CLASSIFICAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES BAUXÍTICAS DA REGIÃO DE LAVRINHAS (SP).

JOEL BARBUJANI SIGOLO* e EVARISTO RIBEIRO FILHO **

ABSTRACT Three groups of bauxite deposits are recognized in the Lavrinhas Region, São Paulo State. Two of them are allochthonous residual deposits occurring as talus, one resting on alkaline rocks and the other on metamorphic rocks. The third group represents autochthonous eluvial deposits upon alkaline rocks. These three aluminous deposits originated by preferential direct (*isalteritique*) alteration of various alkaline rocks, nepheline syenites being the principal parent rock. Indirect bauxitization processes were of secondary importance.

INTRODUÇÃO O presente trabalho versa sobre depósitos bauxíticos residuais localizados no Maciço Alcalino de Passa Quatro e em suas adjacências, principalmente na região de Lavrinhas (SP), visando sua classificação.

A região de Lavrinhas já foi alvo de trabalhos anteriores de Sigolo (1979) e Groke (1981), que versaram sobre os depósitos de bauxita associados a rochas metamórficas, as quais não apresentam relação genética com os depósitos formados. Esses depósitos encontram-se diretamente associados a pedimentos, aqui denominados depósitos de tálus. Correspondem a recursos de pequena monta, situados em concentrações minerais que raramente ultrapassam duas centenas de toneladas de minério. Por outro lado, os depósitos não relacionados com os tálus representam recursos minerais de significado expressivo junto ao maciço.

As primeiras informações acerca dessas ocorrências e jazidas constam de trabalho de Pinto (1937). Em 1938, o mesmo autor publica nota sobre as ocorrências e as compara com os depósitos congêneres de Poços de Caldas. Esta publicação contém determinações químicas do material bem como a caracterização da ocorrência como "eluvionar" de matriz argilosa.

Em 1967, Ribeiro Filho menciona os depósitos de tálus com blocos parcial ou totalmente bauxitizados das escarpas situadas a nordeste do Maciço de Passa Quatro. Relata também sobre os depósitos de piemonte com blocos bauxitizados das escarpas localizadas a noroeste e sudoeste do maciço. No mesmo ano Penalva descreve depósitos de talude, também bauxitizados, situados ao sul do Maciço do Itatiaia.

LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS FISIOGRAFICOS DA ÁREA A área objeto deste trabalho localiza-se na porção nordeste do Estado de São Paulo (Fig. 1).

Parte da área pertence ao município de Lavrinhas, parte ao município de Queluz e dista da sede do primeiro cerca de 12 km e do segundo aproximadamente 30 km, quando se utilizam as vias de acesso indicadas na figura 1. A partir da sede no município de Cruzeiro, a área em questão dista 16 km, no sentido Cruzeiro-Lavrinhas, devendo-se na altura da ponte sobre o Rio Jacu tomar o acesso à esquerda, no sentido indicado, dirigindo-se à localidade de Pinheiros. A partir daí, segue-se por estrada encascalhada até a primeira confluência de estradas, onde à esquerda, tem-se o acesso ao Sítio Boa Vista e Fazenda Mato Quietos.

Figura 1 – Mapa de localização

A região tem como pontos geográficos dominantes a Serra da Mantiqueira por um lado e, por outro, a Serra da Bocaina, que é expressão local da Serra do Mar, sendo a zona intermediária entre elas ocupada pelo Gráben do Paraíba do Sul, o qual se estende segundo a direção SW-NE. As zonas de tálus bauxitizadas são encontradas no sopé da Serra da Mantiqueira.

A cota mínima da região em apreço é de 580 m acima do nível do mar e a máxima, observada no Maciço Alcalino de Passa Quatro, 2.800 m. A rede de drenagem da região insere-se na subdivisão hidrográfica denominada Bacias do Leste e tem como bacia principal a do Rio Paraíba do Sul.

O clima da região é subtropical e possui regime de chuvas caracterizado como intermitente, com períodos de con-

* Departamento de Geologia Geral, Instituto de Geociências, USP. Caixa Postal 20899, CEP 01498, São Paulo, SP, Brasil

** Departamento de Geologia Econômica e Geofísica Aplicada, Instituto de Geociências, USP. Caixa Postal 20899, CEP 01498, São Paulo, SP, Brasil

centração nas estações primavera e verão, mais predominantemente nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março. O índice de precipitação pluviométrica é da ordem de 1.310,5 mm ao ano, com temperaturas médias de 25,4°C e com média mínima da ordem de 14,3°C. A umidade relativa do ar média é de cerca de 83% (DAEE 1976).

A região pertence à rede de drenagem associada à Bacia do Rio Paraíba do Sul. Esta rede de drenagem possui dois divisores de água: Serra da Bocaina e Serra da Mantiqueira. O Rio Paraíba do Sul, drenagem principal, é produto da confluência do Rio Paraíba com o Paraitinga, no município de Paraíba. Verte inicialmente no sentido leste-oeste, desviando-se para oeste-leste na região da Bacia Sedimentar de Taubaté e, na altura do município de Resende, no Estado do Rio de Janeiro, muda para nordeste, tendo sua foz no norte deste Estado, no município de Campos.

