

# CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA ALTERAÇÃO SUPERFICIAL DE ROCHAS GRANÍTICAS

Evolução dos feldspatos para minerais do grupo da caulinita através de uma fase amorfa.

ADOLPHO JOSÉ MELFI\*, CARLOS CLEMENTE CERRI\*\*

## ABSTRACT

This study was carried out on a weathering profile developed from Itu pink granite, on well drained zones of a strongly undulated topography, in the sub-humid tropical region. It was shown that the feldspars, both plagioclase and orthoclase, weathers to minerals of the kaolinite group, through an amorphous phase.

Mineralogical and chemical studies, using X-ray analysis, D.T.A, T.G.A., and electronmicroprobe analysis allowed to describe the various steps of the evolution of feldspar weathering.

The plagioclase ( $An_{10-15}$ ), being the most unstable mineral, disappears at the beginning of the process, (arena). The first step of its evolution is the formation of gels of Si-Al hydrous oxides that are found in the fracture and cleavages of the crystals and that grow rapidly occupying most of the crystal.

The chemical composition of these amorphous products shows an almost complete elimination of the basic cations, enrichment of Al with respect to Si, steadily increasing as the gel evolves. The subsequent transformation of the gel is crystalline organization as kaolinite group minerals. Potassium feldspars behave like the plagioclase, but since they are more resistant to weathering they can be found at the top horizons of the soil profile.

## INTRODUÇÃO

O batólito granítico de Itu, constituído essencialmente por quartzo, feldspato potássico e plagioclásios, forma um conjunto de rochas que apresenta um comportamento relativamente homogêneo face ao intemperismo. Tais rochas, submetidas à ação dos agentes meteorizantes se caracterizam pela formação de uma espessa camada superficial de material arenizado, sobre o qual se desenvolvem solos podzolizados com cascalhos.

Nessas arenas, onde ainda é possível observar a estrutura da rocha granítica, a evolução química do material é incipiente, o que contrasta com a quase total desagregação e individualização dos minerais primários da rocha original.

A arenização é uma feição típica da meteorização de rochas graníticas em climas temperados (Collier, 1961) não sendo entretanto um processo comum em regiões tropicais, onde a intensidade dos agentes do intemperismo provoca forte rearranjo mineralógico, com a formação de grande quantidade de minerais argilosos.

Como o quartzo mostra-se bastante estável nas condições superficiais, é óbvio que a formação das arenas deve ser condicionada pelo comportamento dos feldspatos no decorrer da meteorização.

---

\*IG/USP

\*\*Bolsista/FAPESP

Dependendo das condições termohídricas, a alteração dos feldspatos pode conduzir à formação de uma grande variedade de produtos minerais secundários, que irão fornecer as características principais do tipo de material intemperizado.

O objetivo do presente trabalho foi analisar as várias fases de alteração apresentadas pelos feldspatos no decorrer da evolução do perfil desenvolvido a partir da rocha granítica de Itu, em região caracterizada por pluviometria da ordem de 1.200 mm por ano e temperatura média anual de 21°C.

Para atingir os objetivos acima propostos foram analisadas as diferentes etapas de meteorização do granito, quer do ponto de vista mineralógico, quer do ponto de vista químico, sendo para tanto, selecionado e estudado em detalhe um perfil de solo bem desenvolvido inserido dentro de uma topossequência típica para a região e que está sendo objeto de estudo por parte de um dos autores.

### CARACTERÍSTICAS DO MATERIAL ESTUDADO

O granito de Itu constitui um batólito alongado na direção NE, tendo uma área de aproximadamente 200 km<sup>2</sup>. Pode ser considerado um corpo relativamente homogêneo química e mineralogicamente, apesar da existência de facies texturais diferentes. Em seu conjunto, apresenta textura equigranular grosseira, com cristais de dimensões milimétricas à centimétricas.

