

**MOBILIDADE DE CÁTIONS EM ALTERAÇÃO  
INTEMPÉRICA DE DIABÁSIO NO MUNICÍPIO  
DE RIO DAS PEDRAS, SP**

A. MARCONI<sup>1</sup>

---

**RESUMO:** Em uma seqüência de alteração intempé-rica de diabásio, é estudada a mobilidade dos principais cátions, desde a rocha não alterada até o solo de origem. Da rocha primitiva, apenas cerca de 44% de material sólido permanecem na fase final, constituindo a fração detrítica do solo. A eliminação dos cátions solúveis é rápida e ocorre nas primeiras fases da alteração. A sílica, removida mais lentamente, tem cerca de 60% eliminada, permanecendo no solo o alumínio, o ferro e parcialmente o titânio. Termos para indexação: diabásio, intemperização de rochas

**CATION MOBILITY IN WEATHERING ALTERATION  
OF DIABASE IN RIO DAS PEDRAS-SP COUNTY**

**ABSTRACT:** The mobility of the principal cations of a diabase is studied in a weathering sequence, from unaltered rock to the rock-derived soil. From the original rock, just about 44% of the original rock material remains in the final fase, making up the detrital fraction of the soil. Elimination of the soluble cátions is fast and occurs in the early weathering stages. Silica, which is removed at a slower rate is eliminated up to about 60% of the original rock content, while aluminium, iron and titanium stay in the soil. Index terms: diabase, rock weathering.

---

<sup>1</sup> Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes-ESALQ/USP.

## INTRODUÇÃO

Os processos de alteração de rochas basálticas têm originado os solos mais férteis, encontrados no sul do Brasil, dentro da Bacia Geológica Sedimentar do Paraná. Essas alterações têm motivado a atenção de diversos pesquisadores, que estudaram tanto a geoquímica como a mineralogia envolvidas no processo (MELFI & LEVI, 1971; LEVI & MELFI, 1972; MONIZ et alii, 1973; FORMOSO & PINTAUDE, 1978; MENEGOTO, 1983). Rochas básicas de outras regiões brasileiras, situadas em condições climáticas diferentes das que ocorrem na Bacia do Paraná, tiveram seus processos de alteração estudados por OLIVEIRA & TRESCASES (1980), no Brasil Central (Goiás) e por LEMOS & VILLAS (1983), na região norte (Pará).

Na depressão periférica do Estado de São Paulo, a remoção do basalto, devido à processos de intemperização e erosão, expôs o diabásio, na forma de sills e diques, que, por sua vez, originaram solos de alta fertilidade. A região de Piracicaba, da qual o município de Rio das Pedras é parte integrante, é particularmente rica nessas intrusões diabásicas, que até agora não foram devidamente estudadas quanto as alterações emtempéricas que apresentam. A exposição de uma intrusão dessas, mostrando uma sequência de alteração intempérica, desde a rocha não alterada até o solo permitiu, neste trabalho, o estudo da mobilidade dos cátions durante o processo de intemperização do diabásio.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Material

As amostras foram coletadas no município de Rio das Pedras, SP, na estrada do Açúcar, km 152,4, segundo a sequência de alteração que segue (figura 2):

Amostra 1: rocha íntegra, sem sinais de decomposição.

Amostra 2: rocha mostrando processo de decomposição.

Amostra 3: material resultante de decomposição, situado em região com matacões de diabásio.

Amostra 4: material resultante de decomposição, situado em região sem matacões de diabásio.

Amostra 5: horizonte C do solo.

Amostra 6: horizonte B do solo.

### Métodos

A mineralogia da rocha não alterada foi estudada em lâminas de seção delgada, através de microscopia ótica de polarização, que permitiu, por contagem de pontos, a determinação quantitativa dos minerais presentes.

