

1995777

# ASSOCIAÇÃO PAULISTA DE GEOLOGIA APLICADA



## ANAIIS DA 4<sup>a</sup> SEMANA PAULISTA DE GEOLOGIA APLICADA

SÃO PAULO, 28 DE NOVEMBRO A 1 DE DEZEMBRO DE 1972

558.16106  
S 471-4a

# Alteração Experimental de Diabásios

Hypolito, R.  
Salarilli, J. V.

## O Intemperizador

O intemperizador (Hypolito, 1972) consiste essencialmente de dois conjuntos (fig. 1):

a. conjunto de preparação de fluido que irá percolar a rocha.

b. conjunto de interação fluido-rocha.

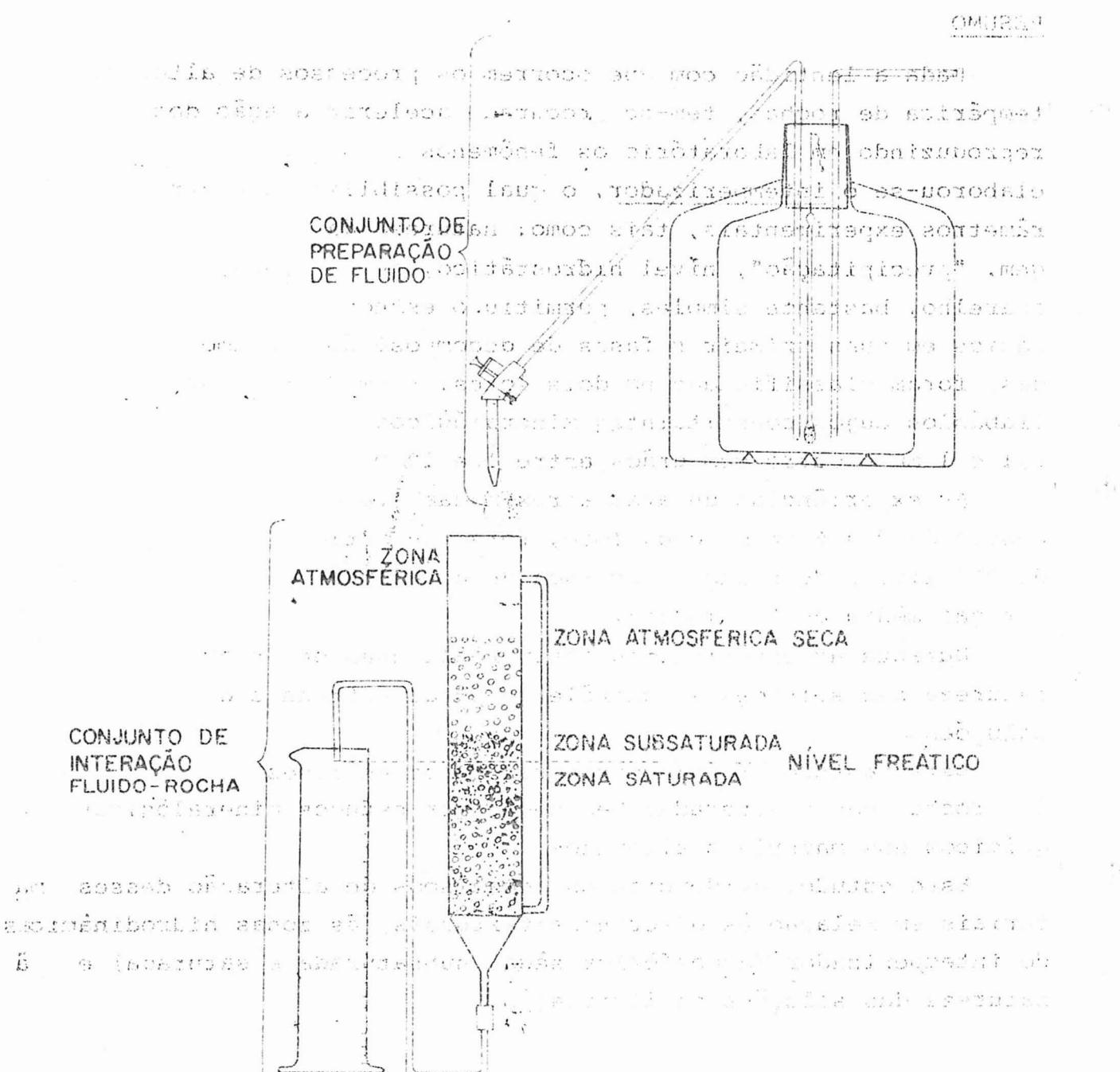


FIG. 1 - ESQUEMA DO INTEMPERIZADOR

O segundo conjunto é onde se dá a precipitação a percolação, a acumulação e o ataque intemperíco. Constam deste conjunto os controles de temperatura e do nível hidrostático.

## Parâmetros Físico-Químicos

Os parâmetros foram estabelecidos visando ressaltar os principais fatores de alteração intempérica.

Desta maneira, os fatores climáticos (térmicos e hídricos) são aqui rigidamente controlados e ampliados com a finalidade de obterem-se resultados em tempo satisfatório, sem modificar grandemente as características dos processos.

Assim, o estabelecimento dos parâmetros experimentais tenderam simular condições climáticas comparáveis às de um clima tropical úmido, com alternância sazonal característica.

### 1. Precipitação

A água de chuva, apesar de destilada, não é pura, contendo em dissolução o oxigênio, nitrogênio, gás carbônico, etc. Em regiões onde o ar é mais ou menos rico de poeira e fumaças, pode conter ainda outros produtos dissolvidos e em suspensão.

