

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEOFÍSICAS E GEOLÓGICAS

PESQUISAS MINERALÓGICAS E GEOQUÍMICAS PARA A  
DISTINÇÃO DE BASALTOS INTRUSIVOS E EXTRUSIVOS NO VOGELSBURG  
ALEMANHA FEDERAL

Por :

Elson Paiva de Oliveira

TESE DE MESTRADO EM GEOQUÍMICA

Aprovação da Banca Examinadora :

Roland G. Schwab (Roland G. Schwab)  
Orientador

Asit Choudhuri (Asit Choudhuri)

José Vicente Valarelli (José Vicente Valarelli)

## I N D I C E

	Pag.
RESUMO	i
SUMMARY	ii
ZUSAMMENFASSUNG	iii
1. Introdução . . . . .	1
2. Objetivo do Trabalho . . . . .	4
3. Revisão dos conceitos sobre as possibilidades de caracterização mineralógica e geoquímica de basaltos intrusivos e extrusivos de um complexo vulcânico . . . . .	6
4. Metodologia de Trabalho . . . . .	8
5. Características dos basaltos da sondagem Rainrod I . .	12
5.1. Características químicas . . . . .	16
6. Investigações realizadas . . . . .	20
6.1. Estudos mineralógicos das amostras com evidências de intemperismo . . . . .	20
6.2. Estudos mineralógicos das ocorrências de montmorilonita de origem hidrotermal . . . . .	22
6.3. Estudos geoquímicos das unidades basálticas consideradas intrusivas . . . . .	26
6.3.1. Estudo geoquímico dirigido para diferenciação primária . . . . .	28
6.3.2. Estudo geoquímico dirigido para intemperismo . . . . .	33
7. Conclusões . . . . .	41
8. Agradecimentos . . . . .	43
9. Apêndice: Relação de fotomicrografias . . . . .	44
10. Referências Bibliográficas . . . . .	51

## RESUMO

Em uma sondagem de 450 metros realizada na região central do complexo vulcânico do Vogelsberg, Alemanha Federal, foi encontrado, por vários autores, uma sucessão alternada de basaltos alcalinos e toleíticos, compondo 7 séries em um total de 293 metros. Datações radiométricas posteriores sugerem a existência de duas unidades de basaltos alcalinos intrusivas nos toleíticos e em tufos. Uma dessas, a série 3, apresenta todavia evidências de intemperismo em seu topo.

No presente trabalho foram feitas análises químicas para os elementos maiores e os traços Ni, Co, Cu, Zn, Li e Be, além de determinações mineralógicas por difratometria de raios - x e microscopia óptica, objetivando a caracterização mineralógica e química dos horizontes de intemperismo da sondagem e de possíveis efeitos de diferenciação primária nas unidades consideradas intrusivas.

A associação comum de hematita, montmorilonita e de fragmentos de quartzo nos horizontes de intemperismo, assim como o aumento nos conteúdos de Ni, Co, Cu, H<sub>2</sub>O, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e o decréscimo de Li, Be, FeO, MgO, CaO, da base para o topo, na série 3, mostra que esta unidade esteve exposta à superfície, não podendo ser considerada intrusiva. A outra unidade, na série 5, apresenta evidências de uma diferenciação gravitativa incipiente, mas não mostra variações granulométricas significativas. Apresenta, por outro lado, textura amigdaloidal no topo, sugerindo também uma natureza extrusiva.

## SUMMARY

In a drill hole of 450m made in the central part of the volcanic complex Vogelsberg, West Germany many authors found an alternating sequence of alkali olivinbasalts and tholeiites, consisting of 7 series with a total of 293m. Radiometric age dating suggests that two of the alkali olivinbasalts are intrusive. One of them, serie 3, however shows traces of weathering on its surface.

The present study includes chemical analyses of major and trace elements (Ni, Co, Cu, Zn, Li and Be) as well as mineralogical investigation by means of X-ray diffraction and optical methods. The objective of these analyses was the chemical and mineralogical characterization of the weathering horizons and of the possible effects of differentiation in the units considered intrusive.

The common association of haematite, montmorillonite and quartz fragments in the weathered horizons, as well as the increase of Ni, Co, Cu, H<sub>2</sub>O and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and the decrease of Li, Be, FeO, Mgo and CaO from the bottom to the top of one of the "intrusive units" in serie 3, shows that this unit was exposed to the earth's surface and therefore cannot be considered intrusive. The other alkali olivinbasalt in serie 5 shows incipient gravitational differentiation effects but without significant textural variations. On the other hand there is amigdaloidal texture on its top suggesting also an extrusive nature.

## ZUSAMMENFASSUNG

An einer 450m tiefen Bohrung im vulkanischen Komplex Vogelsberg, Bundesrepublik Deutschland, wurde von mehreren Autoren eine Wechselfolge von Alkali-Olivinbasalten und Tholeiten beschrieben. Die Abfolge der Basalte in der Bohrung besteht aus 7 Serien mit einer Gesamtmächtigkeit von 293m. Nach radiometrischen Altersbestimmungen wurden davon 2 Alkali-Olivinbasalteinheiten als intrusiv gedeutet. Eine dieser Einheiten, die Serie 3, weist jedoch Verwitterungserscheinungen am Hangenden auf.

In der vorliegenden Arbeit wurden Haupt- und Spurenelemente (Ni, Co, Cu, Zn, Li und Be) chemisch analysiert und die mineralogische Zusammensetzung optisch und röntgenographisch bestimmt mit dem Ziel, mögliche Verwitterungshorizonte zu charakterisieren und von primären Differenziationseffekten in "intrusiven Einheiten" zu unterscheiden.

Die Vergesellschaftung von Haematit, Montmorillonit und Quarz-Gerölle in den verwitterten Horizonten zusammen mit einer Zunahme von Ni, Co, Cu, H<sub>2</sub>O und Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> und einer entsprechenden Abnahme von Li, Be, FeO, MgO und CaO von Liegenden bis zum Hangenden in der Serie 3 zeigt, dass diese Einheit Verwitterungseinflüssen an der Erdoberfläche ausgesetzt war und deshalb nicht als intrusiv gedeutet werden kann. Die andere Einheit in Serie 5 zeigt beginnende Gravitationserscheinungen jedoch ohne bedeutsame granulometrische Variationen. Sie weist andererseits Mandelstruktur am Hangenden auf, welches eine Deutung als ebenfalls extrusiv nahe legt.

