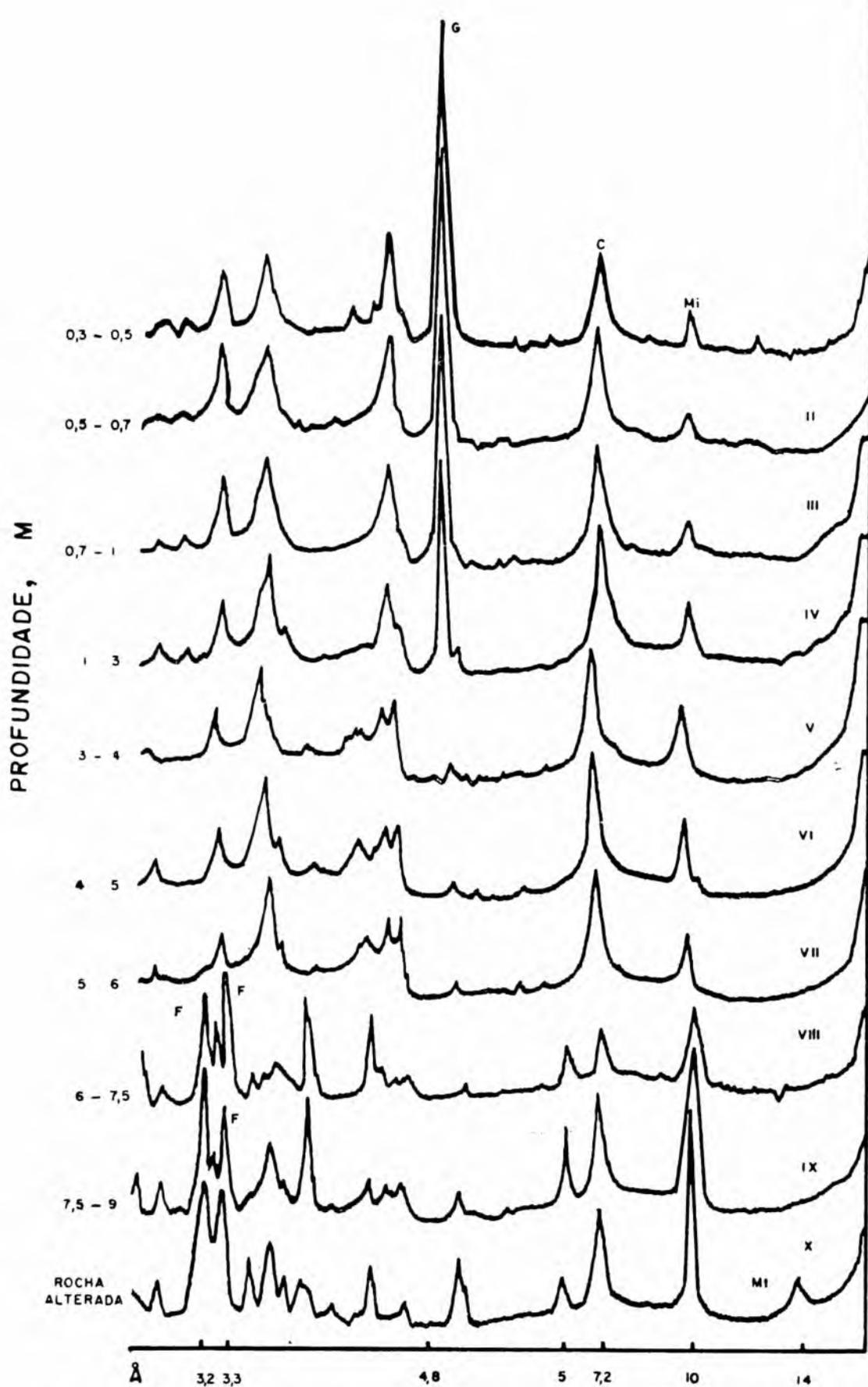


Fig. 8 — Difractogramas de um perfil do Campo do Areão, onde se podem notar o aparecimento de gibbsita (G) nas camadas superiores; o aumento do teor de mica (M) em profundidade; a caulinita (C) não varia significativamente ao longo do perfil. O feldspato (F) só é observado nas camadas mais profundas e a montmorilonita (Mt) só foi observada junto da rocha, ainda em decomposição.

Tabela III — Análise química de um perfil do campo do Arcão (*)

Amostras	Profund.(m)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O(**)	Na ₂ O(**)	TiO ₂	P Fogo
I	0,3-0,50	23,6	50,0	3,15	1,06	0,39	1,10	21,18
II	0,5-0,7	26,0	49,0	2,05	1,26	1,10	1,00	20,24
III	0,7-1,0	28,1	48,5	2,20	1,29	0,24	1,00	19,26
IV	1-3	39,0	41,0	2,20	1,53	0,18	0,80	15,84
V	3-4	44,7	38,7	2,30	1,70	0,13	0,80	12,20
VI	4-5	46,6	38,1	1,80	1,16	0,07	0,70	11,30
VII	5-6	45,0	39,0	1,95	1,71	0,09	0,70	11,76
VIII	6-7,5	51,1	31,6	2,00	7,10	1,10	0,60	6,42
IX	7,5-9	52,0	28,9	4,75	7,21	1,00	0,50	5,84

(*) Análise fornecida pela Cerâmica Togni Ltda.

(**) Análise determinada no Instituto de Pesquisas Tecnológicas.

vai transformar em caulinita. O comportamento da mica pode ser analisado observando-se a figura 8, onde se nota um decréscimo constante da quantidade de material presente, a partir da amostra IX até a I, através da diminuição da intensidade do espaçamento basal assinalado. Tão logo a mica se forma, os mesmos processos de lixiviação ou solubilização que estão atuando sobre a rocha matriz nas camadas mais profundas, também começam a atuar sobre esse mineral, que se transforma em caulinita pela liberação de sílica e potássio. Esse processo se intensifica à medida que se aproxima do solo (Tabela III) A gibbsita representa o último estágio (cristalino) do processo de dessilicatização no depósito residual vindo a aparecer na amostra IV, a partir da qual tem sua quantidade sempre aumentada até ao solo, que representa a camada do perfil onde a sílica foi mais lixiviada; a formação desse mineral se fez a partir da caulinita pela perda de sílica, e só ocorreu nas camadas mais superiores (IV até I), o que é uma evidência da maior estabilidade da caulinita se comparada com a mica, que desde a amostra IX se transformou continuamente em caulinita, enquanto esse mineral só foi alterado quando as condições de lixiviação e acidez foram mais acentuadas.

b — Microscopia eletrônica

O exame das fotografias obtidas revelou uma diminuição gradativa do tamanho das partículas à medida que as amostras estudadas se aproximavam do solo (fotos 3, 4 e 5). Essa diminuição corresponde à intensificação do processo de dessilicatização. Foram encontrados tubos de halloysita nas amostras mais profundas.

c — Análise térmica diferencial

Examinando-se os termogramas obtidos (Fig. 9-A) no sentido das amostras de maior profundidade para a superfície, encontram-se nas amostras VIII e IX picos de caulinita com intensidade relativamente pequena; entre as amostras V e VII tem-se termograma de caulinita bem nítido, com pico endotérmico 110°C e 120°C que pode ser considerado de halloysita. A partir da amostra IV, o pico exotérmico de 970°C da caulinita começa a desaparecer, quando aparece a gibbsita, cujo teor vai aumentando gradativamente até a superfície.

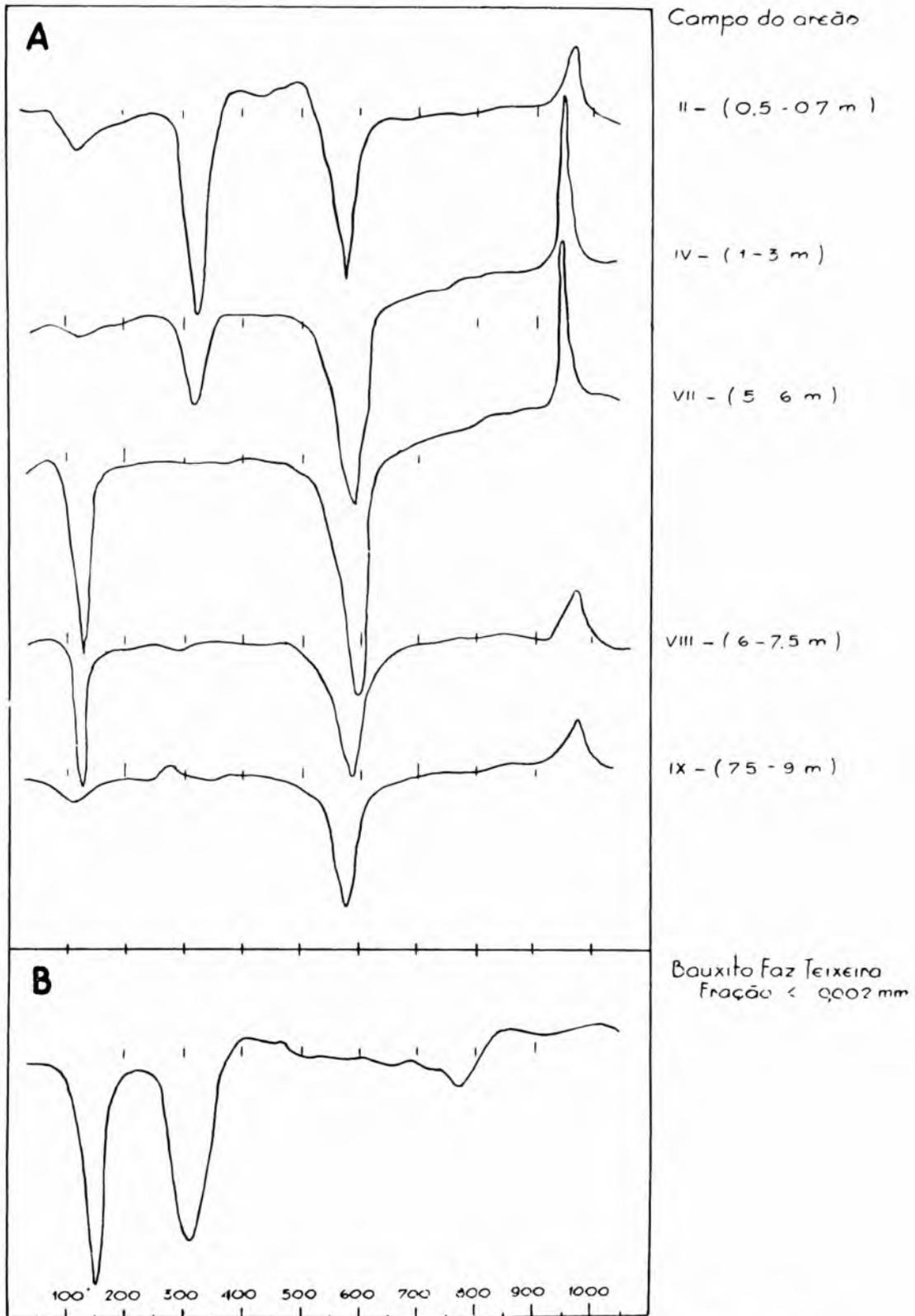


Fig. 9 — A — Termogramas do perfil do Campo do Areão; B — Termograma da fração argila do bauxito da Fazenda Teixeira.

d — Côr das argilas

A amostra IX apresenta côr amarelada devido a maior quantidade de ferro presente, que já foi lixiviado em maior quantidade nas camadas superiores; a amostra VIII tem côr ligeiramente amarelada, pela diminuição do ferro presente, que na amostra VII se acentua, quando passa à côr creme-clara: as amostras IV até VI tem côr clara, e correspondem à zona de baixo teor em ferro; a partir da amostra IV até I o material apresenta côr cinza, que no início tem tonalidade muito clara, mas que vai escurecendo até a superfície, à medida que o teor de gibbsita aumenta; as amostras superiores são enriquecidas por matéria orgânica transportada pelas águas em profundidade; o ferro das camadas superiores e média foi retirada pela ação do ácido úmico transportado por essas águas.

A camada de bauxito branco, encontrado nas partes mais altas desses depósitos, vai ser tratada no capítulo de ressilicatização.

e — Outros depósitos de argilas refratárias

Os demais depósitos de argila refratária, referidos no início deste capítulo, também foram estudados mineralógicamente com difração dos raios-X. Esses depósitos têm características topográficas bem semelhantes às do Campo do Areão, inclusive o Campo PB1, de origem hidrotermal, estudado no capítulo correspondente; as amostras estudadas desses depósitos foram coletadas em furos, quando se examinaram materiais até profundidade de 8 metros (Barro Branco) e em poços, onde as amostras foram coletadas a profundidade bem menores devido à posição alta do lençol freático. Também foi coletado material nas frentes de exploração industrial de argilas. Com base nas observações de campo, onde se pôde constatar a pequena variação do aspecto do material, e pelas análises efetuadas com difração dos raios-X, foi possível verificar a homogeneidade dessas argilas. As variações locais não afetavam o esquema geral de sua formação, como foi o caso do Campo do Barro Branco, que apresentava maior teor em gibbsita, devido à maior contribuição que esse local recebeu de depósitos de bauxito da encosta do dique anelar, onde ele se acha encostado. A maioria desses depósitos se achava em região

onde ocorria bauxito nas proximidades, o que foi responsável pelos bauxitos brancos encontrados no seu interior.

Examinando-se os resultados obtidos de tôdas as análises efetuadas com difração dos raios-X nos depósitos residuais de baixada, encontrou-se mais freqüentemente a associação de argilo-minerais (50-60%) mica + caulinita + gibbsita, que é uma evidência da maior velocidade do processo de dessilicatização que ocorre nas baixadas. Como associação freqüente (15-40%) encontrou-se: a) mica + caulinita, cujo significado já foi estudado; e b) caulinita + gibbsita, que é mais uma evidência da seqüência de transformação encontrada. Nenhuma amostra que tivesse somente mica + gibbsita foi encontrada em todo o planalto, o que é evidência adicional de que a seqüência de transformação é feldspato — mica — caulinita — gibbsita e que é necessária a existência de uma certa fase cristalina, antes do aparecimento de uma outra, nesse tipo de depósitos. (Tabela II)

Uma verificação dos resultados obtidos pela difração dos raios-X pode ser verificada no apêndice e para melhor facilitar a compreensão desses resultados, está apresentada a localização das diversas amostras em profundidade, bem como o local de onde foram coletadas.

4 — INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

A seqüência de argilas formadas pela ação do intemperismo a partir das rochas alcalinas encontradas no planalto de Poços de Caldas foi mica — caulinita — gibbsita. Mais próximo da rocha em alteração, achou-se halloysita, tendo sido verificada, também, a presença de montmorilonita junto da rocha em alteração do Campo do Areão.

A intensidade do processo de dessilicatização nas baixadas foi superior ao das partes elevadas.

Encontram-se argilo-minerais semelhantes a partir dos diferentes tipos de rochas alcalinas. A formação de mica finamente dividida pela ação do intemperismo sobre as rochas alcalinas pôde ser bem caracterizada por faltar aquêle mineral nas rochas que o originaram.

Quìmicamente a ação do intemperismo causou perda de sílcio e potássio, tendo havido concentração do alumínio.

Uma diminuição do tamanho das partículas das argilas correspondeu ao aumento da intensidade do processo de dessilicatização.

*
* *

Os resultados obtidos no estudo dos argilo-minerais do planalto de Poços de Caldas, formados pela ação do intemperismo, estão de acôrdo com os dados de literatura mais recentes, como pôde ser observado no breve resumo apresentado na introdução dêste trabalho.

A determinação da mica, como elemento intermediário entre a rocha e a caulinita, pode ser estabelecida com segurança: a) devido à rocha não conter aquêlê mineral; b) pelas análises com difração dos raios-X de inúmeras rochas, em fase inicial de decomposição, que estavam invariavelmente acompanhadas daquele mineral e ainda não continham caulinita.

A presença da montmorilonita, no Campo do Areão, junto da rocha ainda em decomposição, está de acôrdo com as observações de Grim (33) e Bates (39), e sua formação ocorreu em ambiente úmido, alcalino e rico em ferro, cálcio e magnésio; a presença de halloysita era previsível em face dos estudos de Sand (41) e Bates (42), que haviam mostrado que aquêlê mineral se forma nas condições ambientais, pela ação do intemperismo.

A presença de halloysita nas camadas mais profundas dos depósitos de argila residual, sugere a possibilidade daquêlê argilo-mineral ter-se formado a partir dos minerais que se decompõem mais ràpidamente. Essa possibilidade, contudo, requer melhor investigação, já que os dados obtidos são insuficientes para provar aquêlê tipo de transformação.

CAPÍTULO II

BAUXITOS

I — INTRODUÇÃO

Os depósitos de bauxito se localizam principalmente ao norte do planalto de Poços de Caldas, numa área mais ou menos contínua no dique anelar, e no interior do planalto, distribuídos espaçadamente numa região de argilas residuais (Fig. 7)

Estudaram-se tanto depósitos de bauxitos em exploração (Fazenda Teixeira, Colina, Campo do Meio e Campo do Areão) como pequenas ocorrências encontradas ao longo da estrada velha Poços de Caldas-Caldas e Poços de Caldas-Andradas. Foram estudadas, dessa maneira, os bauxitos, formados a partir de lujaurito, chibinito, fonolito, tinguaito e foiaíto.

Os bauxitos provenientes dos vários tipos de rochas alcalinas do planalto de Poços de Caldas, tinham em comum uma estrutura concêntrica, (Fig. 2), que representa as fases de decomposição que sofreu a rocha a partir das partes mais externas em direção do núcleo. Em bauxitos provenientes de fonolito ou tinguaito é muito freqüente a preservação de diáclases reliquiais, como pode ser observada na Foto 6.

2 — ESTUDOS POR DIFRAÇÃO DOS RAIOS-X

Os bauxitos da Fazenda Teixeira (derivados de lujaurito e chibinito) estudados com difração dos raios-X, revelaram a presença de gibbsita, goetita, cliaquita, boemita e litioforita; a boemita foi encontrada em algumas amostras, em quantidade muito pequena (Fig. 10-IV) e a litioforita só foi encontrada no material de um furo de sondagem. Devido à pequena intensidade do espaçamento interplanar 4,85 angstroms da gibbsita, suspeitou-se da presença de material amor-

fo (cliaquita), cuja presença foi confirmada com análise térmica diferencial (Fig. 9-B), onde aparece um pico endotérmico a 150°C daquele hidróxido de alumínio amorfo.

Provavelmente a cliaquita é o componente principal de algumas amostras dessa área, se tomarmos como referência a pequena intensidade do espaçamento interpiano principal da gibbsita registrado nos difratogramas obtidos. A maior concentração de cliaquita foi encontrada na fração argila (inferior a 0,002mm), onde praticamente não se encontrou gibbsita (Fig. 10-III). Nas frações mais grosseiras predominou a gibbsita.

Os bauxitos coletados na Colina, formados a partir de fonolito, preservaram praticamente todas as diáclases reliquiais da rocha, que apresentaram nitidamente decomposição esferoidal, tendo-se encontrado em algumas amostras a rocha inalterada no núcleo do bauxito. Estudou-se, com difração dos raios-X, o material da pequena fase de transição entre a rocha e o bauxito, tendo-se encontrado uma diminuição gradativa da gibbsita à medida que o material se aproximava da rocha inalterada, até um ponto onde só foi encontrado mineral primário da rocha. Não se encontrou qualquer outro mineral secundário, além da gibbsita.

A evidência da transformação direta da rocha em bauxito, encontrada no estudo daquele material, veio confirmar as observações de campo, onde sempre se encontrou transição brusca entre aqueles dois materiais.

As amostras de bauxito coletadas ao longo da estrada velha Poços de Caldas-Caldas, que foram examinadas com difração dos raios-X, revelaram ser constituídas, principalmente, de gibbsita, tendo-se encontrado, também, cliaquita.

Numa lâmina petrográfica de bauxito dessa região, encontrou-se pequeno veio de gibbsita; os cristais alongados desse mineral se apresentavam ligeiramente orientados normalmente à parede do veio e tinham tamanhos superiores aos cristais da massa do bauxito. A presença desse veio é um indício de que a gibbsita pode ser solubilizada e transportada, sendo posteriormente depositada em fendas, em condições propícias para um bom crescimento dos cristais (foto 7).

Os bauxitos coletados na estrada Poços de Caldas-Andradas eram constituídos, principalmente, de gibbsita e cliaquita, tendo-se en-



10 — Difratogramas

- I — Córrego do Meio — Bauxito branco composto de mica (Mi), caulinite (C) e gibbsita (G)
- II — Campo do Areão — Bauxito branco composto de mica (Mi), caulinite (C) e gibbsita (G).
- III — Fazenda Teixeira — Fração argila (inferior a 0,002mm) do bauxito composta de pequena quantidade de gibbsita (G). O material amorfo (cliaquita) foi identificado com análise térmica diferencial.
- V — Fazenda Teixeira — Bauxito composto de gibbsita (G), boemita (B) e goetita (Goe)

contrado num pequeno depósito exposto num corte de estrada, uma grande quantidade de hidróxido de alumínio, que foi solubilizado e depositado, praticamente, em tôdas as fendas formadas pelas diáclases reliquiaes. Por ocasião dessa decomposição, o ferro foi lixiviado, tendo-se depositado um material muito branco. Encontraram-se cristais de gibbsita bem desenvolvidos, tanto nos veios como no interior dos blocos de bauxito, evidência de recristalização dêsse material.

3 — INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

A gibbsita é o principal mineral encontrado nos bauxitos da borda e do interior do planalto, proveniente de todos os tipos de rocha alcalina. Aquêle mineral estava normalmente acompanhado de hidróxido de alumínio amorfo (cliaquita), que predominava na fração argila, inferior a 0,002mm.

Encontrou-se, também goetita, responsável pelo teor de ferro presente nos bauxitos. Pequenas quantidades de boemita e litioforita foram encontrados em bauxitos provenientes de lujaurito e chibinito, além daqueles minerais.

A gibbsita pode se solubilizar vindo a se depositar formando cristais bem desenvolvidos; êsse mineral ao se depositar não é acompanhado pelo hidróxido de ferro, que é encontrado, praticamente, em todos os bauxitos do planalto de Poços de Caldas.

Os depósitos de bauxitos do interior do planalto estão localizados numa área onde o tipo de decomposição mais freqüentemente encontrado foi o que conduziu à formação de argilo-minerais.

Os bauxitos, provavelmente se originaram por transformação direta da rocha alcalina, sendo indícios: a) o fato de não se ter encontrado uma camada de argila intermediária; b) a presença de uma estrutura concêntrica praticamente em todos os bauxitos estudados (Fig. 2); c) de um sistema de fendas que representam as diáclases da rocha alcalina (Foto 6)

Os bauxitos do planalto de Poços de Caldas provavelmente não se formaram a partir de argilas, devido as seguintes razões: a) não foi observada textura concêntrica em qualquer dos depósitos de argila examinada, sendo pouco provável, portanto, a sua formação

posteriormente nos bauxitos; b) os depósitos de argila refratária, são os que estão em fase mais avançada no processo de dessilicatização. Esses depósitos, que ainda estão longe de poder ser considerados bauxitos, já não conservam as diáclases reliquiaes (Foto 2), que dessa maneira não poderiam ser preservadas, como podem ser observadas no bauxito.