As drenagens secundárias possuem suas nascentes nas serras denominadas anteriormente. Os rios cujas nascentes pertencem à Serra da Mantiqueira têm seus cursos predominantemente orientados de norte para sul conectando-se ao Rio Paraíba do Sul quase sempre de forma perpendicular. Os afluentes que vertem da Serra da Bocaina seguem seu curso predominante de sul para norte.

A zona compreendida pela drenagem principal constitui-se de peneplanos com altitudes que se encontram na faixa de 600 a 700 m acima do nível do mar. Do lado norte dessa drenagem emerge a Serra da Mantiqueira, com altitudes que chegam a 2.800 m. Do lado sul, a Serra da Bocaina ergue-se com altitudes superiores a 2.000 m.

GEOLOGIA A região pertence ao complexo tectônico denominado de Gráben do Paraíba do Sul, conforme Almeida (1976). As rochas observadas neste gráben formam a chamada Faixa de Dobramentos Paraíba do Sul (Almeida *et al.* 1973). Tal faixa possui áreas envolvidas a este do Estado de São Paulo, sul de Minas Gerais e no Estado do Rio de Janeiro.

A Faixa de Dobramentos Paraíba do Sul apresenta grau de metamorfismo que varia do fácies anfibolito a granulito, com intensa influência de migmatização e granitização, produzida provavelmente durante o final do Pré-Cambriano (Almeida *et al.* 1973). Esta faixa é considerada infra-estrutura da Faixa de Dobramentos Ribeira (Almeida *et al.* 1973). Segundo Almeida (1976), a Faixa de Dobramentos Paraíba do Sul originou-se no decorrer do Ciclo Transamazônico, com eventos de metamorfismo e granitização ocorrendo entre 1.800 e 2.000 Ma. A Faixa Ribeira, originária do Ciclo Brasileiro, é constituída de metassedimentos de fácies metamórfico que varia de xistos verdes a anfibolito, associados em parte a processos de migmatização e granitização.

Do evento da Reativação Wealdeniana, que afetou a plataforma brasileira no final do Mesozóico e Cenozóico (Almeida 1976), surgiram as bacias sedimentares e as fossas do Vale do Paraíba do Sul (Freitas 1956, Ab'Saber & Bernardes 1956), formadas pela elevação epigênica, acompanhada da reativação de antigos falhamentos. A esse período se insere o magmatismo alcalino que culminou com a intrusão dos maciços de Itatiaia e Passa Quatro.

Ribeiro Filho (1967) em determinação K/Ar de nefelina sienitos estabelece serem as intrusões do Itatiaia e de Passa Quatro originadas no início do Terciário (64,2 e 64,7 Ma).

Os falhamentos iniciais formados provavelmente durante os ciclos Transamazônico e Brasileiro representam zonas de

fraqueza da crosta na região que, durante a Reativação Wealdeniana, proporcionaram a formação do gráben.

Durante o Terciário, período em que foi depositada a maior parte dos sedimentos das bacias pertencentes ao gráben, os falhamentos tiveram sua maior fase de atuação (Cordani *et al.* 1974, Melfi *et al.* 1976). Há, no entanto, evidências de que esses falhamentos tenham sido reativados também em épocas mais recentes.

Localmente as rochas metamórficas encaixantes da mineralização correspondem a variedades litológicas de idade pré-cambriana média e superior. Duas seqüências podem ser distinguidas na área: a primeira e inferior, representada por gnaisses porfiroblásticos, granada gnaisses, sillimanita gnaisses e biotita-hornblenda gnaisses; e a segunda e superior encontrada representada por biotita gnaisses, quartzo-biotita xistos, quartzitos e migmatitos. Como variedades alcalinas nos depósitos bauxíticos podem-se destacar microssienitos, tinguaítos, foiaítos e nefelina sienitos, todas descritas e reconhecidas em matacões e blocos de rochas alcalinas inclusos na matriz argilosa do talus. Os nefelina sienitos são de longe a variedade mais importante como fonte de bauxita nos depósitos dos talus. Tal variedade ocorre em toda a borda sul do Maciço Alcalino de Passa Quatro como rocha *in situ*. Microscopicamente, esta variedade possui cor cinza clara, com granulação muito variada e textura tendendo a granular. A olho desarmado é possível identificar minerais máficos, constituídos de hornblenda, biotita ou de ambos numa mesma variedade rochosa. Titanitas ocorrem com coloração caramelada e também distinguível a olho nu. Cristais anedrais de nefelina, com cor cinza-clara e de brilho vítreo resinoso são facilmente reconhecidos. Feldspatos potássicos sobressaem nessa massa em cristais euedrais com dimensões de 0,3 a 3 cm, predominando os grãos com dimensões entre 0,5 e 0,6 cm. Os cristais maiores demonstram geminação do tipo Carlsbad.

Microscopicamente, os feldspatos são representados por micropertitas subidiomórficas e idiomórficas. Os constituintes minerais dos sienitos são micropertita, nefelina, hornblenda e biotita. Os acessórios principais são apatita, titanita, zircão e magnetita. Estes minerais acessórios frequentemente ocorrem como inclusões nas hornblendas subordinadamente.