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1: Sistema de estruturas em rift cortando a Europa Ocidental, e o vulcanismo associado . . . . .	56
Figura 2: Localização da sondagem Rainrod I . . . . .	57
Figura 3: Perfil parcial e esquematizado da sondagem Rainrod I, paleomagnetismo e idades K/Ar . . . . .	58
Figura 4: Perfis lateríticos sobre basaltos . . . . .	59
Figura 5: Variações químicas em relação ao conteúdo do basalto . . . . .	59
Figura 6: Conteúdo da argila, capacidade de troca iônica e concentração de elementos traços nos diversos horizontes de um solo generalizado . . . . .	60
Figura 7: Distribuição de um elemento facilmente e outro menos negativo em uma intrusão . . . . .	61
Figura 8: Classificação das amostras da sondagem Rainrod I no triângulo duplo de Streckeisen . . . . .	62
Figura 9: Variação álcalis-sílica dos basaltos da sondagem Rainrod I . . . . .	63
Figura 10: Diagrama de MgO versus Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /SiO <sub>2</sub> para as amostras da sondagem Rainrod I . . . . .	64
Figura 11: Variações mineralógicas na unidade considerada intrusiva na série 5 . . . . .	65
Figura 12: Variação na composição normativa dos plagioclássios da unidade considerada intrusiva na série 5	66
Figura 13: Variação na composição normativa das olivinas da unidade considerada intrusiva na série 5 . .	66
Figura 14: Variação da composição dos piroxênios na série 5	67
Figura 15: Variações mineralógicas nas amostras estudadas na série 3 . . . . .	68

Figura 16: Variação na composição normativa das olivinas das amostras estudadas na série 3 . . . . .	69
Figura 17: Variação na composição normativa das olivinas das amostras estudadas na série 3 . . . . .	69
Figura 18: Variação da composição dos piroxênios nas amostras estudadas na série 3 . . . . .	70
Figura 19: Distribuição dos óxidos principais nas amostras das séries 3 e 5 . . . . .	71
Figura 20: Distribuição de Ni, Co, Cu e Zn nas amostras estudadas nas séries 3 e 5 . . . . .	72
Figura 21: Distribuição de Li e Be nas amostras estudas nas séries 3 e 5 . . . . .	73
Figura 22: Variação química (iso-alumínio) durante o in temperismo das séries 6 e 3 . . . . .	74
Figura 23: Variação química nas séries 6 e 3 com relação às amostras de basaltos consideradas as mais frescas . . . . .	75
Figura 24: Distribuição de Ni, Co, Cu e Zn nas séries 2, 3 e 6, cujos topos apresentam evidências de intemperismo . . . . .	76

### 1. Introdução:

Durante o Terciário a Europa Central foi palco de uma intensa atividade vulcânica relacionada a um sistema de estruturas em "rift", que se estende desde o sudeste da França até o centro-oeste da Alemanha Federal. O graben do Reno é parte integrante deste sistema, constituindo-se em seu segmento central.

O Vogelsberg, um dos maiores complexos basálticos associados às estruturas acima, localiza-se no extremo norte do graben do Reno, a nordeste da cidade de Frankfurt (fig. 1), e é o representante principal do climax das manifestações vulcânicas ocorridas na Alemanha Federal. Sua idade é miocênica e, segundo Kreuzer et alii (1974), teria se formado em consequência de falhamentos com direções SW-NE e SE-NW. Uma de suas principais características é a repetição múltipla de lavas basálticas de natureza toleítica e alcalina (Ernst et alii 1970; Schorer 1970; Mörtel 1971).

Na região central do Vogelsberg foi realizada, pelo Oberhessische Versorgungsbetrieb, uma sondagem de 450 metros de profundidade (B-31, Rainrod I, fig. 2), a qual apresentou basaltos até a profundidade de 293 metros, seguidos de 30 metros de tufos e o restante de uma sequência de arenitos e argilitos de idade também terciária (Schenk 1970; Ernst et alii 1970; Kreuzer et alii 1974).

A parte basáltica da sondagem tem sido objeto de vários estudos relacionados ao modo de jazimento dos basaltos alcalinos, que também aí se apresentam repetidos e intercalados com basaltos toleíticos, conforme pode ser constatado por Ernst e outros em 1970, através de estudos petrográficos e químicos (tabela 1).

<u>Série</u>	<u>Tipo Litológico</u>	<u>Profundidade (em metros)</u>
7	Olivina basalto alcalino	7 - 79
6	Toleíto	79 - 120
5	Olivina basalto alcalino	120 - 218
4	Toleíto	218 - 243
3	Olivina basalto alcalino	243 - 254
2	Latito	254 - 284
1	Olivina basalto alcalino	284 - 293

Tabela 1: Sequência litológica simplificada da parte basáltica da sondagem Rainrod I segundo Ernst et alii (1970)

A primeira referência ao modo de jazimento dos basaltos acima citados foi feita por Schenk (1965 a) quando da descrição inicial dos testemunhos de sondagem. Este autor observou a presença de brechas nos contatos de capa e lapa dos olivina basaltos alcalinos e atribuiu-lhes, por conseguinte, um caráter intrusivo.

Ernst et alii (1970), apresentando variações no conteúdo de água e na distribuição dos elementos químicos principais, acham difícil explicar os basaltos alcalinos simplesmente como intrusivos. Da mesma forma as medições de paleomagnetismo (Schenk 1970) deixam poucas possibilidades para intrusões, pois até a profundidade de 217 metros vigora uma magnetização normal e somente a partir daí é que se verifica uma inversão no campo magnético.