No intemperizador a "água de chuva" apresentou elevado teor de gás carbônico dissolvido, e sua precipitação média diária foi 140 vezes maior que a apresentada na região onde foram coletadas as amostras. O regime pluviométrico reinante durante as experiências é caracterizado por ciclos semanais. Cada ciclo é constituído por cinco períodos de oito horas de precipitação contínua (100 mm/h) intercalados com cinco períodos de dezesseis horas sem precipitação. Cada um dos ciclos semanais é separado de outros por um intervalo de quarenta e oito horas sem precipitação.

### 2. Temperatura

Trabalhou-se com temperaturas ao redor de 65°C, no qual o aquecimento das rochas é acelerado sem produzir diferenças apreciáveis em relação às alterações ocorridas na natureza. Esta temperatura é atingida rapidamente após ligar o aparelho, em estreita correlação com o regime pluviométrico.

### 3. Composição química dos gases

As águas naturais apresentam um conteúdo em gás carbônico da ordem de 0,57 mg/l, mas a maior dissolução se dá no contato com o solo, onde este valor pode elevar-se 300 vezes (Feth, 1964, p. 39).

A solução do conjunto a (fig. 1) foi saturada com gás carbônico a uma temperatura constante, mas devido as variações de temperaturas durante o percurso da solução, o teor gasoso foi alterado, como se observa na tabela I.

TABELA I

		CO <sub>2</sub>		O <sub>2</sub>		N <sub>2</sub>	
	T	ppm	%	ppm	%	ppm	%
Sol. carbônica em A	35°C	1099	100	-----	-----	-----	-----
Sol. no meio ambiente	25°C	1099	98,05	8,24	0,74	14	1,21
Sol. gasosa em B, zona atmosférica	50°C	737	100	0,19	-----	0,14	-----
Sol. gasosa em B, zona saturada	25°C	0,44	2	8,26	37	13,55	61

Considerando os teores gasosos de uma gota de água a partir do reservatório, tem-se em todo o seu percurso, nas três condições de temperaturas médias, gás carbônico dissolvido e quantidades negligenciáveis de oxigênio e nitrogênio.

Assim sendo, os grãos situados na zona atmosférica encontrar-se-iam num ambiente totalmente inerte. No entanto, a coluna de percolação consiste num sistema aberto, onde tem-se correntes de ar devido ao fenômeno de convecção livre. Estas correntes ocasionam contínua renovação do ar atmosférico, provando ao mesmo tempo um meio oxidante brando, durante o funcionamento do aparelho.

Com o intemperizador desligado a zona atmosférica, seca contém cerca de 21% de O<sub>2</sub> e 78% de N<sub>2</sub> que é a composição do ar atmosférico, enquanto que nas zonas subsaturadas e saturadas, os grãos estão em contato com uma solução com teor gasoso de 37% de O<sub>2</sub> e 61% de N<sub>2</sub>.

Concluindo, pode-se admitir, ressalvadas as aproximações dos cálculos, que durante o funcionamento do aparelho, predominou um ambiente inerte na coluna de percolação e quando o aparelho esteve desligado, o meio predominante foi oxidante.

#### Quadro Geral das condições experimentais

Para fins comparativos submeteram-se os dois diabásios às mesmas "condições climáticas", sendo dado abaixo um quadro geral resumido destas condições.

1. natureza da solução de lavagem - saturada de CO<sub>2</sub>.
2. pH de entrada - valor médio 3,50
3. temperatura média do reservatório (conjunto a) - 35°C
4. temperatura média do tubo de percolação B - 65°C

5. temperatura média da solução saída da haste C - 28°C
6. pluviosidade média - 569 mm/dia.
7. taxa de fluxo - 25 gotas/minuto (1,15 ml/min)
8. massa inicial aproximadamente 400 g
9. granulação das amostras britadas - 2 a 6 mm

#### Das amostras

As amostras provieram de um sill de diabásio em exploração na Pedreira do Chapadão, Km 97,5 da Via Anhanguera.

Foram escolhidos dois lotes de amostras:

a. diabásio de granulação entre 0,1 - 1 mm (que será denominado D 1) constituído de plagioclásio, augita, pigeonita, olivina, quartzo, hornblenda, magnetita, ilmenita, smectita, apatita e intercrescimento gráfico entre quartzo e feldspato alcalino (vide tabelas II e III).

b. diabásio de granulação entre 1 - 10 mm (que será denominado D 2) de composição química e mineralógica semelhante a D 1 (vide tabelas II e III).

As amostras de ambos os lotes foram britadas (granulação de 2 - 6 mm) lavadas, secadas, pesadas (aproximadamente 400 g) e colocadas no tubo de percolação até ocuparem cerca de 3/4 da coluna.

T A B E L A II

Composição modal

	D 1 %	D 2 %
Plagioclásio	54,0	45,4
Piroxênio	29,8	25,6
Olivina	0,8	1,4
Opacos	7,6	7,8
Quartzo	1,0	4,0
Intercrescimento gráfico	0,4	7,4
Minerais argilosos (nontronita)	5,8	5,6
Apatita	0,2	0,2
Anfibólio	0,4	2,6

T A B E L A . I I I

	D 1*	D 2*
	%	%
SiO <sub>2</sub>	49,62	48,70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,10	13,39
TiO <sub>2</sub>	2,90	3,17
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,66	7,74
FeO	8,01	8,67
MnO	0,09	0,10
MgO	4,45	3,75
CaO	9,14	8,51
Na <sub>2</sub> O	2,45	2,75
K <sub>2</sub> O	1,19	1,79
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,80	0,90
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0,01	0,01
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,11	0,09
Total	99,53	99,57
P.E.	3,012	2,994

\* Média obtida a partir de oito análises.

## Resultados

### 1. pH das águas de lixiviação

Mediu-se o pH das soluções saídas a cada 200 ml de modo que nos 200 litros de lixiviação realizaram-se cerca de 1000 determinações para cada diabásio. Em todo o processo o pH de saída foi superior ao pH de entrada representando sua diferença ( $pH_{saída} - pH_{entrada} = \Delta pH$ ) o consumo hidrogenônico das reações de alteração. Figuras 2, 3, 4 e 5.