Por não se ter encontrado indícios que evidenciassem a formação do bauxito a partir de argilas no planalto de Poços de Caldas, é provável, portanto, que esses dois materiais tenham se formado em condições diversas, devido a uma possível mudança climática que teria afetado essa região.

*
* * *

Weber (25) admitiu serem atuais os processos que resultaram na formação de bauxitos e na de argilas, tendo concluído, com base no resultado de análise de testemunhas de sondagem, que 65% dos bauxitos do planalto de Poços de Caldas se originaram de argila, e os restantes 35% se formaram diretamente da rocha.

Os estudos das argilas formadas pela ação do intemperismo, em todo o planalto de Poços de Caldas, permitiu verificar que nenhum depósito de argila estava em processo de dessilicatização tão avançado que pudesse ser considerado bauxito. Os depósitos de argila de baixada eram os mais ricos em gibbsita, mas o que ainda predominava em sua composição eram os argilo-minerais. Por outro lado, a estrutura concêntrica do bauxito, assim como a presença de fendas formadas pelas diáclases reliquiaes da rocha, eram os elementos mais seguros a favor da transformação direta, como podia ser observado, praticamente, em todos os bauxitos do planalto de Poços de Caldas examinados.

A observação de Weber (25) de ocorrência de argila em baixo do bauxito, pode ser assim explicada: inicialmente formou-se bauxito, a partir da rocha alcalina por transformação direta, em condições ambientais específicas e que foram posteriormente alteradas; devido à essa mudança, as rochas alcalinas começaram a se alterar em argilo-minerais. Graças à grande porosidade do bauxito, foi possível que

as águas superficiais atingissem a rocha em profundidade, que não havia sido alterada em bauxito tendo se iniciado um novo tipo de alteração. Dessa maneira, a camada de argila encontrada sob o bauxito não representa a fase inicial do processo de bauxitização, mas sim, um outro processo de decomposição. Nos casos em que o bauxito está em contato lateral com depósitos de argila, como é encontrado no interior do planalto, esta explicação é mais evidente.

Goldman e Tracey (36) estudando bauxitos de Arkansas explicaram não ter encontrado indícios de formação de bauxito a partir de caulim. Essa observação, feita em materiais provenientes de rochas, semelhantes às encontradas em Poços de Caldas, vem a favor das conclusões apresentadas neste trabalho.

Felicíssimo Junior e Franco (29) encontraram rochas básicas e intermediárias do altiplano da Serra de Cubatão alteradas diretamente em bauxito, sem indicação de formação intermediária de caulim. Essa observação é semelhante à apresentada neste trabalho.

CAPÍTULO III

ARGILAS FORMADAS POR RESSILICATIZAÇÃO

I — INTRODUÇÃO

A ressilicatização parcial de bauxitos é freqüente no planalto de Poços de Caldas e foi observado: a) nos fragmentos de bauxitos transportados e depositados nas baixadas (bauxito branco); b) a partir das fendas do bauxito formadas pelas diáclases reliquiais da rocha, onde se encontraram argilo-minerais formados possivelmente por ressilicatização assinalados na figura 6, tendo se deixado de registrar as ocorrências de bauxito branco, que praticamente ocorrem em todos os depósitos de argila refratária (Campo do Areão, Córrego do Meio, Campo do Barro Branco, Campo Nôvo do Corimbatá, etc.)

2 — BAUXITO BRANCO

Os fragmentos de bauxito, depois de transportados e depositados nas baixadas, foram recobertos por sedimentos. Êsses fragmentos, como foi visto no Capítulo I, perderam parte do ferro devido às novas condições físico-químicas do meio onde se depositaram, o que explica a sua côr clara.

O exame com difração dos raios-X de materiais do Córrego do Meio e do Campo do Areão, revelou a presença de mica e caulinita (Fig. 10-I e II), além da gibbsita. A presença dos argilo-minerais, mica e caulinita, é um indício de ressilicatização do bauxito; os fragmentos de bauxito, depois da deposição, sofreram, provàvelmente, ataque de soluções ricas em silício e potássio, provenientes do processo de dessilicatização.

Encontrou-se teor de 27,6% de sílica num bauxito branco do Campo do Areão, o que é um indício da intensidade do processo de ressilicatização a que estão sujeitos êsses materiais.

A estrutura porosa do bauxito ficou preservada, o que é o maior indício do processo de ressilicatização, como pode ser observado em lâmina petrográfica de material do Campo do Areão (Foto 8); não foi possível diferenciar, com o microscópio petrográfico, a caulinita, mica e gibbsita, componentes desse material, e que foram identificados com difração dos raios-X.

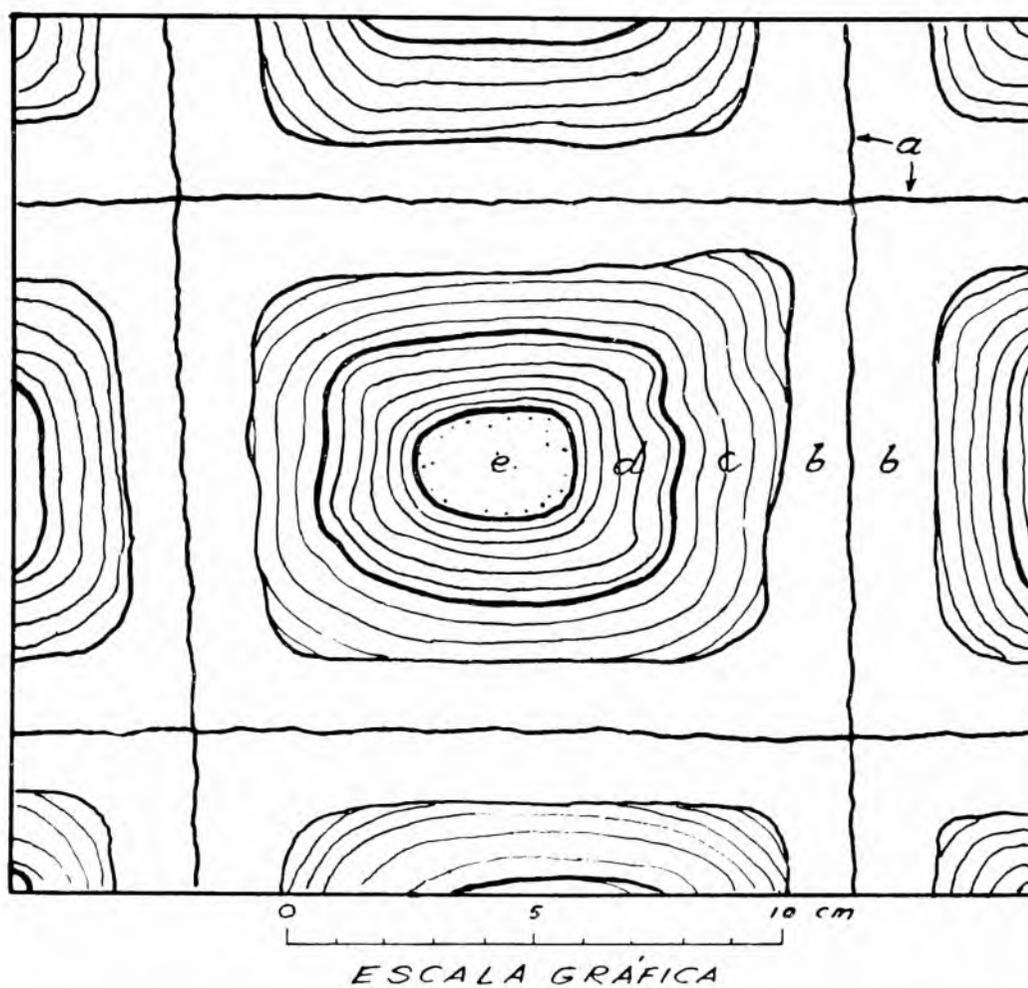
3 — ARGILAS OCUPANDO FENDAS DE BAUXITO

Estudaram-se cinco ocorrências de bauxitos contendo argilas formadas, possivelmente, por ressilicatização. Essas argilas ocupavam principalmente as fendas, provenientes das diáclases reliquiaes da rocha alcalina.

a — Estrada Velha Poços de Caldas-Caldas

Numa pequena ocorrência de bauxito, no início da estrada que vai para o Morro do Ferro, encontrou-se halloysita-4H₂O, formada provavelmente por ressilicatização do bauxito. Verificaram-se nessa ocorrência, filmes de material prêto (Fig. 11a) que ocupavam fendas primitivas do bauxito. Esses filmes se formaram, provavelmente, quando os blocos de bauxito ainda estavam em contato, antes do início do processo de ressilicatização; depois da deposição desse material, o bauxito, provavelmente, foi atacado, a partir das fendas, por soluções contendo silício, resultando, com isso, na formação de halloysita-4H₂O (11b). A cor clara da argila formada nesse processo é indício de que as soluções que provocaram a ressilicatização eram, provavelmente, ácidas, tendo retirado o ferro do bauxito. Mais internamente formou-se uma zona intermediária, constituída de halloysita-4H₂O e gibbsita, fisicamente muito semelhante ao bauxito (Fig. 11c); a presença de um limite irregular entre camadas *b* e *c*, e de uma zona de transição *c*, são indícios de que a alteração do bauxito se deu, provavelmente, a partir das suas paredes externas. Segue-se, internamente, o bauxito que não foi alterado (Fig. 11d); encontraram-se amostras contendo rocha inalterada (fonolito), no núcleo do bauxito (Fig. 11e).

O material da figura 11b, examinado com difração de raios-X, revelou ser constituído de halloysita-4H₂O, identificada pelo espaça-



a - FILME ESCURO *c* - HALLOYSITA-4H₂O + GIBBSITA
b - HALLOYSITA-4H₂O *d* - BAUXITO
e - FONOLITO INALTERADO

Fig. 11 — Esquema da ocorrência de halloysita-4H₂O formada por ressilicitação da superfície de blocos de bauxito formadas por diáclases reliquiais. Local: estrada Poços de Caldas-Caldas.

mento basal de 10 angstroms, que dilatou para 11,0 angstroms depois de tratada com etilêno-glicol, e contraiu para 7,2 angstroms após o tratamento térmico.

O exame, por microscopia eletrônica, revelou ser a halloysita-4H₂O constituída de tubos bem curtos (Foto 9), o que permitiu distingui-la dos outros tipos de halloysita encontradas no planalto de Poços de Caldas, provenientes: a) da ação do intemperismo (Foto 4); b) ação hidrotermal de alta temperatura (Foto 25); c) hidrotermal de temperatura média (Foto 16); d) hidrotermal de baixa temperatura (Fotos 23 e 24)

b — Campo do Areão (PB2)

Num pequeno depósito de bauxito dêsse campo, encontrou-se halloysita-4H₂O formada, provavelmente, por ressilicatização; êsse argilo-mineral tem cor clara e apresenta aspecto porcelânico, além de grande consistência, como pode ser avaliado na foto 10; os veios de halloysita-4H₂O apresentam formato reticular devido ter-se formado nas fendas do bauxito, que foi posteriormente carregado pelas águas superficiais. Os veios de halloysita apresentam, freqüentemente, ramificações muito finas, com poucos milímetros de espessura, como pode ser observado na foto 11

A erosão do bauxito, se deve, possivelmente, à transformação (em halloysita-4H₂O) de suas camadas mais externas (Fig. 2), que são as mais consistentes e que mantêm a forma dos blocos de bauxitos. Devido a alteração daquela camada externa, o núcleo teria ficado sem proteção, sendo posteriormente carregado pelas águas.

O material de aspecto porcelânico, examinado com difração dos raios-X, revelou ser constituído de halloysita-4H₂O (Fig. 12-I); quando submetido a tratamento térmico (Fig. 12-Ia) ou saturado com etilêno-glicol (Fig. 12-Ib) apresentou o mesmo comportamento do material estudado anteriormente, isto é, contraiu e dilatou o espaçamento basal.

O exame com microscopia eletrônica revelou ser a halloysita-4H₂O constituída de tubos bem curtos, semelhantes ao material da

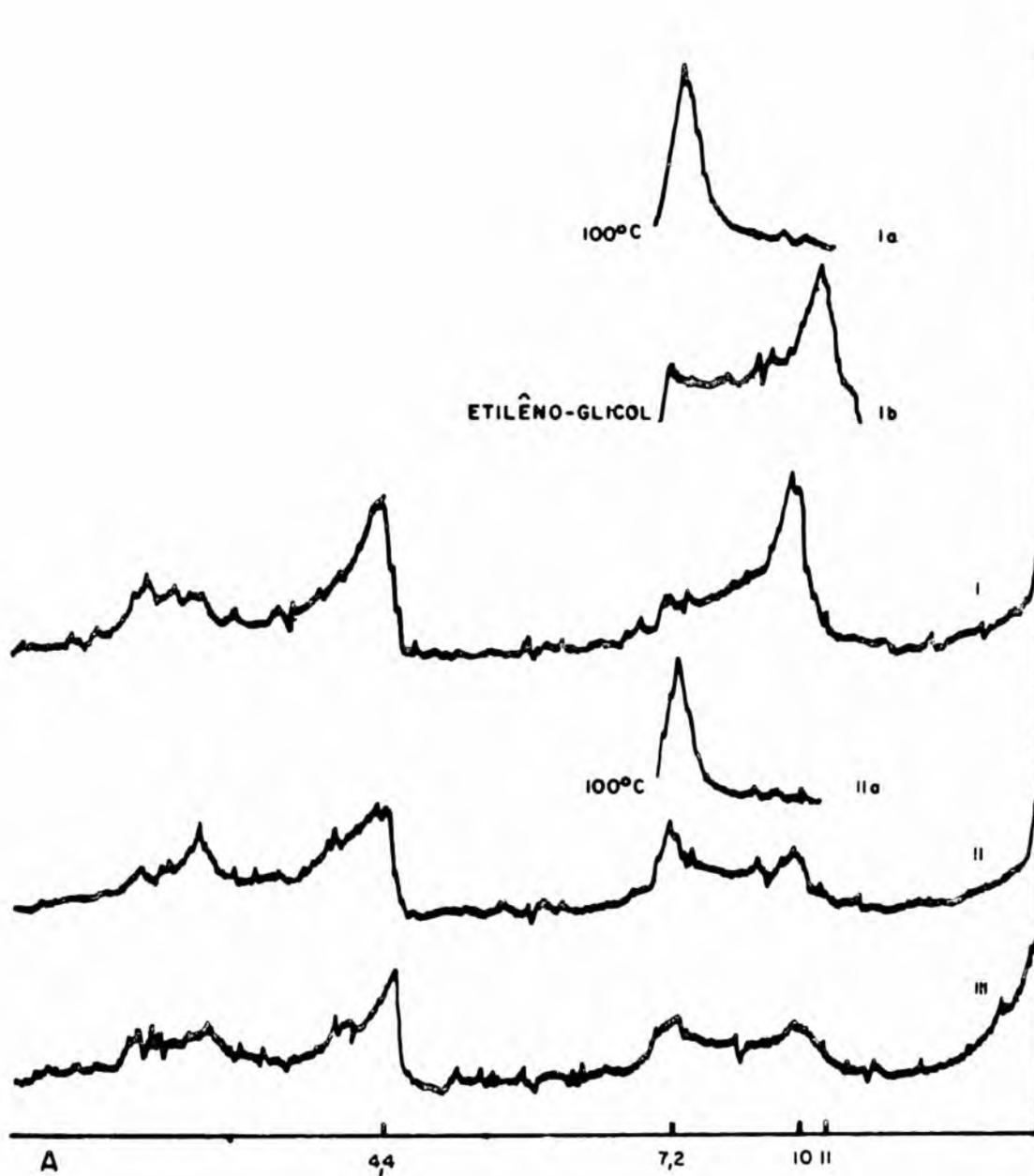


Fig. 12 — Difractogramas

- I — Halloysita- $4\text{H}_2\text{O}$ ocupando fendas de bauxito do Campo do Areão (PB2);
Ia-aquecido a 100°C ; Ib-saturado com etilêno-glicol. A halloysita é formada por tubos muito finos e curtos.
- II — Halloysita- $4\text{H}_2\text{O}$ e $-2\text{H}_2\text{O}$ de origem hidrotermal do Morro do Serrote;
IIa-aquecida a 100°C . A halloysita é formada de tubos longos.
- III — Halloysita- $4\text{H}_2\text{O}$ e $-2\text{H}_2\text{O}$ de origem hidrotermal da Estação Cascata e formada de placas.

estrada velha Poços de Caldas-Caldas estudado anteriormente, evidência das suas naturezas comuns.

c — Estrada Poços de Caldas-Cascata (em frente ao Pôsto Fiscal)

Encontrou-se halloysita- $2\text{H}_2\text{O}$ branca, consistente e com aspecto porcelânico; em alguns pontos êsse argilo-mineral estava acompanhado de nódulos escuros, identificados com difração dos raios-X como litioforita. A halloysita- $2\text{H}_2\text{O}$ ocupava as fendas do bauxito e formava um reticulado que se estendia por todo o depósito de bauxito.

A halloysita- $2\text{H}_2\text{O}$ examinada com difração dos raios-X, apresentou espaçamento interplanar de 7,2 angstroms com intensidade semelhante ao plano 020; quando saturado com etilêno-glicol não expandiu.

d — Corte de Estrada Poços de Caldas-Andradas

Encontrou-se um bauxito com grande número de fendas preenchidas parcialmente com material claro que, examinado com difração dos raios-X, revelou ser constituído de gibbsita e halloysita- $4\text{H}_2\text{O}$. A gibbsita, em algumas amostras, se apresentava formada de cristais visíveis a olho nu, indício de que se cristalizou nas fendas, a partir de uma solução. Em contato íntimo com a gibbsita, foi encontrada halloysita- $4\text{H}_2\text{O}$, que possivelmente se formou devido à reação de geis de alumina e sílica.

Normalmente, a grande maioria dos materiais ocupando fendas, que se examinou com difração dos raios-X, era constituída por argilo-minerais, tendo sido êsse um dos poucos casos onde se encontrou gibbsita.

e — Morro do Serrote

Numa pequena ocorrência de bauxito, nesse Morro, encontrou-se, material branco de pequena consistência ocupando as fendas do bauxito. Êsse material, identificado com difração dos raios-X, revelou ser formado de caulinita; a pequena consistência dêsse material, comparada com a das outra ocorrências, talvez seja explicada por ser formado de caulinita, enquanto os outros veios eram formados por halloysita.

4 — ARGILAS OCUPANDO FENDAS (MATERIAL TRANSPORTADO)

Num outro corte da estrada Poços de Caldas-Andradas, encontraram-se veios, de pequena consistência, praticamente verticais, e de espessura bem superior aos estudados anteriormente (Foto 12); a sua argila, examinada com difração dos raios-X, revelou ser constituída de caulinita e mica.

Esse material foi, provàvelmente, transportado e depositado nas fendas do bauxito; encontrou-se uma transição brusca entre o veio e o bauxito.

5 — INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Os fragmentos de bauxito depositados nas baixadas apresentam um grande teor em sílica, tendo sido encontradas caulinita e mica formadas, provàvelmente, por ressilicatização. A estrutura porosa do bauxito ficou preservada durante o processo de ressilicatização.

Várias ocorrências de bauxito do interior do planalto apresentaram as fendas, formadas pelas diáclases reliquiaes da rocha alcalina, preenchidas por argilo-minerais formados, possivelmente, por ressilicatização; o argilo-mineral encontrado mais freqüentemente foi a halloysita-4H₂O, tendo sido encontrado, também, a halloysita-2H₂O e caulinita.

Encontrou-se sensível diferença na composição mineralógica entre o material de fenda de bauxito (principalmente halloysita) e os formados pela ação do intemperismo; êste último, proveniente quer das fendas que cortam os depósitos de argila residual (formados principalmente de caulinita), quer do restante dos argilo-minerais formados pela ação do intemperismo a partir dos minerais primários da rocha alcalina. Essa diferença vem a favor da hipótese de ressilicatização que teriam sofrido êsses depósitos.

As principais características do material formado nas fendas do bauxito foram; a) pequeno tamanho dos tubos de halloysita; b) a grande consistência e aspecto porcelânico (da halloysita) que não são encontrados nas argilas supérgenas do planalto de Poços de Caldas; c) a presença de um filme prêto depositado, possivelmente, an-

tes do início do processo de ressilicatização, indício de que a halloysita-4H₂O não foi transportada, tendo se formado localmente pela reação do silício com hidróxido de alumínio.

Os indícios encontrados em bauxitos do interior do planalto que teriam sofrido processo de ressilicatização vêm a favor da hipótese de que teria havido mudança nas condições ambientais que resultaram na formação do bauxito; essas mudanças teriam interrompido o processo de formação do bauxito, dando lugar a um processo, provavelmente atual, onde são formados argilo-minerais a partir das rochas alcalinas. O silício, liberado durante o processo de formação de argilo-minerais, veio a atacar os bauxitos anteriormente formados, produzindo nessa reação principalmente halloysita-4H₂O, composta de tubos muito curtos (Foto 9)

*

* *

Weber (25) admitiu ser a ressilicatização do bauxito sugerida por vênulos de argila cortando o bauxito. Provavelmente aquele autor se referiu a materiais da mesma natureza que se estudaram aqui.

Goldman e Tracey (36) afirmaram que a caulinitização ou silitização dos bauxitos de Arkansas era muito mais comum do que tem sido reconhecido. Aquêles autores encontraram argilas ocupando fendas, formadas por diáclases reliquiaes, e por outras, que cortavam irregularmente o bauxito. Em ambos os casos, a espessura do material formado era bem superior ao encontrado em Poços de Caldas. O material argiloso não foi examinado com difração dos raios-X, o que impediu sua comparação com os do planalto de Poços de Caldas.

Allen (37) admite ser a caulinita celular a prova mais convincente de ressilicatização. Essa caulinita conservaria a estrutura porosa do bauxito, do qual se originou por ressilicatização. Os bauxitos brancos, encontrados no interior dos depósitos de argila rafratária, ainda conservam a porosidade primitiva, o que seria uma prova de que o alto teor de sílica encontrado é devido à transformação da gibbsita em caulinita e mica. O mesmo autor, cita uma variedade de argila, denominada "Chimney rock" por Shearer (54), que ocorre em associação com bauxito em Wilkinson County, Geor-

gia. Este material é opaco, duro e maciço e apresenta relações com o bauxito o que sugere ser alguns “Quimney rock” formados por ressilicatização. Muito embora aquête autor não faça menção da composição mineralógica daquele material, existe alguma semelhança com as halloysitas que se estudaram, devido ser aquela argila dura e maciça, o que seria um indício de que poderiam ter origem semelhante.

O formato bem curto dos tubos da halloysita parece ser o fato mais importante que se encontrou a favor da definição dos materiais que, provavelmente, formaram-se por ressilicatização.