No ano de 1974 a discussão é reativada com um trabalho de Kreuzer et alii sobre a petrologia e geocronologia (método K/Ar) de alguns basaltos da sondagem Rainrod I. Esses autores concluem que de modo geral há um decréscimo nas idades absolutas da série inferior (série 1) para a superior (série 7) e, que há cerca de 17,1 m.a. e provavelmente também há 16,2 m.a. os basaltos alcalinos e os toleíticos foram gerados praticamente ao mesmo tempo. Os olivina basaltos investigados na série 3 (profundidade de 250,6 m) e na série 5 (profundidade de 174,5 m), com idades absolutas de respectivamente 15,2 e 13,0 m.a. (figura 3), seriam bastante mais jovens do que os demais e portanto considerados como intrusivos.

Recentes pesquisas petrográficas de Ernst (1975, 1976) colocam em dúvida a natureza intrusiva dos dois basaltos acima mencionados. Ernst chama a atenção para a ocorrência de vestígios de intemperismo no topo das séries 3 e 5, onde pôde-se inclusive observar fragmentos de quartzo.

Como argumento adicional contra o caráter intrusivo da série 5, Ernst menciona a ocorrência de leitos tufáceos nesta série, os quais somente poderiam ter sido depositados na superfície terrestre. Segundo Ernst, os seguintes tufos são nitidamente reconhecíveis nesta série:

127,7	-	131,0 m profundidade
140,85	"	
143,4	-	148,0
154,00	"	
157,0	-	161,1
166,0	-	168,0
178,9	-	181,7
184,5	-	195,0
201,1	-	204,2

Como explicação para a geocronologia (método K/Ar) de Kreuzer et alii (1974), Ernst faz referência a numerosos microporos contidos naqueles basaltos, os quais em grande parte se acham preenchidos por zeólitas. O processo de zeolitização, posterior à consolidação dos basaltos, poderia conduzir a falsas idades absolutas (no caso mais jovens), resultando consequentemente em interpretações duvidosas. Neste contexto corroboram com os argumentos levantados por Ernst algumas observações recentes de Harre et alii (1975) ao realizarem datações radiométricas em outros basaltos do Vogelsberg pelo mesmo método K/Ar.

## 2. Objetivos do Trabalho

Como visto anteriormente, o problema se resume ao confronto de dois pontos de vista diferentes com respeito à ordem cronológica dos eventos responsáveis pela formação das várias unidades basálticas no antigo vulcão Vogelsberg. Por um lado defende-se o caráter intrusivo dos olivina basaltos alcalinos e, por outro, o extravasamento normal dos mesmos.

Schenk (1964) sugeriu os seguintes critérios para distinguir os basaltos intrusivos e extrusivos do Vogelsberg:

1. Presença de brechas na base e no topo do corpo intrusivo;
2. Formação hidrotermal simultânea de silex e "bolus" (mistura argilosa constituída principalmente de montmorilonita) na base e no topo da intrusão.

A formação da montmorilonita pode-se dar contudo tanto hidrotermal quanto por intemperismo (Tröger 1969), parecendo-nos assim necessário reunir informações que nos possibilitem definir a natureza particular da montmorilonita (se formada por intemperismo ou por processos hidrotermais) e a dos minerais a ela associados.

Geoquimicamente dispõe-se de recursos capazes de oferecerem informações quanto à natureza intrusiva do magma. Caso se trate de uma intrusão, com consequente resfriamento lento no centro do corpo, pode-se supor que ocorra pelo menos uma pequena diferenciação gravitativa dos elementos químicos, de forma semelhante àquelas descritas por Bowen (1928), Tiller (1959), Greenland and Lovering (1966) e Kuno (1968).

Tratando-se por outro lado de uma fusão basáltica que se consolidou na superfície da terra e que permaneceu exposta um certo tempo às condições geológicas correspondentes, é provável que se encontre tanto evidências de intemperismo quanto ocorrências de materiais estranhos às rochas em questão. Com efeito, na região do Vogelsberg já são conhecidas, há algum tempo, ocorrências de pa-

leossolos lateritizados (Schenk 1965 b, c; Wirtz 1965; Schellmann 1966; Cabral 1973) e com raízes (Hummel 1939).

O objetivo deste trabalho é portanto o de obter informações mineralógicas e geoquímicas que possam contribuir no estudo do jazimento (caráter intrusivo ou extrusivo) dos dois níveis de basaltos da sondagem Rainrod I, considerados intrusivos por Kreuzer et alii (1974), ou seja, aqueles da série 3 e da série 5.

3. Revisão dos conceitos sobre as possibilidades de caracterização mineralógica e geoquímica de basaltos intrusivos e extrusivos em um complexo vulcânico.

Segundo Loughnan (1969), o intemperismo de rochas basálticas conduz à formação de minerais de argila e ao enriquecimento simultâneo de determinados minerais ricos em ferro, como a hematita e goethita. Entre os minerais de argila, a montmorilonita é o primeiro a se formar. Com o aumento da lixiviação ela cede lugar à caolinita, que por sua vez pode ser sucedida pela bauxita, desempenhando o clima um papel bastante importante neste desenvolvimento.

Com respeito aos elementos químicos principais, o intemperismo em rochas básicas provoca um decréscimo nos conteúdos de CaO, MgO, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, FeO e SiO, assim como um enriquecimento em Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Craig and Loughnan 1964; Schellmann 1964; Cabral 1973), como pode ser observado nas figuras 4 e 5. O alumínio e o titânio sofrem um aumento relativo aparente pois em termos absolutos são considerados imóveis durante o intemperismo.

Se a montmorilonita está presente, ela pode então com base em sua alta capacidade de troca iônica (Loughnan 1969, p. 41), adsorver uma grande quantidade de elementos traços como Cu, Co, Ni e Zn, e em contraste com a rocha fresca original enriquecer o horizonte de intemperismo nesses elementos. Tal efeito pode ser melhor visualizado na Figura 6, onde estão representados o conteúdo de argila, a capacidade de troca iônica e a concentração de elementos traços em um perfil de solo generalizado.

Os horizontes de intemperismo podem portanto ser caracterizados por um comportamento particular dos elementos químicos principais e, caso ocorram minerais de argila, também pelo enriquecimento de determinados elementos traços, cuja ordem de grandeza depende do estágio alcançado no processo de intemperismo.