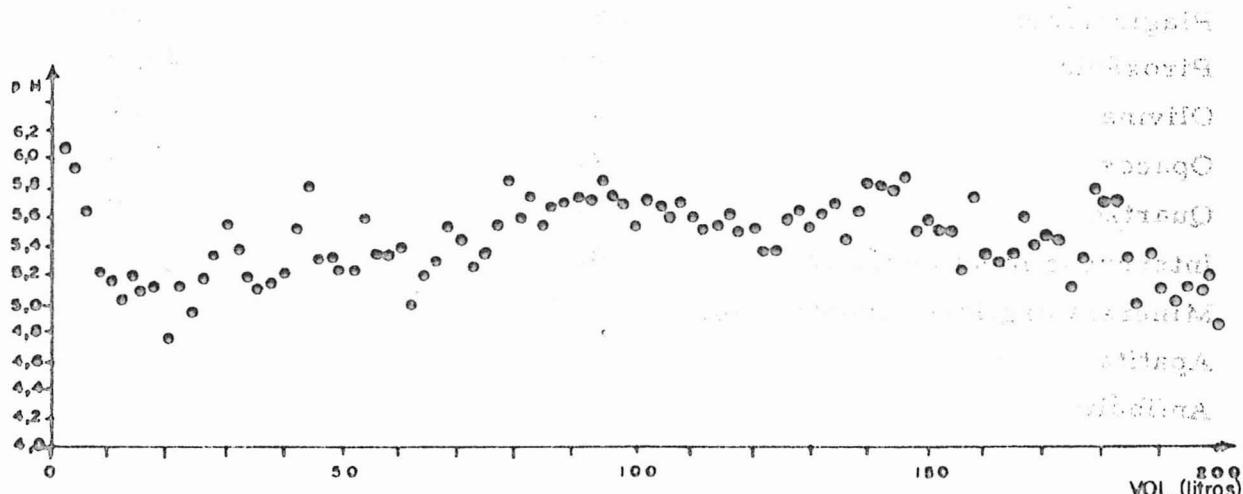


FIG. 2 - pH DE SAIDA DAS SOLUÇÕES DE LIXIVIAÇÃO - D 1

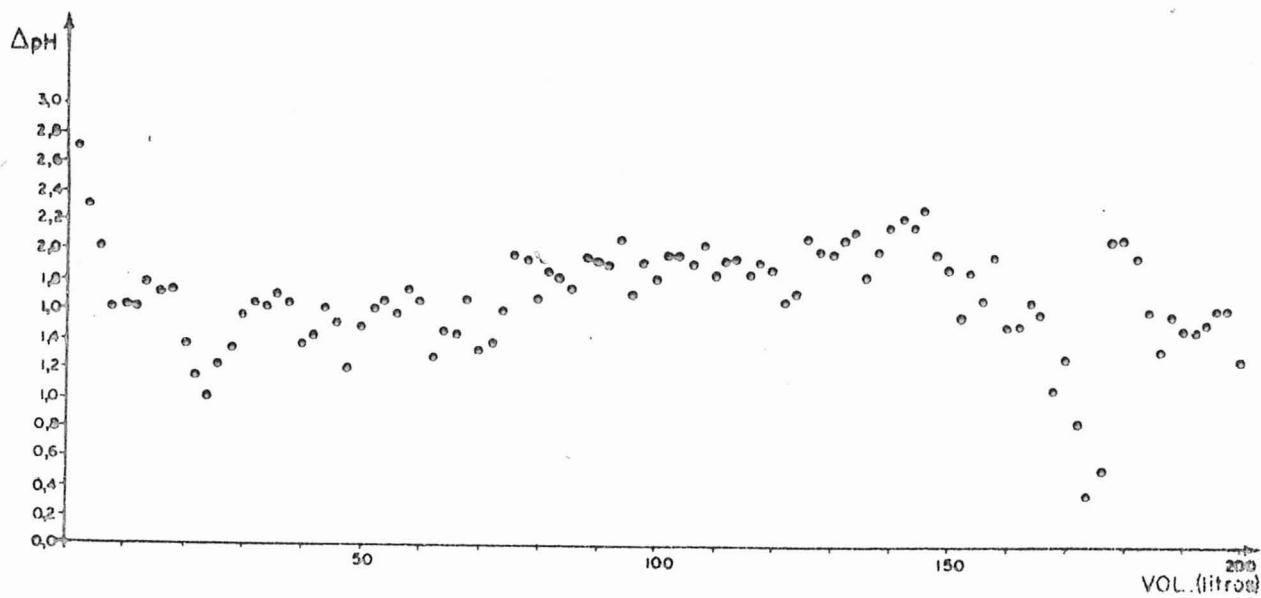


FIG. 3 - CONSUMO HIDROGENIÔNICO DO DIABÁSIO D 1

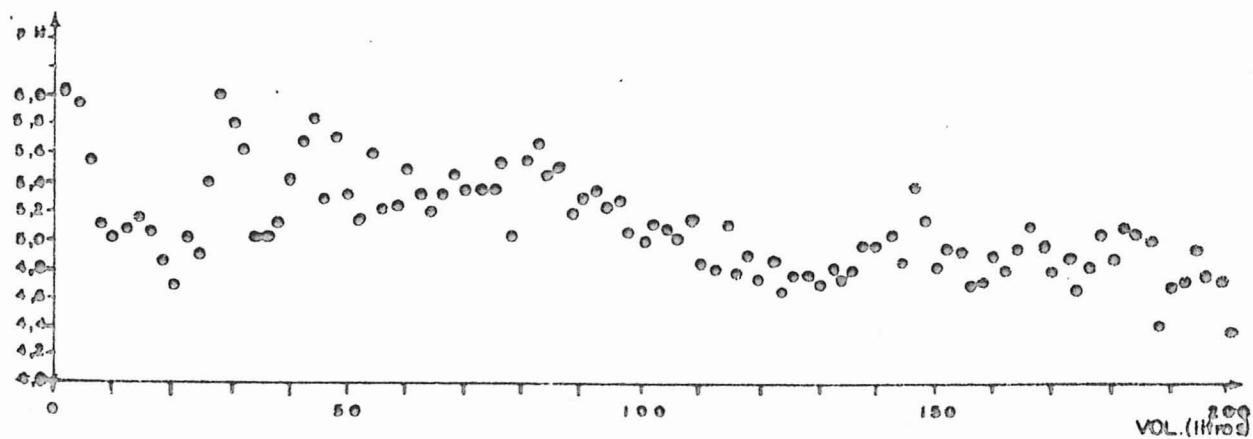


FIG. 4 - pH DE SAIDA DAS SOLUÇÕES DE LIXIVIAÇÃO - D 2

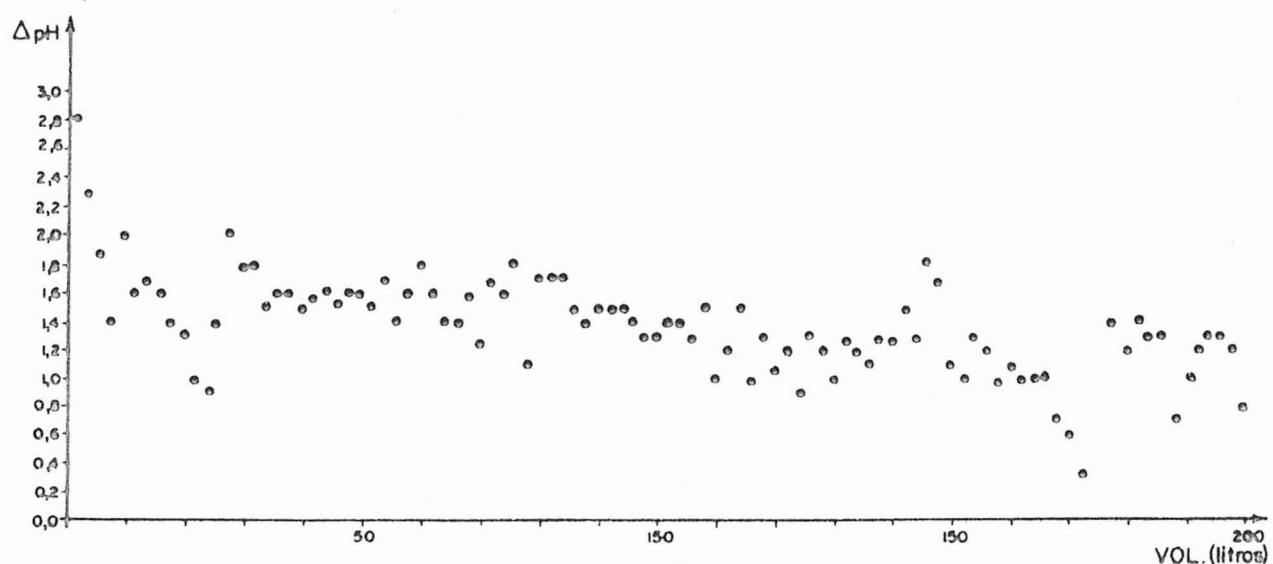


FIG. 5 - CONSUMO HIDROGENIÔNICO DO DIABÁSIO D 2

A concentração hidrogeniônica da solução na entrada da coluna de percolação não sofreu variações significativas devido ao uso contínuo de um termostato. No entanto, o pH na saída da coluna sofreram dispersões que envolvem, além da contribuição de  $H^+$  da solução carbônica, os íons  $H^+$  fornecidos e consumidos como consequência das reações químicas dos minerais da rocha com a solução.

Do 166º ao 176º litros a solução de lavagem não foi saturada com gás carbônico apresentando pH (entrada) médio 4,50; constatou-se, no entanto, invariabilidade nos valores de pH medidos na saída da haste C, demonstrando a natureza tampão do meio.

Ao ser estabelecido um nível aquoso constante (através da haste c) no intemperizador, fez-se com que os fragmentos das rochas da região saturada estivessem em permanente contato com um meio tamponado, reproduzindo-se assim mais algumas condições próximas das naturais.