DISTRIBUIÇÃO E CONTROLE DOS DEPÓSITOS

Tendo como base a figura 3, pode ser destacada a área de distribuição dos jazimentos bauxíticos, a qual se inicia nas rochas alcalinas no extremo norte da área e finaliza no extremo sul, em rochas do embasamento. Tais jazimentos distribuem-se na direção N-S e, de modo geral, apresentam-se em formas alongadas segundo este sentido. Na área representada pela figura 3, esses jazimentos estão acompanhando o curso dado pelo Córrego do Bracinho, a norte, e pelo Ribeirão do Braço, mais ao sul.

Na área dos jazimentos residuais não se notam peneplanos típicos.

A variação topográfica é grande de um jazimento a outro e constata-se que os jazimentos são encontrados desde a altitude máxima de 1.500 m acima do nível do mar (Jazida do Olício) até a mínima de 900 (Jazida da Sede). Uma variação, pois, de 600 m em apenas 3 km.

Há jazimentos em várias cotas topográficas, limitados em parte pela faixa de altitudes acima mencionada. No entanto, sabe-se de ocorrência bauxítica e jazidas à altitude de 2.200 m que compreendem a parte interna do maciço alcalino.

Um caráter no entanto é marcante: os jazimentos encontrados em cotas inferiores a 1.400 m são observados sobrepostos às rochas do embasamento, e os posicionados em cotas superiores a 1.400 m encontram-se sobrepostos às alcalinas.

Embora nesta parte da área o comportamento seja o acima descrito, sabe-se que as ocorrências estendem-se por toda a borda do Maciço Alcalino de Passa Quatro e parte pela borda do Maciço Alcalino de Itatiaia, como também sobre os referidos maciços.

Os depósitos ocorrem como unidades descontínuas e com formas geralmente irregulares, mas nos locais na figura 3, considerando-se as duas dimensões ali utilizadas, os corpos tendem a formas elipsoidais. Podem ser classificados, segundo Routhier (1963), com base nas dimensões e forma do corpo mineralizado, como corpos "sem forma geométrica definida" (disformes) denominados *amas*.

Estes corpos mineralizados contêm reservas medidas de bauxita que geralmente não ultrapassam a 200.000 t. Tais concentrações minerais ocorrem distribuídas por área relativamente grande se comparada com jazimentos bauxíticos similares, tais como os de Lages (SC) e Poços de Caldas (MG). A espessura real mineralizada dos jazimentos da área não ultrapassa os 9,50 m e em média mostra extrema variação num mesmo jazimento.

A distribuição, forma e, mesmo, a qualidade dessas concentrações minerais dependem de controles geológicos determinados principalmente por: a) natureza da rocha formadora e b) efeitos tectônicos que antecederam e procederam à formação dos jazimentos.

NATUREZA DA ROCHA FORMADORA A grande variedade de rochas alcalinas que constituem o Maciço Alcalino de Passa Quatro provoca uma distinção qualitativa sensível nos jazimentos estudados.

A maioria desses jazimentos encontra-se em zonas de tálus, onde o material ali observado se constitui de um agregado de várias rochas alcalinas (microsienitos, sienitos, fonólitos, tinguaítos, nefelina sienitos e foiaítos).

Sabe-se que alguns nefelina sienitos, principalmente pela existência de grande porcentagem de feldspatóide, possuem elevado teor em Al_2O_3 (Tabs. 1 e 2). Ficou claro no decorrer dos trabalhos de campo que as bauxitas assentadas diretamente em rochas alcalinas, principalmente nefelina sienitos, eram as que possuíam melhores qualificações quanto à concentração de Al e eliminação de bases e sílica.

Com certa precisão pode-se dizer que os nefelina sienitos são a principal fonte de origem dos depósitos bauxíticos, em consequência de seu alto conteúdo de alumina (Tab. 2), sua suscetibilidade ao intemperismo, dada principalmente pela facilidade com que se dá a percolação da água e a consequente lixiviação de componentes indesejáveis, como também pela ampla distribuição desta variedade de rocha alcalina no tálus. Paralelamente, outras variedades de rochas alcalinas são encontradas na área e mostram-se parcialmente bauxitizadas.

Embora as análises da tabela 2 representem uma pequena parcela de material amostrado e analisado, têm valor representativo para uma avaliação geral. É fácil notar a elevada porcentagem em peso que a sílica e o ferro assumem neste