No caso de uma intrusão, têm-se em geral o resfriamento simétrico e lento da superfície de contato para o centro do corpo, o que pode resultar em uma cristalização fracionada das bordas para o interior da camada, superposta eventualmente por uma diferenciação gravitativa. Deve-se ter portanto um fracionamento simétrico mais ou menos definido, acompanhado porém do enriquecimento relativo, nas partes superiores da intrusão, de minerais situados mais baixo na série de cristalização de Bowen, tais como plagioclásios sódicos, feldspatos alcalinos e quartzo. Na base da intrusão deve-se observar por outro lado um aumento na percentagem dos minerais situados mais alto na mesma série de Bowen, como olivinas, piroxênios e plagioclásios cárquicos.

No que se refere à distribuição dos elementos químicos maiores, Walker (1940), Yagi (1953) e Wilkinson (1958) mostraram que aqueles mais fugitivos (Na, K, etc..) enriquecem-se no topo da intrusão e os menos fugitivos (Mg, Ca, etc...) na base.

Os elementos traços apresentam por sua vez um comportamento semelhante em intrusões do tipo ora em questão. Wager and Mitchell (1951), Tiller (1959), McDougall and Lovering (1963) constataram um decréscimo em Ni e Co com o aumento na diferenciação de rochas básicas. Li e Be enriquecem-se por outro lado no líquido residual. Com o resfriamento simétrico aguarda-se um conteúdo relativamente maior de Ni, Co e Mg nas zonas de contato e de Be e Li no centro do corpo intrusivo. À essa distribuição ideal podem associar-se modificações por diferenciação gravitativa, de forma que na base ocorra um acréscimo em Ni, Co e Mg, e no topo um aumento em Li e Be. Esse comportamento aparece esquematizado na figura 7, convindo enfatizar que ele só é válido quando ocorre efetivamente uma diferenciação no corpo intrusivo e não quando o resfriamento é rápido, apresentando em consequência uma distribuição homogênea dos elementos.

#### 4. Metodologia de Trabalho

As amostras selecionadas para o estudo a que esse trabalho se propõe, estão relacionadas na tabela 2, perfazendo um total de 50 espécimes. Dentre estas, seis correspondem aos horizontes de intemperismo identificados por Ernst (1976), dez às duas unidades de olivina basaltos consideradas intrusivas por Kreuzer et alii (1974), e o restante a amostras adicionais para a caracterização petrográfica e petroquímica dos basaltos da sondagem, ou então para a comparação mineralógica e química com as amostras intemperizadas.

A escolha do intervalo de 169,00 a 176,15 m de profundidade como sendo a espessura aproximada da unidade intrusiva na série 5, foi feita sabendo-se que a amostra datada por Kreuzer situa-se à profundidade de 174,50 m e que as amostras 3004 e 3011, localizadas a 168,00m e 178,90 m respectivamente, são macroscopicamente reconhecíveis como tufos.

Devido à falta de maiores informações quanto as dimensões das amostras, a profundidade destas será sempre referida, ao longo deste trabalho, como sendo pontual. Cabe na oportunidade também mencionar que nem todas as amostras desejadas para a execução satisfatória do trabalho se encontravam à disposição no Instituto Mineralógico de Erlangen, Alemanha Federal, onde foi realizada esta pesquisa.

As investigações mineralógicas foram desenvolvidas em duas etapas: em primeiro lugar os minerais foram identificados através de suas propriedades ópticas e com ajuda do método de contraste de fases; em seguida confirmou-se a mineralogia por meios roentgenográficos, utilizando-se um refratômetro Philips com radiação  $Cu_{k\alpha}$ . Como líquidos de imersão foram empregadas misturas de butilcarbitol ( $n \approx 1,43$ ),  $\alpha$ -bromonaftalina ( $n \approx 1,66$ ) e diodometaano ( $n \approx 1,75$ ). Como o índice de refração dos líquidos varia inversamente com a temperatura, verificou-se

Série	Amostra Nr.	Profundidade (m)	Descrição
7	4510	10,20	Olivina basalto
	2211	15,50	Olivina basalto
	2212	19,50	Olivina basalto
	4519	35,40	Olivina basalto
	2219	50,50	Olivina basalto
	2224	68,30	Tufo
	2225	73,80	Olivina basalto
6	2226	78,90	Paleossolo lateritizado
	2946	79,30	Paleossolo lateritizado
	2227	80,40	Toleito
	2948	82,00	Toleito
	2229	85,45	Toleito
	2951	85,50	Toleito
	2956	92,40	Toleito
5	2233	98,10	Toleito
	2237	114,75	Toleito
	2973	120,00	Paleossolo lateritizado
	2977	127,70	Olivina basalto
	2247	162,50	Olivina basalto
	3004	168,00	Tufo
	3005	169,00	Olivina basalto vesicular
4	2248	170,60	Olivina basalto
	3006	172,00	Olivina basalto
	3008	174,00	Olivina basalto
	3009	175,00	Olivina basalto
	2249	176,15	Olivina basalto
	3010	177,50	Olivina basalto vesicular
	2250	178,50	Olivina basalto
3	3011	178,90	Tufo
	3012	179,00	Tufo
	2287	218,40	Toleito
	2286	221,30	Toleito
	2292	233,60	Toleito oxidado
	2294	237,20	Toleito
	3501	240,40	Toleito
2	2296	241,55	Toleito
	2297	243,40	Olivina basalto intemperizado
	2300	248,10	Olivina basalto
	2472	252,60	Olivina basalto
	2473	253,70	Olivina basalto com xenólitos
	3040	254,50	Latito intemperizado
	2475	262,05	Latito poroso
1	2476	264,20	Latito poroso
	2479	268,95	Latito poroso
	3048	283,00	Latito poroso
	3049	284,00	Olivina basalto
	3050	285,00	Olivina basalto
tufo basal	3053	288,00	Olivina basalto
	3055	290,00	Olivina basalto
	3057	292,00	Tufo intemperizado

Tabela 2: Relação das amostras investigadas na Sondagem Rainrod I.