## 2. Estudos químicos dos íons removidos

O intemperizador possibilita a coleta de amostras de soluções de lavagem em pequenos intervalos de tempo, o que torna possível acompanhar passo a passo as variações dos conteúdos iônicos das soluções saídas após a percolação. Coletaram-se diariamente amostras de um litro e as soluções obtidas em cada dois dias (2 litros) foram aciduladas com ácido clorídrico, concentradas a 100 mililitros e destinadas às determinações químicas, que se restringiram aos principais constituintes Si, Al, Fe, Ca, Mg, K e Na.

Além de permitir estudar as variações dos teores dos elementos eliminados durante o processo, estes dados permitiram correlação com a rocha inicial através da mobilidade relativa, cujos valores médios são:

D 1 - Ca > K > Mg > Na > Si > Fe > Al (Hypolito e Valarelli, 1972)

D 2 - Ca > Na > K > Si > Mg > Fe > Al

A figura 6 fornece a avaliação do total dos elementos removidos, analisados nas soluções.

## 3. Observações petrográficas do material residual

### A) Diabásio D 1

Zona atmosférica:- observou-se o desenvolvimento de uma película amarelo avermelhada nos contornos preservados dos grãos.

Nos casos em que os bordos são constituídos por plagioclásio, essa película é mais fina, maior no caso de piroxênio e maior ainda no caso de opacos como magnetita (foto I).