CAPÍTULO IV

ARGILAS FORMADAS POR METASSOMATISMO HIDROTERMAL

I — INTRODUÇÃO

O planalto de Poços de Caldas apresenta, aproximadamente, um quarto de sua área constituída de rochas alteradas por soluções hidrotermais (Fig. 6) que agiram, principalmente, sôbre os fonolitos e tinguaitos da parte central do planalto; aí grandes massas de rochas foram profundamente alteradas, resultando na formação de argilo-minerais por metassomatismo hidrotermal, como pode ser observado no Tamanduá e Morro do Ferro, êste último proveniente de um foiaíto. O foiaíto da zona de contato com o fonolito e tinguaito alterado, também sofreu os efeitos dessas soluções, em pelo menos dois lugares: no Morro do Taquari e num trêcho da estrada de rodagem Poços de Caldas-Andradas. Pequenas áreas isoladas, fora da região central, também sofreram metassomatismo hidrotermal, como por exemplo: Estação de Cascata, parte do Morro do Serrote, Campo do Barreiro etc.

2 — MORRO DO TAQUARI

Morro do Taquari apresenta altitude semelhante às partes mais altas da borda do planalto, elevando-se 280 metros acima de sua base; é constituído principalmente por foiaíto, encontrando-se, porém, próximo do seu ponto mais alto, uma massa de fonolito ou tinguaito. Êsse morro parece ter sido alterado completamente, tendo sido encontrado, na sua base, material que pareceu ter sofrido ação hipógena (ligeira coloração esverdeada), que ficou mascarada pela intensa ação do intemperismo, que se fêz sentir, principalmente, sôbre o material de superfície que se examinou. No tôpo dêsse morro foi aberta uma trincheira, na base de um pequeno platô, onde foi re-

tirado o material superficial, que dessa forma permitiu o exame da rocha praticamente não afetada pelo intemperismo.

O Morro do Taquari sofreu um tipo de alteração que, embora não sendo o mais importante sob o ponto de vista da extensão geográfica da área afetada, serviu para mostrar a variação dos efeitos das soluções hidrotermais sobre uma massa rochosa, a partir das diáclases por onde penetraram até o ponto onde seus efeitos não mais foram sentidos (foto 13)

DIFRAÇÃO DOS RAIOS-X — No alto do Morro do Taquari, foi encontrado um mineral de cor roxo-escura (Fig. 13a), cuja análise com difração dos raios-X revelou pertencer ao grupo da fluorita. A análise com espectrografia dos raios-X de duas amostras revelou, numa delas, a presença de estrôncio e ferro; ítrio, tântalo e manganês, apareciam em pequenas quantidades, além de traços de urânio, tório e cromo; a outra amostra coletada no mesmo veio revelou a presença de lantânio, háfnio e cério. A fluorita roxa apresentou íntima relação com o processo hidrotermal, que pode ser aquilatada considerando-se a extensa área afetada pelas soluções hidrotermais, e onde se tem referência de ocorrência desse mineral até grandes profundidades, como foi assinalado por Frahy (20) nos campos de Cerrado, Três Barras, Tamanduá, Mourões e Dona Tita, e por Branco (ref. 9, Fig. 19) no Morro do Ferro. A fluorita roxa, do morro do Taquari, apareceu associada a pequenas quantidades de zircão e baddeleyita (foto 14)

Examinando-se verticalmente a partir da base do platô escavado no topo do morro, onde aflorou o veio de fluorita radioativa, até à superfície a uns seis metros de altura, observou-se um zoneamento na distribuição dos minerais formados. Inicialmente, acompanhando o veio de fluorita radioativa, encontrou-se um material verde, formado de partículas muito pequenas, cujo tamanho então fora do poder de resolução do microscópio petrográfico, e que se apresentaram orientadas paralelamente ao veio (Fig. 13b). Esse mineral verde estudado com difração dos raios-X revelou ter estrutura da mica, e seu difratograma (Fig. 14B-IV) apresentou valores de espaçamento interplanar que não se ajustavam completamente aos padrões conhecidos para os diferentes polimorfos do grupo (Yonder e Eugster,

ref. 51) A espectrografia dos raios-X desse material revelou conter zircônio, manganês e tório e traços de lantânio, e que denominaremos por mica de cor verde, devido à sua cor característica. Na zona da mica de cor verde, cuja espessura não passou de 5 cm de cada lado da fluorita radioativa, o foiaito foi completamente alterado, não restando nenhum mineral primário da rocha matriz; depois dessa zona, apareceu uma zona bem maior (Fig. 13 c), onde foi preservada a textura da rocha, o que permitiu a identificação de alguns dos seus componentes: a) a nefelina estava completamente alterada num material de cor verde que, examinado com difração dos raios-X, apresentou espaçamentos de 15 e 10 angstroms, característicos da montmorilonita e mica (Fig. 14-B-II). A montmorilonita tratada com etilêno-glicol apresentou expansão do seu espaçamento basal, e a mica submetida a tratamento térmico (100°C) manteve-se inalterada; b) o feldspato, que aparentemente estava inalterado, estudado com difração dos raios-X apresentou-se acompanhado de mica (fig. 14 B-III), que se formou a partir desse mineral. Lâminas petrográficas desse material mostraram: a) a nefelina alterada é opaca à luz, característica essa que também foi observada nos materiais da mesma natureza, coletados num corte de estrada Poços de Caldas-Andradas, e nos pseudomorfos de leucita coletados na Estação de Cascata: b) o feldspato está ligeiramente alterado em mica ao longo das clivagens do cristal (Foto 15) Finalmente, foram encontradas amostras, próximo à superfície (Fig. 13d) contendo halloysita-4H₂O, que não chegavam a formar uma zona definida, provavelmente devido a proximidade da superfície, onde predomina ação supérgena. A halloysita apresentou espaçamento basal de 10 angstroms, (Fig. 14-B-I), dilatava para 11 angstroms quando tratada com etilêno-glicol, e contraía para 7,2 angstroms após o tratamento térmico (100°C), (Fig. 14-B-Ia)

Examinando-se horizontalmente o material da base do platô, observou-se que a zona da montmorilonita (Fig. 13c) se prolongava até à borda do morro, onde houve superposição dos fenômenos hipógenos e supérgenos, com predominância do último (Fig. 13e) Um pouco abaixo desse local (Fig. 13f), apareceu afloramento de fonolito ou tinguaíto, que estava alterado homoganeamente num ma-

CORTE ESQUEMÁTICO DO TÔPO DO MORRO DO TAQUARI

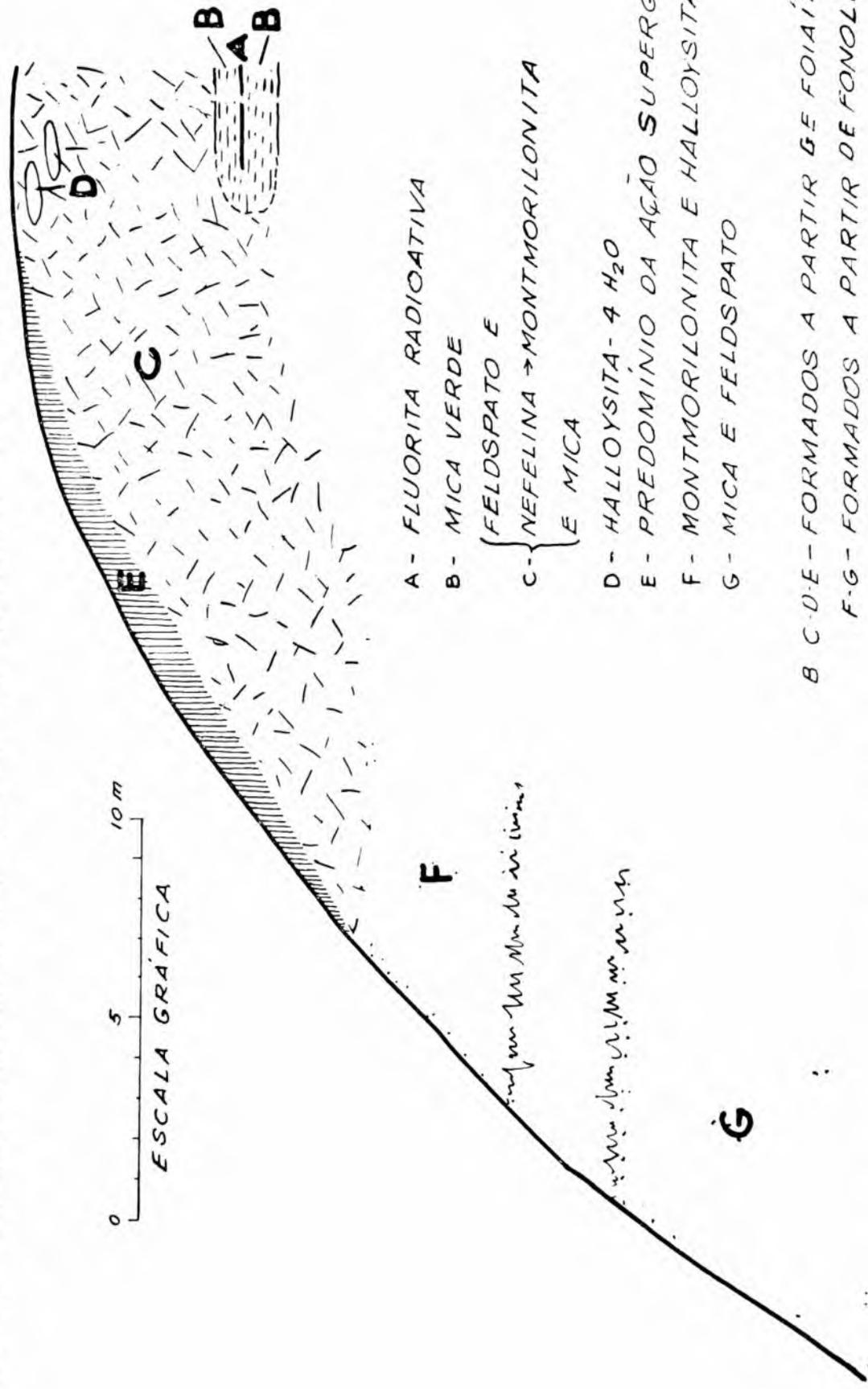


Fig. 13 — Posição dos diferentes tipos de argila encontrados no tópo do Morro do Taquari, formados por metamorfismo hidrotermal.

terial de cor verde, cuja análise pelos raios-X revelou a presença de montmorilonita e de halloysita; examinada por microscopia eletrônica, a halloysita revelou ser constituída de tubos de tamanhos variados, enquanto a montmorilonita era constituída de placas bem irregulares e de espessuras variáveis (Foto 16). Mais abaixo desse material (Fig. 13g) encontrou-se fonolito ou tinguaito alterado, de cor clara, que examinado com difração dos raios-X revelou a presença de mica e feldspato. Não foi possível estabelecer o contato entre esses dois tipos de materiais.

Mais ao norte do Morro do Taquari, encontraram-se outras áreas que continham minério de zircônio, cortadas por várias trincheiras abertas para exploração do minério. Numa dessas ocorrências, conhecida pelo nome de Rita (Fig. 7), ocupando uma pequena elevação ao lado da estrada velha Poços de Caldas-Pocinhos, se podia notar um grande número de diáclases reliquiaes, preenchidas por argilas de cor mais clara. Tanto o material da parede da trincheira como de outros pontos dessa pequena elevação, foram estudados com difração dos raios-X, e se revelaram constituídos homogeneamente de caulinita e mica, típicos de ação supérgena.

INTERPRETAÇÃO — Os produtos da ação hidrotermal encontrados no morro do Taquari se caracterizaram por um conjunto de argilo-minerais distribuídos em zonas, tendo sido encontrado fluorita radioativa associada a esse fenômeno, que provocou metassomatismo hidrotermal em todo o Morro do Taquari. A sequência encontrada, a partir das diáclases por onde penetraram as soluções, foi fluorita radioativa — mica-verde — montmorilonita — halloysita-4H₂O. Não foi possível estabelecer uma relação entre o fonolito ou tinguaito, de cor clara, composto de mica e feldspato, com o resto do material. O único mineral primário encontrado nessa sequência foi o feldspato alcalino, que se apresentava ligeiramente alterado em mica; os restantes foram completamente alterados.

Os argilo-minerais encontrados no campo da Rita, caulinita e mica, são os mesmos encontrados nas argilas provenientes do intemperismo, indício de que o zircônio se depositou a baixa temperatura, não tendo alterado as rochas encaixantes de maneira significativa.

3 — CORTE DE ESTRADA POÇOS DE CALDAS-ANDRADAS

Os argilos-minerais encontrados nesse local são resultantes da decomposição de foiaíta pela ação hidrotermal. Esse corte de estrada apresentou um grande número de diáclases entrecruzadas e preenchidas por material muito claro (Foto 17)

DIFRAÇÃO DOS RAIOS -X — O material, que constituía a maioria dessas diáclases, examinado por difração dos raios-X, revelou ser constituído de montmorilonita e halloysita-2H₂O (Fig. 14A-II) Foi encontrado também, nesse corte, um pequeno veio de material de côr preta que, analisado com difração dos raios-X revelou ser constituído por litioforita e por um mineral do grupo dos feldspatos; a espectrografia dos raios-X revelou a presença de manganês, seu principal constituinte, além de zircônio e traços de háfnio, indícios de sua natureza hidrotermal. Encontrou-se também um pequeno veio, com três centímetros de espessura, onde a nefelina alterada, de côr verde, era constituída por montmorilonita e mica, identificados com difração dos raios-X, enquanto o feldspato estava apenas parcialmente alterado. Numa lâmina petrográfica desse material, a nefelina se apresentou opaca, como já havia sido assinalado no Morro do Taquari. Ao lado desse veio de côr verde, encontrou-se uma camada bem mais larga de halloysita-2H₂O, (Fig. 14A-1); a exemplo do que ocorreu no Morro do Taquari, também não apresentou feldspato.

A rocha desse corte, inteiramente diaclasada, em alguns lugares permaneceu inalterada (Foto 17) com formato semelhante a um mação, como consequência do ataque por todos os lados pelas soluções hidrotermais. Entre o material claro (montmorilonita e halloysita-2H₂O), das diáclases e a rocha inalterada encontra-se uma faixa de material mais escuro, onde foi possível identificar halloysita e feldspato da rocha matriz.

Em dois veios afastados, mais próximos do final do corte de estrada, situados no prolongamento à direita e à esquerda da foto 17, os difratogramas registraram a presença de um mineral, com espaçamento interplanar de 3,36 angstroms que, provavelmente, pertence ao quartzo, além da montmorilonita e halloysita-2H₂O.

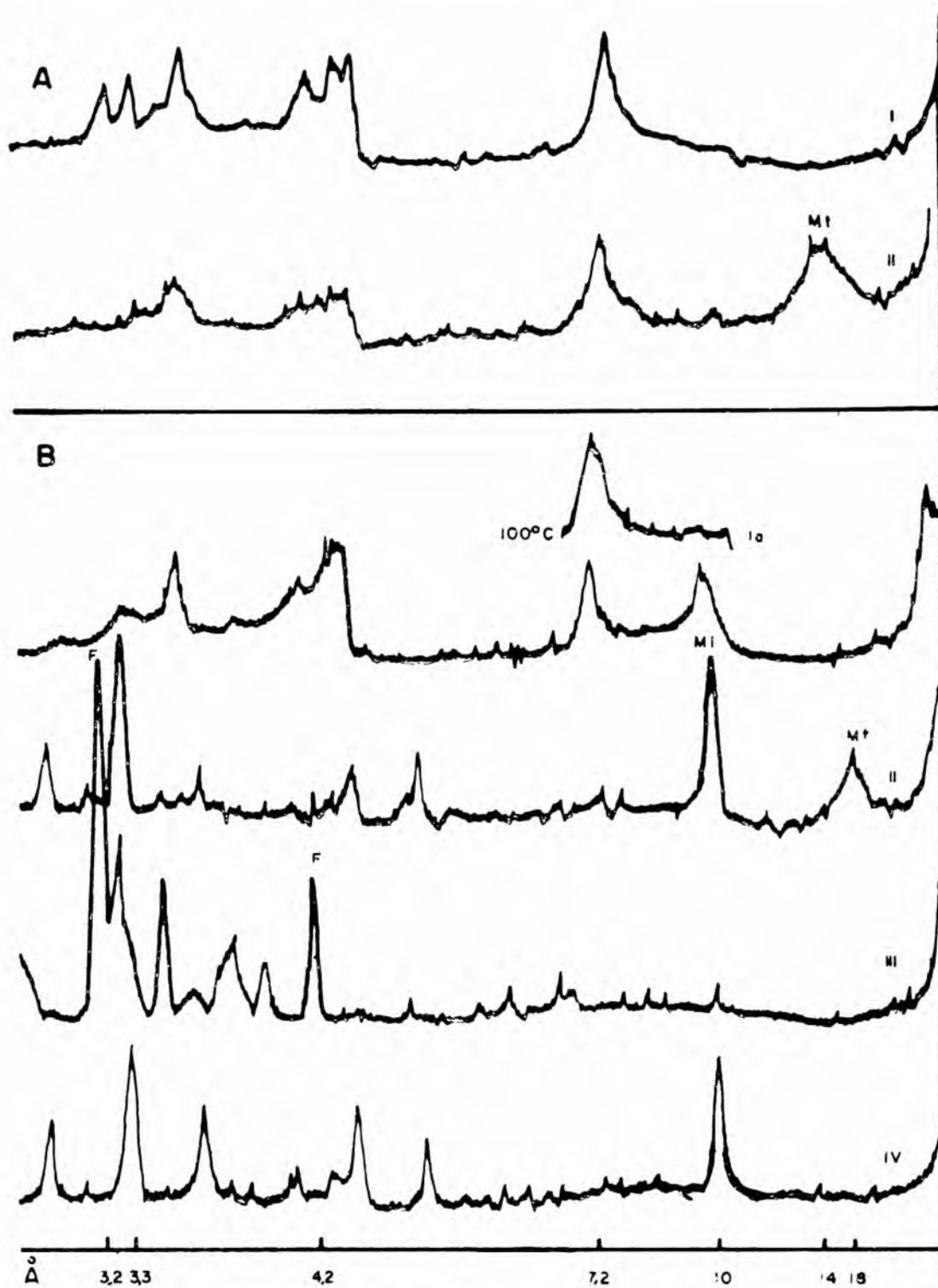


Fig. 14 — A — Difratogramas de argilas do corte de estrada Poços de Caldas-Andradas.

I — Halloysita-2H₂O

II — Montmorilonita (Mt) e halloysita-2H₂O

14 — B — Difratogramas de argilas do Morro do Taquari.

I — Halloysita-4H₂O e -2H₂O; Ia-aquecido a 100°C

II — Montmorilonita e mica (Mi)

III — Feldspato alcalino (F) e mica

IV — Mica de cor verde

INTERPRETAÇÃO — Os argilo-minerais, produtos do metassomatismo hidrotermal, encontrados nesse corte de estrada se apresentaram distribuídos em zonas de montmorilonita e halloysita-2H₂O, esta última em contato com a rocha não afetada pelas soluções hidrotermais.

O estudo desse corte de estrada permitiu fornecer uma idéia da importância das diáclases na alteração das rochas, em condições hidrotermais. Devido à forte pressão, as soluções procuram escapar e penetram pelas diáclases, por onde atacam a rocha praticamente por todos os lados, destruindo seus minerais, e dando lugar à formação de argilo-minerais. A coloração clara do material formado é um indício de que a remoção do ferro ocorre nesses processos pelas soluções hidrotermais.

4 — TAMANDUÁ

A área conhecida pelo nome de Tamanduá, no centro do planalto de Poços de Caldas, compreende uma pequena elevação e um campo, onde é explorado minério de zircônio; ambos são constituídos de fonolito ou tinguaito totalmente alterado pela ação hidrotermal, e apresentam cor clara bem característica, devido à destruição dos minerais máficos; em trechos limitados passam rapidamente para a cor cinza sem, contudo, apresentar variação na composição mineralógica.

DIFRAÇÃO DOS RAIOS-X — O Rio das Antas divide a área em duas partes: a) do lado onde se encontra o Morro do Tamanduá e o campo do mesmo nome, onde o material tem grande consistência, tendo sido encontrado feldspato em todas as amostras examinadas com difração dos raios-X; b) do outro lado do Rio das Antas, onde as rochas alteradas são bem friáveis, o feldspato aparece raramente nos difratogramas obtidos desse material.

Na parte superior do Morro do Tamanduá, encontrou-se uma camada de mica de cor verde (Foto 18), identificada com difração dos raios-X (Fig. 15-III), e semelhante à encontrada no Morro do Taquari, com espessura bem maior (mais de um metro), indício da maior intensidade desse processo; as partículas de mica apresentavam boa orientação (Foto 13), provavelmente paralelas às diáclases por onde penetraram as soluções, como foi observado no Morro do Taquari; nesta ocorrência não foi encontrada fluorita radioativa. Próximo

à camada de mica verde encontrou-se um veio prêto, cuja análise por espectrografia dos raios-X revelou ser constituído de manganês, com quantidades menores de zircônio e traços de tório, indício de sua origem hidrotermal. Esse veio é semelhante, em composição química, ao encontrado anteriormente no corte de estrada Poços de Caldas-Andradas

Depois da camada de mica de cor verde seguiu-se uma zona bem extensa de rocha clara e bem consistente, que vai até o Rio das Antas, e que compreende uma grande parte das rochas afetadas pelas soluções hidrotermais que podem ser encontradas no planalto de Poços de Caldas. Examinando-se por difração dos raios-X essas rochas, verificou-se serem constituídas por feldspato e mica (Fig. 15-II); esse último mineral é um produto de metassomatismo hidrotermal, já que não é encontrado nos fonolitos e tinguaítos. Em lâminas petrográficas verificou-se que a mica apresenta granulação muito fina, provavelmente responsável pela pequena intensidade do espaçamento basal que esse material apresentou em todos os difratogramas obtidos. Devido às pequenas dimensões dos cristais de feldspato, não foi possível distingui-los da mica nas lâminas petrográficas (foto 19) e sua presença só foi determinada com difração dos raios-X.

O pequeno tamanho dos cristais de feldspato é indício possível de que, pelo menos em parte, foi transformado em mica; contudo não foi encontrado nenhum esqueleto desse mineral transformado em mica, ao contrário do que aconteceu com os fenocristais de nefelina que, nas amostras estudadas (Foto 19), conservaram o seu contorno. Os fenocristais de nefelina encontrados na área do Tamanduá, quando examinados microscópicamente, tinham cor verde semelhante aos encontrados no morro do Taquari; contudo eram constituídos só por mica de cor verde, não contendo montmorilonita, que parece ter sido formada em condições onde a ação hidrotermal foi menos intensa.