sempre seus valores com um refratômetro tipo Abbe antes de se efetuar as medições. Na interpretação dos diagramas de Raios - X foram utilizados dados contidos na literatura (ASTM 1967; Tröger 1969, 1971). As amostras de minerais de argila foram preparadas para a determinação roentgenográfica, observando-se a seguinte ordem: o pó do mineral é colocado em uma lâmina de vidro, saturado com algumas gotas de uma solução 10% de  $MgCl_2$ , e finalmente deixado em repouso, em temperaturas ambiente, até secar. Como medida de proteção a amostra foi coberta com um vidro de relógio. O preparado assim obtido foi então tratado com vapores de etilenoglicol durante aproximadamente uma hora e a cerca de 60 graus centígrados, conforme recomendações de Walker (1958) e Müller (1964). Assim procedendo, obtem-se uma melhor distinção entre a montmorilonita e a vermiculita, que apresentam o mesmo deslocamento do reflexo basal, quando tratadas com glicol. O esquema de identificação utilizado para as argilas foi aquele sugerido por Warshaw and Roy (1961).

O material estudado nas amostras intemperizadas e em outras foi extraído diretamente da amostra de mão com a ajuda de um estilete de aço e de uma lupa binocular.

Para as análises químicas, as amostras foram inicialmente pulverizadas até cerca de  $50 \mu m$  e em seguida preparadas conforme os elementos a serem analisados. A sílica foi aberta com uma mistura alcalina e determinada por gravimetria. O ferro bivalente e trivalente foram analisados por colorimetria, após a abertura ácida em um autoclave com atmosfera neutra de nitrogênio. Os outros componentes investigados, tais como  $TiO_2$ ,  $P_2O_5$ ,  $Al_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $CaO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ , Ni, Co, Cu, Zn, Li e Be foram preparados com a mesma mistura ácida acima e determinados por colorimetria ( $TiO_2$  e  $P_2O_5$ ), emissão de chama ( $Na_2$  e  $K_2O$ ) e por absorção atômica (todos os demais). Exceto para os elementos Li e Be, já se dispunha no Instituto das curvas padrões de determinação.

O cálculo da composição normativa dos basaltos foi feito em uma calculadora programada da Hewlett-Packard modelo 9830 A e segundo as regras adaptáveis a um computador, propostas por Hutchison ( 1975 ).

## 5. Características dos Basaltos da Sondagem Rainrod I

Com base em investigações petrográficas de Ernst (1970), Schorler (1970) e Ernst (1975, 1976), e após observações complementares realizadas pelo autor, as rochas basálticas que compõem as sete séries da Sondagem Rainrod I podem ser caracterizadas da seguinte forma:

### Série 1: 284 a 292 metros de profundidade.

Esta série é representada por um só derrame de olivina basalto alcalino porfirítico (fotomicrografias 1 e 2). Os fenocristais presentes são de titanoaugita idiomórfica, olivina e óxidos de ferro, provavelmente hematita e magnetita, estes em parte com formas dendríticas e cúbicas. A granulometria dos fenocristais varia desde pouco menos que 1 mm até 1 cm. A titanoaugita se apresenta idiomórfica, com coloração distinta (pleocroísmo oscilando de marrom alaranjado a marrom violeta) e às vezes também com um arranjo zonado. A olivina aparece normalmente bastante alterada em serpentina e talco. O ângulo 2V, nos grânulos mais frescos, é grande (85-90°), indicando um alto conteúdo do componente forsterita.

A massa fundamental é de granulação afanítica fina (segundo terminologia de Williams, Turner e Gilbert 1970) e que nunca se apresenta fresca. Mineralogicamente é constituída de ripas alteradas de plagioclásio (composição normativa An 58-64), titanoaugita hipidiomórfica, óxidos de ferro com forma predominantemente cúbica, e olivina (esta frequentemente alterada em serpentina). Em algumas partes da matriz também se observa material dendrítico e capilar que poderia representar antiga massa vítreia.

Os poros, que esporadicamente aparecem na matriz, estão preenchidos principalmente por calcita, montmorilonita, clorita, chabasita e philipsita.

Série 2: 254 a 284 metros de profundidade.

Como na série 1, esta unidade parece ser constituída de um único derrame, desta feita com uma espessura bem maior.

A série 2 possui uma granulometria afanítica fina e apresenta-se bastante porosa nas partes superiores (254,5 a 268,4 m) e nas inferiores (282,0 a 283,45 m). Uma zona central mais densa e mais fina (270,8 a 281,0 m) separa as duas outras. As rochas são de modo geral bastante semelhantes, são claras e constituídas principalmente de feldspatos. Os piroxénios são na sua maioria muito pequenos, idiomorfos e levemente esverdeados, indicando um certo conteúdo de aegirina. A textura é porfírica, porém com poucos fenocristais. Estes são de plagioclásios (An 20-35, segundo método de Michel-levy), anfibólio com bordas de óxidos de ferro ou totalmente substituído por estes, raros grânulos de augita e magnetita. O anfibólio é marrom, apresenta fórmula pleocróica  $x > y > z$  e extinção  $c \wedge x \approx 90^\circ$ , tratando-se provavelmente de riebeckita. Alguns cristais de alcalifeldspatos são também observáveis.

A matriz é constituída principalmente de plagioclássio (An 35-45) intertecido com sanidina. Adicionalmente aparecem augita e olivina idiomórficos, magnetita, apatita e um material semelhante à serpentina. A olivina se acha quase sempre substituída por serpentina e óxidos de ferro. Os poros estão preenchidos por zeólitas e montmorilonita (fotomicrografia 3).

Embora não se tenha podido determinar a percentagem de plagioclásios no total de feldspatos, devido a granulometria da rocha e à alteração dos plagioclásios (fotomicrografia 4), as rochas dessa série podem ser classificadas, com base na quantidade normativa destes constituintes, como latitos a traquibasaltos.

Série 3: 243 a 254 metros de profundidade.