Os estudos de seções delgadas evidenciaram uma composição mineralógica média definida por 45% de ortoclásio peritítico (geralmente associado a pequenas quantidades de microclínio) 2,5% de plagioclásio (An 15 a 25%) e 25 a 30% de quartzo como minerais essenciais, estando sempre presente pequenas proporções de biotita, fluorita, apatita, sericita, moscovita, titanita, magnetita, zircão, turmalina e rutilo, que atingem no máximo 5%. As dimensões mais comuns exibidas pelos minerais são: ortoclásio 4-10 mm; plagioclásio 1-4 mm e quartzo 2-5 mm.

Em quase toda a região, o granito se encontra intensamente arenizado formando um manto de alteração contínuo que frequentemente apresenta espessuras que ultrapassam 10 m. Trata-se de um material com estrutura original preservada, grosseiro e de constituição essencialmente quartzo feldspática.

A observação macroscópica desse material permite evidenciar que o quartzo não exibe nenhum sinal visível da ação do intemperismo, o mesmo acontecendo com os raros cristais de biotita presentes, a não ser por uma ligeira variação na coloração, tornando-se mais amarelada.

O feldspato potássico, bastante resistente à meteorização, apresenta-se bem fraturado sem contudo perder sua resistência. Já o plagioclásio mostra evidências concretas de uma alteração pronunciada caracterizando-se por perda de brilho e coerência.

Sobre este material encontram-se solos bem ou moderadamente drenados, pouco profundos, com espessuras máximas de 1,5 m.

Estes solos classificados pelo SNPA (1960) como solos podzolizados com cascalhos, apresentam como característica principal a presença de cascalho ao longo de todo o perfil. Possuem horizontes A, B e C perfeitamente desenvolvidos e facilmente separáveis tanto pela cor como pela textura.

O contato solo-arena é tão nítido que dá, por vezes, a impressão da existência de uma superfície de descontinuidade.

### SITUAÇÃO E DESCRIÇÃO DO PERFIL

O perfil de alteração estudado encontra-se localizado no km 99 da estrada de rodagem que liga Itu a Jundiá, no Estado de São Paulo, fazendo parte de uma topossequência de 5 perfis, que caracterizam perfeitamente o tipo de evolução superficial da região.

O relevo é movimentado e a drenagem do perfil é moderada à boa. A cobertura vegetal atual é um cafezal, que substitui a floresta latifoliada tropical semidecídua.

A Tabela 1 resume as principais características do perfil analisado.

### ESTUDO MINERALÓGICO E QUÍMICO DO PERFIL

Dos 17 horizontes coletados no campo, foram selecionados 7 para estudos pormenorizados no laboratório.

TABELA 1

## Características Físicas e Morfológicas do Perfil Estudado

HORIZONTE		COR	TEXTURA	ESTRUTURA	ANÁLISE GRANULOMÉTRICA %			
SIGLA	PROF. (cm)				CASCALHO	AREIA	SILTE	ARGILA
A <sub>1</sub>	0-15	5YR 5/6	ar. cas	maciça	40,3	40,7	9,6	9,3
A <sub>2</sub>	15-45	5YR 5/1	ar. cas.	maciça	45,0	29,6	8,4	16,8
B <sub>1</sub>	45-65	5YR 6/4	ar. arg. cas.	maciça	50,9	27,2	7,9	17,6
B <sub>2</sub>	90-110	5YR 6/6	ar. arg. cas.	maciça	51,7	25,2	8,9	14,2
B <sub>3</sub>	90-110	5YR 6/4	ar. arg. cas.	maciça	46,3	32,1	11,4	10,0
C <sub>1</sub>	110-140	5YR 7/4	cas.	maciça	43,5	39,7	11,5	5,1
C <sub>2</sub>	140-240	5YR 8/4	cas.	maciça	36,1	47,9	11,4	4,6
C <sub>3</sub>	240-340	5YR 7/3	cas.	maciça	33,0	50,7	11,4	4,7
C <sub>4</sub>	340-440	5YR 7/4	cas.	maciça	46,0	40,3	10,3	3,2
C <sub>5</sub>	440-540	5YR 6/4	cas.	maciça	40,0	43,9	10,3	5,5
C <sub>6</sub>	540-640	5YR 7/5	cas.	maciça	37,0	43,0	9,9	9,9
C <sub>7</sub>	640-740	5YR 7/3	cas.	maciça	43,0	47,5	7,1	2,3
C <sub>8</sub>	740-840	5YR 7/3	cas.	maciça	41,7	46,1	9,2	2,8
C <sub>9</sub>	840-940	5YR 7/3	cas.	maciça	50,5	37,7	9,2	2,5
D	940-	5YR 7/3	cas.	maciça	72,4	24,6	2,3	0,5

ar. cas. = areno cascalhento; ar. arg. cas. = areno argilosa cas.; cas. = cascalhento.