Tabela 1 – Composição modal

Minerais	Migmatitos				Quartzitos		Gnaisses Porfiroblásticos				Biotita Gnaiss			Nefelina Sienito
	Neossoma			Paleossoma Anfíbolítico										
	RG-1	RG-2	RG-3	RG-9	XD-9	XF-9	QG-1-a	QG-1-b	G-11	G-5	AG-10	BG-10	BG-7	
Quartzo	26,8	29,6	23,6	4,4	98,2	95,7	22,3	31,5	37,0	30,4	37,5	43,9	32,6	—
Feldspato Potássico	41,3	38,7	41,1	3,6	—	—	45,7	35,8	10,6	43,7	36,3	35,7	32,1	—
Plagioclásio	27,3	22,8	20,6	2,4	0,4	0,6	14,5	18,5	25,3	19,6	0,8	0,9	15,3	0,9
Biotita	3,4	4,2	13,7	49,6	0,8	T *	7,3	4,2	18,1	4,2	19,3	13,4	19,7	1,7
Muscovita	—	2,2	—	—	—	—	2,4	2,8	—	—	3,4	1,0	T *	—
Hornblenda	—	—	—	35,7	—	—	—	—	6,2	—	—	—	—	2,8
Apatita	0,4	0,6	T *	0,6	—	—	0,4	0,5	2,0	1,0	2,3	2,4	T *	—
Zircão	0,6	0,3	T *	0,3	—	—	1,3	—	—	0,8	0,2	1,1	—	1,6
Titanita	—	—	T *	0,2	—	—	—	—	—	0,3	—	—	—	1,7
Opacos	0,2	T *	T *	1,2	0,6	T *	—	1,2	0,8	—	0,8	1,5	T *	—
Magnetita	—	—	—	—	—	0,2	—	—	—	—	—	—	—	2,9
Sillimanita	—	—	—	—	—	—	—	5,8	—	—	—	—	—	—
Clorita	—	—	—	—	—	2,4	5,10	—	—	—	2,2	—	—	—
Nefelina	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	19,9
Micropertita	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	70,5

T * = Notada a presença

tipo de minério, ou seja, respectivamente, 34,32% e 15,20%, para o caso da análise do gnaiss bauxitizado. Estes valores qualificam este material como bauxita de alta sílica e alto ferro.

Tabela 2 – Análises químicas em base calcinada de minério bauxítico de Lavrinhas (SP)

MINÉRIO	PORCENTAGEM EM PESO	% PF	% SiO ₂	% TiO ₂	% Fe ₂ O ₃	% Al ₂ O ₃
Miúdo concrecionário		2,25	15,18	1,48	6,98	76,11
Miúdo concrecionário		1,86	9,58	1,40	7,50	77,70
Miúdo concrecionário		0,18	9,22	1,48	22,95	66,70
Miúdo remobilizado		3,54	9,01	1,74	9,15	76,56
Miúdo remobilizado		2,29	8,22	1,90	7,80	79,99
Miúdo remobilizado		2,30	7,63	1,56	8,63	79,88
Graúdo		3,18	1,20	1,50	8,40	88,90 *
Graúdo		0,30	3,10	1,74	7,91	86,95
Graúdo		3,04	2,84	1,66	8,00	84,50

*Porcentagem máxima obtida

EFEITOS TECTÔNICOS QUE ANTECEDERAM E PROCEDERAM À FORMAÇÃO DOS JAZIMENTOS A paleotopografia existente foi integralmente preenchida pelo tálus, quando de sua movimentação do maciço por sobre as rochas do embasamento. Esta movimentação do tálus, propiciada em grande parte pelo desnível topográfico criado pela formação do Gráben do Paraíba do Sul, fez com que toneladas de argila, matacões e bauxita acompanhassem tal movimentação. Esses materiais encontravam-se estáticos, numa posição denominada autóctone (Foto 1). Com esta movimentação assumiram uma nova posição não *in situ* a qual pode ser denominada de alóctone.

Foto 1 – Recobrimento parcial da área. Em primeiro plano, à esquerda e embaixo, local denominado Morro da Pinga (biotita gnaisses porfiroblásticos). Na parte central da foto, tálus (retrabalhado). No setor central superior, zona de tálus bauxítico. No último plano, contorno da borda SE do Maciço Alcalino de Passa Quatro (Fig. 2)

Em consequência, o material bauxitizado contido nas áreas estáveis do maciço preencheu os paleovales existentes, de tal forma que o paleorrelevo sofreu total mascaramento, provocado por deslizamento de terra ou correntes de lama. Todos os jazimentos, sem exceção, encontram-se em pequenas colinas (Fig. 3 e Foto 2)

Figura 2 – Esquema geológico referente à foto 1

Figura 3 – Mapa geológico. Distribuição de alguns depósitos bauxíticos em tálus, Lavrinhas (SP), segundo Sigolo (1985)

Foto 2 – Concentrações bauxíticas associadas ao tálus. As concentrações estão relacionadas com a superfície do último plano.

Sem dúvida, efeitos erosivos causados pelo grande vigor das drenagens atuais poderiam desenvolver um modelado que destacasse colinas na área, a ponto de posicionar o tálus bauxitizado nas elevações atuais, tal como é observado hoje em dia. Isso no entanto é extremamente caprichoso e especulativo, pois forçaria a se pensar em uma forma erosiva diferencial que desenvolvesse tal relevo. Sabe-se que tal raciocínio já foi utilizado para procurar explicar a formação do Vale do Paraíba (Moraes Rego 1938, *in* Freitas 1956). Tal hipótese, em vista dos estudos tectônicos posteriores da região, foi abandonada por completo. Assim, aceitar que o tálus na área se encontra na atual posição simplesmente por erosão diferencial, seria desconhecer por completo o atual panorama de conhecimentos tectônicos da região.