O exame dessas rochas, mesmo com o maior aumento do microscópio petrográfico, não permitiu encontrar vestígios de minerais máficos, que foram destruídos, observação essa confirmada com a análise química desse material, como pode ser visto na tabela IV. As três primeiras colunas apresentam resultados da análise de dois fonolitos inalterados da região de Tamanduá e de um coletado na es-

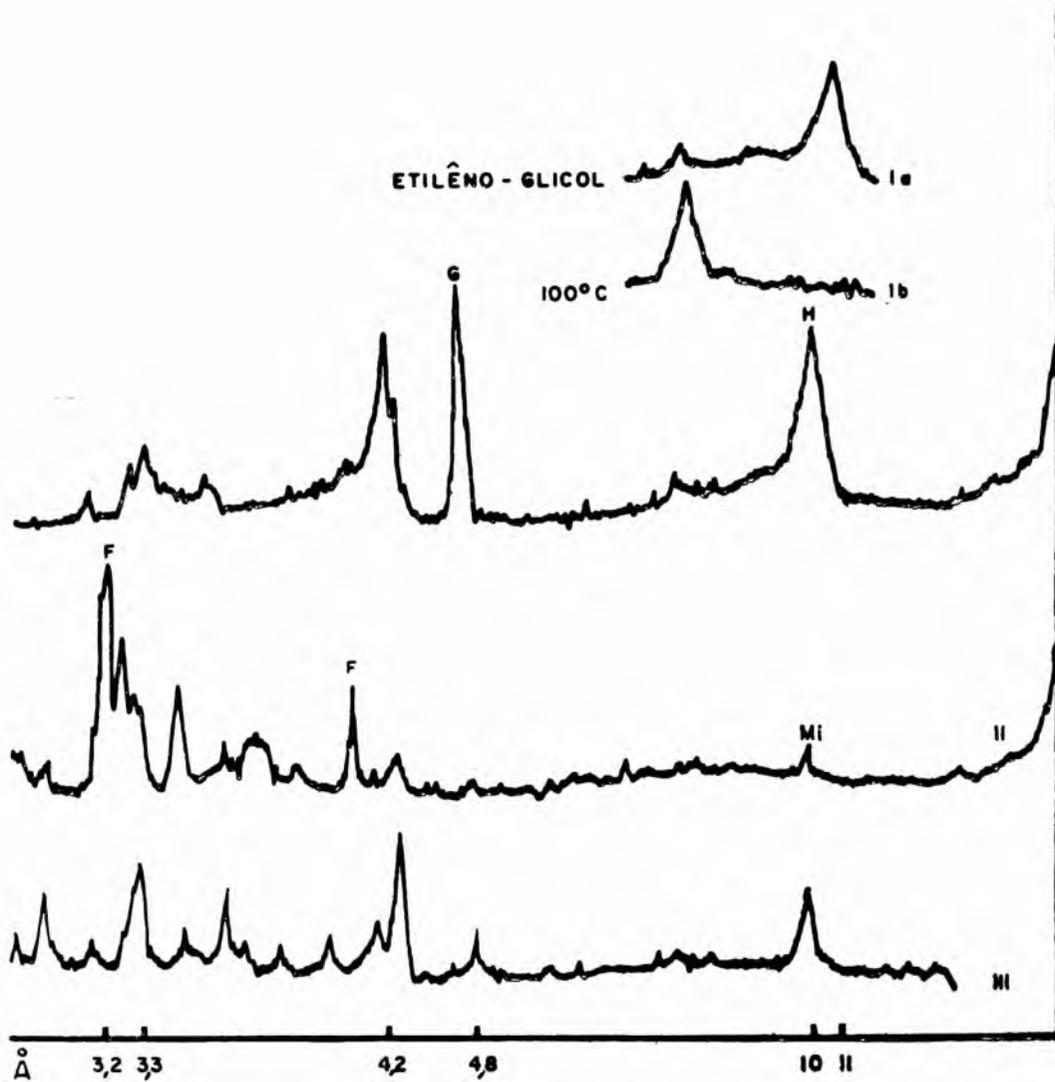


Fig. 15 — Difratogramas de argilas do Tamanduá.

I — Halloysita- $4H_2O$ (em placas) (H); Ia-saturado com etilêno-glicol; Ib-aquecido a $100^{\circ}C$; gibbsita (G)

II — Feldspato (F) e Mica (Mi)

III — Mica de côr verde

trada Poços de Caldas-Pocinhos, que serviram de termo de comparação para os materiais alterados. A análise da rocha consistente (feldspato e mica) permitiu verificar que o sódio foi completamente carregado, o mesmo acontecendo com o ferro, embora em menor escala, tendo havido, em compensação, aumento do teor de alumínio e de potássio. A eliminação do sódio e do ferro explica a ausência dos minerais máficos, e o aumento do teor de potássio (o dôbro), permitiu a formação de mica a partir dos minerais destruídos, o feldspato potássico encontrado formou-se, provavelmente, a partir do feldspato sódico por metassomatismo hidrotermal. O alto teor de potássio é a maior evidência da natureza alcalina das soluções hidrotermais, que afetaram extensas áreas do planalto de Poços de Caldas.

Estudou-se longitudinalmente o Morro do Tamanduá, na direção leste-oeste, a fim de verificar a presença de montmorilonita. Em todo o percurso seguido foi encontrada a mesma composição mineralógica, isto é, feldspato e mica, e a montmorilonita só foi encontrada numa única amostra, próximo ao veio de mica verde. A ausência de montmorilonita foi a única diferença constatada, ao se comparar este material com o semelhante do Morro do Taquari.

Em algumas amostras consistentes dessa área encontraram-se cavidades e fendas preenchidas por materiais de cor clara. Examinados com difração dos raios-X apresentaram difratogramas idênticos ao da halloysita-4H₂O. Esse material, tratado com etilêno-glicol, dilatou seu espaçamento basal para 11 angstroms e, submetido a tratamento térmico, contraiu para 7,2 angstroms.

O exame com microscopia eletrônica de materiais contendo halloysita-4H₂O (identificada com difração dos raios-X) da área do Tamanduá, revelou serem constituídos de placas de perfil irregular, não tendo sido encontrados argilo-minerais com formato tubular tanto nesta área, como em outras formadas pelo mesmo material, examinados por microscopia eletrônica (Foto 25). Devido à natureza desse material não citado na literatura, reproduziu-se difratograma obtido (Fig. 15-I); esse material aquecido a 100°C ou tratado com etilêno-glicol apresentou o mesmo comportamento da halloysitas formadas por tubos.

Esse mineral ocupando pequenas fendas nessa área é indício do aparecimento da zona seguinte, do outro lado do Rio das Antas, onde o feldspato praticamente está ausente, tendo ocorrido aumento correspondente de halloysita-4H₂O (em placas), que provavelmente se originou daquele mineral. Foi encontrada também halloysita-2H₂O (em placas) e mica, aparecendo, esporadicamente, a gibbsita. A análise química desse material (Tabela IV), revela em relação ao material estudado anteriormente, uma grande diminuição de potássio, tendo havido uma concentração de alumínio. Nesta área de rochas friáveis, encontram-se em dois cortes de estrada, veios de mica verde, de espessura muito pequena, indício da possibilidade desse mineral ter se formado em outras áreas, possibilidade essa reforçada pelas referências de ocorrências de fluorita roxa em profundidade, como nos Campos de Cercado, Três Barras, Tamanduá, Mourões, Dona Tita e Morro do Ferro.

Ao norte de Andradas (Fig. 6) foi encontrado o mesmo tipo de material descrito para a área do Tamanduá: uma rocha friável branca, que, em alguns lugares, passava rapidamente para cinza e, em outros, se apresentava consistente, quando possuía cavidades preenchidas por material que apresentava difratograma de halloysita-4H₂O (em placas)

INTERPRETAÇÃO — Como consequência da ação de soluções ricas em potássio formaram-se, nessa área, três zonas, a partir das diaclases por onde penetraram essas soluções: mica de cor verde; mica + feldspato; halloysita-4H₂O (em placas) + halloysita-2H₂O (em placas) + mica + gibbsita. Nesta fase todos os minerais máficos foram destruídos resultando na saída de sódio, ferro, zircônio, das rochas alteradas pelas soluções.

A zona de mica + feldspato é a mais extensa de todas, abrangendo uma grande área que sofreu metassomatismo hidrotermal; o feldspato potássico se formou, provavelmente, por metassomatismo hidrotermal a partir do feldspato sódico.

A presença dos argilo-minerais halloysita-4H₂O (em placas) e halloysita-2H₂O (em placas), constituem uma novidade mineralógica, havendo apenas uma referência a material semelhante, proveniente da

Tabc'a IV — Análise química de rochas alcalinas inalteradas e alteradas por metassomatismo hidrotermal

	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂	52,0	52,8	52,4	43,0	52,5	38,8	27,0
Al ₂ O ₃	22,5	23,3	22,8	36,5	27,1	35,1	42,3
Fe ₂ O ₃	3,60	3,35	3,10		1,00	4,00	2,60
FeO	1,40	1,30	1,20	3,80	0,57	0,71	0,57
K ₂ O	7,33	7,05	6,23	8,09	12,69	4,37	2,12
Na ₂ O	7,44	8,37	8,37	0,20	0,44	0,16	0,12
MgO	0,74	0,50	0,72	0,80	0,28	0,57	0,28
MnO	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02	0,02
CaO	2,30	1,57	2,00	0,50	0,22	0,22	0,28
TiO ₂	0,80	0,54	0,60	1,00	0,80	2,10	1,00
P ₂ O ₅	0,16	0,15	0,16	0,08	0,09	0,14	0,20
H ₂ O—	0,16	0,08	0,14	0,75	1,20	4,80	6,86
H ₂ O+	1,14	0,50	1,14	4,90	2,90	8,82	14,90

- 1 — fonolito inalterado da região do Tamandúá
 2 — fonolito inalterado da região do Tamandúá
 3 — fonolito inalterado da estrada velha Poços de Caldas-Caldas
 4 — mica de côr verde do Tamandúá
 5 — rocha contendo feldspato e mica da região do Tamandúá
 6 — zona de halloysita-4H₂O (em placas) + halloysita-2H₂O (em placas) + mica + gibbsita da região do Tamandúá
 7 — argila (caulinita, mica e gibbsita) do Morro do Ferro.
 Analista Jordão Nepote

Ilha da Trindade e Itatiaia, feita por Souza Santos, Souza Santos e Moniz (52)

5 — MORRO DO FERRO

O Morro do Ferro apresenta em profundidade foiaíto (Branco, ref.9) onde ainda está preservada a rocha original, e é cortado por um veio de magnetita, não se tendo encontrado, em nenhuma amostra estudada por difração dos raios-X, mineral primário da rocha alcalina até uma profundidade de 50 metros.

Ocorre, nesse morro, uma concentração de terras raras e tório, estando êsses elementos disseminados dentro da massa de argilo-minerais que compõe essa elevação (Frahya, ref. 20)

DIFRAÇÃO DOS RAIOS-X — O material empregado neste estudo foi retirado de uma galeria com 90 metros de extensão; foram coletadas sete amostras retiradas a espaços regulares; as últimas correspondem a uma profundidade mínima de 50 metros.

A análise por difração dos raios-X revelou a presença de caulinita, mica e gibbsita na maioria das amostras estudadas, sendo os dois primeiros constantes. A principal característica dêsses minerais, revelada pela análise dos difratogramas, é a intensidade dos espaçamentos basais da caulinita e da mica, e a do espaçamento 4,85 angstroms da gibbsita (Fig. 16-III); no exame por microscopia eletrônica, a caulinita se apresentou inteiramente constituída por placas hexagonais, e muito finas o que explica as intensidades obtidas nos difratogramas, devido à boa cristalinidade dêsse mineral e a facilidade de orientação preferencial (Foto 20)

O largo veio de magnetita é cortado pela galeria. Coletou-se uma amostra de argila em contato com êsse veio que, examinada com difração dos raios-X, não revelou qualquer diferença na composição mineralógica, em relação aos outros materiais estudados.

A ocorrência do material coletado no Morro do Ferro é limitada à leste pela estrada que dá acesso a essa região. Aí se encontrou um fonolito ou tinguaito de côr clara, composto de feldspato e mica, contendo, também alguns fenocristais hexagonais, provavelmente de nefelina, alterados num material de côr verde (Fig. 21), que

examinado por difração dos raios-X, revelou as presenças de montmorilonita e mica como no Morro do Taquari e estrada Poços de Caldas-Andradas.

Aquela estrada ao norte, corta um fonolito ou tinguáito de cor clara, muito semelhante aos materiais que sofreram metamatismo hidrotermal. Os difratogramas obtidos de amostras ao longo dessa estrada, apresentaram valores de espaçamento interplanar da caulinita, mica e gibbsita, este último só em algumas amostras. Tanto o espaçamento basal da caulinita (7,2 angstroms) como o da mica (10 angstroms) apresentaram intensidade muito grande, semelhante aos mesmos minerais encontrados no Morro do Ferro; os mesmos argilo-minerais formados pela ação do intemperismo, examinados com difração dos raios-X, apresentaram intensidade dos espaçamentos basais bem menor, o que tornou possível a distinção da natureza dos dois materiais. O exame, por microscopia eletrônica, de uma amostra desse material revelou ser constituído de: a) placas hexagonais bem formadas de caulinita, semelhante ao do Morro do Ferro; e b) tubos grossos de halloysita (Foto 23)

INTERPRETAÇÃO — A caulinita, mica e gibbsita que compõem o Morro do Ferro apresentaram-se distribuídas homoganeamente, não tendo sido encontrado zoneamento dentro da galeria, que cortou o veio de magnetita, por onde, provavelmente teriam penetrado as soluções. A presença de caulinita muito bem cristalizada, em vez de seus polimorfos (nacrita e dickita) formados em alta temperatura, é um indício de que esse mineral se formou em temperatura mais baixa, que teria ocorrido no final do processo hidrotermal.

Praticamente a mesma composição mineralógica determinada no Morro do Ferro foi encontrada ao longo da estrada que corta aquela área. A única diferença observada foi a presença de halloysita, na estrada Poços de Caldas-Morro do Ferro. Esses dois locais correspondem, provavelmente, as duas fases muito próximas do mesmo processo hidrotermal.

A composição mineralógica de Campo do Cerrado (Fig. 7), é provavelmente, a mesma do Morro do Ferro, devido estar próximo daquele Morro e ainda estar associado a uma concentração de terras raras e tório.



Fig. 16 — Difractogramas

- I — Halloysita-4H₂O (em placas) (H), halloysita-2H₂O (em placas) (H'), gibbsita (G) e feldspato (F) do Campo do Ba:reiro; Ia-aquecido a 100°C
- II — Morro do Serrote — Gibbsita hidrotermal (G). Observa-se a pequena intensidade do espaçamento principal
- III — Morro do Ferro — Mica (Mi), caulinita (C) e gibbsita (G)

6 — MORRO DO SERROTE

Uma das principais ocorrências de caldasito do planalto de Poços de Caldas encontra-se no Morro do Serrote, constituído de analcita-tinguaíto e foiaíto profundamente alterados num material argiloso, restando ainda pequenas ocorrências de tinguaíto inalterado nas partes laterais dessa elevação. Devido à intensa exploração do minério de zircônio nesse local, encontra-se um grande número de trincheiras, algumas das quais atingindo profundidade de 15 metros, o que facilitou o estudo das argilas. Esse estudo foi realizado com difração dos raios-X, mostrou serem constituídos predominantemente de caulinita e mica, tendo sido encontrado halloysita-4H₂O em algumas amostras estudadas.

Numa ocorrência de analcita-tinguaíto praticamente inalterada, situada na borda do morro, encontraram-se veios de caldasito preenchendo diáclases, com espessura de um centímetro, que não causaram alteração na rocha encaixante. Numa outra ocorrência da mesma rocha encontraram-se: a) um veio quase vertical de gibbsita e possivelmente cliaquita intimamente associadas, de coloração muito clara; ao se depositarem nas diáclases da rocha provocaram alteração completa do analcita-tinguaíto em mica de cor verde (Foto 22), semelhante à encontrada nos Morros do Taquari e Tamanduá; b) veios de halloysita hidrotermal, de cor branca, também em posição quase vertical, em ângulo reto com o veio de gibbsita que se encontrava próximo. Um dos veios de halloysita-4-H₂O estava separado lateralmente da rocha por uma camada contínua de caldasito de cinco milímetros; não foi encontrada alteração ao longo da parede do analcita-tinguaíto em contato com o caldasito, a exemplo do que ocorreu com o outro veio, há pouco mencionado.

DIFRAÇÃO DOS RAIOS-X — A halloysita-4H₂O apresentou nos difratogramas obtidos, espaçamento de 10 angstroms. Tratada com etilêno-glicol, dilatou aquele espaçamento para 11 angstroms, e contraiu para 7,2 angstroms depois do tratamento térmico (Fig. 12-II) Estudado com microscopia eletrônica, esse mineral foi identificado pelos tubos longos, tendo sido encontradas partículas de forma esférica, bastante opacas aos eletrons (Foto 24), que foram

identificadas como alofana, de acordo com a morfologia assinalada por Sudo (53) em alofanas do Japão.

O material do veio branco com gibbsita, foi identificado por difração dos raios-X, tendo apresentado pequena intensidade para o espaçamento de 4,85 angstroms (Fig. 16-II), devido possivelmente, à presença do hidróxido amorfo (cliaquita). Lâmina petrográfica desse material permitiu avaliar a pequena quantidade de gibbsita presente, sendo o restante do material ópticamente isotrópico.

Próximo do Morro do Serrote encontra-se o Campo de Brígidas (Fig. 7), que se apresenta cortado por veios de caldasito explorados intensamente. Estudou-se por difração dos raios-X os argilo-minerais, coletados dentro da trincheira utilizada para exploração do minério de zircônio, assim como as argilas mais afastadas do local onde se depositou o minério, tendo sido identificados, principalmente, a caulinita e a mica; em umas poucas amostras encontrou-se halloysita-4H₂O. A associação de argilo-minerais encontrados nesse campo é semelhante aos materiais de mesma origem do Morro do Serrote.

INTERPRETAÇÃO — Os argilos-minerais encontrados junto com o minério de zircônio, (caulinita e mica, principalmente) tanto no Morro do Serrote como no Campo de Brígidas, são semelhantes aos produtos da ação do intemperismo (Capítulo I). Encontrou-se halloysita-4H₂O em poucas amostras, nesses dois locais, mineral que tanto poderia ter natureza hipógena como supérgena mas que, em qualquer dos casos, é formado em temperaturas baixas. Outros indícios da formação do caldasito a baixa temperatura foram encontrados nos casos: a) em que se encontrou minério de zircônio cortando analcita-tiguaíto praticamente inalterado, que não teria sofrido alteração mineralógica por ocasião da deposição do minério; b) no veio onde o caldasito está associado a halloysita-4H₂O; o minério de zircônio depositou-se junto da rocha encaixante antes da halloysita-4H₂O. Por essa razão a halloysita-4H₂O conservou sua cor branca, que não é encontrada em nenhum outro material do planalto de Poços de Caldas. Os outros veios, não contando com essa proteção, foram invadidos por óxidos de ferro, que coloriram o material intensamente em alguns pontos.

7 — ESTAÇÃO DE CASCATA

Num corte junto à Estação de Cascata, ocorre uma rocha de cor clara, constituída por um grande número de pseudomorfos de leucita, com poucos milímetros de espessura, e que são facilmente destacáveis da massa da rocha. Em duas lâminas petrográficas desse material pôde-se observar que a maioria dos núcleos dos pseudomorfos de leucita era opaca, semelhante aos materiais do Morro do Taquari e do corte de estrada Poços de Caldas-Andradas. Os pseudomorfos de leucita, examinados com difração dos raios-X, revelaram ser constituídos por mica.

Sua origem hidrotermal foi confirmada quando se examinou o material contido numa única fenda desse corte que no difratograma revelou a presença de halloysita-4H₂O, halloysita-2H₂O e um pouco de mica (Fig. 12-III); com microscopia eletrônica, a halloysita mostrou ser constituída de placas de perfil irregular (Foto 25), tratando-se, portanto, de um material semelhante ao da região do Tamanduá.

8 — CAMPO DO BARREIRO

Dentro do Campo do Barreiro existe um depósito de argila-refratária (PB1) (Fig. 7) em exploração, localizado numa baixada drenada pelo Ribeirão Poços de Caldas, que banha a cidade do mesmo nome.

O material desse depósito, coletado pelo Dr. Pêrsio de Souza Santos, foi estudado com difração dos raios-X e microscopia eletrônica. Suas argilas refratárias apresentavam na superfície cor cinza, que clareava um pouco em profundidade. A análise com difração dos raios-X revelou ser o material constituído de mistura de halloysita-4H₂O (em placas), halloysitas-2H₂O (em placas), gibbsita e feldspato, (Fig. 16-I), não tendo sido encontrada variação significativa em profundidade. A microscopia eletrônica do material revelou ser constituído de placas de perfil irregular, semelhante às encontradas na área do Tamanduá, Estação de Cascata etc.

Este tipo de depósito de argila refratária (PB1), em exploração, é bem singular por provir de material formado por metassomatismo

hidrotermal, o que poderá vir a ampliar as reservas conhecidas de argila refratária do planalto de Poços de Caldas, antes praticamente limitado aos materiais de origem supérgena.

9 — CAMPO DO SACO

Encontrou-se halloysita-4H₂O junto do lençol freático numa amostra desse campo. Esse material examinado com microscopia eletrônica revelou ser constituído de placas de perfil irregular, semelhante ao material da Estação de Cascata, indício de sua origem hidrotermal. A proximidade desse local com o campo do Barreiro e com a Rua dos Inconfidentes (próximo da estação rodoviária), cujo material vai ser estudado em seguida, é indício de que, provavelmente, toda essa área deve ser constituída de material semelhante, que estaria mascarada devido a ação do intemperismo que se fez sentir sobre esse material.

10 — RUA DOS INCONFIDENTES

Encontrou-se halloysita-4H₂O em várias amostras coletadas num pequeno corte nessa rua. Muito embora não se tenha examinado esse material com microscopia eletrônica, a fim de se verificar o formato das partículas, é provável que ele seja de origem hidrotermal, devido não se ter encontrado halloysita que fôsse detectável com difração dos raios-X, em todo o material examinado, proveniente da ação do intemperismo e que ocupava fenda de argila residual.

Numa das amostras estudadas encontrou-se halloysita-4H₂O, halloysita-2H₂O, mica e gibbsita, associação aparentemente semelhante ao material do Tamanduá, outro indício da natureza hidrotermal de material coletado nessa rua.

11 — CAMPO DO BARRO BRANCO

Uma amostra desse campo, coletada a 7 metros de profundidade, examinada com difração dos raios-X revelou ser constituída de halloysita-4H₂O. Esse material, examinado com microscopia eletrônica, se apresentou formado de tubos longos e de um material provavelmente alofana em forma de bolas opacas. Essa associação é semelhante, portanto, ao material hidrotermal do Morro do Serrote.

A presença de alofana formada no processo hidrotermal, sugere que essa halloysita, anteriormente classificada como de origem supérgena, pelas observações de campo e resultado da análise com difração dos raios-X, também seria de natureza hidrotermal.

12 — ESTRADA POÇOS DE CALDAS-POCINHOS

Nessa estrada, pouco depois da entrada para o Morro do Ferro, encontrou-se num pequeno corte, material de côr bem clara que, examinado com difração dos raios-X, revelou ser constituído homogeneamente de montmorilonita e halloysita-4H₂O. Este tipo de associação já havia sido encontrado anteriormente nos materiais do Morro do Taquari, e do corte de estrada Poços de Caldas-Andradas. Em face desses resultados, concluiu-se pela provável origem hidrotermal desse material. Essa hipótese é reforçada pela sua localização, nas proximidades da grande massa central do planalto, e que foi intensamente alterada pelas soluções hidrotermais e cujos reflexos se fizeram sentir em algumas rochas circunvizinhas, como ocorreu no Morro do Taquari e num corte de estrada Poços de Caldas.