As análises mineralógicas foram realizadas por meio de determinações envolvendo métodos térmicos, raios X, microscopia eletrônica e microscopia ótica, enquanto que os dados químicos foram obtidos pelos métodos clássicos por via úmida e por análises pontuais realizadas com auxílio de microsonda eletrônica.

## Aspectos mineralógicos

A Tabela 2 fornece os dados mineralógicos quantitativos dos horizontes selecionados. Sua análise faz ressaltar as seguintes observações:

- o quartzo sofre ao longo do perfil importante acumulação residual, ligada à alta estabilidade apresentada por seus cristais nas condições ambientais. O estudo das secções delgadas revelam a falta de evidências de um ataque químico acentuado, sendo que toda modificação apresentada pelo quartzo, na evolução do perfil, restringe-se a um relativo fraturamento e conseqüente diminuição de tamanho de seus grãos.

- a biotita quase sempre associada a pequenas quantidades de clorita, tem um comportamento particular durante a alteração do granito. Seus cristais micáceos permanecem no perfil até no horizontes superficiais do solo, sofrendo entretanto, modificações químicas e estruturais ao longo da evolução. Apesar de quase sempre constituírem pequena fração das rochas graníticas, o estudo de sua alteração tem merecido a atenção de muitos pesquisadores, devido sua participação ativa na desagregação das rochas (Robert, 1966, 1970, Pedro, 1959 e Seddoh, 1973).

Os primeiros estádios de alteração dos minerais micáceos são caracterizados por perdas parciais de ferro, ligeira diminuição no índice de refração e variação na coloração, tornando-se mais amarelada. Aos raios X, há uma forte diminuição da reflexão característica da clorita e conservação e mesmo intensificação da reflexão a 10 Å. Este estágio corresponde à formação de hidrobiotita (Gruner, 1934 e Brown, 1951) ou segundo certos autores, de interestratificados ilita-vermiculita.

Em estádios posteriores de meteorização, nos diferentes horizontes da arena e do solo, há uma diminuição acentuada da reflexão basal a 10 Å, correspondendo ao desaparecimento progressivo da hidrobiotita e concomitantemente o aparecimento de raia a 7 Å. A análise térmica destes minerais micáceos confirmou sua transformação total para mineral do grupo da caulinita (Fig. 1). Estudos anteriores sobre o comportamento das biotitas levados a efeito por Seddoh e Robert (1971) em regiões temperadas mostraram o desenvolvimento de cristais de caulinita perpendicularmente a estrutura da mica. Melfi (1967) no estudo de materiais evoluídos sobre granitos em con-

TABELA 2

## Análise Mineralógica Quantitativa do Perfil Estudado

HORIZONTE	QUARTZO	FELDSPATO POTÁSSICO	PLAGIO CLÁSIO	MINERAIS MICÁCEOS	MINERAIS DO GRUPO DA CAULINITA	GIBBSITA	AMORFOS
A <sub>2</sub>	64	18	1	1	15	1	Nd
B <sub>2</sub>	40	22	1	2	24	3	8
C <sub>1</sub>	33	28	2	2	29	1	5
C <sub>5</sub>	38	29	4	1	23	1	4
C <sub>8</sub>	40	34	4	1	16	1	4
D	45	30	18	1	6	tr	Nd
Rf	36	34	29	1	—	—	—

Nd — não determinado

tr — traços

dições tropicais cita também a formação de caulinita nas últimas fases de alteração de biotitas.