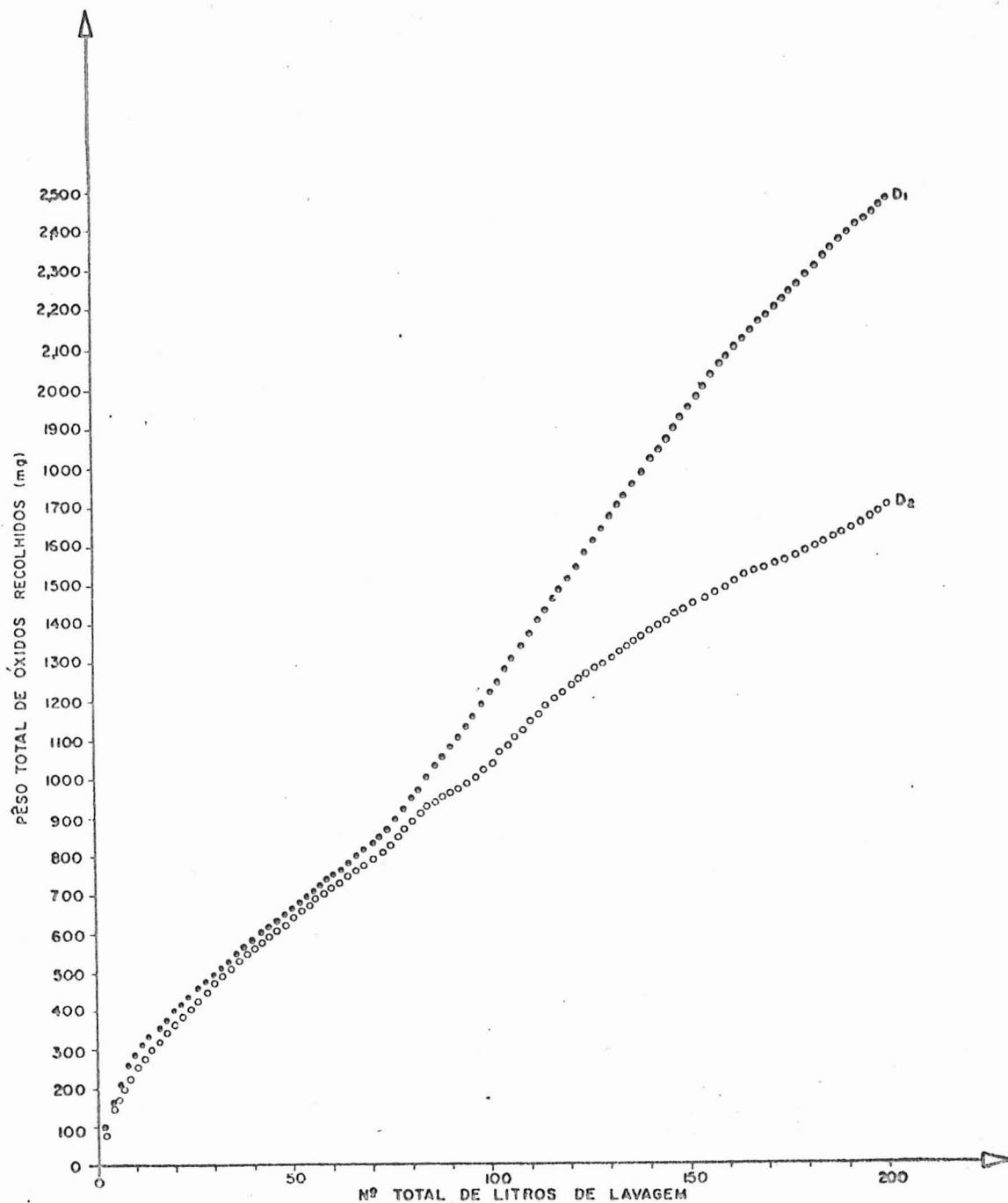


FIG. 6 - GRÁFICO MOSTRANDO OS RESULTADOS DOS ÓXIDOS ANALISADOS NAS SOLUÇÕES DE LIXIVIAÇÃO EM FUNÇÃO DO NÚMERO ACUMULATIVO DE LITROS DE LAVAGEM.

Outro aspecto observado é a pigmentação vermelha nos contatos entre os cristais, sobretudo quando estes têm ligação direta com as bordas dos grãos (foto I).

A rocha fresca possui uma alteração incipiente denotada por nucleos de côn amarelada ou esverdeada. Na lâmina da rocha alterada observa-se a transformação dessas cônres para tonalidades avermelhadas, mesmo na parte mais interna dos grãos.

Zona saturada:- nota-se na periferia dos grãos uma película de limo

nita bem mais espessa que na zona atmosférica (o dôbro).

Os minerais opacos que se acham nos limites externos se encontram quase totalmente limonitzados (foto II).

Os feldspatos mostram uma impregnação mais intensa de limonita ao longo de 3 direções: planos de clivagem, de geminação e linhas de inclusões aciculares de apatita. No entanto não é nítido o processo da caulinização dos plagioclásios podendo por vezes ser confundida com a fragmentação mecânica da manipulação, confecção e polimento da lâmina (foto III).

A alteração, ou pelo menos, a limonitzação ao longo dos planos de clivagem dos piroxênios da periferia do fragmento é muito nítida, bem como, ao longo dos limites entre os cristais, sobretudo quando estes são de olivina e piroxênio (fotos II e III).

Outro fato observado é a abertura de faixas de limonitzação que param de minerais opacos internos e emergem nas bordas. Nesse caso essas faixas podem dividir até cristais de plagioclásio, sem que haja coincidência de direção nítida de fraqueza estrutural (foto III).