As amostras sofreram fusão com  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , para análise de ferro total, cálcio, magnésio (espectrofotometria de absorção atômica), potássio (fotometria de chama), titânio (colorimetria), alumínio (volumetria) e sílica

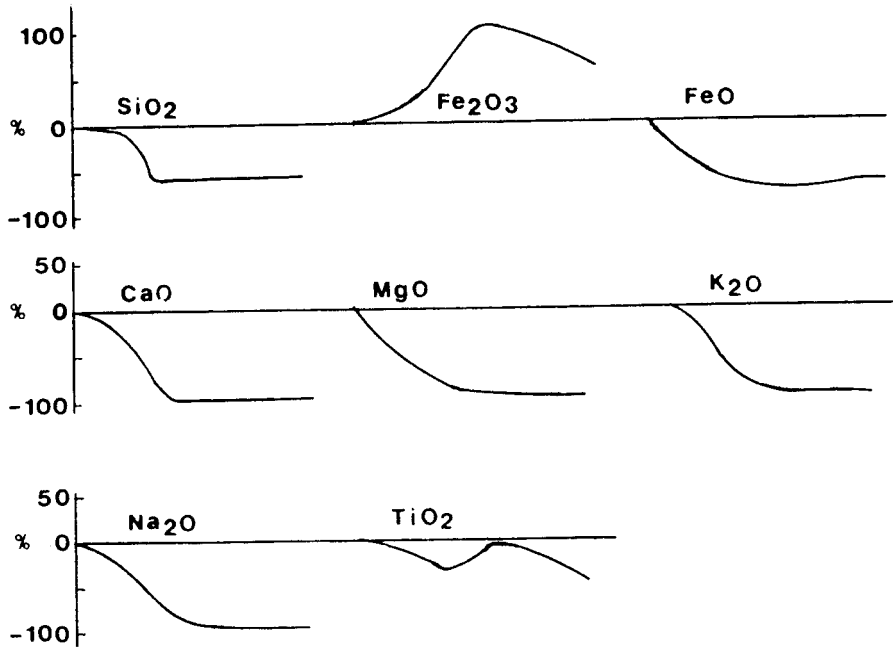


Figura 1 - Curvas de ganhos e perdas (%) dos óxidos, nas fases de alteração.