- os plagioclásios são os minerais que apresentam menos resistência à ação do intemperismo. Ainda na arena, seu desaparecimento é quase total. São os principais responsáveis pelo alto teor em minerais secundários no material arenizado.

Sua alteração inicia-se nos primeiros estádios da meteorização dos granitos podendo evoluir em duas direções distintas. Uma, relativamente rara neste perfil, dando origem a pequenas quantidades de gibbsita, que se desenvolvem epitaxialmente sobre seus cristais. A quantidade de gibbsita formada é porém tão reduzida, que suas reflexões não são detectadas aos raios X, mas perfeitamente observáveis em secções delgadas.

Mais comum é a alteração para minerais do grupo da caulinita, através de uma fase amorfa (Foto 1). Logo no início da meteorização dos granitos, os plagioclásios passam a exibir ao longo de suas fraturas ou clivagens um material de preenchimento isótropo com comportamento de material amorfo. À medida que a alteração progride estes geles passam a ocupar um maior volume dos plagioclásios evoluindo finalmente no sentido de permitirem no seu seio, a formação de cristaltos de minerais do grupo da caulinita, perfeitamente caracterizados aos raios X e ATD (Fig. 2 e 3).

Os plagioclásios, sobretudo na arena, podem conservar ainda sua forma característica, mas acham-se química e estruturalmente transformados em minerais do grupo da caulinita. Tal fato explica a alta porcentagem de argilo-minerais no material de alteração, em contraste com baixa porcentagem da fração argila.

Os minerais do grupo da caulinita (caulinita s.s., *fireclay*, haloisita e metahaloisita) são muito estáveis nas condições de desenvolvimento do perfil, de modo que sofrem concentrações no material arenizado. Sua relativa diluição no solo, deve estar relacionada a fenômenos de contaminação e remanejamento comuns nos horizontes superficiais.

- os feldspatos potássicos são os constituintes mais importantes das rochas graníticas de Itu. Normalmente seus cristais se mantêm intactos nos primeiros estádios de formação da arena, e permanecem até nos horizontes superiores do perfil, sempre em concentrações relativamente elevadas (Foto 2).

Sua coloração rosa característica é preservada, sendo a modificação mais importante dada pelo desenvolvimento de um importante sistema de fraturamento. De início estas fraturas são simplesmente revestidas por material ferruginoso e somente nos estádios posteriores de alteração começam a se desenvolver os produtos amorfos.

Sua alteração se processa de maneira análoga a dos plagioclásios, diferindo somente no que diz respeito à velocidade de alteração e inexistência de transformação direta em gibbsita.

## Aspectos químicos

A análise da Tabela 3 permite estabelecer o comportamento dos elementos no decorrer

da alteração da rocha granítica.

TABELA 3

## Análise Química Total e Cálculo Isovolumétrico do Perfil Estudado

Rf	D	C <sub>6</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	A <sub>2</sub>
SiO <sub>2</sub>	75,46	75,64	68,44	69,96	66,14	64,96	72,45
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,66	13,35	17,91	16,90	19,94	20,62	14,53
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,55	1,05	0,72	1,26	1,68	1,79	1,64
K <sub>2</sub> O	5,00	5,00	5,71	4,79	4,86	3,74	2,96
Na <sub>2</sub> O	3,53	2,14	0,50	0,53	0,19	0,16	0,14
MgO	0,04	0,04	0,05	0,06	0,17	0,18	0,10
CaO	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03	0,03	0,04
MnO	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,02	0,02
TiO <sub>2</sub>	0,12	0,08	0,22	0,18	0,28	0,28	0,25
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,01	0,03	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,19	0,42	0,70	0,78	1,06	1,45	1,01
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0,35	0,87	3,17	2,68	4,46	4,67	3,92
TOTAL	98,12	99,58	98,54	98,19	99,79	98,88	97,85
-----							
densidade	2,62	2,20	1,60	1,61	1,42	—	—
Quartzo	36	45	40	38	33	—	—
SiO <sub>2</sub> comb.	—	-39,07	-52,02	-50,03	-55,89	—	—
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	-12,39	-13,45	-17,67	-15,69	—	—
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	-0,89	-18,05	+43,75	+75,00	—	—
FeO	—	-0,18	4,08	-34,69	-10,20	—	—
K <sub>2</sub> O	—	-1,97	-28,77	-39,69	-57,78	—	—
Na <sub>2</sub> O	—	-4,50	-91,35	90,81	-97,08	—	—
H <sub>2</sub> O total	—	+102,83	+348,22	+647,51	+450,35	—	—