Essa série corresponde também a um único fluxo de lava. Todas as amostras representam olivina basaltos alcalinos, porfíriticos e de granulação afanítica fina. A titanoaugita, com fortes efeitos de dispersão e arranjo zonado, predomina nitidamente entre os fenocristais, aparecendo ainda alguma olivina alterada em serpentina e talco (fotomicrografia 5) ou com bordas marrom alaranjadas de idingsita (fotomicrografia 6). A massa fundamental é bastante fina e constituída de ripas de plagioclásio (An 54-73 normativo), normalmente alteradas no centro, titanoaugita idiomórfica, e em menor quantidade olivina e óxidos de ferro, estes com formas cúbicas. Os poros observados estão preenchidos por argilominerais e zeólitas.

Série 4: 218 a 254 metros de profundidade.

Se esta série é constituída de um ou mais derrames ainda não foi possível definir. A amostra 2292 (233,6 m de profundidade), apresentando cor vermelha amarronzada e contendo essencialmente hematita e plagioclásio, separa provavelmente dois fluxos de lava.

As amostras estudadas são porfiríticas e de granulação afanítica fina, sendo os fenocristais principalmente de plagioclássios (An 40-60), e de bronzita ( $2V_x = 80-70$ , birrefringência  $\approx 0,009$ ), além de augita e olivina esporadicamente. A olivina se apresenta totalmente substituída por óxido de ferro e idingsita. A massa fundamental é constituída de ripas de plagioclásio (An 35-50), augita idiomórfica, magnetita, hematita, olivina substituída por material de cor vermelha e de uma massa semelhante à serpentina.

Série 5: 120 a 217 metros de profundidade.

Esta série compreende várias unidades de olivina basaltos alcalinos porfiríticos, separados uns dos outros por horizontes tufáceos (fotomicrografia 7) ou por zonas escoriáceas e porosas, como citado na introdução deste trabalho.

Todos os basaltos da série 5 são porfiríticos, de granulação afanítica fina, e com bastante fenocristais de olivina (Fo 80-85), às vezes com bordas de idingsita. Associado à olivina aparecem sempre fenocristais de titanoaugita, porém em menor quantidade.

Nas amostras mais cristalizadas, a matriz é constituida de titanoaugita idiomórfica, às vezes com estrutura em ampulhetta, óxidos de ferro com forma cúbica, olivina magnesiana frequentemente alterada em serpentina e idingsita, e ripas de plagioclásio (An 55-65 normativo). Observa-se, além disso, algumas zonas claras e isotrópicas que podem ser compostas de material vítreo. Os poros presentes acham-se preenchidos por philipsita, chabasita e argilominerais.

Série 6: 79 a 120 metros de profundidade.

Esta série é representada por basaltos toleíticos, a maioria deles porosos e fortemente oxidados. A sua subdivisão em quatro derrames pode ser feita com base em zonas de rochas bastante oxidadas, que apresentam a massa fundamental pouco cristalizada.

As amostras desta série são de granulação afanítica fina, porosas e às vezes porfiríticas. O ortopiroxênio bronzita aparece frequentemente como fenocristal. A olivina bastante oxidada e com coloração marrom alaranjado (fotomicrografia 8), a augita, pi-geonita e ripas idiomórficas de plagioclásio (An 30-35) compõem a matriz em um arranjo quase ofítico. Os opacos não ocorrem com formas distintas, mas sim com hábito dendrítico e ocupando interstícios. Os poros, por sua vez, aparecem preenchidos principalmente por chabasita.

Série 7: 10 a 79 metros de profundidade.

A série 7 é composta de olivina basaltos alcalinos porfiríticos e finos, separados por pelo menos três horizontes tufaceos e escoriáceos (fotomicrografia 9). O primeiro situa - se a 31,85 m, o segundo a 55,45 m e o terceiro entre 64,8 m e 69,2 m. Uma outra zona semelhante separa a série 7 da 6.

Os fenocristais são de titanoaugita e olivina magnesiana ( $2V_x = 80-85$ ). Esta apresenta frequentemente bordas de idingsita e alterações para serpentina nas fraturas. A titanoaugita aparece com zoneamento característico, forte dispersão r > v e, às vezes, também com estrutura em ampulheta (fotomicrografia 10).

A massa fundamental é composta de titanoaugita idiomórfica, óxido de ferro com forma cúbica, olivina com bordas de idingsita ou totalmente substituída por esta, ripas de plagioclásio (An 55-75 normativo), chabasita e às vezes massas isotrópicas (vidro ?). Os poros e vesículas estão eventualmente ocupados por argilominerais, chabasita e zeólitas fibrosas.

### 5.1. Características químicas:

Vinte e nove análises químicas (tabela 3) foram consideradas para a caracterização das rochas basálticas da sondagem Rainrod I.

Devido às dificuldades inerentes ao estudo mineralógico de rochas ígneas de granulação muito fina, tais como a presença de vidro, alterações e substituições, preferiu-se classificar as amostras selecionadas com base em suas composições mineralógicas normativas. Assim, verifica-se que (Tabela 4 e figura 8) a maioria das amostras investigadas apresenta quartzo ou nefelina normativos, às vezes em quantidades próximas a 10%. A classificação dessas rochas no triângulo duplo de Streckeisen (1967) varia de basaltos propriamente ditos até quartzo latito-basalto e nefelina latito-basalto, ou mesmo tefrito fonolítico. A presença de quartzo ou nefelina na norma e a não observação desses minerais nas lâminas delgadas pode ser devida, em parte, à granulação bastante fina das rochas, assim como ao conteúdo relativamente elevado de água (perda ao fogo=PF) verificado nesses basaltos. De fato, grande parte das amostras estudadas apresenta efeitos de alteração deutérica.