13 — DISCUSSÃO DAS RELAÇÕES ENTRE OS DEPÓSITOS DE ARGILAS FORMADOS POR METASSOMATISMO HIDROTERMAL

Foram encontradas duas seqüências principais de argilo-mineiras formadas pela ação das soluções hidrotermais ricas em potássio; uma de caráter local (Morro do Taquari), e outra que abrangeu uma área bem maior (Tamanduá). As duas seqüências apresentaram como características comuns: a) o comportamento químico; b) a presença de zonas de mica de côr verde e de mica + feldspato.

As análises químicas de materiais da área do Tamanduá (Tabela IV) mostraram que a partir da zona de mica de côr verde, por onde penetraram as soluções hidrotermais, existe um empobrecimento de potássio e silício, e um aumento de alumínio. Comportamento semelhante foi encontrado no Morro do Taquari, onde as zonas de mica de côr verde; feldspato + mica; montmorilonita e halloysita-4H₂O, quimicamente representam diminuição de potássio e de silício (relação de sílica para alumina, nos argilo-minerais, passa de 2:1 para

1:1) e aumento do alumínio (relação alumina para sílica passa de 1:2 para 1:1) Este comportamento é válido para o material do corte de estrada Poços de Caldas-Andradas, que apresenta composição mineralógica semelhante ao do Morro do Taquari. Os argilominerais formados nas zonas mais afastadas da mica de cor verde (Fig. 17) apresentam uma variação mineralógica constante, provavelmente em função da intensidade dos fenômenos, que foi maior no Tamanduá, podendo ser avaliada pela espessura de mica verde formada (mais de um metro); no Morro do Taquari essa camada não ultrapassa cinco centímetros; no corte da estrada Poços de Caldas-Andradas não se encontra a zona de mica de cor verde e a seguinte, (feldspato+mica), foi reduzida a três centímetros de espessura, bem inferior às zonas correspondentes encontradas no Tamanduá e Morro do Taquari.

Encontraram-se vários indícios, de natureza química e mineralógica, que levam a crer que o Morro do Ferro representa a fase seguinte do processo hidrotermal, iniciado no Tamanduá e prosseguindo no Taquari, quando as soluções já continham menos potássio. Esses indícios são: a) o comportamento químico dos principais elementos (silício, potássio e alumínio) se acentua nesse material, onde prosseguiu a queda do teor de silício e potássio, havendo em compensação, aumento de alumínio (Tabela IV); o comportamento químico desses elementos é muito semelhante ao encontrado no Tamanduá, Morro do Taquari, e corte de estrada Poços de Caldas-Andradas, e corresponde às zonas mais afastadas da camada de mica de cor verde. b) No Morro do Ferro não foram encontrados minerais das zonas iniciais, mica de cor verde e feldspato+mica, correspondendo assim seu material ao encontrado nas zonas mais afastadas, onde o feldspato foi destruído; c) a presença de caulinita bem cristalizada, em vez de seus polimorfos (nacrita e dickita) formados em temperaturas mais altas, é uma evidência de que esse mineral se formou no final do processo hidrotermal, quando as temperaturas estavam mais baixas; d) A presença de gibbsita é uma evidência de final de processo, considerando-se a grande semelhança que esse material apresenta com os produtos da ação do intemperismo, já que quimicamente apresentam

OCORRÊNCIAS	ZONAS			
TAMANDUÁ	Mica de côr verde espessura: superior 1 m	feldspato e mica espessura: superior 1 km	halloysita-4H ₂ O (em placas) halloysita-2H ₂ O (em placas) mica gibbsita	
MORRO DO TAQUARI	Mica de côr verde espessura: 5 cm	feldspato e mica espessura: superior 100 m	montmorilonita	halloysita-4H ₂ O
CORTE DE ESTRADA DE POÇOS DE CALDAS- ANDRADAS	—	feldspato e mica espessura: 3 cm	montmorilonita	halloysita-2H ₂ O
MORRO DO FERRO	—	—	caulinita mica gibbsita	

Figura 17 — Sequência de argilo-minerais formados a partir das diáclases por onde penetram as soluções hidrotermais.

a mesma característica, isto é, a dessilicatização (perda de silício) e perda de potássio e concentração de alumínio;

e) A presença de um veio de magnetita representa, provavelmente, a deposição do ferro retirado dos minerais máficos destruídos pela ação hidrotermal.

Material muito semelhante ao do Morro do Ferro foi encontrado ao longo de um trecho da estrada Poços de Caldas-Morro do Ferro, onde além da mica, caulinita e gibbsita, foi encontrada halloysita; êsses argilo-minerais, provavelmente, se formaram em condições semelhantes, sendo representantes de fases muito próximas no processo de metassomatismo hidrotermal que afetou o planalto de Poços de Caldas.

Na fase final dessa seqüência houve deposição do minério de zircônio rico em urânio, quando as soluções praticamente não mais afetaram as rochas encaixantes, como foi visto nos materiais do Campo da Rita, Morro do Serrote e Campo de Brígidas. Embora não fossem encontrados pelo autor, tem-se referência da ocorrência de veios contendo manganês e ferro (localmente denominados “veios queimados”), próximo dos veios de caldasito; associado àqueles veios encontra-se, algumas vezes, urânio.

14 — INTERPRETAÇÃO: SEQUÊNCIA DA FORMAÇÃO

As soluções hidrotermais ricas em potássio, penetraram nas rochas inicialmente em alta temperatura, e provocaram alterações em grandes áreas do planalto de Poços de Caldas, tendo sido encontrado numa associação de argilo-minerais característica para cada fase do processo. Algumas vezes as fases se apresentaram subdivididas em zonas, de acordo com a composição físico-química das soluções hidrotermais. A divisão em fases e zonas foi devida principalmente à quantidade de potássio presente; enquanto as soluções traziam potássio externo, de natureza hidrotermal, formou-se mica e o feldspato não se transformou em argilo-mineral; quando as soluções hidrotermais já não mais continham aquele elemento, elas o retiravam em parte da rocha, que se alterava completamente em argilo-mineral, a exemplo do que acontecia no intemperismo.

A primeira associação de argilo-minerais a se formar era constituída de halloysita-4H₂O (em placas), halloysita-2H₂O (em placas), mica e gibbsita (Fig. 18-A), quando o feldspato e os máficos foram destruídos; êstes últimos foram alterados em tôdas as zonas e fases do processo hidrotermal; segue-se (Fig. 18-B) uma zona de grande extensão geográfica, onde todos os máficos se alteraram em mica e o feldspato sódico se transformou em potássico; junto às diáclases, por onde penetraram as soluções, formou-se mica verde (Fig. 18-C) a partir de todos os minerais primários, em temperatura superior à das zonas restantes, formadas anteriormente. Durante o metasomatismo hidrotermal das rochas dessa fase, o sódio, o ferro, o zircônio, e pequena quantidade do silício foram carreados na direção das diáclases por onde penetraram as soluções, que ficaram enriquecidas naqueles elementos e empobrecidas em potássio. As soluções hidrotermais, quando atingiram a zona A, já não mais continham potássio; a mica encontrada se formou a partir do feldspato da rocha alcalina, de maneira semelhante ao que aconteceu no intemperismo; o excesso de potássio, resultante daquela transformação, migrou para a fase B, tendo enriquecido ainda mais as soluções hidrotermais naquele elemento.

Numa fase mais adiante (segunda fase), quanto houve decréscimo da temperatura, as soluções hidrotermais estavam menos ricas em potássio e apresentavam composição química diferente daquelas que inicialmente penetraram nas rochas alcalinas, devido a adição de novos elementos; nessas condições de temperatura mais baixa e composição química diferente, os efeitos das soluções se fizeram sentir numa área menor; encontrou-se também, uma subdivisão dessa fase em zonas, onde se podia estabelecer uma relação com as formadas anteriormente. O primeiro argilo-mineral a se formar foi halloysita (4-H₂O e 2H₂O) (Fig. 18-D), numa zona onde os minerais máficos e o feldspato haviam sido destruídos, a exemplo da fase anterior (Fig. 18-A); segue-se a zona de montmorilonita (Fig. 18-E), formada a partir da nefelina devido à presença de magnésio, que havia se concentrado, depois que as soluções hidrotermais retiraram êsse elemento dos minerais máficos, que foram destruídos anteriormente; segue-se a zona de mica e feldspato (Fig. 18-F), seme-

lhante, porém de espessura bem maior a encontrada anteriormente; finalmente se encontra uma zona de mica verde (Fig. 18-G) ao lado de um veio de fluorita radioativa, que ocupava diáclase das rochas. Encontrou-se junto com algumas amostras de fluorita radioativa, zircão e baddeleyita, indício de uma deposição, que ocorreu mais tarde, já no último estágio da ação hidrotermal. A fluorita apresenta traços do urânio, tório e terras raras, elementos êsses que, com a evolução das deposições, são classificados. Nesta fase ocorreu a saída, praticamente, dos mesmos elementos da fase anterior; as soluções que atingiram as zonas D e E já não mais continham potássio, a exemplo do que havia ocorrido na fase anterior

Numa fase posterior (terceira fase), de menor temperatura, quando as soluções já não continham potássio, encontrou-se uma massa homogênea de argilo-minerais (Fig. 18-I) Junto com os argilo-minerais, que já não mais apresentam subdivisões em fases, depositou-se terras raras e tório. Nesta fase ocorreu deposição do ferro (sob a forma de magnetita) (Fig. 18-J), retirado, provavelmente, dos máficos destruídos nas fases anteriores. As soluções hidrotermais que alteraram o foiaíta dêsse morro carregaram o sódio, o silício, o zircônio e o potássio.

Finalmente, na última fase (quarta da atividade hidrotermal) as soluções estavam ricas em sódio, silício, zircônio, e continham, em menor quantidade, manganês e ferro, tendo-se depositado silicato e óxido de zircônio (zircão e baddeleyita), óxidos de ferro e manganês. Nesta fase também se depositou urânio, principalmente junto com minério de zircônio, não chegando no entretanto a formar nenhum mineral em que entrasse como elemento principal, limitando-se, provavelmente a substituições isomorfas nos minerais de zircônio.

* * *

O caldasito foi um dos produtos mais estudado, formados pela ação hidrotermal sôbre as rochas alcalinas de Poços de Caldas. Sua natureza hidrotermal foi assinalada por Franco (12) e Guimarães (55), tendo êste, inclusive, afirmado serem os depósitos de zircônio formados a baixa temperatura.

Segundo Guimarães, Campos e Figueiredo (19) os protomine-rais de zircônio seriam os minerais zircóníferos, como a eudialita, giannetita, catapleita etc.; a ação de soluções hidrotermais sobre aquêles minerais teria provocado a mobilização do zircônio, que foi levado em solução, vindo a se depositar em fenda da própria rocha.

Segundo Branco (9) a origem do urânio associado ao zircônio e das terras raras e tório seria idêntica à do zircônio, como foi con- cluído por Guimarães, Campos e Figueiredo (19)

Análise química de duas amostras de fonolito da região do Ta- manduá, efetuada no laboratório da Comissão Nacional de Energia Nuclear, permitiu verificar que a rocha inalterada contém 3,3 ppm de urânio, enquanto a mesma rocha alterada pelas soluções hidroter- mais reduziu o conteúdo de urânio para 0,5 ppm. Esse resultado de- monstra a mobilização do urânio, a exemplo do que havia aconteci- do com sódio, ferro, zircônio e outros elementos menores.

Branco (9) observou que o alto grau de alteração está ligado à mineralizações fluoradas e sulfuradas sofridas pelas rochas, que produziram, principalmente, fluorita, pirita e pirrotita. Este resulta- do está de acôrdo com o que foi verificado no Morro do Taquari, onde foi possível determinar a relação entre os veios de fluorita e o processo hidrotermal.

A temperatura de transformação da halloysita-4H₂O em halloy- sita-2H₂O é variável, dependendo da pressão, conforme mostraram Roy e Osborn (56); nas condições ambientais ou vácuo, a trans- formação se dá a 30°C; em condições hidrotermais, a halloysita-4H₂O se mantém inalterada até 125°C em pressão de 34 libras por polega- da quadrada. Com êsses dados é possível prever em que intervalo de temperatura teriam se depositado os pequenos veios de caldasito do Morro do Serrote, que estavam associados a halloysita-4H₂O. Esse intervalo teria sido possivelmente entre 30 e 125°C.

Guimarães, Campos e Figueiredo afirmam que a formação de caldasito está ligada à dos veios e lentes de zeólitas; êsse fato, segun- do aquêles autores, confirmava a hipótese de que os veios de calda- sito se formaram por metassomatismo hidrotermal.

Sobre aquela afirmação convém lembrar que o processo hidro- termal se caracterizou por uma extração quase que completa do só-

dio das rochas, durante tôdas as fases do processo hidrotermal, como foi observado em análises químicas de materiais da área do Tamanduá (formados a alta temperatura) e Morro do Ferro (formados a temperatura mais baixa) Os veios que se examinaram com difração dos raios-X, situados próximos do minério de zircônio eram constituídos de argilo-minerais, não se tendo encontrado zeólitas.

Têm sido encontrado, freqüentemente nas rochas alcalinas do planalto de Poços de Caldas, zeólitas formadas a partir de nefelina e feldspato; o processo de formação desses minerais não pode ser confundido com o processo hidrotermal de soluções ricas em potássio, já que as zeólitas, analcita e natrolita, encontradas nessas rochas, necessitam de sódio para sua formação.

Segundo esquema da figura 18, teria se concentrado uma grande quantidade de sódio no final do processo hidrotermal; não foi encontrado, contudo, nenhum mineral em que aquêle elemento fizesse parte obrigatória da sua estrutura.

As zeólitas referidas por Guimarães, Campos e Figueiredo (19), que estariam associadas ao caldasito, teriam se formado ou no final do processo hidrotermal, quando havia uma grande concentração de sódio embora não fôsse encontrado pelo autor nenhuma zeólita que pudesse atribuir uma origem hidrotermal; ou então teria a mesma origem das outras zeólitas encontradas praticamente em tôdas as rochas de Poços de Caldas. Neste caso, a baddelyita, possivelmente, seria um acessório da rocha alcalina, a exemplo do que se encontrou no Campo do Areão, contidas dentro de argilas residuais, o que sugeriu serem os grãos encontrados (zircão + baddelyita) formados junto com o foiaíta.

Frahya (20) atribuiu a alteração dos microfoiaítos do Morro do Taquari e do Morro do Ferro, assim como do restante da área de fonolito e tinguaitos ricos em potássio, aos efeitos da ação hidrotermal. Uma observação desse autor vem a favor da conclusão apresentada neste trabalho, sobre a deposição do minério de zircônio, quando fez menção das ocorrências de caldasito ocupando fendas de arenitos da Águas da Prata, Ozório e da reprêsa de Bortolan. Na ocasião em que o minério de zircônio se depositou, esses arenitos, encontrados sobre as rochas alcalinas poderiam ter sido atingidos próximo da superfície, já no final da atividade hidrotermal.

O alto teor de potássio de certas rochas alteradas por metossomatismo hidrotermal chamou a atenção de vários pesquisadores (Ilchenko e Guimarães, (30) Frahya (57)) para a possibilidade de seu aproveitamento como fertilizante de potássio sem, contudo, ter sido dada atenção à sua composição mineralógica (feldspato + mica), o que desaconselharia qualquer tentativa naquele sentido, devido ao potássio estar fortemente retido nas estruturas daqueles minerais.

Andreatta (58) (cit. Grim ref. 33 p. 328) estudou a ação de soluções hidrotermais ricas em potássio, tendo determinado a seqüência veio — mica — montmorilonita — caulinita, que é similar à que ocorre no Taquari e na estrada Poços de Caldas-Andradas, onde se encontraram, no lugar da caulinita, a halloysita-4H₂O (Taquari) e halloysita-2H₂O (no corte de estrada Poços de Caldas-Andradas). A seqüência encontrada por Andreatta, provavelmente, representa uma fase muito próxima daquelas duas que se estudaram. Segundo aquêl autor, as soluções seriam inicialmente alcalinas; em seguida neutras e, finalmente ácidas.

Oliveira (59) e Branco (9) fazem referência à presença de bastnaesita que foi encontrada no Morro do Ferro, mineral êsse que seria responsável pelo teor de terras raras e tório daquele morro. Semenov, Khomyakov e B'kova (60) encontraram bastnaesita num depósito encontrado na zona de intemperismo, estando aquêl mineral finamente disperso numa massa argilosa de limonita, pirolusita e ferrihalloysita, além de outros minerais supérgenos. Aquêles autores atribuíram a formação dêsse depósito à ação do intemperismo. Muito embora não se tenha maiores detalhes sôbre o material encontrado por Semenov, Khomyakov e Bykova, observa-se uma grande semelhança entre aquêl depósito e o do Morro do Ferro, principalmente devido à presença de terras raras, além de limonita e pirolusita, cujos elementos principais, ferro e manganês, se depositaram no final do processo hidrotermal, que ocorreu no planalto de Poços de Caldas. A semelhança encontrada vem a favor da hipótese de que aquêl depósito teria se formado por um processo semelhante ao encontrado no planalto de Poços de Caldas. A presença da ferrihalloysita, naquele depósito, é indício de que se formou, provavelmente, numa fase intermediária entre a que resultou na formação dos materiais do Mor-

ro do Ferro e na dos materiais cortados pela estrada Poços de Caldas-Morro do Ferro, onde foi observada a presença de halloysita.

Encontrou-se no planalto de Poços de Caldas, uma diversificação previsível na natureza mineralógica dos argilo-minerais formados pelas soluções hidrotermais inicialmente ricas em potássio. Essa variação foi função, provavelmente, da variação de temperatura, assim como da variação da composição química dessas soluções. A seqüência encontrada por Andreatta e o depósito descrito por Semenov, Khomyakov e Býkova, foram, provavelmente, outros exemplos daquele tipo de variação.

PARTE III

RESUMO E CONCLUSÕES

O presente trabalho estuda os depósitos de argilas encontrados no planalto alcalino de Poços de Caldas, que se situa na fronteira dos estados de São Paulo e Minas Gerais. Esta ocorrência de rocha alcalina ocupa uma área de 800 km², sendo dois terços constituído de rochas efusivas e hipabissais: fonolito, tinguaito, tufo, conglomerado e brechas. O restante (um terço) da área é constituído de rochas plutônicas, como foiaíto, foiaíto traquitóide, lujaurito e chibinito.

Foi realizado um estudo mineralógico dos argilos-minerais formados pelos diferentes tipos de decomposição das rochas alcalinas. Inicialmente foi feito um reconhecimento dos argilo-minerais encontrados em todo o planalto de Poços de Caldas, utilizando-se para esse fim análise com difração dos raios-X. Após esse estudo inicial, foram selecionadas amostras de argilo-minerais que foram estudadas com microscopia eletrônica, análise química, análise térmica diferencial e espectrografia dos raios-X. Foram também confeccionadas lâminas petrográficas de rochas em diferentes fases de decomposição para estudo petrográfico.

Dois grupos de argilo-minerais foram distintamente determinados: a) argilo-minerais formadas pela ação do intemperismo (aproximadamente 600 km²) e b) argilo-minerais formados por metassomatismo hidrotermal (aproximadamente 200 km²). Além dos argilo-minerais, encontra-se um grande número de depósitos de bauxito que, apesar de terem sido estudados neste trabalho, merecem um estudo posterior.

A seqüência de argilo-minerais formados pela ação do intemperismo é a seguinte: rocha alcalina — mica — caulinita — gibbsita. Pelo mesmo processo de formação encontrou-se, no Campo do Areão, halloysita, determinada por microscopia eletrônica, e montmorillonita identificada por difração dos raios-X. Ambos os minerais encon-

trados próximos da rocha em decomposição representam, provavelmente, estágios iniciais de decomposição da rocha alcalina.

O exame, com microscopia eletrônica, de 9 amostras de um depósito de argila refratária (campo do Areão) com 9 metros de profundidade, mostrou ser constituído de partículas de perfil irregular, com diminuição do seu tamanho a medida que se aproximava da superfície. Quimicamente êsse depósito apresenta uma concentração de alumínio com uma correspondente perda de silício e potássio nas partes superiores do corte.

As duas principais características morfológicas encontradas na maioria dos bauxitos de Poços de Caldas foram: a) estrutura concêntrica e b) a presença de um reticulado de juntas formadas pelas diáclases reliquiais da rocha original. Essas duas características foram interpretadas como sendo indícios da transformação direta da rocha em bauxito. Essa hipótese foi reforçada pelas inúmeras ocorrências em que se pôde observar a rocha alcalina se transformando diretamente em bauxito. O estudo petrográfico dessas rochas mostrou os minerais primários se transformando diretamente em gibbsita.

Os bauxitos de Poços de Caldas são constituídos de gibbsita, seu principal constituinte, goetita e um material amorfo identificado, por um pico endotérmico a 150°C pela análise térmica diferencial, como sendo provavelmente cliaquita, que foi encontrada principalmente nas frações inferiores a 0.002mm. Encontrou-se, na Fazenda Teixeira, além desses minerais, pequena quantidade de boemita e litioforita.

Argilo-minerais, formados por ressilicatização do bauxito, foram encontrados em forma de veios bem definidos cortando o bauxito. Os veios ocorrem em juntas formadas pelas diáclases reliquiais da rocha original. O argilo-mineral encontrado, mais freqüentemente, foi halloysita-4H₂O, tendo sido encontrado também, halloysita-2H₂O e caulinita. As principais características de ambas as halloysitas e dos veios formados por ressilicatização do bauxito são respectivamente: a) o tamanho dos tubos que são bem curtos e finos, como pode ser revelado por microscopia eletrônica, o que facilmente a diferencia dos outros tipos de halloysita, encontrados no planalto de Poços de Caldas, formados por intemperismo e ação hidrotermal; b) os veios são muito duros e consistentes e tem aspecto porcelânico.

Um outro tipo de ressilicatização de bauxito ocorreu principalmente ao norte do planalto de Poços de Caldas. Fragmentos de bauxito (bauxitos brancos), transportados de partes elevadas, foram depositados em baixadas, sendo posteriormente recobertos por sedimentos argilosos. Caulinita e mica foram formadas, neste processo, por ressilicatização parcial do bauxito.

Os depósitos de argilo-minerais, formados por metassomatismo hidrotermal, não apresentam uma composição mineralógica homogênea. Cada tipo de depósito apresenta um certo conjunto de argilo-minerais, que os diferencia de certa maneira dos demais, e dentro de um mesmo tipo de depósito, encontra-se uma variação mineralógica regular, podendo-se estabelecer zonas definidas, o que é uma característica da ação hidrotermal. A formação de zonas dentro dos depósitos, assim como a diferenciação entre diferentes tipos de depósitos, são explicadas pela variação de composição química das soluções que atacaram as rochas alcalinas. As soluções, inicialmente em alta temperatura e ricas em potássio, atacaram as rochas alcalinas, tendo havido trocas de sódio e outros elementos da rocha pelo potássio das soluções, resultado com isso num enriquecimento das rochas em potássio. Devido às trocas ocorridas produziu-se uma variação constante na composição química das soluções e uma correspondente perda de temperatura. Essas mudanças, em composição química e temperatura das soluções hidrotermais, são responsáveis pela variedade de depósitos de argilo-minerais encontrados.