O sódio, proveniente da hidrólise do plagioclásio, é praticamente eliminado do perfil, já nas primeiras etapas da meteorização do granito. A eliminação do potássio é bem mais moderada, porém progressiva, estando relacionada à alta estabilidade dos feldspatos potássicos.

A eliminação da sílica combinada é moderada, atingindo valores máximos ao redor de 50%, nos horizontes superiores da arena.

A sílica liberada na hidrólise dos feldspatos permanece parcialmente retida no perfil, quer entrando na constituição de produtos amorfos, quer formando os minerais do grupo da caulinita.

O alumínio exibe pequena mobilidade, apresentando em todo o perfil um ligeiro balanço negativo, o qual poderia ser explicado pela existência de valores relativamente baixos de pH (ao redor de 4,5 a 5,0) que favoreceriam a passagem do alumínio para formas mais solúveis.

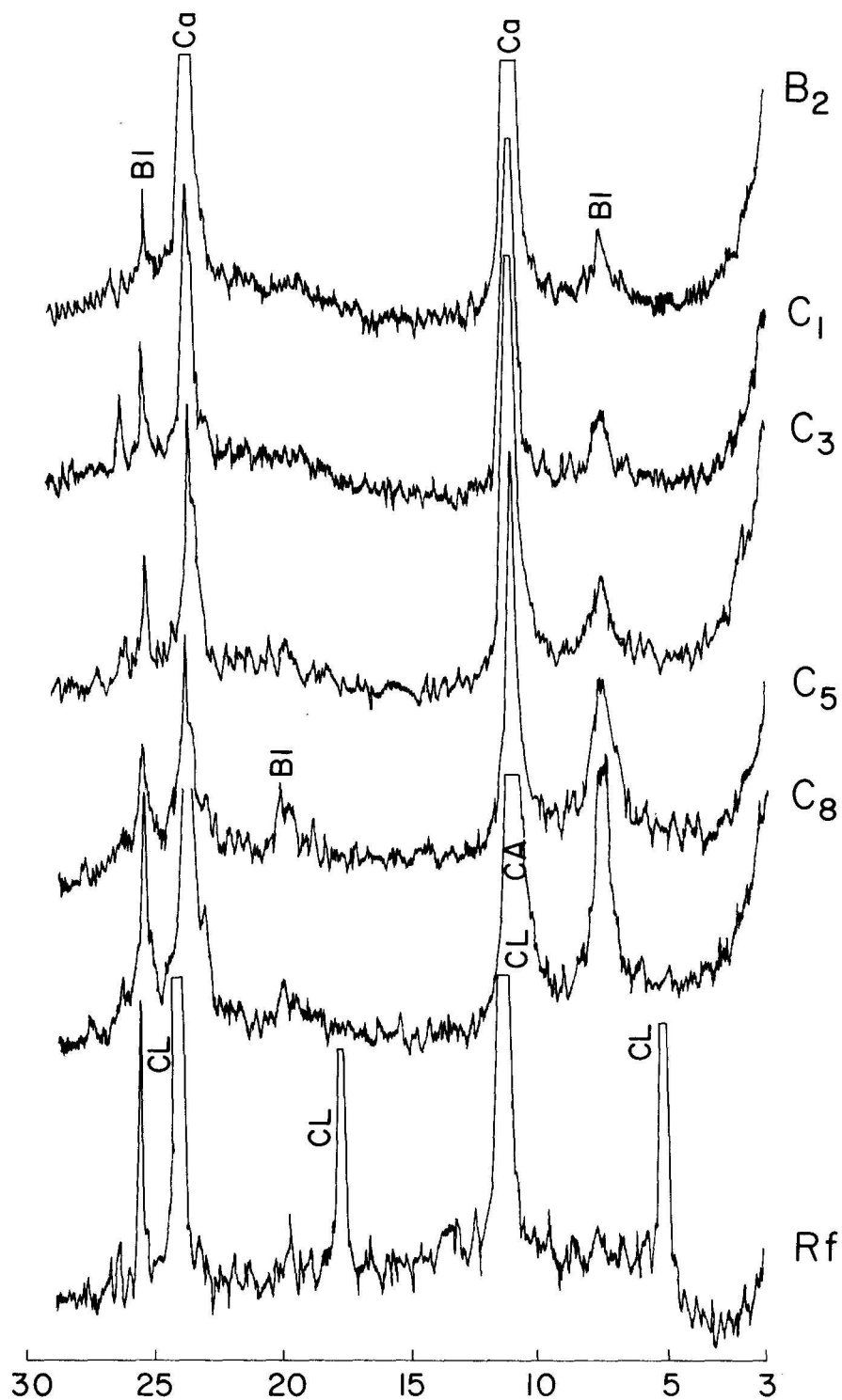


Fig. 1 - Análises difratométricas de micas frescas e alteradas extraídas nos vários horizontes do perfil estudado. BI= Biotita - CL= Clorita - CA= Caulinita.