#### B) Diabásio D 2

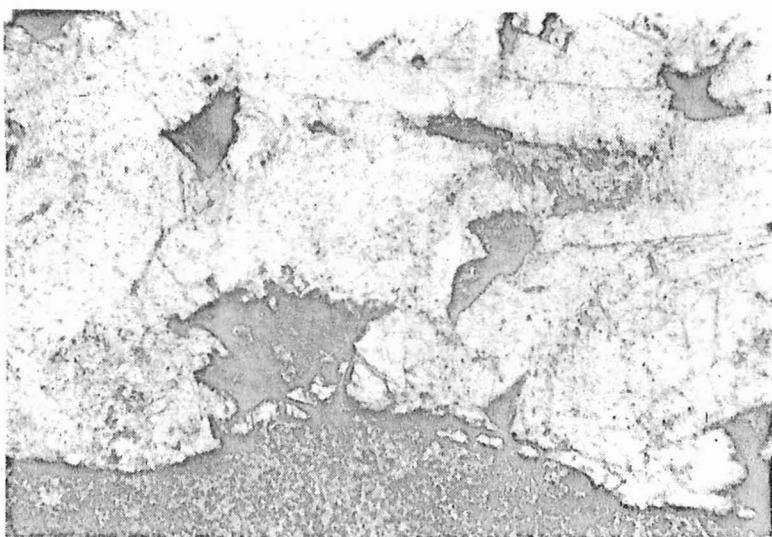
Zona atmosférica:- nesta zona, alguns grãos apresentam uma fina película de limonita nas bordas. Observa-se também uma impregnação relativamente intensa de limonita no interior dos grãos, principalmente nos opacos, onde é mais intenso o fenômeno nos argilosos pré-existentes e nos contatos entre indivíduos cristalinos (foto IV).

Ressalta-se ainda uma limonitzação acentuada na área, principalmente em zonas irregulares derivadas de núcleos de opacos, e ao longo de planos de clivagem de alguns minerais.

Zona saturada:- os fragmentos desta zona apresentam película limonítica superficial mais bem desenvolvida que na zona atmosférica (foto V), sem penetração interna de limonita nos grãos.

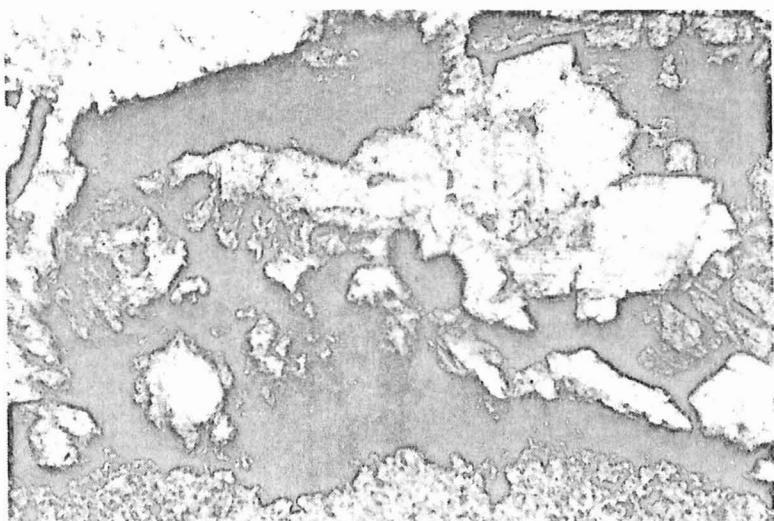
Essa limonitzação é intensa nos opacos, nos contatos entre cristais, nos planos de geminação e de clivagem. É de levar-se em conta também a limonitzação nas zonas contendo argila pré-existente e nas zonas onde processou-se o fenômeno da uralitização (fotos V e VI).

Os exames petrográficos das zonas intermediárias mostraram que os fenômenos ocorridos são os mesmos descritos com variações gradativas entre as zonas atmosférica seca e saturada.



Fragmento de diabásio D 1 da zona atmosférica do intemperizador, mostrando película periférica de limonita e alteração dos opacos bordejantes.  
Seção delgada; nícois des - cruzados (X 75).

FOTO - I



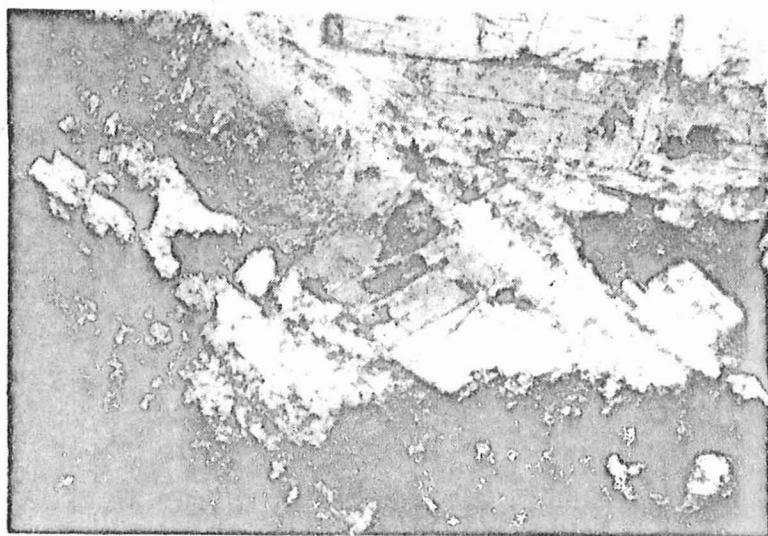
Diabásio D 1 - zona sa-  
turada. Envólucro limonítico  
nas bordas do grão e limoni-  
tização segundo os padrões  
descritos no texto.  
Seção delgada, nícois des -  
cruzados (X 75).