Destaque-se ainda: como erodir somente rochas resistentes sotopostas a rochas menos resistentes sem afetar estas últimas? É o que ocorreria se fosse aceita a teoria de erosão diferencial, pois teriam sido erodidas as rochas que constituem o embasamento e seriam preservadas as que constituem o tálus.

Na figura 3, por exemplo, na parte compreendida pelo Córrego do Bracinho, pode-se visualizar o encravamento desta drenagem nos quartzo-biotita xistos e nos quartzitos. A mesma feição é denotada em várias partes da área estudada onde claramente os tálus aparecem em posição elevada em relação ao embasamento exposto pelas drenagens.

Não há dúvida de que as drenagens tiveram e têm grande contribuição no processo erosivo da área, no entanto, elas não são tão desenvolvidas a ponto de criar desnível tão profundo como os observados. A explicação plausível é a de que o processo resultou também de enérgica atividade tectônica atuante na região.

Fica quase impossível explicar a inexistência de relictos de material coluvionar e de tálus nessas áreas drenadas, se não se pensar que boa parte de desnível topográfico criado tenha sido imposto tectonicamente. Com base nessas observações pode-se, pois, caracterizar duas posições dos tálus mineralizados:

- Estão sempre situados nas partes mais elevadas do atual relevo.

- Obedecem à orientação de movimentação do tálus, ou seja, das alcalinas para o centro do Vale do Paraíba do Sul.

Desta forma, a tectônica que agiu sobre os jazimentos já existentes tem fundamental importância na colocação e forma desses jazimentos, pois seus contornos inferiores estão ditados pela sinuosidade de paleotopografia subjacente e sua tonelagem condicionada à possibilidade de colocação de maior ou menor volume de material que pudesse ser depositado no período de movimentação dos tálus.

As mudanças de gradiente, provocadas pela tectônica que envolveu a formação do Gráben do Paraíba do Sul, agiram no período de formação dos depósitos, associando a eles grandes volume de matações, blocos e seixos de rochas alcalinas sãs, fornecendo, pois, elementos para uma qualificação pouco desejável do ponto de vista extrativo.

Há ainda que se considerar o fato de os jazimentos observados sobre as rochas alcalinas, considerados autóctones, estarem visivelmente malformados, apresentando evolução precoce de bauxita, pouca formação de bauxita circundando os blocos e seixos de rocha alcalina sã, ampla distribuição dos mesmos blocos e seixos sem quaisquer vestígios de bauxitização e com cobertura eluvional pouco espessa se comparada com rochas topograficamente mais baixas. Pouco espessa, também, se comparada com o próprio tálus. O alto valor da precipitação pluviométrica existente na área elevada do maciço pode ser responsável pela ampla ocorrência de caulinita, associada a uma incipiente formação de bauxita por bauxitização indireta do tipo proposto por Weber (1959) para o Maciço Alcalino de Poços de Caldas.

Os maciços em questão estão muito mais desprovidos de cobertura que as rochas do embasamento capeadas em parte pelos tálus. Provavelmente a tectônica contribuiu para esta denudação e seria a responsável pelo atual panorama de prevalência de denudação física sobre o intemperismo químico na área tectonizada do maciço. Nisto talvez esteja a explicação para as concentrações minerais de bauxita na área estudada, situadas sobre o maciço, apresentarem-se somente como ocorrências.

TIPOS DE DEPÓSITOS Os trabalhos de identificação das concentrações minerais bauxíticas na área de Lavrinhas (SP) permitiram a diagnose e descrição de três tipos de depósitos.

TIPO 1 Depósitos residuais sobre rochas alcalinas na forma de tálus Têm distribuição, na área, restrita ao Maciço Alcalino de Passa Quatro. Comumente são encontrados no sopé das zonas mais elevadas do maciço, (Foto 1) e observadas em zonas coluvionais morfologicamente bastante distintas. Assumem forma cônica, com o vértice do cone apontando para o alto da elevação do maciço. Embora não tenha sido possível detectar com exatidão, foram definidos como *cones de dejeção*.

São frequentes na borda sul do Maciço Alcalino de Passa Quatro e em locais de confronto de encostas escarpadas com zonas mais peneplanizadas (Foto 1). Tal tipo, como é definido pela própria denominação, só é encontrado associado às rochas alcalinas. Frequentemente no cume da encosta escarpada, onde se observa tal depósito, a rocha alcalina é encontrada aflorando.

Este tipo de depósito ocorre em altitudes superiores a 1.400m acima do nível do mar. Não se conhecem ocorrências deste tipo na área estudada que se situem em cotas inferiores. Esta situação sem dúvida é devida à colocação do

próprio Maciço Alcalino de Passa Quatro, situado em cotas sempre superiores às acima mencionadas.