Os primeiros argilo-minerais a se formarem por metassomatismo hidrotermal foram: halloysita- $4\text{H}_2\text{O}$ (em placas), halloysita- $2\text{H}_2\text{O}$ (em placas), mica e gibbsita; prosseguindo na direção do veio encontra-se uma zona, de grande extensão geográfica (Tamanhua, D. Tita), onde o feldspato sódico da rocha alcalina se transformou em potássico (12-14% K_2O) e os minerais máficos se alteraram, provavelmente, em mica; finalmente, numa última zona, junto das diáclases por onde penetraram as soluções, formou-se mica de cor verde. Todos os minerais primários da rocha alcalina foram destruídos na zona de mica de cor verde. Durante o metassomatismo dessa fase, o sódio, o ferro, o zircônio, o silício, o urânio, o tório e terras raras foram carregados pelas soluções que se empobreceram em po-

tássio. O aparecimento de halloysita-4H₂O, e halloysita-2H₂O, formadas de partículas em formato de placas, se constituiu numa novidade mineralógica. A halloysita-4H₂O (em placas) apresenta as mesmas propriedades de contração e expansão da halloysita-4H₂O (em tubos) e produz difratogramas semelhantes.

Na fase seguinte (segunda), as soluções em temperatura mais baixa continham menos potássio, os efeitos sobre as rochas alcalinas se fizeram sentir numa área menor (Morro do Taquari). Nesta fase os argilo-minerais formados se apresentaram distribuídos em zonas semelhantes as encontradas na fase anterior. O primeiro argilo-mineral a se formar foi halloysita-4H₂O (em tubos) e halloysita-2H₂O (em tubos); prosseguindo na direção do veio, encontra-se uma zona de montmorilonita, formada a partir da nefelina; vem em seguida a zona de feldspato e mica; e finalmente encontra-se a zona de mica de cor verde, junto das diáclases por onde penetraram as soluções. As fendas das diáclases se achavam preenchidas por veios de fluorita radioativa. Durante o metassomatismo dessas rochas os mesmos elementos da fase anterior foram criados pela soluções.

Numa fase posterior (terceira) de metassomatismo hidrotermal, quando as soluções já não continham mais potássio, formou-se uma massa homogênea (Morro do Ferro) de argilo-minerais formados de caulinita (muito bem cristalizada), mica e gibbsita. Junto com os argilo-minerais, que não se apresentavam subdivididos em zonas, depositaram-se terras raras e tório. Nesta fase ocorreu a deposição de ferro (sob a forma de um veio de magnetita) retirado, provavelmente, dos minerais máficos destruídos nas fases anteriores. As soluções hidrotermais, que alteraram o foiaíto desse morro, carregaram o sódio, o silício, o zircônio, potássio e urânio.

Finalmente na última fase (quarta) de metassomatismo hidrotermal as soluções hidrotermais estavam ricas em sódio, silício, zircônio e continham em menor quantidade, manganês, ferro e urânio, tendo-se depositado zircão e baddeleyita e óxidos de ferro e manganês. O urânio se depositou junto com o minério de zircônio, ficando apreendido em sua estrutura. Nesta fase, praticamente não houve alteração da rocha alcalina pelas soluções hidrotermais, ou se houve, foi semelhante ao intemperismo

ABSTRACT

In the present paper are studied the deposits of clay minerals which are found in the alkaline plateau of Poços de Caldas, located in the boundary of States of São Paulo and Minas Gerais. This occurrence of alkaline rocks has about 800 km², two thirds of which are formed by effusive and hypabyssal rocks, such as, phonolite, tinguaita, tuff agglomerate and breccia, while the rest of the area (one third) is formed of plutonic rocks, such as, foyaite, trachytoid foyaite, lujaurite and chibinite.

A mineralogical study of the clay minerals formed by different processes of decomposition of alkaline rocks was performed. At first a preliminary survey of the clay minerals found throughout Poços de Caldas plateau was carried out; for this purpose mainly x-ray analysis was used. After these studies, clay samples were selected for study by other methods, such as, electron microscope, chemical analysis, differential thermal analysis and x-ray fluorescence. Thin sections of rocks in different alteration states were also performed for petrographic studies.

Two groups of clay minerals were clearly distinguished: a) the clay minerals formed by weathering (approximately 600 km²) and b) the clay minerals formed by hydrothermal metasomatism (approximately 200 km²). Besides the clay minerals a great number of bauxite deposits is found. Although these bauxite deposits had been studied in this paper they should be studied further.

The clay minerals formed by weathering of alkaline rocks present the following sequence: alkaline rock → mica → kaolinite → gibbsite. By the same process of alteration halloysite was found in the Campo do Areão, determined by electron microscope as well as montmorillonite, identified by x-ray analysis. Both minerals were found near the rock in decomposition and represent probably the first stages of the decomposition of alkaline rocks.

The analysis with electron microscope of nine samples of a 9 metre deep surface cut in a refractory clay deposit (Campo do Areão) showed to be made up of particles with irregular outline and with decreasing size toward the surface. This surface cut showed a concentration of aluminum and a correspondent decrease of silicon and potassium toward the upper layers.

The two main morphological features found in most of bauxites of Poços de Caldas were: a) a concentric structure and b) a network of joints that were relicts from diaclasses of the original rock. These two features were interpreted as being index of the direct transformation of the rock into bauxite. To reinforce this hypothesis several alkaline rocks weathering directly into bauxite were observed in many places of Poços de Caldas plateau. Thin sections of these rocks showed the direct transformation of primary minerals into gibbsite.

The bauxites of Poços de Caldas plateau are made up of gibbsite, the main constituent, goethite and an amorphous material, identified by a 150°C endothermic peak in the differential thermal analysis, as being probably clachite, an amorphous aluminum hydroxide, which was found mainly in the clay fraction. Boehmite and lithiophorite, besides these minerals, were also found in Teixeira Farm.

Clay minerals formed by resilication of bauxite were found in form of sharply defined veins cutting through the bauxites. These veins occur in joints that were relicts from diaclasses of alkaline rocks. The most common clay mineral found was halloysite-4H₂O. Halloysite-2H₂O and kaolinite were also identified. The main characteristics of both halloysite and veins formed by resilication were respectively: a) the size of the tubes, which are very short and thin, as it was revealed by electron microscopy. These tubes can be distinguished from the others two types of halloysite tubes found in the Poços de Caldas plateau formed both by weathering and hydrothermal alteration, b) the veins are very hard, massive and have a porcelain aspect.

Another type of resilication of bauxite occurred mainly in the north of Poços de Caldas plateau. Fragments of bauxite transported from high-level sites were deposited at the base being later buried by

clayey sediments. Kaolinite and mica were formed in this process by partial resilication of bauxite.

The deposits of clay minerals formed by hydrothermal metasomatism did not show a homogeneous mineralogical composition. Each type of deposit presented a certain set of clay minerals, being possible to distinguish one deposit from the others and within the same type of deposit has been frequently observed a zonal arrangement of the clay minerals, which is characteristic of hydrothermal action.

The zonal arrangement within the deposits, as well as the mineralogical differentiation among the deposits are explained by the variation in the chemical composition of the same hydrothermal fluids. At first the solutions at high temperature were very rich in potassium. They reacted with alkaline rocks and exchanged the sodium and other elements of the rock by potassium from the solutions, which produced a potassium enrichment of alkaline rocks (from 7% to 12-14% K_2O). Due to the exchange occurred a continuous variation in the chemical composition of the solution, as well as a continuous decrease in temperature. These changes in chemical composition of the hydrothermal solution and in temperature are responsible for the variety of clay deposits found.

The first clay minerals to be formed by hydrothermal metasomatism were halloysite- $4H_2O$ (flake-shaped particles), halloysite- $2H_2O$ (flake-shaped particles), mica and gibbsite; progressing toward the vein there is a zone with a great geographic extension (Tamaná, D. Tita) where the sodium feldspar of alkaline rock was transformed into potassium feldspar (12-14% K_2O) and the mafic minerals altered probably into mica; finally, in the last zone, close to the vein was formed a green mica. All primary minerals of alkaline rock in the green mica zone were destroyed. Sodium, iron, zirconium, uranium, thorium, rare-earths, silicon were carried outward during the alteration of these rocks and the hydrothermal solution became impoverished in potassium. Halloysite- $4H_2O$ with flake-shaped particles seem to be a new mineral. The halloysite- $4H_2O$ (flake-shaped particles) showed the expanding and contraction properties of the halloysite- $4H_2O$ with tubular particles and they have similar x-ray pattern.

In the second phase, the solutions were at lower temperature and contained less potassium and the alteration produced occurred in a smaller area (Morro do Taquari). In this phase the clay minerals formed were somewhat similar to the previous phase. In the first zone elongate tubular particles of halloysite-4H₂O and halloysite-2H₂O were found; progressing toward the vein the nepheline altered into montmorillonite; the next zone contained feldspar and mica; finally, in the last zone a green mica adjacent to the vein was formed. These veins were filled out with radioactive fluorite. During the hydrothermal metasomatism of these rocks the same elements of the previous phase were carried outward.

In the next phase (third) when the solutions did not have more potassium a homogeneous body of clay minerals (Morro do Ferro) was formed which was composed of a well crystallized kaolinite formed of six-sided flakes, mica and gibbsite. Together with the clay minerals, which did not show a zonal distribution, rare-earths and thorium were deposited. In this phase an iron deposition (under a form of a magnetite vein) occurred probably removed from the breakdown of the mafics of the alkaline rocks of the previous phases. The hydrothermal solution, which altered the foyaites of the Morro do Ferro, carried sodium, silicon, zirconium, potassium, uranium, outward.

In the last phase (fourth) of hydrothermal metasomatism the solutions at low temperature were rich in sodium, silicon, zirconium and contained less manganese, iron and uranium. Zircon, baddeleyite and manganese and iron oxides were deposited. The zirconium minerals deposited contained uranium in their structure. In this phase, the alteration of the host rocks by the hydrothermal solution was either negligible or very similar to the weathering.

BIBLIOGRAFIA CITADA

1. DERBY, O.A. On nepheline rocks in Brazil, with special reference to the association of phonolite and foyaite. *Quart. Journ. Geol. Soc.* vol. 43 pp. 457-473, 1887.
2. BARBOSA, O. Notas sôbre algumas rochas da região de Poços de Caldas. *Acad. Bras. Ciên.* Ano 6, pp. 211-219 Rio de Janeiro, 1934.
3. ——— Notas preliminares sôbre o planalto de Poços de Caldas e suas possibilidades econômicas. *Dep. Nac. Prod. Min., Serv. Fom. Prod. Min., Avulso 8* 33 pp. Rio de Janeiro, 1936.
4. ——— Sôbre a idade das rochas alcalinas e a origem do planalto de Poços de Caldas. *Min. Met.*, vol. 13, n.º 76 pp. 235-237, Rio de Janeiro. 1948.
5. GUIMARÃES, D. Origem das rochas alcalinas. *Inst. Tec. Ind. Minas Gerais, Bol.* n.º 5, 103 pp. Belo Horizonte. 1947.
6. ELLERT, R. Contribuição à geologia do maciço alcalino de Poços de Caldas. *Bol. Fac. Fil. Ciên. Letr. Univ. São Paulo*, n.º 237, *Geologia* n.º 18, pp. 1-63, São Paulo. 1959.
7. BJÖRNBERG, A.J.S. Rochas clásticas do planalto de Poços de Caldas. *Bol. Fac. Fil. Ciên. Letr. Univ. São Paulo*. n.º 237, *Geologia* 18 pp. 65-123. São Paulo. 1959.
8. MACHADO, J. Beitrag zur Petragraphie der Sudwestlichen Grenze zwischen Minas Gerais und São Paulo. *Tscher Min. u. Petr. Milt Bd.* 9 pp. 329-360. 1888.
9. BRANCO, J.J.R. Notas sôbre a geologia e petrologia do planalto de Poços de Caldas, MG. *Escola de Engenharia, Univ. Minas Gerais, Inst. Pesq. Radioativas*, pub. n.º 5, 72 pp. Belo Horizonte. 1956.
10. GUIMARÃES, D. e Moraes, L.J. Um mineral raro dos foiaítos do Serrote Cascata, Mun. de Águas da Prata, S.P. *Inst. Tec. Ind. Avulso* n.º 19, 10 pp. Belo Horizonte. 1955.
11. TEIXEIRA, E.A. Zircônio no planalto de Poços de Caldas, Est. de São Paulo e Minas Gerais. *Min. Met.* vol. 1 n.º 4 pp. 159-168. Rio de Janeiro. 1937.
12. FRANCO, R.R. Minerais de zircônio na região de Poços de Caldas, Minas Gerais. *Bol. Fac. Fil. Ciên. Letr. Univ. São Paulo* n.º 99, *mineralogia* n.º 7 pp. 7-28 São Paulo. 1947.
13. GUIMARÃES, D. The zirconium ore deposits of the Poços de Caldas, Plateau, Brazil, and zirconium geochemistry. *Inst. Tec. Ind.* n.º 6 79 pp. Belo Horizonte. 1948.

14. ANGELERI, F.B. Algumas propriedades de minério de zircônio nacional. Anais Ass. Bras. Quím. vol. 1, n.º 3. 1942.
15. BERGSTÖM Lourenço, O. e Souza Santos, P. Propriedades cerâmicas de minerais de zircônio brasileiros. Cerâmica vol. 8 n.º 29 pp 2-40. São Paulo 1962.
16. — Contribuição ao estudo do ataque alcalino de minerais de zircônio brasileiros. Boletim do Depto. Eng. Quím. da Escola Politécnica São Paulo n.º 17 pp. 14-56 São Paulo. 1963.
17. TOLBERT, G. Preliminary report of the zirconium ore deposits of the Poços de Caldas Plateau. Part I Eng. Min. Met. vol. 27. n.º 161. pp. 265-269. Rio de Janeiro 1958.
18. — Preliminary report of the zirconium ore deposits of the Poços de Caldas Plateau. Part II Eng. Min. Met. vol. 27 n.º 161. pp. 253-260. Rio de Janeiro 1958.
19. GUIMARÃES, D., Campos, M. e Figueiredo, D.G. Algumas rochas alcalinas de Poços de Caldas relacionadas com as jazidas de Caldasito urânífero. Escola de Engenharia da Univ. de Minas Gerais, Inst. Pesq. Radioativas, pub. n.º 2, pp. 1-34. Belo Horizonte 1953.
20. FRAHYA, R. Urânio e tório no planalto de Poços de Caldas. Bol. Dep. Nac. Prod. Min. Div. Fom. Prod. Min., n.º 116, 75 pp. Rio de Janeiro 1962.
21. MAFEI, F.J.H., Pucci, J.R. e Ferreira, W. Proceedings of the international conference of the peaceful use of atomic energy, vol. 8 pp. 116. Genebra 1956.
22. SOUZA SANTOS, T. Contribuição para o estudo da bauxita do planalto de Poços de Caldas. Bol. Inst. Pesq. Tecn. de São Paulo n.º 17, pp.109-134. São Paulo 1937.
23. TEIXEIRA, E.A. Bauxita no planalto de Poços de Caldas, Estado de Minas Gerais. Min. Met. vol. 1, n.º 4. pp. 159-168. Rio de Janeiro 1937.
24. HARDER, E.C. Examples of bauxite deposits illustrating variation in origin. Problems of clay and laterite genesis, Publicado pela The American Institute of Mining and Metallurgical Engineers, pp. 35-63. New York 1952.
25. WEBER, B.N. Bauxitização no distrito de Poços de Caldas, Minas Gerais Brasil. Bol. da Soc. Bras. Geol. vol. 8, n.º 1 pp. 17-30 São Paulo 1959.
26. SOUZA SANTOS, P e Santini, P. Análise térmica diferencial de bauxitos, de argilas aluminosas e de lateritos. Cerâmica, vol. 9, n.º 33, pp. 3-32 São Paulo 1963.
27. GUIMARÃES, D. e Dutra, C.V. Contribuição à geoquímica das rochas alcalinas no Brasil. Dep. Nac. Prod. Min. Div. Fom. Prod. Min. Bol. 112, 26 pp. Rio de Janeiro 1962.

28. SOUZA SANTOS, P e Ferron, O.J. Estudos sôbre as propriedades cerâmicas de argilas refratárias do planalto de Poços de Caldas. No prelo.
29. FELICISSIMO JUNIOR, J. e Franco, R.R. Bauxito no altiplano da Serra de Cubatão, Estado de São Paulo. Bol. Soc. Bras. Geol., vol. 5, n.º 2 pp. 35-49. 1956.
30. ILCHENKO, V e Guimarães, D. Sôbre a possibilidade de utilização agrícola dos sienitos nefelinos do planalto de Poços de Caldas, Estado de Minas Gerais. Inst. Tec. Ind. Avulso n.º 15, 15 pp. 1953.
31. — O processo de decomposição das rochas alcalinas do planalto de Poços de Caldas, Estado de Minas Gerais. Escola de Engenharia, Univ de Minas Gerais, Inst. de Pesq. Radioativas, pub. n.º 3, 50 pp. Belo Horizonte 1954.
32. ASHRY, M.M. Studies of three rock samples from Brazil. Bol. Soc. Bras. Geol. Vol. 11, n.º 1, pp. 89-116. São Paulo 1962.
33. GRIM, R.E. Clay Mineralogy McGraw-Hill Book Co., Inc. 342 pp. 1953.
34. KELLER, W.D. The principles of chemical weathering. Revised Edition, Lucas Brothers Publishers, Columbia, Missouri 111 pp. 1957
35. SALES, R. e Meyers, C. Wall rock alteration at Butle, Montana. Am. Inst. Mining Met. Engrs. Tech. Pub. 2400 1948.
36. GOLDMAN, M.I. e Tracey, J.I. Relations of bauxite and kaolin in the Arkansas bauxite deposits. Econ. Geol. vol. 41 pp. 567-575, 1946.
37. ALLEN, V.T. Petrographic relations in some typical bauxite and diaspore deposits. Bol. Geol. Soc. Am., vol. 63 pp. 649-688 1952.
38. GOLDMAN, M.I. Petrography of bauxite surrounding a core of kaolinized nepheline syenite in Arkansas. Econ. Geol. vol. 50, pp. 586-609 1950.
39. BATES, T.F Interrelationships of struture and genesis in the bauxite group. Problems of clay and laterite genesis, Published by the American Institute of Mining and Metallurgical Engineers, New York, pp. 144-153 1952.
40. EILERS, K. Problems of clay and laterite genesis. Published by the American Engineers, New York 1952.
41. SAND, L.B. On the genesis of residual kaolins. Am. Min., vol. 41 pp. 28-40 1956.
42. BATES, T.F Rock weathering and clay formation in Hawaii. The Penn. State University, USA, Min. Ind. vol. 29, n.º 8 pp. 1-6 1960.
43. GARRELS, R.M. e Howard, P. Reactions of feldspar and mica with water at low temperature and pressure. Clays and Clay minerals, Proceedings of 6th National Conference on clays and clay minerals, Pergman Press. pp. 68-88 1959.
44. FREITAS, R.O. As estruturas fósseis do sistema de Santa Catarina no planalto de Poços de Caldas. Bol. Assoc. Geog. Bras. n.º 3, pp. 25-36 1943.

45. WARSHAW, C.M. e Roy R. Classification and scheme for identification of layer silicates. *Bol. Geol. Soc. Am.*, vol. 72, n.º 10 pp. 1455-1492 1961.
46. BRINDLEY, G.W., Souza Santos, Souza Santos, P. e H.L. Mineralogical studies of kaolinite-halloysite clays; Part I — Identification problems *Am. Min.* vol. 48, pp. 897-910 1963.
47. SOUZA SANTOS, P e Souza Santos, H.L. Preparação de argilas para microscopia eletrônica. *Cerâmica*, vol. 3 n.º 11 pp. 132-138 1957.
48. KAPEL, I.B. e Souza Santos P Análise térmica diferencial de talcos brasileiros. *Cerâmica*, vol. 10 n.º 37, pp. 10-23. São Paulo 1963.
49. BRINDLEY, G.H. e Robinson, K. Randomness in the structure of kaolinitic clay minerals. *Trans. Faraday Soc.* 42B, pp. 198-205 1946.
50. PETRO, G. Genèse des minéraux argileux par lessivage des roches cristallines au laboratoire. Genèse e synthèse des argiles. Edition du Centre National de La Recherche Scientifique pp. 99-107 Paris 1962.
51. YONDER, H.S. e Eugster, H.P Synthetic and natural muscovites. *Geochem. Cosmochim. Acta*, vol. 8 pp. 225-280 1955.
52. SOUZA SANTOS, P e Souza Santos, H.L. e Moniz, A.C. Estudo de algumas argilas e caulins de diversos estados do Brasil. *Cerâmica* vol. 8 pp. 2-21 São Paulo 1962.
53. SUDO, T. Mineralogical Study on clay of Japan. Maruzen Co. Ltd. Tokyo. 328 pp. 1959.
54. SHEARER, H.K. A report on the bauxite and fullers earth of the coastal plain of Georgia, Ga. *Geol. Survey Bull.* 31. pp. 19-40 1917
55. GUIMARÃES, D. Fundamentos da metalogênese e depósitos minerais do Brasil. *Bol. Dep. Nac. Prod. Min., Div. Fom. Prod. Min.* n.º 109, pp. 258-259. Rio de Janeiro 1961.
56. ROY, R. e Osborn, E.F The system $Al_2O_3 - SiO_2 - H_2O$. *Am. Min.* vol. 39, pp. 853-885 1954.
57. FRAHYA, R. Rocha potássica. *Eng. Min. Met.* Vol. 15 n.º 87 pp. 85-86 Rio de Janeiro 1950.
58. ANDREATTA, C. Study of the Hydrothermal stratum of the clay minerals of Capalbia, Italy *Ind. Ceram. e Silicati*, vol. 2, pp. 17-21 1949.
59. OLIVEIRA, A.L. Reservas brasileiras de tório. *Eng. Min. Met.* vol. 24 n.º 164. Rio de Janeiro 1956.
60. SEMENOV, E.I., Khomyakov, A.P e Bykova, A.V. Supergene bastnäsite in the erosion zone of an alkaline massif. *Trudy mineral Muzeya, Akad. Nauk SSSR* n.º 11 pp. 202-204 e *Chem. Abs.* n.º 55, 20799 i 1956*

APÉNDICE

ABREVIACOES UTILIZADAS NO APENDICE 1A

Bad	— Baddeleyita
C	— Caulinita, podendo estar associada com halloysita
C/H	— Caulinita ou halloysita-2H ₂ O
Cli	— Cliaquita (hidróxido de alumínio amorfo aos raios-X)
F	— Mineral do grupo dos feldspato
Flu	— Fluorita radioativa
Gib	— Gibbsita
Goe	— Goetita
H-2H ₂ O	— Halloysita-2H ₂ O
H-4H ₂ O	— Halloysita-4H ₂ O
(Hem)	— Mineral que apresenta difratograma semelhante ao da hematita
Lit	— Litioforita
Mi	— Mica finamente dividida formada pela ação do intemperismo ou por metassomatismo hidrotermal
Mont	— Mineral do grupo das montmorilonitas
Q	— Quartzo
Zir	— Zircão

* * *

APENDICE 1A

Composio mineralógica de argilas e bauxitos coletados no maciço alcalino de Poços de Caldas