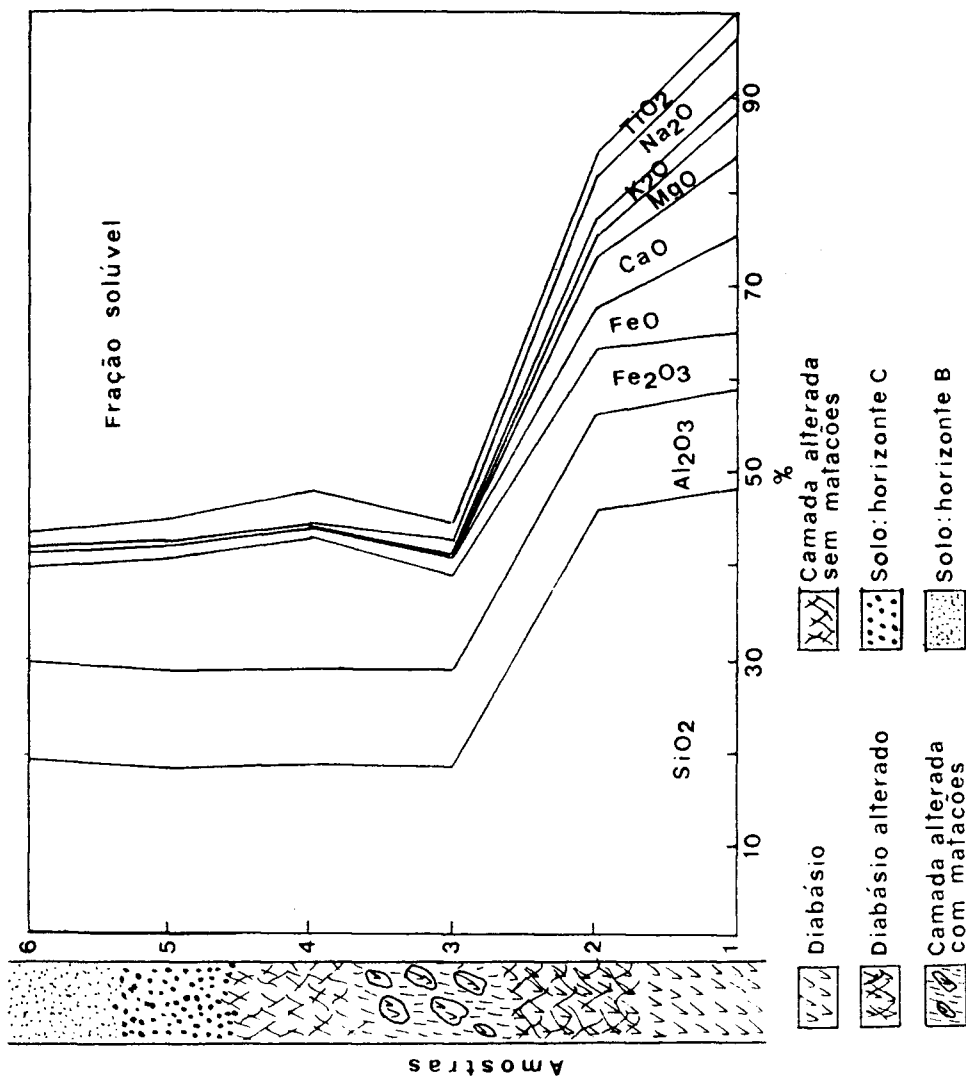


Figura 2 - Evolução quantitativa de óxidos, nas fases de alteração (método do iso-alumínio).

(gravimetria). O sódio foi determinado por fotometria de chama, após ataque sulfúrico das amostras e o ferro bivalente por volumetria, após ataque nitroperclórico. O ferro trivalente foi calculado por diferença entre o ferro total e o bivalente.

A avaliação da mobilidade dos constituintes, durante o processo de alteração, foi efetuada recalculando-se, pelo método do isoalumínio, os valores encontrados, partindo da suposição de que os teores de alumínio não mudam de maneira significativa durante o intemperismo, por ser este elemento imobilizado no sistema, precipitado na forma de  $Al_2O_3$  (KRAUSKOPF, 1972). Desse modo, pode-se considerar, com pouca margem de erro, que a quantidade absoluta de alumínio que existe na rocha não alterada é a mesma que ocorre no solo (GOLDISH, 1938; MONIZ et al., 1973), o que permite calcular as quantidades absolutas dos outros elementos, nas diversas etapas do processo de intemperismo. Esse método possibilita avaliar a mobilidade dos constituintes originais da rocha, durante o intemperismo, bem como calcular o resíduo detrítico remanescente no solo.

### Caracterização da Área

O diabásio estudado pertence à formação Serra Geral, exposto à superfície devido a processos pretéritos de denudação, estando embutido em sedimentos do grupo Tubarão, onde localmente predominam folhelhos e siltitos. A situação topográfica atual é de meia encosta, com declive acentuado, apresentando boas condições de drenagem e de escoamento superficial de água.

O clima da região é, segundo o sistema de Koppen, do tipo Cwa, mesotérmico de inverno seco, com temperaturas médias mínimas inferior-

res a 18°C e máximas superiores a 22°C. O regime de umidade é údico, com índice pluviométrico anual entre 1100 e 1700 mm (COMISSÃO DE SOLOS, 1960).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O diabásio é de granulação fina, contendo 38,4% de plagioclásios calco-sódicos, 34,3% de piroxênios (augita associada a pigeonita), 15,6% de minerais opacos (ilmenita e magnetita) e 11,7% de outros minerais, principalmente biotita. A disposição dos grânulos indica que os plagioclásios formaram-se antes dos piroxênios e estes antes dos minerais opacos.

Os resultados apresentados nas tabelas 2 e 3 foram utilizados para a construção dos gráficos 1 e 2, a fim de facilitar a visualização da variação de composição química das diversas fases de evolução do intemperismo.