FOTO - II



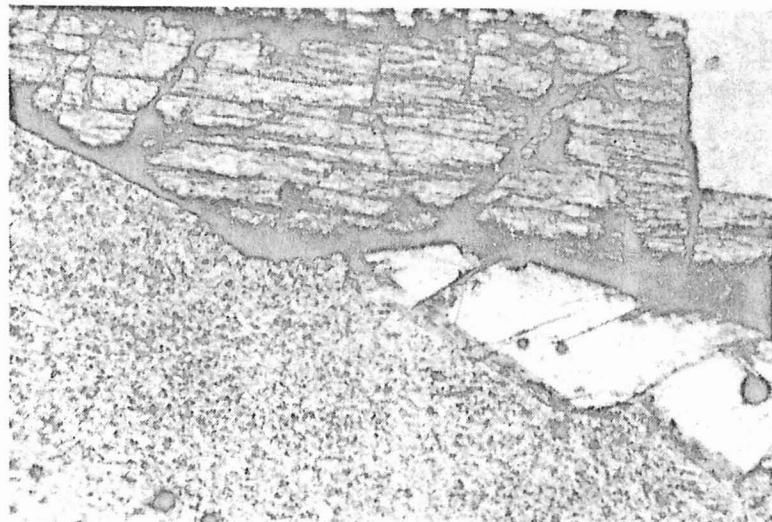
Grãos de diabásio D 1,  
da zona saturada. Limoniti-  
zação periférica, nas cliva-  
gens, nos contatos entre os  
minerais e em vénulas irre-  
gulares que partem de opa -  
cos.  
Seção delgada nícois descru-  
zados (X 75).

FOTO - III



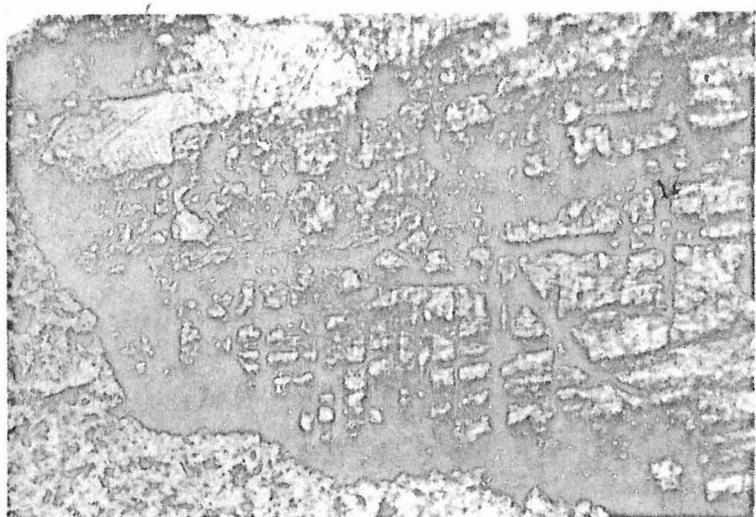
Diabásio D 2 - zona atmosférica. Limonitização geral, mesmo no interior dos grãos, onde núcleos cloríticos e opacos, achar-se coloridos de vermelho.  
Seção delgada, nícois cruzados (X 75).

FOTO - IV



Diabásio D 2 - zona saturada. Notar no piroxênio a limonitização na parte externa do cristal, ao longo das clivagens, nas fraturas e nos contatos com outros minerais.  
Ligeira tintura limonítica na periferia do cristal de plagioclásio, e em alguns planos de clivagem.  
Seção delgada, nícois descruzados (X 75).

FOTO - V



Diabásio D 2 - zona saturada. Pormenor da limonitização ocorrida em cristal de piroxênio. Cristal de plagioclásio inalterado com agulhas de apatita.  
Seção delgada, nícois descruzados (X 230).

FOTO - VI

#### 4. Dados mineralógicos

Os grãos das diferentes zonas do intemperizador foram Tritados entre si e os pós resultantes foram submetidos a exames mineralógicos que consistiram de difração de raios X, difratometria de raios X e análise térmica diferencial.

Em geral o material disponível era escasso, e sobretudo isso ocorreu com as amostras obtidas dos fragmentos das zonas atmosféricas secas e em D 2.

Foi possível a identificação dos materiais seguintes:

##### Diabásio D 1 - Zona subsaturada

material amorf (stilpnossiderita), goethita, traços de gibbsita e bohemita, pequena quantidade de argilominerais de 7,5 Å (caulinita ou septoclorita).

##### Zona saturada

Argilominerais (montmorilonita, septoclorita e caulinita), lepidocrocita, e goethita e stilpnossiderita.

##### Diabásio D 2 - Zona saturada

Argilominerais de 7,8 Å (caulinita e septoclorita), stilpnossiderita e traços de gibbsita.

## CONCLUSÕES

O estudo da alteração dos dois diabásios, realizado com o intemperizador evidenciou diferenças de comportamento principalmente com relação à textura e condições hídricas.

O exame microscópico das seções delgadas dos grãos dos diabásios D 1 e D 2 coletados nos dois níveis do intemperizador, após o término das experiências, revelou que as alterações mais nítidas foram ditadas pelo comportamento dos minerais que contém ferro.

No diabásio D 1 os fragmentos da zona de aeração e saturada apresentaram precipitação periférica mais intensa que no diabásio D 2, provavelmente por apresentar superfície de contato maior e também devido ao fenômeno de flocação ocorrido na zona saturada do intemperizador.

Quanto às regiões mais internas dos grãos, verificou-se que em ambos os diabásios houve uma alteração mais eficaz nos fragmentos situados na zona atmosférica seca, em relação aos fragmentos situados na zona saturada; este fenômeno foi observado mais claramente no caso do diabásio D 2.

As causas deste maior ataque interno no topo, talvez sejam motivadas pelas variações de temperatura nessa zona; no caso do diabásio D 2, os cristais sendo maiores, as diferenças de coeficiente de dilatação, provocaram fissuras mais largas e mais profundas; sendo D 1 mais fino e mais compacto, provavelmente sofreu essas variações em menor escala.

A microfissuração tem origem, em geral, nos processos de resfriamento e consolidação das rochas, podendo também resultar da dinamitação da pedreira e na britagem das amostras. Sua importância na alterabilidade de rochas foi evidenciada por Farran e Thénoz (1965).