Amostra	Localidade	Composio mineralógica
1	Rua dos Inconfidentes	H-2H ₂ O + Mi
2		H-4H ₂ O + Mi
3		Goe + Mi
4		H-2H ₂ O
5		Mi + H-2H ₂ O
6		H-4H ₂ O + H-2H ₂ O + Mi + Gib
7	Estr. Poços de Caldas-	Mont. + H-4H ₂ O + Mi
8	Andradas	H-4H ₂ O + Mi + F
9		C + M + Gib

Amostra	Localidade	Composição mineralógica
10		H-4H ₂ O + F + Q?
11		Mi + H-2H ₂ O + Goe?
12	Fazenda Teixeira	Gib + cli + Goe
13		Gib + cli + Goe
14		Gib + cli + Goe
15		Gib + cli + Goe
16		Gib + cli + Goe
17		Gib + cli + Goe
18		Gib + cli + Goe
19	Estr. Poços de Caldas-	Mi + C + Gib
20	Andradas	F + C/H
21		F + H-4H ₂ O + H-2H ₂ O
22		H-4H ₂ O + F + Q?
23		C? + Mi? + F
24		Mont. + 4H ₂ O + H-2H ₂ O
25		Mont + H-2H ₂ O
26		Mont + H-2H ₂ O
27		Mont
28		H-2H ₂ O + F
29		H-2H ₂ O + F
30		H-2H ₂ O + Q
31		Mont + H-2H ₂ O + Q + F
32		Mont + Mi + F
33		C
34		H-4H ₂ O + Gib
35		C + Mi
36		C
37		C
38		H-4H ₂ O + H-2H ₂ O + Gib + F?
39	Campo do Pião	C + Mi + Gib
40		C + Mi
41		C + Mi
42		C + Mi + Gib
43		C + Mi
44		H-2H ₂ O + M + Gib + Q?
45		C + Mi + Gib
46		H-2H ₂ O + Gib
47		C + Mi + Gib
48		C + Mi + Gib
49	Estr. Poços de Caldas-	C + Mi + Gib
50	Andradas	F + Mi + H-2H ₂ O

Amostra	Localidade	Composição mineralógica
51		F + Mi + H-2H ₂ O
52		F + Mi + C/H
53		C + Mi + Gib
54		H-4H ₂ O + H-2H ₂ O + Mi
55		H-4H ₂ O + H-2H ₂ O + Mi + Gib
56		Mi + H-2H ₂ O + Gib
57		Mi + H-2H ₂ O + Q
58		óxido de manganês
59		H-4H ₂ O + Mi + H-2H ₂ O
60		Mi + H-2H ₂ O
61		Mi + H-2H ₂ O
62		H-4H ₂ O + Mi + H-2H ₂ O
63		H-4H ₂ O + Mi + H-2H ₂ O + Gib
64		C + Mi
65		C + Mi
66		C + Mi
67		C + Mi + Gib
68		C + Mi + Gib
69		C + Mi + Gib
70		F + Mi
71		F + Mi
72		Mi + H-2H ₂ O + Gib
73		H-4H ₂ O + Mi
74		H-4H ₂ O + H-2H ₂ O + F
75		H-4H ₂ O + H-2H ₂ O + Mi + Gib
76		C + Mi
77	Morro do Tamanduá	F + C + Mi
78		C
79		F + Gib
80		H-4H ₂ O + Mi
81		H-2H ₂ O + Mi + F
82		C + H-4H ₂ O
83		Mi (côr verde)
84		C
85		C
86		Mi + H-2H ₂ O + Q + F + H-4H ₂ O?
87		F + Mi
88		Mi (côr verde)

Amostra	Localidade	Composição mineralógica
89		H-4H ₂ O + H-2H ₂ O + Mi
90		Mi + C + F + Gib
91		Mi + H-2H ₂ O + Gib + F?
92		Mi + H-2H ₂ O + Gib
93		H-4H ₂ O + Mi + H-2H ₂ O + Gib + F?
94		H-4H ₂ O + Mi + H-2H ₂ O + Gib
95	Estr. Poços de Caldas-	C + Mi
96	Andradas	H-4H ₂ O + H-2H ₂ O + Mi
97		H-4H ₂ O + Gib + Q
98		C/H + Mi
99		C + Mi
100		C + Mi
101		C + Mi
102		H-2H ₂ O + Mi + Gib
103		H-2H ₂ O + Mi + Gib
104		F + Mi
105		Mont + H-4H ₂ O + Mi + F
106		F + H-4H ₂ O
107		M + H-2H ₂ O + Gib
108	Estr. Poços de Caldas-	H-4H ₂ O + Gib
109	Caldas	Gib + H-2H ₂ O + M?
110		H-2H ₂ O + Gib
111		C
112		Gib + Q? + C
113		C + Gib + Mi? + H-4H ₂ O
114		H-2H ₂ O
115		H-4H ₂ O + Mi + H-2H ₂ O + Gib
116		Mont + H-4H ₂ O + H-2H ₂ O
117		Mont + H-4H ₂ O + H-2H ₂ O
118		C + Mi + Gib + F
119		C + Mi
120		C + Mi
121		C + Mi + Gib
122		Mi + Gib
123		H-4H ₂ O + H-2H ₂ O
124		Amorfo?
125		C

Amostra	Localidade	Composição mineralógica
126		C + Mi
127		C + Mi + Gib
128		C
129		C + Mi
130		H-4H ₂ O + H-2H ₂ O + M + F
131	Morro do Taquari	F + Mi
132		Mi (verde)
133		Mont + Mi
134		F + Mi
135		Mi + H-2H ₂ O + F
136		Mi
137		Mi + Mont
138		Mi + Q?
139		Mi + F
140		Mi + C
141		C + Mi
142		C + Mi + Gib
143	Estd. Poços de Caldas-	C + Mi + Gib
144	Morro do Ferro	C + Mi
145		C + Mi + Gib
146		C + Mi + Gib
147		C + Mi + Gib
148		C + Mi + Gib
149		C + Mi
150		C + Mi + Gib
151		C + Mi + Gib
152		C + Mi + Gib
153		C + Mi + Gib
154		Mi + C/H + F
155		Mi + F + C?
156	Morro do Ferro	C + Mi + Gib
157		C + Mi + Gib
158		C + Mi + Gib
159		C + Mi + Gib
160		C + Mi + Gib
161		C + Mi + Gib
162		C + Mi
163	Estr. Poços de Caldas-	C + Mi + Gib
164	Morro do Ferro	Mi + C
165	Campo do Areão	F + C + Mi
166		C + Mi + Gib

Amostra	Localidade	Composição mineralógica
167		H-4H ₂ O
168		C + Mi + Gib
169		C + Mi + Gib
170		C + Mi + Gib
171		C + Mi + Gib
172		C + Mi
173		C + Mi
174		C + Mi
175		C + Mi + F
176		C + Mi + F
177	C. Nôvo do Curimbaba	C + Mi + Gib
178		C + Gib + Mi? + H?
179		C + Mi + Gib
180		C + Mi + Gib
181		Mi + C/H + Goe?
182		C + Mi
183		Mi + C
184		C + Mi
185	Campo do Barro Branco	C + Mi + Gib
186		C + Gib + Mi
187		C + Gib + Mi
188		C + Gib + Mi
189		C + Gib
190		C + Mi + Gib
191		H-2H ₂ O + Gib
192		C + Mi + Gib
193		Mi + C + Gib
194		C + Mi
195		C + Gib
196		C + Gib + Mi
197		H-4H ₂ O + H-2H ₂ O + Gib
198		H-2H ₂ O + Gib
199		C + Mi + Gib
200		C + Mi + Gib
201		C + Mi + Gib
202		H-4H ₂ O + Mi + H-2H ₂ O + Gib + Goe
203		H-4H ₂ O + H-2H ₂ O
204		H-2H ₂ O + Gib
205		H-4H ₂ O + H-2H ₂ O + Gib + Mi
206		C + Gib + Mi

Amostra	Localidade	Composição mineralógica
207		H-4H ₂ O + Mi + H-2H ₂ O
208		F + Mi + H-2H ₂ O
209	Campo do José Massa	C + Mi + Gib
210		C + Mi
211		C + Mi + Gib
212		C + Mi + Gib
213		Mi + C/H + Gib
214		Mi + C/H
215	Campo da Galinha	H-4H ₂ O + H-2H ₂ O + Gib
216		H-4H ₂ O + H-2H ₂ O + Mi + Gib
217		H-2H ₂ O + Mi + Gib
218	Fazenda Teixeira	Gib + Goe + Cli
219		Gib + Goe + Cli
220		Gib + Goe + Cli
221		Gib + Goe + Cli
222		Gib + Goe + Gib
223		Gib + Goe + Cli
224	Campo do Sérgio	C + Mi + Gib
225		C + Mi + Gib
226		C + Mi + Gib
227		C + Mi
228		C
229	Campo do PB1	C + Mi + Gib + F
230		C + Mi + Gib + F
231		C + H-2H ₂ O + Mi + Gib + F
232		C + H-4H ₂ O + Mi + Gib + F
233		C + H-4H ₂ O + Mi + Gib + F
234		C + Mi + Gib + F
235	Campo do Saco	C + Mi + Gib
236		H-2H ₂ O + Mi + Gib
237		H-2H ₂ O + Mi + Gib
238		C + Mi + Gib
239	Estr. Poços de Caldas-	H-4H ₂ O + Mi + H-2H ₂ O
240	Cascata	C + Gib + Goe?
241	Campo do Gebara	C + Mi + Gib
242		Gib + C
243		Gib

Amostra	Localidade	Composição mineralógica
244		Q + H-4H ₂ O + H-2H ₂ O + C?
245		H-2H ₂ O + H-4H ₂ O + Q + Gib
246		Gib + Q + H-2H ₂ O
247		C + M + Q + Gib
248		Q + H-4H ₂ O + H-2H ₂ O + Mi
249		H-2H ₂ O + Q + Gib
250		C + Mi + Gib
251		H-2H ₂ O + Gib + Q
252	Colina	Gib + Cli
253		Gib + Cli + Goe
254		Gib + Cli
255	Estr. Poços de Caldas-	Gib + Cli + Goe
256	Cascata	C + Mi + Gib
257		C + Mi + Gib
258		C + Mi
259		C/H + Gib + (Hem) + Goe?
260		C/H + Gib + Hem
261		C + Mi
262		C + Mi
263		C + Mi
264		Gib + (Hem)
265		C + Gib + (Hem) + Goe?
266		C + Gib + (Hem)
267		C + (Hem) + Gib
268		C + Mi
269		C + Mi
270		C + Gib + Mi?
271		C + Mi + Gib
272		C + Mi + Goe?
273		C + (hem)
274		C + Mi
275		C + Gib
276		C + Mi
277		C + Mi
278		C + Mi
279	Estação da Cascata	H-2H ₂ O + Mi + F
280		H-2H ₂ O + Mi
281		H-4H ₂ O + H-2H ₂ O + Mi

Amostra	Localidade	Composição mineralógica
282		H-4H ₂ O + H-2H ₂ O + Mi
283		H-4H ₂ O + H-2H ₂ O
284	Morro do Serrote	C + Mi + Gib
285		C + Mi + Gib
286		C + Mi
287		C + Mi
288		C + Mi
289		C + Mi
290		Bad + Zir
291		H-4H ₂ O
292		Gib
293		C
294		C + Mi
295		C + Mi + F
296		C + Mi
297		H-4H ₂ O? + Mi
298		C + Gib
299		Gib
300		C + Gib + Mi
301		C + Mi + Gib
302		H-4H ₂ O
303		Gib + Cli?
304		Gib + Cli
305		Mi + Gib
306		C
307		Lit
308	Próximo Brígidas	H-4H ₂ + H-2H ₂ + F?
309		H-4H ₂ + H-2H ₂ + F?
310		H-4H ₂ + H-2H ₂ + F?
311		H-2H ₂ O + H-4H ₂ O? + F + Mont?
312	Brígidas	Bad + Zir
313		Mi + C/H + Gib
314		C + Mi
315		Mi + C/H
316		C/H + Mi
317	Sobradinho	C/H + Gib + Q
318		C + Gib + Mi
319		C + Gib + Mi
320	Chapadão	C/H + Gib + Q + Mi?
321		H-2H ₂ O + Gib + Q?
322		H-2H ₂ O + Mi + Gib + F

Amostra	Localidade	Composição mineralógica
323		C + Mi + Gib
324		C/H + Mi + Gib + F

* * *

APÊNDICE 1B

Depósitos de argilas refratárias

CAMPO DO PIÃO: *Poço n.º 1* (7 metros de profundidade), amostras 39 (parte superior); 40 (parte intermediária); 41 (parte inferior). *Poço n.º 2* (3 metros de profundidade), amostras 42 (1,5m); 43 (3m). *Poço n.º 3* (3 metros de profundidade), amostras 44 (superior); 45 (inferior). *Poço n.º 4* (2,5m profundidade), amostra 46 (superior); 47 (inferior). *Poço n.º 5* amostra 48.

EM FRENTE DA USINA DA COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR: material coletado num perfil, amostras 49, 50, 51, 52 e 53.

CAMPO NÓVO DO CURIMBABA: material coletado em várias frentes de exploração — *Frente n.º 1*, amostras 177 e 178. *Frente n.º 2*, amostras 179 e 180. *Frente n.º 3*, amostras 181 e 182. *Frente n.º 4*, amostras 183 e 184.

CAMPO DO BARRO BRANCO: a) material coletado em frentes de exploração *Frente n.º 1*, amostras 185, 186, 187, 188 e 189. *Frente n.º 2*, amostras 190 e 191;

b) Amostras de furo de sondagem — *Furo n.º 1*, amostras 192 (0-1m); 193 (3-4m); 194 (7-8m). *Furo n.º 2*, amostras 195 (0-1m); 196 (3-4m); 197 (7-8m). *Furo n.º 3*, amostras 198 (0-1m); 199 (3-3,65m). *Furo n.º 4*, amostras 200 (0-1m); 201 (3-4m); 202 (7-8m). *Furo n.º 5*, amostras 203 (7-8m). *Furo n.º 6*, amostras 204 (0-1m); 205 (3-4m). *Furo n.º 7*, amostras 206 (0-1m); 207 (3-4m); 208 (7-8m).

CAMPO DO JOSÉ MASSA: *Poço n.º 1*, amostras 209 (parte superior); 210 (parte inferior). *Poço n.º 2*, amostra 211. *Poço n.º 3*, amostra 212. *Poço n.º 4*, amostras 213 (parte superior); 214 (parte inferior)

CAMPO DO SÉRGIO: amostras coletadas num perfil — 224, 225, 226, 227 e 228.

OUTRAS OCORRÊNCIAS: A sudoeste do planalto de Poços de Caldas está assinalado uma área onde ocorre um grande depósito de argila refratária (Fig. 7). Essa área se estende desde a localidade de Sobradinho até a de Chapadão, formando um único depósito, que pode ser observado facilmente em fotografias aéreas. As amostras estudadas com difração dos raios-X, dessa região, foram as seguintes: a) Sobradinho, coletadas num barranco natural, amostras 317, 318 e 319; b) Chapadão, amostras 320, 321, 322, 323 e 324.



Foto 1 — Vista de uma baixada, onde são encontrados freqüentemente depósitos de argila refratária. Foto tirada da margem da estrada velha Poços de Caldas-Caldas .

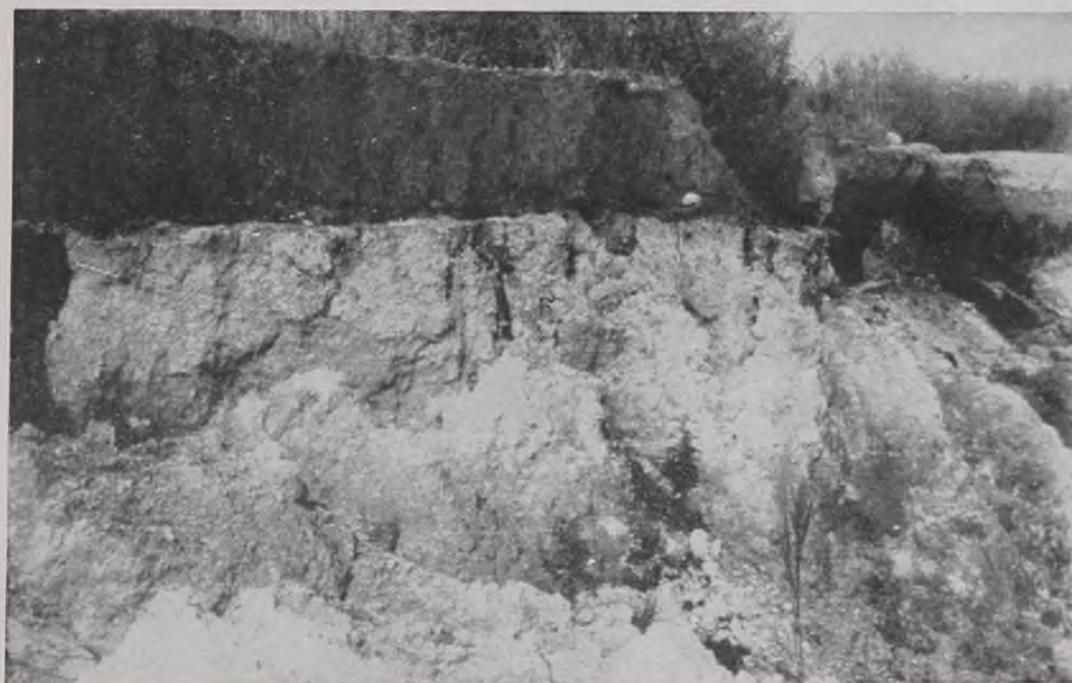


Foto 2 — Depósito de argila refratária do Campo do Meio, onde se observa camada de solo rico em matéria orgânica.



Foto 3 — Micrografia eletrônica da amostra IX (7,5-9m) do Campo do Arcao, observando-se dois tipos de materiais: a) placas muito pequenas de caulinita, algumas de perfil ligeiramente hexagonal; b) aglomerados grandes, lamelares que podem ser de feldspato finamente dividido, ou de feldspato se transformando em mica e caulinita.

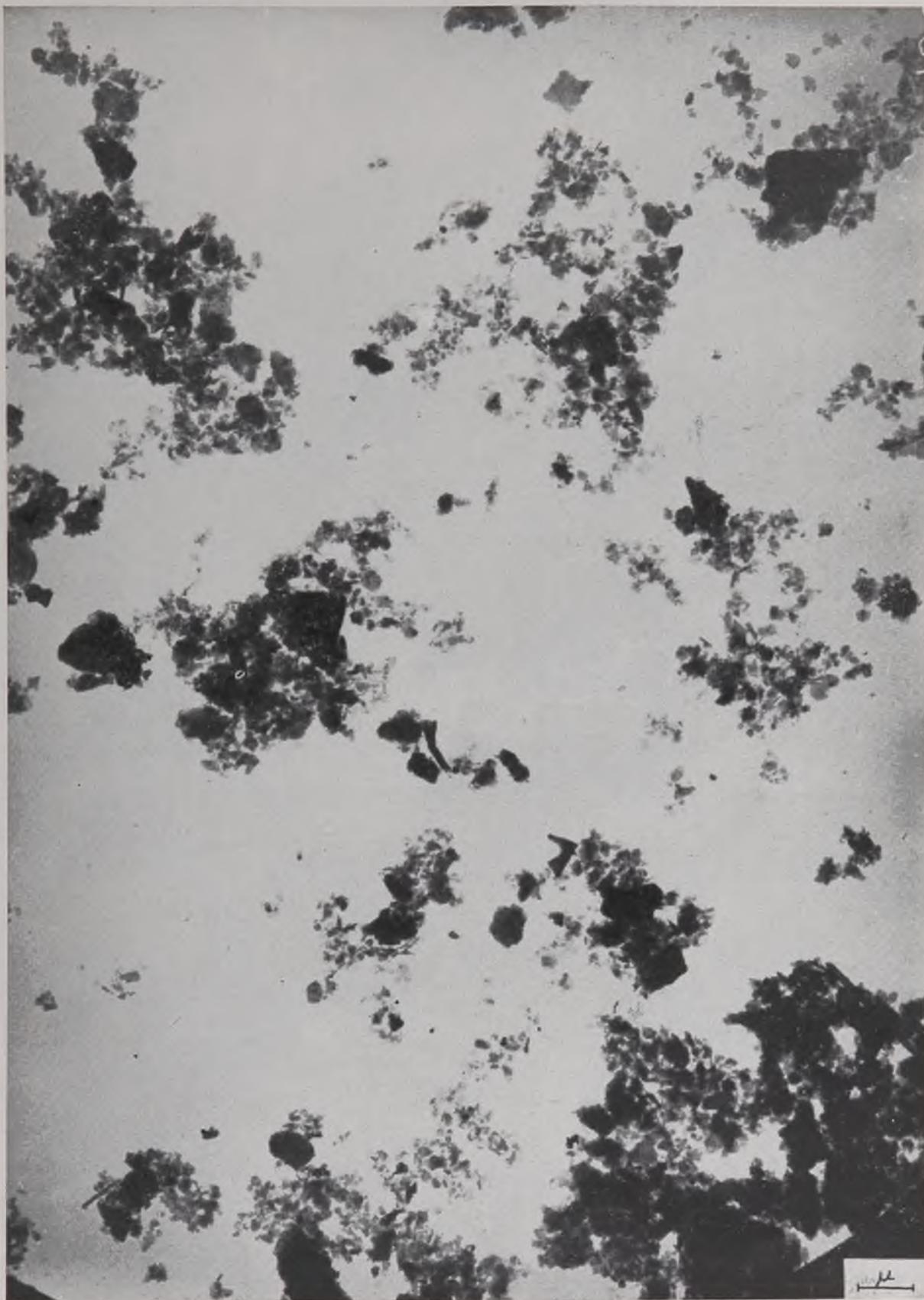


Foto 4 — Micrografia eletrônica da amostra VI (5-6m) do Campo do Areão, observando-se: a) restos de aglomerados e placas hexagonais muito finas de caulinita; b) pequena quantidade de tubos curtos de halloysita.