Em diagrama ácalis-sílica (figura 9), os basaltos da sondagem Rainrod I se concentram em três campos distintos, ou seja, aquele dos olivina basaltos com baixo conteúdo de sílica, o dos latitos com conteúdo mais elevado de sílica e ácalis, e o outro in-

Amostra Nr.	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Perda ao Fogo (PF)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
2211	41,06	2,98	11,35	11,22	1,19	10,12	12,83	1,68	0,59	6,38	0,67
2212	41,10	2,66	11,85	8,55	3,15	12,69	12,67	2,30	0,85	3,57	0,59
2219	43,66	2,87	13,26	5,32	6,03	11,54	11,27	2,63	0,82	2,92	0,50
2225	42,02	2,83	12,10	7,15	4,89	12,50	11,61	1,70	0,89	3,98	0,64
2227	51,66	1,89	13,72	3,94	6,79	7,75	7,67	3,41	0,40	2,89	0,33
2229	49,23	1,46	12,47	6,80	4,04	7,61	7,18	2,90	0,37	7,22	0,63
2233	52,65	2,05	13,55	4,04	5,84	7,48	7,94	3,39	0,40	2,40	0,20
2237	50,12	2,10	12,88	3,75	6,28	7,58	7,49	3,75	0,50	5,49	0,53
2247	42,81	1,94	11,31	6,18	5,61	12,58	11,87	2,48	0,56	3,03	1,00
3005 +	40,50	2,16	11,54	9,41	3,00	10,97	12,10	1,34	1,26	7,40	0,94
2248	41,30	1,97	11,39	7,58	4,75	12,02	12,33	3,10	0,54	4,60	0,92
3006 +	42,10	2,16	11,25	8,38	3,96	11,74	11,72	2,75	1,04	4,34	0,91
3008 +	42,46	2,28	11,40	7,46	4,28	12,14	11,77	3,01	1,20	3,29	0,90
3009 +	42,05	2,10	11,30	5,77	5,84	12,73	11,94	3,01	0,94	3,49	0,95
2249	41,79	2,24	10,96	7,68	5,06	12,60	11,92	2,60	0,89	3,28	0,93
2250	41,54	2,92	11,36	7,58	4,74	11,88	12,50	2,29	0,83	3,84	0,90
2287	48,58	2,62	15,80	9,51	2,02	4,30	7,74	3,20	0,87	4,93	0,72
2286	50,37	2,35	14,86	7,03	2,78	6,25	7,25	3,44	1,30	4,38	0,53
2294	51,41	2,23	12,82	4,08	6,38	6,87	8,32	4,83	0,63	2,01	1,10
2296	49,98	2,03	13,00	5,88	4,55	7,69	8,39	3,08	0,72	4,11	0,53
2300	45,43	2,07	12,32	4,87	6,17	10,26	10,57	3,08	1,47	2,98	0,94
2472	44,81	2,99	12,25	4,08	6,65	10,74	9,95	2,66	1,37	3,44	0,74
2473	45,91	2,32	13,86	4,57	5,86	7,86	10,55	2,70	1,72	4,44	0,74
2475	52,23	1,94	17,15	5,03	1,76	1,89	5,71	4,02	3,22	5,86	0,64
2479	54,13	2,07	17,43	4,57	2,46	1,78	5,95	4,23	3,40	2,35	0,76
3048	53,42	1,88	16,24	6,62	1,27	2,79	4,45	4,18	4,40	4,19	0,67
3049	40,23	4,40	12,46	9,03	6,11	7,41	8,23	1,83	0,95	8,70	0,54
3050	38,96	5,02	13,03	8,81	6,53	7,53	9,83	2,05	0,65	7,84	0,65
3053	36,43	5,02	12,10	8,87	6,45	8,09	10,92	2,08	0,67	6,26	0,77

Tabela 3: Análises químicas das amostras selecionadas para a caracterização geoquímica dos basaltos da sondagem Rainrod I. Análises por Ernst et alii (1970) e Elson Paiva de Oliveira (+).

Amostra Nr.	Q	OR	AB	AN	NE	EN	FS	FO	FA	MT	HM	IL	TN	AP	DI
2211	-	3,72	15,17	23,14	-	2,04	-	8,83	-	-	11,97	2,68	4,34	1,69	26,42
2212	-	5,21	6,14	20,22	7,60	-	-	12,61	-	2,53	7,12	5,24	-	1,45	31,38
2219	-	4,95	15,51	22,42	3,91	-	-	13,03	0,97	-	5,57	-	-	1,21	24,57
2225	-	5,46	14,14	23,61	0,43	-	-	14,59	-	7,84	2,01	5,58	-	1,57	24,76
2227	3,79	2,42	29,57	21,47	-	15,32	4,84	-	-	5,85	-	3,68	-	0,80	12,26
2229	9,17	2,36	26,46	21,48	-	15,93	-	-	-	9,48	0,80	2,99	-	1,61	9,73
2233	5,91	2,42	29,40	21,09	-	13,53	2,91	-	-	6,00	-	3,99	-	0,49	14,26
2237	2,03	3,11	33,40	17,72	-	14,53	3,82	-	14,20	1,00	-	5,72	-	4,20	1,32
2247	-	3,43	16,12	18,75	3,06	-	-	-	11,81	-	9,30	-	3,82	-	2,46
3005	-	7,98	11,94	23,32	0,12	-	-	-	-	-	3,65	7,57	4,40	-	2,39
2248	-	3,33	10,73	16,23	9,00	-	-	-	11,43	-	10,00	1,00	3,90	-	2,27
3006	-	6,40	12,45	15,91	6,38	-	-	-	11,61	-	6,77	4,06	4,27	-	2,24
3008	-	7,31	10,04	14,49	8,79	-	-	-	11,82	-	7,41	2,58	4,47	-	2,20
3009	-	5,75	8,61	15,05	9,60	-	-	-	13,48	1,17	8,65	-	4,13	-	2,33
2249	-	5,44	11,47	16,14	6,11	-	-	-	12,94	-	10,15	0,94	4,40	-	2,28
2250	-	5,08	11,11	18,91	4,85	-	-	-	11,55	-	7,05	2,98	5,74	-	2,21
2287	7,65	5,39	28,38	27,44	-	8,88	-	-	-	-	9,97	4,47	0,96	-	1,79
2286	4,64	7,99	30,26	22,11	-	11,97	-	-	-	-	2,23	5,77	-	-	5,07
2294	-	3,77	41,39	11,59	-	6,87	1,87	2,53	0,76	-	5,99	-	-	-	1,31
2296	5,56	4,44	27,18	20,36	-	13,00	0,10	-	-	-	8,89	-	-	-	9,09
2300	-	8,93	19,39	15,89	4,02	-	-	-	11,23	1,89	7,26	-	4,04	-	2,29
2472	-	8,41	20,88	18,11	1,35	-	-	-	13,07	2,10	6,14	-	5,90	-	22,22
2473	-	10,57	22,48	21,45	0,69	-	-	-	7,97	1,42	6,89	-	4,58	-	1,82
2475	4,64	20,32	36,33	20,55	-	3,14	-	-	-	-	0,05	5,34	3,94	-	22,11
2479	4,71	20,75	36,97	19,14	-	2,33	-	-	-	-	1,99	3,35	4,06	-	1,62
3048	1,65	27,10	36,86	13,08	-	5,92	-	-	-	-	6,90	2,80	1,20	-	4,08
3049	2,07	6,15	16,97	25,19	-	14,57	-	-	-	-	7,61	4,65	9,16	-	1,86
3050	-	4,13	18,63	26,24	-	6,75	-	-	-	-	6,98	4,65	10,24	-	4,84
3053	-	4,33	13,23	23,73	3,26	-	-	-	7,85	-	6,82	5,00	10,43	-	2,85