O fato dos núcleos dos grãos das zonas secas apresentarem maior alteração que os núcleos dos grãos da zona saturada parece trazer subsídio à interpretação da influência da variação de temperatura ocorrida nas condições experimentais.

Concorreram também para a alteração mais interna dos grãos, a hidrólise de minerais ferrosos e ferromagnesianos (que se dá com aumento de volume, propiciando a abertura de fendas ou fissuras que facilitam a penetração de fluidos) e a ação da cristalização de sais nos espaços abertos.

Na zona atmosférica seca do intemperizador, ocorreram tanto variações térmicas bruscas como cristalização de sais. As variações térmicas foram motivadas por duas causas: pelo gotejamento de solução fria sobre os fragmentos aquecidos e pelas variações sofridas pela ciclagem de funcionamento do intemperizador. Na zona saturada não se verificou o gotejamento, e as varia-

ções térmicas motivadas pelos períodos diurnos e noturnos foram atenuadas pela presença da solução de percolação.

A presença de íons em solução pode ter um papel importante na dissolução dos constituintes das rochas, na nucleação, no aperfeiçoamento cristalino dos minerais neoformados, e podem também influir nas solubilidades. A influência destes fenômenos com um volume de percolação relativamente baixo, não foi quantificado como era de se esperar. Entretanto, não deixa de ser um fator que merecerá maiores atençãoes em próximos trabalhos.

A ordem de remoção dos íons analisados nas soluções de lixiviação, determinada "pari passu" durante as experiências, favorece uma avaliação do mecanismo de alteração.

A elevada mobilidade relativa do cálcio e seu elevado teor nas soluções de lixiviação mostram que a hidrólise dos plagioclásios, (e também dos piroxênios), embora não evidenciada no exame petrográfico, desempenhou papel importante nos processos de alteração. Este elemento, juntamente com o sódio e potássio, foram os mais eliminados nos primeiros litros de lixiviação, quando houve também maior consumo hidrogeniônico. O  $H^+$  teve um papel essencial na alteração, deslocando íons das redes cristalinas, abrindo caminho para a decomposição progressiva.

Na zona atmosférica seca obtiveram-se resultados semelhantes aos que ocorrem com rochas básicas sujeitas a clima úmido, onde os intervalos de precipitação nula se caracterizam por alta insolação, como é o caso da formação de crostas calcárias a partir de basalto que ocorrem na região de Boa Vista, T. F. Roraima (Gonçalves, 1972).

Na zona saturada os fragmentos estiveram imersos na solução percolante, favorecendo os fenômenos de hidrólise, precipitação, envelhecimento dos materiais precipitados, e uma maior tendência ao equilíbrio químico. A maior abundância de minerais argilosos nesta zona permite a afirmação de que, pelo menos em D 1, houve tendência à sialitização.

Nesta zona a alteração dos diabásios foi bem maior que nas outras duas, conforme já foi enfatizado. Como predominaram alterações e precipitações na periferia dos grãos, D 1 apresentou-se bem mais alterado.

Os grãos da zona subsaturada apresentaram características de composição intermediárias, comparadas com as das outras duas regiões. A presença de hidróxido de alumínio no diabásio D 1 parece indicar condições favoráveis ao processo de alitização. Além disso, houve acúmulo de ferro denotado pela presença de lepidocrocita e de goethita.

O comportamento global dos íons liberados (e em muitos casos, tam-

bém o comportamento individual) analisados nas soluções de lixiviação, sofreu grande influência dos fenômenos ocorridos com o ferro em solução. A partir do 30º litro de lixiviação, diminuiu consideravelmente a saída dos íons, graças ao fenômeno de adsorção, que por sua vez, se deve à presença de partículas coloidais na solução, como foi o caso permanente reinante nas soluções que percolaram os grãos de D 2. As soluções coloidais de hidroxido de ferro da coluna de percolação de D 1 flocularam a partir do 80º litro, refletindo intensamente na diferença de comportamento de remoção dos íons.

Este novo aparelho, o intemperizador, abre novos horizontes para o estudo do intemperismo artificial, graças ao domínio dos parâmetros experimentais. Partindo de amostras monominerálicas pode-se estudar melhor os mecanismos da alteração, bem como, permitir-se uma interpretação mais segura das relações entre material original, material alterado e material eliminado.

Estudos semelhantes poderão, provavelmente, ser aplicados para outros materiais tais como: agregados para diversas finalidades, concretos, materiais de revestimento, metais, etc. - dando-se mais ênfase aos aspectos quantitativos, associando-se a testes mecânicos como os efetuados por Farjallat (1971), tornando assim mais explícita a sua aplicação tecnológica.

## BIBLIOGRAFIA

Farjallat, J. E. S. - 1971 - Estudos experimentais sobre a degradação de rochas basálticas - Tese de doutoramento apresentada ao Instituto de Geociências e Astronomia da U.S.P.

Farran, J. e Thénoz, B. - 1965 - L'Altérabilité des Roches, Ses Facteurs, Sa Prévision - Ann. L'Inst. Tech. Batiment et des Travaux Publics - n° 215 - pp 1533-1548 - Paris.

Feth, J. H., Roberson, E. E., and Polzer, W. L. - 1964 - Sources of mineral constituentes in water from granites rocks, Sierra Nevada, California and Nevada - U.S. Geol. Survey Water-Supply Paper 1535 - I, 70 p.

Gonçalves, E. - 1972 - Informação verbal.

Hypolito, R. - 1972 - Estudo experimental de alteração intempérica de diabásios - Tese de doutoramento apresentada ao Instituto de Geociências Universidade de São Paulo - 1972.

Hypolito, R. e Valarelli, J. V. - 1972 - Ordem de remoção de elementos lixiviados em experiências de alteração - XXVI Congresso Brasileiro de Geologia - Pará - Brasil, Boletim n° 1 pp. 187-188.