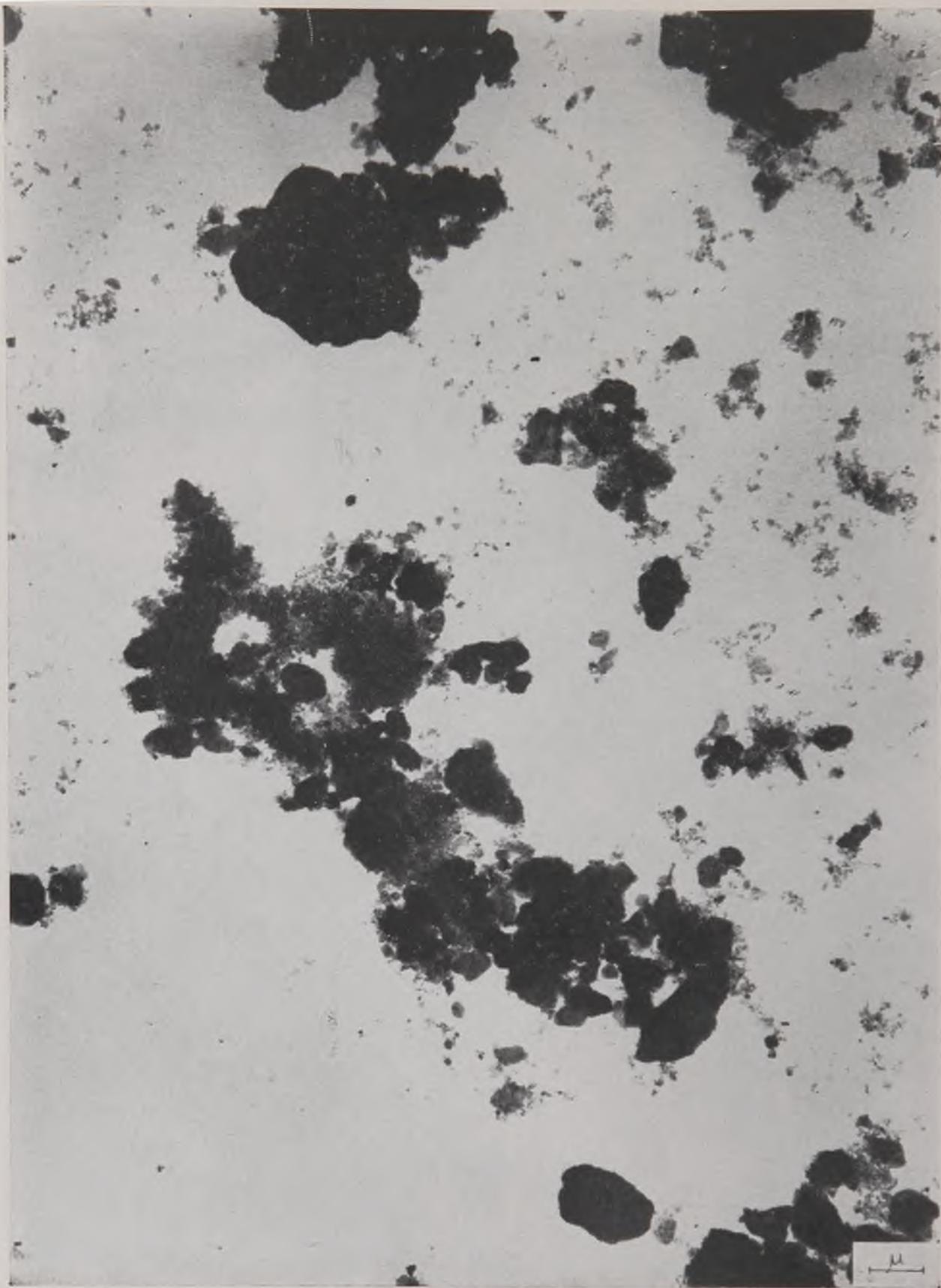


Foto 5 — Micrografia eletrônica da amostra II (0,5-0,7m), constituída de a) partículas muito finas de perfil irregular; b) lâminas grandes de perfil irregular. Neste tipo de material não foi possível distinguir caulinita de gibbsita. Também não foi possível observar nenhuma partícula de mica.



Foto 6 — Pequeno depósito de bauxito no dique anelar, ao norte do planalto de Poços de Caldas, onde se observa, claramente, a conservação das diáclases reliquiais do fonolito.



Foto 7 — Micrografia de um bauxito, coletado na estrada velha Poços de Caldas-Caldas, observando-se um pequeno veio de gibbsita, formado localmente a partir de soluções.

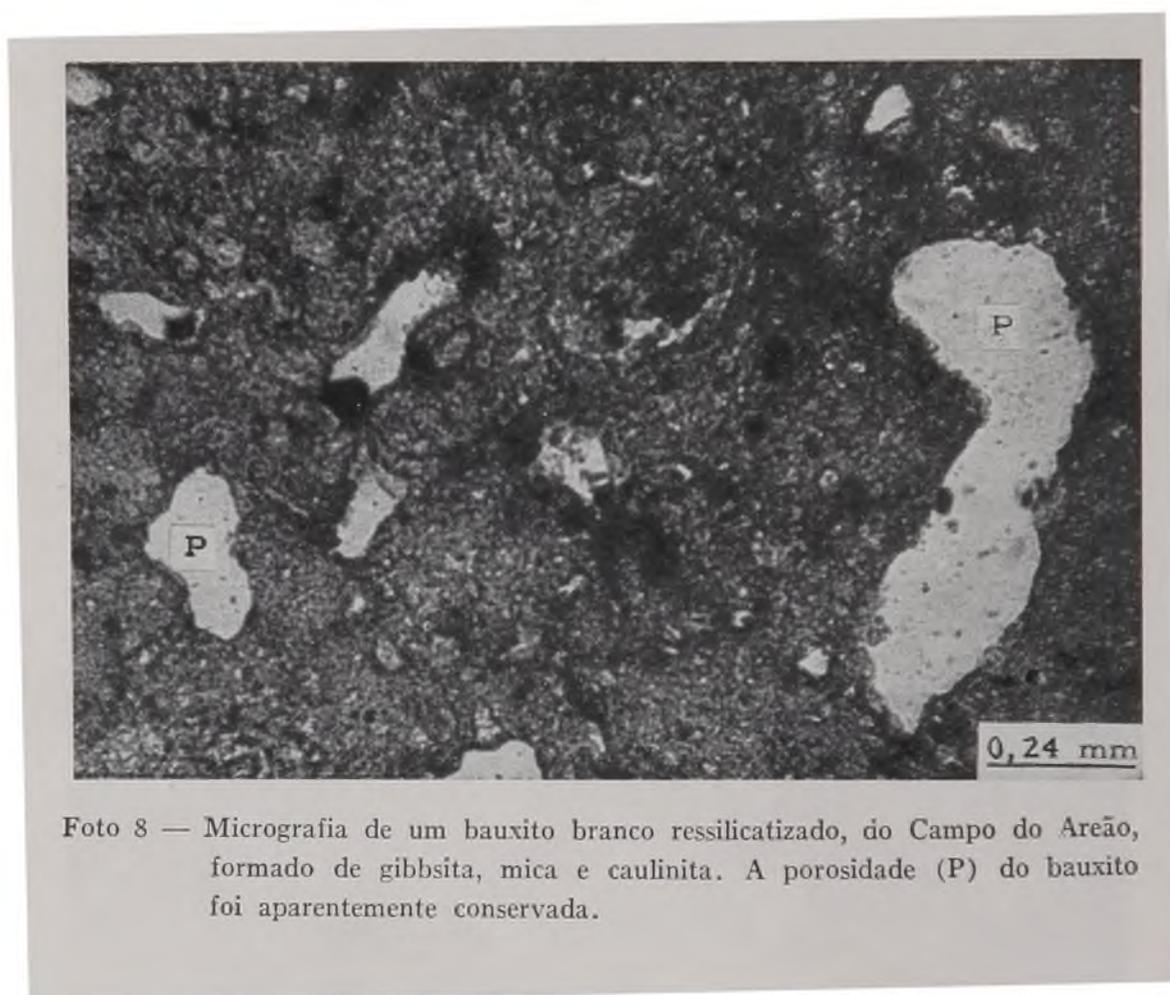


Foto 8 — Micrografia de um bauxito branco ressilicizado, do Campo do Areão, formado de gibbsita, mica e caulinita. A porosidade (P) do bauxito foi aparentemente conservada.

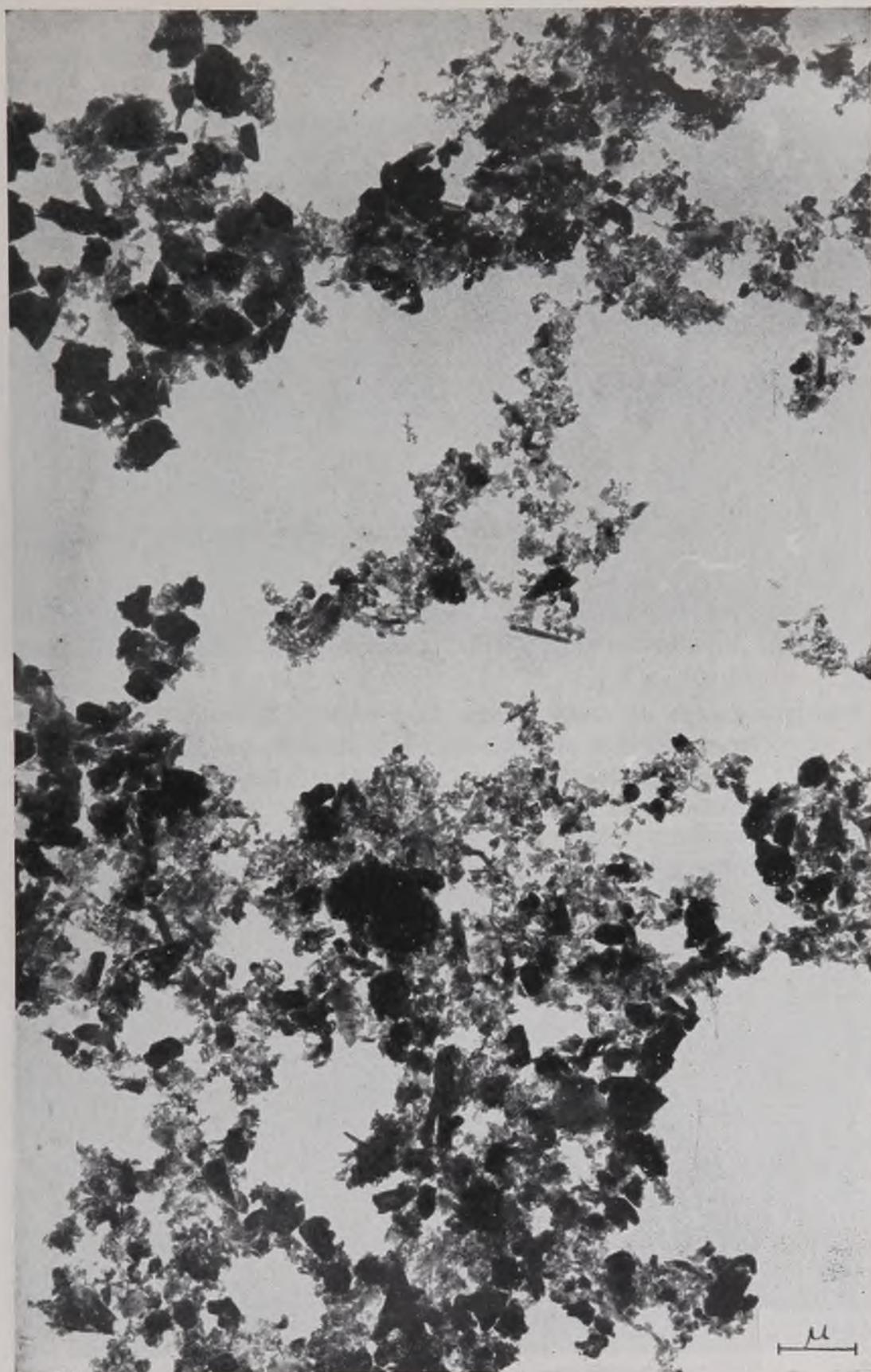


Foto 9 — Micrografia eletrônica de argilas do Campo do Areão, formadas provavelmente por ressilicatização. Este material é constituído de: a) tubos muito finos e curtos de halloysita; b) partículas de perfil aproximadamente triangular, bastante espessos provavelmente de gibbsita.



Foto 10 — Campo do Areão — São vistos veios de halloysita- $4\text{H}_2\text{O}$, formados provavelmente por ressilicatização do bauxito, que foi quase completamente carriado pelas águas superficiais. Esses veios ocupam diáclases reliquiais do bauxito.



Foto 11 — Campo do Areão — Detalhe dos veios de halloysita- $4\text{H}_2\text{O}$ da foto 10. Vê-se uma série de veios paralelos de espessura muito pequena, que se entrecruzam quase normalmente. Esses veios se caracterizam pela sua dureza e composição mineralógica.



Foto 12 — Corte de estrada Poços de Caldas-Andradas — Veios de argila (caulinita e mica), provavelmente transportada e depositada em fendas de bauxito formado a partir de foiaíto.



Foto 13 — Morro do Taquari — Observam-se as diáclases por onde penetraram soluções ricas em potássio; o material mais próximo das diáclases se apresenta ligeiramente orientado; junto da caneta encontra-se camada de mica de côr verde, que não é distinguível na foto.



Foto 14 — Morro do Taquari — Micrografia mostrando a fluorita (F) associada com zircão (Z) e baddeleyita (B).



Foto 15 — Morro do Taquari — Micrografia do feldspato alcalino, ligeiramente alterado em mica ao longo das clivagens.



Foto 16 — Micrografia eletrônica de argilas do Morro do Taquari, onde se observa: a) tubos longos e curtos, isolados ou em feixe, de halloysita; b) pequena quantidade de placas finas de perfil irregular de montmorilonita; c) pequeno teor de placas hexagonais de caulinita.



Foto 17 — Corte de estrada Poços de Caldas-Andradas, podendo-se observar a rocha inalterada, semelhante a um matacão, circundada por veios claros de halloysita- $2\text{H}_2\text{O}$ e montmorilonita. Esse material oferece uma boa idéia de como as soluções hidrotermais alteram grandes massas de rochas a partir das diáclases.

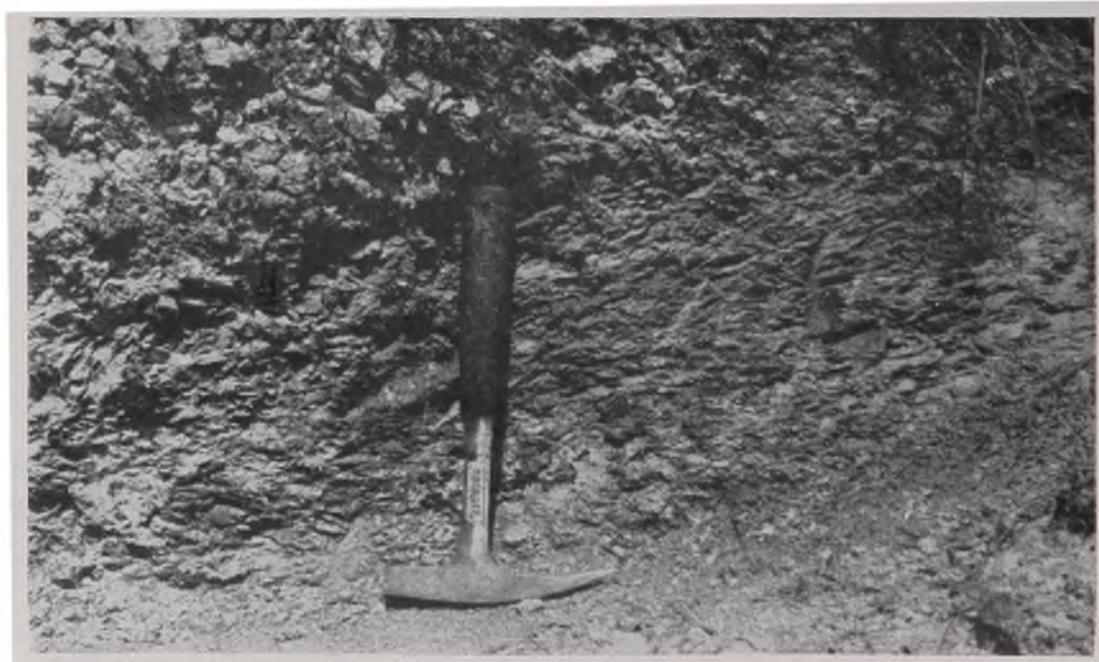


Foto 18 — Morro do Tamanduá — Camada de mica de côr verde, que se apresenta orientada, provàvelmente, paralela às diáclases da rocha por onde penetraram as soluções ricas em potássio.



Foto 19 — Morro do Tamanduá — micrografia mostrando fenocristais de nefelina alterados em mica, imersos numa massa fundamental afanítica de feldspato potássico e mica. Os fenocristais são parcialmente opacos, o que é característico da alteração hidrotermal da nefelina nessa fase de alteração.

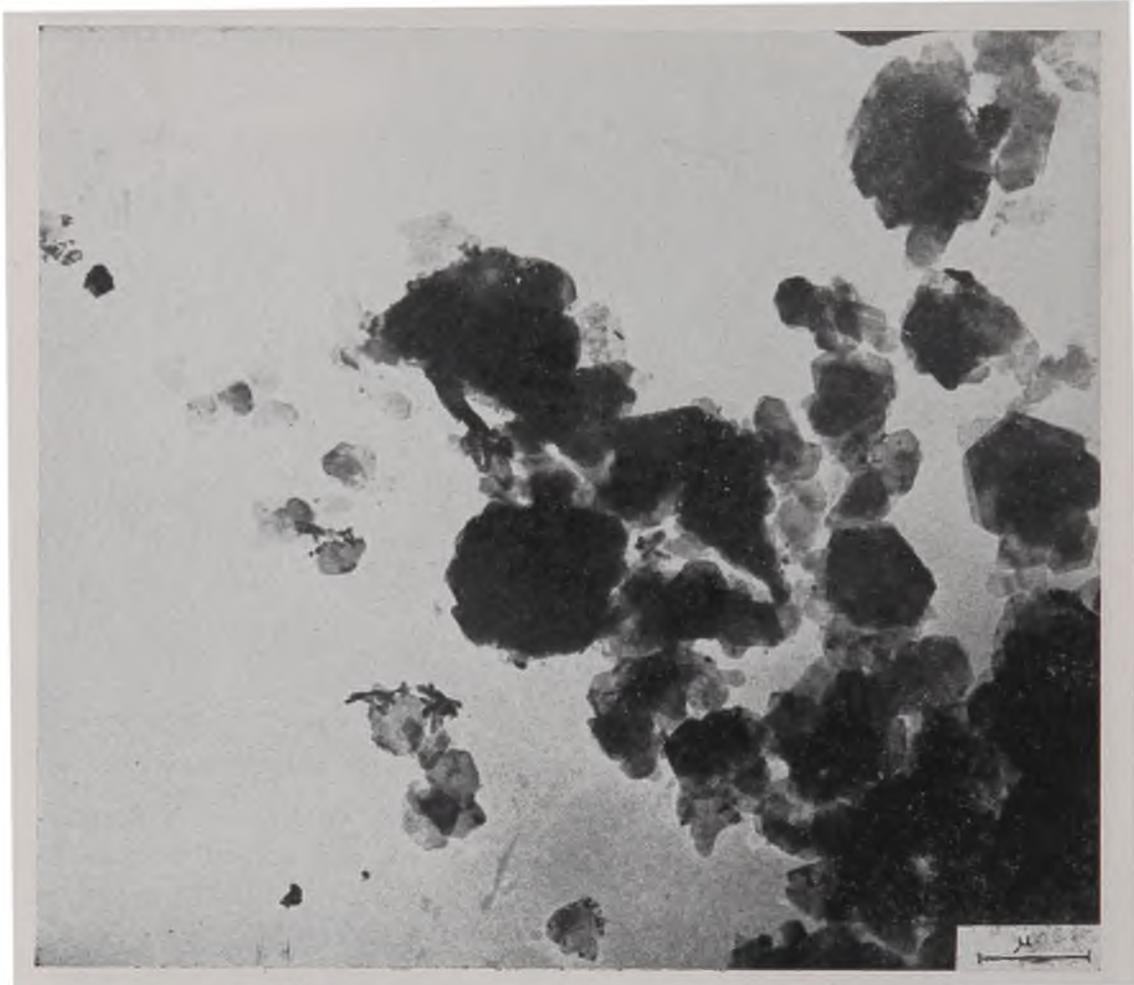


Foto 20 — Micrografia eletrônica de argilas do Morro do Ferro, constituídas essencialmente de partículas lamelares de caulinita de perfil hexagonal, sendo as placas muito finas. A grande finura das placas, que facilita a orientação preferencial, é provavelmente responsável pela grande intensidade dos espaçamentos interplanares nos difratogramas obtidos.



Foto 21 — A leste do Mo ro do Ferro (Estrada de Poços de Caldas-Morro do Ferro) — Micrografia mostrando fenocristais de nefelina, alterados em montmorilonita e mica, imersos numa massa fundamental de feldspato e mica.



Foto 22 — Morro do Serrote — Veio de gibbsita hidrotermal cortando analcita-tinguaíto, que foi alterado em mica de côr verde.



Foto 23 — Micrografia eletrônica de argilas da estrada Poços de Caldas-Morro do Ferro (na região do Morro do Ferro), formadas de placas hexagonal de caulinita, e tubos longos e grossos, bastante espessos, de halloysita, alguns deles com aspecto de fólha enrolada.



Foto 24 — Micrografia eletrônica de argilas do Morro do Serrote constituídas de:
a) halloysita de tubos curtos e longos; b) nota-se a presença de partículas de forma esférica bastante opacos aos elétrons, que podem ser identificados como alofana; c) pequena quantidade de material lamelar.



Foto 25 — Micrografia eletrônica de halloysita da Estação de Cascata, constituídas de placas de perfil irregular, isoladas ou em aglomerados (halloysita-4H₂O em placas).

ÍNDICE

Agradecimentos	5
Introdução	7
1 — Trabalhos anteriores	9
2 — Revisão sucinta da literatura sôbre a formação de argilo-minerais na natureza	10
3 — Geologia da Região	16

Parte I

Materiais e Métodos

1 — Coletas das amostras	19
2 — Difração dos raios-X	20
3 — Microscopia eletrônica	23
4 — Lâminas petrográficas	23
5 — Análise térmica diferencial	23

Parte II

Resultados

Capítulo I

ARGILAS FORMADAS PELA AÇÃO DO INTEMPERISMO

1 — Introdução	25
2 — Observações de campo e difração dos raios-X	27
3 — Estudos de detalhe das argilas refratárias	33
4 — Interpretação dos resultados	40

Capítulo II

BAUXITOS

1 — Introdução	43
2 — Estudos por difração dos raios-X	43
3 — Interpretação dos resultados	46

Capítulo III

ARGILAS FORMADAS POR RESSILICATIZAÇÃO

1 — Introdução	49
2 — Bauxito branco	49
3 — Argilas ocupando fendas de Bauxito	50

4 — Argilas ocupando fendas (material transportado)	55
5 — Interpretação dos resultados	55

Capítulo IV

ARGILAS FORMADAS POR METASSOMATISMO HIDRO-
TERMAL

1 — Introdução	59
2 — Morro do Taquari	59
3 — Corte de estrada Poços de Caldas — Andradas	64
4 — Tamanduá	66
5 — Morro do Ferro	72
6 — Morro do Serrote	75
7 — Estação de Cascata	77
8 — Campo do Barreiro	77
9 — Campo do Saco	78
10 — Rua dos Inconfidentes	78
11 — Campo do Barro Branco	78
12 — Estrada Poços de Caldas-Pocinhos	79
13 — Discussão das relações entre os depósitos de argilas formadas por metassomatismo hidrotermal	79
14 — Interpretação: seqüência da formação	82

Parte III

Resumo e conclusões	91
Abstract	95
Bibliografia citada	99
Apêndice 1A — Composição mineralógica de argilas e bauxitos no maciço alcalino de Poços de Caldas	105
Apêndice 1B — Depósitos de argilas refratárias	114