Não foi observado do lado sul do maciço este tipo de depósito em altitudes que excedam os 1.800 m. Sabe-se de ocorrências de "rolado" sobre o maciço, do lado norte, com altitudes de até 2.000 m. As concentrações minerais que se enquadram neste tipo de depósito são encontradas sempre sob a forma de cones de dejeção. Suas dimensões são função do volume de material removido do eluvião. De modo geral, obedecem aos seguintes valores numéricos máximos:

- Espessura real da zona mineralizada dificilmente ultrapassa os 3 m.
- O comprimento situa-se em faixa de 500 m.
- A largura é bastante variável e obedece às variações das dimensões do cone de dejeção.

O ângulo formado pela linha do relevo, dado pelas escarpas do cone de dejeção, com a linha do horizonte nunca é inferior a 35° (Foto 1). O minério observado neste tipo de depósito é predominantemente do tipo argila altamente aluminosa (Tab. 2), associado com minério miúdo. O minério do tipo grão é raro ou inexistente na grande maioria dos casos estudados. Todos os depósitos deste tipo possuem, como característica básica, uma capa de separação entre a zona do colúvio mineralizado com a rocha alcalina sã, constituída fundamentalmente de argila caulínica. Tal faixa pode exceder os 3 m de espessura real. O colúvio mineralizado não tem contato marcante com esta faixa. Nota-se uma modificação gradacional iniciada por intercalações de argilas variegadas. O minério formado neste tipo de depósito é ligeiramente prematuro no que tange ao grau de bauxitização, haja vista que o volume de rochas alcalinas sãs, sob a forma de matações que não estão sequer parcialmente bauxitizados no material coluvional, nunca é inferior a 25%.

As concentrações minerais enquadradas neste tipo formam depósitos razoáveis do ponto de vista quantitativo e fornecem em média reservas com cerca de 200.000 t de minério bauxítico. Grande empecilho em sua viabilidade de lavra reside na forte declividade dada pelo depósito e pela imensa concentração de matações de rochas alcalinas sãs.

Tal tipo de depósito tem extrema semelhança com os depósitos do tipo 3, ou seja, depósitos residuais em rochas alcalinas sob a forma eluvionar. Tal semelhança se deve, provavelmente, à similaridade de formação desses depósitos. Os jazimentos que se enquadram neste tipo na área estudada (Fig. 3) são: Hortência, Depósito, Pinheiral I, Pinheiral II, Olício (O) e Manoel Joaquim (MJI). Os dois últimos são do tipo misto, parte aluvionar e parte coluvionar. Os quatro primeiros não estão assinalados na figura 3, pois, foram encontrados na parte interna do maciço, já fora da área mapeada.

TIPO 2 Depósitos residuais sobre rochas do embasamento na forma de tálus Na área estudada corresponde à maioria dos jazimentos, tal como se vê assinalado na figura 3. Sua maior área de ocorrência é localizada na borda sul do Maciço Alcalino de Passa Quatro e se estende numa faixa com cerca de 10 km de largura no sentido oeste-leste. Deve-se salientar que a maior concentração deste tipo de depósitos na área está na borda sul do maciço, região que esteve sob forte efeito tectônico. Tal tipo de depósito ocorre também na parte norte do maciço, porém, lá, a formação desses depósitos perde em significado e importância econômica para os depósitos do tipo 3.

Este tipo de depósito, não tendo forma definida, é classificado, com vistas a sua configuração espacial, como do tipo *amas*. No entanto, destaca-se uma feição constante a todos os jazimentos enquadrados neste tipo de depósito, que é possuir, em distribuição horizontal, um eixo maior no rumo sul.

Os jazimentos associados a tal tipo de depósito encontram-se em zonas de semipeneplanos, em colinas com declividades suaves, que não excedem os 20° (Foto 1). Tais jazimentos têm contatos com as encaixantes aparentemente bruscos. O contato é evidenciado pelo nível de base (Foto 3), constituído pela linha demarcatória do contato formada pela cobertura do tálus com as encaixantes, geralmente rochas metamórficas.

Foto 3 – Nível de base dos depósitos bauxíticos em tálus. Jazidas da Sede. Destaque para bloco quartzítico imerso em matriz argilosa (caulínica). Acima do bloco, nível argiloso com fragmentos de bauxita do tipo concrecionária

Esses depósitos estão situados, na área, em cotas topográficas que variam de um máximo de 1.400 m a um mínimo de 600 acima do nível do mar. Pelo lado norte do Maciço Alcalino de Passa Quatro tais valores sofrem modificações. O máximo está em torno de 2.200 m e o mínimo por volta dos 1.000 m.

Os jazimentos enquadrados neste tipo de depósito mostram-se suavemente peneplanizados. Não se comportam no entanto como jazimentos residuais típicos, com acentuada peneplanização. Estão, sim, sempre mostrando variações de cotas consideradas anormais para os jazimentos classificados como formados por alteração meteórica de rocha com concentração residual. Em área não mostram formas definidas. Possuem reservas de minério variável de tal forma que as dimensões sofrem constantes modificações de um ponto observado a outro. Denotadamente variada é a espessura desses jazimentos que sofre modificação considerável em distâncias de menos de 50 m. De modo geral as dimensões respeitam os seguintes limites:

- Espessura real que se situa na faixa de 3 a 12 m.
- A extensão dos corpos enquadrados neste tipo não ultrapassa 700 m de comprimento.
- A largura desses corpos mineralizados é variável em vista de sua forma de colocação sobre a sinuosidade do

embasamento, fazendo com que seu comportamento espacial se torne pouco constante, não permitindo, pois, uma avaliação, mesmo que aproximada.