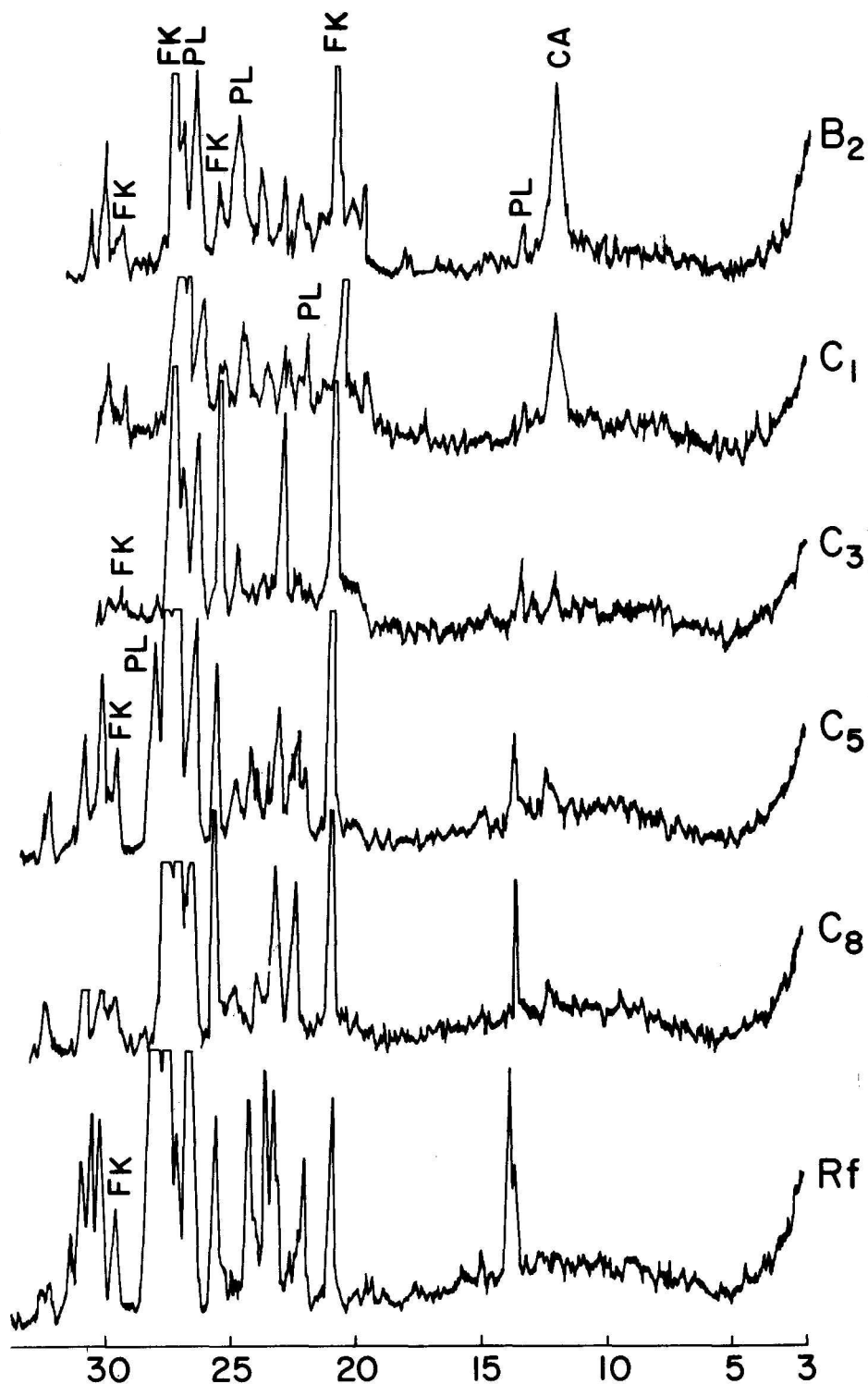


Fig. 2 - Análises difratométricas de feldspatos frescos e alterados extraídos dos vários horizontes do perfil estudado. PL= Plagioclásio - FK= Feldspato Potássico - CA= Caulinita.