Os dados expressos nas tabelas 1 e 2 mostram que a alteração do diabásio tem início nos minerais ferromagnesianos, demonstrada pela perda inicial mais elevada de MgO e de FeO, este parcialmente removido do sistema e, em sua maior parte, oxidado a Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. A decomposição dos plagioclásios se faz mais lentamente no início do processo, o que se verifica por uma perda inicial mais lenta de CaO e de Na<sub>2</sub>O, mas que após a primeira fase (amostra 2), torna-se bastante intensa. Na amostra 3 os minerais primários mais rapidamente intemperizáveis, plagioclásios e ferromagnesianos, praticamente já não mais existem, uma vez que os cátions solúveis, cálcio, magnésio, sódio e potássio foram quase totalmente lixiviados, ocorrendo em teores não expressivos, em torno de 1% ou menos. Na amostra 4, a perda de cátions solúveis é sempre superior a 99%, em relação ao teor existente na rocha não alterada. A figura 1

Tabela 1. Composição química das fases de alteração, com valores reajustados a 100%.

Amostra	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	Total
1	48.56	10.50	6.33	10.39	8.48	4.60	2.14	5.82	3.18	100.00
2	54.44	12.47	8.33	5.23	6.91	2.33	2.02	5.10	3.17	100.00
3	41.29	23.46	22.72	3.22	0.18	0.82	0.71	3.07	4.53	100.00
4	39.38	22.00	28.73	2.43	0.15	0.26	0.09	0.43	6.53	100.00
5	40.98	23.22	26.56	2.88	0.19	0.22	0.11	0.33	5.51	100.00
6	44.53	24.08	23.40	3.31	0.29	0.21	0.08	0.35	3.75	100.00

Tabela 2. Composição química das fases de alteração, calculada pelo método do isoalúminio (%).

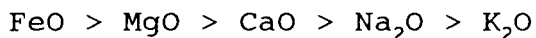
Amostra	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	Total
1	48.56	10.50	6.33	10.39	8.48	4.60	2.14	5.82	3.18	100.00
2	45.84	10.50	7.01	4.40	5.82	1.96	1.70	4.29	2.67	84.20
3	18.48	10.50	10.17	1.44	0.08	0.37	0.32	1.37	2.03	44.76
4	18.80	10.50	13.71	1.16	0.07	0.12	0.04	0.21	3.12	47.73
5	18.53	10.50	12.01	1.30	0.09	0.10	0.05	0.15	2.49	45.22
6	19.42	10.50	10.20	1.44	0.13	0.09	0.03	0.15	1.64	43.60

Tabela 3. Ganhos e perdas (%) de óxidos, nas fases de alteração, calculados pelo método do isoalúminio.

Amostra	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>
2	-5.6	10.8	-57.6	-31.4	-57.3	-20.5	-26.2	-16.1
3	-61.9	60.6	-86.1	-99.0	-92.0	-85.2	-76.4	-36.2
4	-61.3	116.6	-88.8	-99.2	-97.3	-98.0	-96.5	-2.0
5	-61.8	89.7	-87.5	-99.0	-97.8	-97.7	-97.4	-21.6
6	-60.0	61.2	-86.1	-98.5	-98.0	-98.4	-97.4	-48.6



permite observar o comportamento desses cátions, na intemperização do diabásio. MgO e FeO apresentam curvas de perdas semelhantes, com tendência à rápida perda inicial e posterior estabilização, ao contrário de CaO, K<sub>2</sub>O e Na<sub>2</sub>O, que mostram perda inicial menor, para sofrer um incremento altamente intenso, a partir da segunda fase de alteração. Pode-se estabelecer, então, que no início da intemperização, a remoção de cátions segue a sequência



A partir da segunda fase, a remoção de bases passa a ser



Esses resultados mostram-se discrepantes com os apresentados por HYPOLITO & VALARELLI (1973), que encontraram mobilidade de K e Na maior que de Mg e Fe, em estudos de alteração de diabásios, mas concordam com os encontrados por ANDERSON & HAWKES (1958), quanto à maior mobilidade de Ca e Mg e menor de K.

Deve-se considerar que a remoção de FeO do sistema é apenas parcial, uma vez que sua oxidação a Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> é a via preferencial de redução de seu teor. Na amostra 2 (tabela 2), observa-se que o aumento no teor de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> é menor que a diminuição verificada no teor de FeO, mostrando que, além da oxidação, também uma parte do Fe<sup>2+</sup> foi lixiviada.