O ângulo de mergulho formado pelo plano que passa pela superfície topográfica dos jazimentos com um plano horizontal dificilmente ultrapassa os 20°.

Excetuando-se os jazimentos Olício (O) e Manoel Joaquim (MJ), os restantes dos assinalados na figura 3, pertencem a este tipo de depósito. É surpreendente a constante inexistência da camada caulínica neste tipo de depósito. Quando está presente, caso dos jazimentos acima citados, é de pequena dimensão se comparada com a congênere nos depósitos do tipo 1.

Todos os depósitos deste tipo têm duas características marcantes. Uma é a existência de cobertura de solo na superfície, associada com húmus, de cerca de 2 m de espessura média contendo acumulações razoáveis de bauxita miúda. A outra é o baixo percentual em volume de rochas alcalinas sãs associadas aos jazimentos. O percentual em volume raramente é superior a 10%, o que representa a terça parte, em média, do valor obtido em depósitos do tipo 1.

Nos depósitos do tipo 2 são encontrados em abundância matações de bauxita, caráter quase exclusivo desse tipo de depósito. Alguns desses matações chegam a mais de 5 m de diâmetro e encontram-se parcial ou totalmente bauxitizados. Nos depósitos do tipo 3 também são encontrados matações similares, porém as condições de formação desses depósitos são distintas e denotam pouca similaridade com os depósitos do tipo 2 (Foto 4, Fig. 4).

Argilas constituem o material estéril associado a esse tipo de depósito, em que ocorrem matações de rochas alcalinas ainda não totalmente bauxitizados, e com alguns em estágio quase inalterado, sem vestígio marcante de bauxitização. Ainda juntamente com esses, porém não de forma tão relevante, surgem seixos de quartzo e quartzito já bem próximos do nível de base (Foto 3).

Foto 4 – Matação parcialmente bauxitizada. A parte central é de nefelina sienito. A partir do centro em direção à zona de córtex a rocha sofre alteração do tipo esfoliar, com passagem direta para bauxita porosa e friável (isalterítica) conforme figura 4

Já de forma um pouco menos comum, surgem blocos de rochas do embasamento associadas às argilas bauxíticas. Isso ocorre apenas próximo ao nível de base. Notam-se até alguns seixos de rochas do embasamento bauxitizadas (Tab. 2), que no caso não são considerados material estéril, sendo

Figura 4 – Esquema de matação bauxitizada conforme foto 4

então aproveitados como minério, embora seus teores em Fe_2O_3 e SiO_2 sejam elevados.

Os jazimentos enquadrados neste tipo de depósito, como os dos demais tipos, apresentam-se capeados por solo húmico, que pode chegar ao máximo de 2,70 m, sendo que a espessura mínima é a dada pela bauxita aflorando, ou seja, sem capa húmica.

Este tipo de depósito tem mostrado sempre recuperação em volume variável, embora a média fique estabelecida em 32% em volume para recuperação do minério nos jazimentos deste tipo.

TIPO 3 Depósitos residuais sobre rochas alcalinas na forma eluvionar Este tipo de depósito é encontrado quase que exclusivamente na zona norte do Maciço Alcalino de Passa Quatro, na área pouco tectonizada. Os exemplos pertencem em sua maioria ao lado mineiro do maciço. Esses são os depósitos mais importantes do ponto de vista econômico.

A distribuição desses depósitos se faz conforme as condições de maior ou menor superfície aplainada da topografia, visto que a parte elevada do maciço encerra condições de topografia abrupta. São encontrados vários depósitos no setor norte do maciço, alguns representando reservas importantes do recurso.

A forma desses depósitos é irregular, como os anteriores, e supõe-se que uma classificação do tipo *amas* encerra o modelo predominante. No local denominado Posses há um jazimento de cobertura com configuração de camada com 11 m de espessura de material bauxítico que se estende em ampla área.

Depósitos deste tipo estão na totalidade sobre rochas alcalinas, cuja variedade predominante são nefelina sienitos, nefelina microssienitos e sienitos. Os depósitos estudados não apresentam quaisquer indicações de terem sofrido a mobilidade observada nos tipos 1 e 2.

Estes depósitos, que se assemelham aos do tipo 1, localizam-se na faixa de 1.400 a 2.200 m de altitude e deles diferem quanto aos seguintes aspectos:

- Espessura real de minério que tem como máxima conhecida 16 m, com espessura média da ordem de 6 m.
- Distribuição superficial expressiva, chegando alguns casos a áreas de 600 x 500 m.
- Elevada taxa de recuperação (*cut off* de 80% a 90%).

A superfície de relevo onde são encontrados tais depósitos responde por valores angulares de 20° a 35° e em alguns casos são similares às superfícies observadas nos depósitos do tipo 2, com valores angulares baixos (50°-100°).