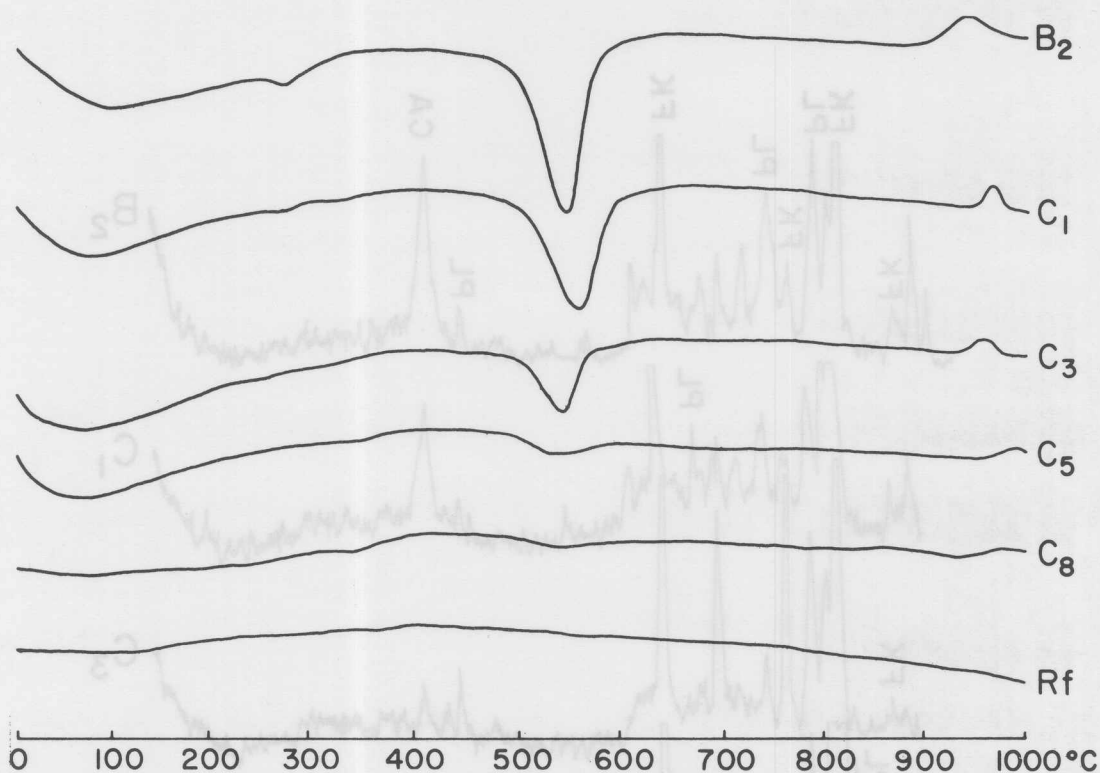


Fig. 3 - Análises térmicas diferenciais de feldspatos frescos e alterados extraídos dos vários horizontes do perfil estudado.