O comportamento da sílica segue em princípio o de CaO, Na<sub>2</sub>O e K<sub>2</sub>O, com remoção mais lenta na primeira fase e um grande incremento posterior, o que mostra ser a sílica também um constituinte solúvel e facilmente lixiviado. Seu teor inicial elevado, todavia, faz com que, no final do processo, exista sílica em quantidade razoável no sistema residual. Embora não tenham sido identificados

os minerais presentes nas fases de alteração, é possível afirmar que essa sílica seja constituinte de argilominerais 1:1. Também, a pouca ocorrência de cálcio, magnésio, sódio e potássio induz a conclusão de que não ocorrem minerais de estrutura 2:1 nas fases finais do processo de alteração (MELFI & PEDRO, 1977).

Os óxidos considerados insolúveis,  $Al_2O_3$  e  $Fe_2O_3$  confirmam esse comportamento, com teores superiores nas amostras intemperizadas (tabela 1). O aumento de  $Al_2O_3$  é apenas relativo e deve ser considerado apenas em função da diminuição dos teores dos outros óxidos, mas o mesmo não pode ser dito com relação ao  $Fe_2O_3$ , cujo aumento real no teor se faz principalmente como consequência da oxidação do  $Fe^{2+}$  (tabela 2 e figura 1).

A tabela 2 e a figura 2 mostram que, do material sólido original, apenas 43,5% permanecem no solo, constituindo a fração solúvel lixiviada 56,5% do total. A lixiviação da fração solúvel eliminou, além da quase totalidade das bases solúveis, cerca de 60% da sílica originalmente existente na rocha e apenas o  $Fe_2O_3$  teve ganho real nas amostras alteradas, comparando-se com os teores originais da rocha não alterada.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, D.H. & HAWKES, H.E. Relative mobility of the common elements in weathering of some schist and granite areas. Geochimica et Cosmochimica Acta, London 14 (3): 204-210, 1958.
- COMISSÃO DE SOLOS. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo. Boletim do Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas, São Paulo (12): 1- 605, 1960.

- FORMOSO, M.L.L. & PINTAUDE, D.A. Estudo da alteração do anortosito de Capivarita, Rio Pardo, R. S. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo 8(3):180-205, 1978.
- GOLDISH, S.S. A study in rock-weathering. Journal of Geology., Chicago, 46: 17-58, 1938.
- HYPOLITO, R. & VALARELLI, J.V. Ordem de remoção de elementos lixiviados em experiências de alteração. Boletim IG, Instituto de Geociências, São Paulo, 4: 47-51, 1973.
- KRAUSKOPF, K. B. Introdução à Geoquímica. São Paulo, EDUSP, Polígono, 1972. v.1.
- LEMOS, V.P. & VILLAS, R.N. Alteração supérgena das rochas básicas do grupo Grão Pará - Implicações sobre a gênese do depósito de bauxita de N5, Serra dos Carajás. Revista Bras. de Geociências, São Paulo 13 (3): 165-77, 1983.
- LEVI, F. & MELFI, A.J. Geochemical and mineralogical studies on the first stages of weathering of basic and related rocks. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo 2 (1): 1-7, 1972.
- MELFI, A.J. & LEVI, F. Geochemical and mineralogical study on the first stages of weathering of basic and related rocks. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo 1 (1): 22-8, 1971.
- MELFI, A.J. & PEDRO, G. Estudo geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil. Revista Bras. de Geociências, São Paulo 7 (4): 271-286, 1977.

- MENEGOTTO, E. Intemperização de rochas ultrabásicas no Rio Grande do Sul, Brasil. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo 13 (3): 178-89, 1983.
- MONIZ, A.C.; NASCIMENTO, A.C; PAIVA NETTO, J. E. Mobilidade dos constituintes de rochas básicas de São Paulo durante o intemperismo. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, 3 (3): 201-13, 1973.
- OLIVEIRA, S.M.B. & TRESCASES, J.J. Geoquímica da alteração supérgena das rochas ultramáficas de Santa Fé (Goiás, Brasil). Revista Brasileira de Geociências, São Paulo 10 (4), 243-57, 1980.