O aspecto mais expressivo está encerrado no tipo de material bauxítico encontrado, visto que, nesses, a concentração de bauxita é de elevado teor. Bolsões e camadas de bauxita são encontrados em todos os depósitos visitados. Significativas camadas (de 2 a 4 m) de minério concrecionário são observadas ao topo desses depósitos, aliadas à camada húmica do horizonte de alteração do perfil. Encerram sempre recursos que superam com relativa facilidade a casa das 500.000 t de bauxita.

A nosso ver correspondem a um misto dos depósitos tipo serra e campo descritos por Melfi & Carvalho (1983). Como também há certa similaridade com os depósitos descritos por Almeida (1977) para a região de Poços de Caldas e guardam íntima relação com os tipos descritos por Sígolo & Klein (1984) para o Maciço Alcalino do Mendanha no Rio de Janeiro.

CONCLUSÕES Os depósitos de bauxita encontrados na região são sem dúvida formados inteiramente pela alteração de rochas alcalinas várias, com predominância de nefelina sienitos. Os trabalhos de campo realizados na Fazenda Mato Quietto e adjacências, para as ocorrências e os depósitos de bauxita ali existentes, indicaram que tais concentrações minerais podem ser classificadas em três tipos, com possíveis combinações de dois deles. São:

alóctones

- 1.º Depósitos residuais sobre rochas alcalinas na forma de tálus.
- 2.º Depósitos residuais sobre rochas do embasamento na forma de tálus.

autóctone

- 3.º Depósitos residuais sobre rochas alcalinas na forma eluvionar.

Com estes três tipos distintos é possível enquadrar qualquer outra ocorrência de bauxita que porventura venha a ser encontrada na área. Sem dúvida, os vários tipos de depósitos estudados possuem particularidades específicas.

Baseando-se na classificação descrita por Routhier (1963) em autóctones e alóctones pode-se enquadrar os tipos da seguinte forma: os tipos 1 e 2 são caracteristicamente alóctones e o tipo 3, autóctone. No entanto, o termo alóctone empregado no caso não distingue os tipos 1 e 2, pois serve tanto para um como para o outro, ainda que cada qual possua particularidades próprias, como foi visto, além da distinção na encaixante. Dessa forma preferiu-se classificar os depósitos de forma que denotassem o mais rigorosamente possível suas características.

Apenas os depósitos do tipo 2 são atualmente os de maior importância econômica na área relativa aos tálus. No entanto, os depósitos do tipo 3 são importantes no lado norte do maciço alcalino, local onde a Companhia Brasileira de Alumínio já definiu reservas superiores a 7 milhões de toneladas de minério. Assim, os depósitos do tipo 2 assumem papel secundário na região, no entanto, na área em questão (Lavrinhas, SP) são sem dúvida os mais importantes.

Há de se salientar como aspecto final, o fato da existência de depósitos, nesta parte norte, dos tipos 1 e 2. Na região, os depósitos são definidos apenas como *rolado* e *in situ* (autóctones). As variedades de depósitos alóctones denominam-se simplesmente *bauxito rolado*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A.N. & BERNARDES, N. — 1956 — Vale do Paraíba, Serra da Mantiqueira e arredores de São Paulo. *Rev. Min. e Metal.*, 24(143): 284-292.
- ALMEIDA, E.B. — 1977 — *Geology of the bauxite deposits of the Poços de Caldas, District, State of Minas Gerais, Brazil*. Stanford. 273 p. (PhD Thesis, Univ. Stanford).
- ALMEIDA, F.F.M. — 1967 — *Origem e evolução da Plataforma brasileira*. Rio de Janeiro, DNPM/Div. Geol. Min., 36 p. (Bol. 241).
- ALMEIDA, F.F.M. — 1976 — The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil. *An. Acad. brasil. Ciênc.*, 48(Supl.):15-26.
- ALMEIDA, F.F.M.; AMARAL, G.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K. — 1973 — The Precambrian evolution of the South American Cratonic Margin South of Amazon River. In: NAIRN, E.M. & STHELI, F.G. (eds.), *The ocean basins and margins*. New York, Plenum, v. 1, p. 441-446.
- CORDANI, U.G.; COIMBRA, A.M.; BOTTURA, J.A.; RODRIGUES, E.L.M. — 1974 — Geologia da Região de Cruzeiro e Cachoeira Paulista, e sua importância na interpretação da evolução tectônica do Vale do Paraíba. *Geologia Ciência Técnica*; CEPEGE, Inst. Geoc. Univ. de São Paulo, (6): 9-30.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA — 1976 — Dados hidrometeorológicos da Rede básica do Estado de São Paulo do ano de 1973, SP. *Boletim hidrometeorológico*. (4) 663-672.
- FREITAS, R.O. — 1956 — Considerações sobre a tectônica e a Geologia do Vale do Paraíba. *Rev. Eng. Min. Met.*, 24(143): 276-283.

MANUSCRITO

Recebido em 02 de abril de 1986

Revisão aceita em 08 de julho de 1986