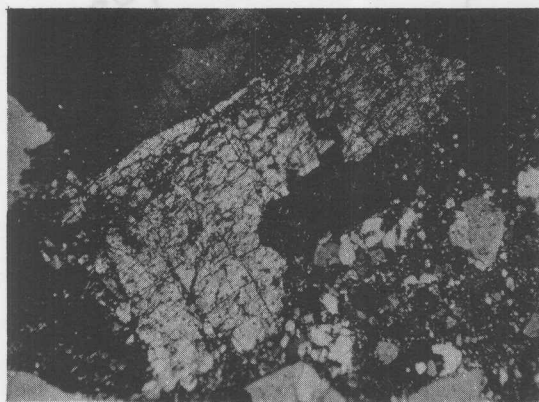


Foto 1 - Fotomicrografia do horizonte D.  
Plagioclásio em vias de alteração. Observa-se a presença de material amorfo (cores escuras) ocupando suas fraturas e clivagens. Nicóis paralelos.

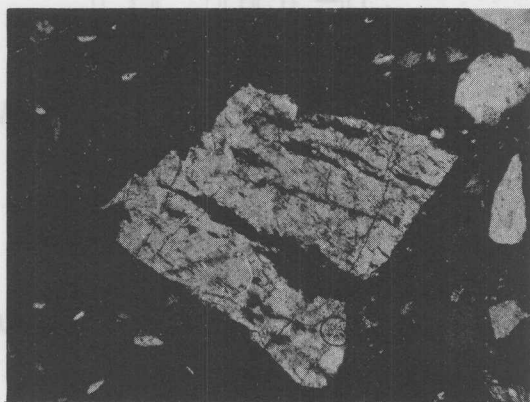


Foto 2 - Fotomicrografia do horizonte B<sub>2</sub>.  
Feldspato alterado. Manchas de material amorfo ocupam sua face em nítida relação com os planos de clivagem. Nicóis cruzados.

### BIBLIOGRAFIA

- BROWN, G. - 1961 - The X identification and cristal structures of clay minerals. London, Mineralogical Society. 535p.
- COLLIER, D. - 1961 - Mise au point sur les processus de l'alteration des granites en pays tempéré. *Annales Agronomiques*, Paris, 12:273.
- DELVIGNE, J. & MARTIN, H. - 1970 - Analyse à la microsonde électronique de l'altération d'un plagioclase en kaolinite par l'intermédiaire d'une phase amorphe. *Cahier ORSTROM*, série Géologie, 11(2).



- GRUNER, J. W. - 1934 - The structure of vermiculites and their collapse by dehydration. *American Mineralogist*, Lancaster, Pa., 19:557-75.
- MELFI, A. J. - 1967 - Intemperismo de granitos e diabásios no município de Campinas e arredores, Estado de São Paulo. [Tese (Dout.) - São Paulo]
- ROBERT, M. - 1966 - Sur la nature des phénomènes de désagregation, d'arenisation et d'alteration chimique, études expérimentales. *Compte Rendu de l'Académie des Sciences de Paris*, Paris, 267:1677-80.
- - 1970 - Etude expérimentale de la désagregation du granite et de l'évolution des micas. 46fig., 48tap., 194p. [Thèse - Paris]
- SEDDOH, F. K. - 1973 - Alteration des roches cristallines du Morvan. (Granites, granophyses, rhyolites). Etude minéralogique, géochimique et micromorphologique. 377p. [Thèse, Dijon]
- & ROBERT, M. - 1972 - Intérêt de l'utilisation du microscope électronique à balayage pour l'étude des micas et de leur évolution (évolution expérimentale et dans de milieu naturel). *Bulletin de la Société Française de Minéralogie et Cristallographie*, Paris, 95:75-83.