Tabela 4: Composição normativa das amostras selecionadas para a caracterização geoquímica dos basaltos da sondagem Rainiod I.

termediário, representando os basaltos toleíticos. No caso desses últimos, três amostras da série 6 situam-se no lado dos toleítos propriamente ditos e quatro da série 4 situam-se no lado dos basaltos alcalinos, indicando com isso que essa série não representa uma série toleítica típica, mas sim um tipo intermediário.

A série 6, assim como a 4, por conterem ortopiroxênio (bronzita) e apresentarem quantidades relativamente altas de titânio para um toleíto, podem, em última instância, serem classificadas como intermediárias entre toleítos e basaltos alcalinos.

Em diagrama  $MgO$  versus  $Al_2O_3 / SiO_2$  (figura 10) as amostras estudadas apresentam, de modo geral, um caráter transicional entre a série toleítica e a alcalina. Uma frequência de pontos um pouco maior nas proximidades da linha representativa da série toleítica é nitidamente perceptível. Da mesma forma que no diagrama álcalis-sílica, três amostras da série 4 (tomeítica) localizam-se entre os basaltos toleíticos e alcalinos, evidenciando assim a sua natureza intermediária.

## 6. Investigações Realizadas:

### 6.1. Estudos mineralógicos das amostras com evidências de intemperismo

Na sondagem Rainrod I Ernst (1975, 1976) identificou os seguintes níveis de amostras com evidências de alteração intemperista:

<u>Série</u>	<u>Amostra Nr.</u>	<u>Profundidade (m)</u>
6	2226	78,9
6	2946	79,3
5	2973	120,0
3	2297	243,4
2	3040	254,5
tufo basal	3057	292,0

Essas amostras intemperizadas, às vezes intensamente pigmentadas de vermelho, aparecem sempre nas partes superiores das séries e distinguem-se perfeitamente dos tufos. Na maioria delas pode-se observar massas vermelhas de montmorilonita e um alto conteúdo de quartzo. Este, por seu aspecto arredondado a sub-arredondado e às vezes mostrando extinção ondulante, não se deve tratar de quartzo originário do basalto, mas provavelmente introduzido naquele material por transporte aquático ou dispersão eólica, conforme sugerido por Ernst (1976).

Nas amostras 2226 e 2946, na série 6, o quartzo está situado em uma massa vermelha fortemente oxidada, constituída principalmente de hematita e montmorilonita amarronzada (vide tabela 5). Em quantidades menores aparecem também fragmentos de basalto, piroxênio e plagioclásio.

A amostra 2973, no topo da série 5, acha-se também bastante alterada e constituída principalmente de quartzo e montmorilonita (tabela 6). Alguma augita e limonita residual puderam também ser observadas tanto ao microscópio quanto em difratograma. Neste, os reflexos se apresentam porém pouco resolvidos.

Montmorilonita	Hematita	Quartzo				
$n_d \approx 1,50$		$1,543 < n_d < 1,550$				
$d(\text{\AA})$	$hkl$	$I/I_{\text{Io}}$	$d(\text{\AA})$	$hkl$	$I/I_{\text{Io}}$	
17,00	001 Glicol	3,68 012 36	4,24	100 22		
15,12	001 100	2,69 104 86	3,33	101 100		Amostra 2226
4,45	020 93	2,51 110 100	1,82	112 5		(78,9m prof)
1,49	060 30	1,69 116 48	1,53	211 12		

Montmorilonita	Hematita	Quartzo				
$1,515 < n_d < 1,525$		$1,543 < n_d < 1,550$				
$d(\text{\AA})$	$hkl$	$I/I_{\text{Io}}$	$d(\text{\AA})$	$hkl$	$I/I_{\text{Io}}$	
17,04	001 Glicol	2,68 104 41	4,29	100 60		
15,38	001 100	2,51 110 100	3,33	101 100		Amostra 2946
4,43	020 62	1,83 024 19	1,81	112 28		(79,3m prof)
1,48	060 32	1,68 116 31				

Tabela 5: Dados ópticos e roentgenográficos dos componentes principais da massa vermelha (amostras 2226 - 78,9m e 2946 - 79,3m de profundidade) - parte superior da série 6.  $I/I_{\text{Io}}$  representa a intensidade relativa dos reflexos, para cada um dos minerais, em um só difratograma.

Comportamento semelhante pôde ser observado na amostra 2297, no topo da série 3, onde o quartzo ocorre em uma massa avermelhada composta essencialmente de montmorilonita, hematita e augita. A montmorilonita apresenta aí colorações diferentes, uma marrom avermelhada e outra branca (tabela 7). O quartzo aparece preferencialmente associado a esta última. Nesta série, Kreuzer et alii(1974) encontraram uma idade absoluta relativamente menor no basalto por eles analisado (à profundidade de 250,6 m).

No topo da série 2 situa-se a amostra 3040, apresentando também plagioclásio, fragmentos de quartzo e incrustações de montmorilonita com coloração marrom e verde (tabela 8). Uma estrutura porosa da rocha original pôde ainda ser observada na amostra.

No tufo basal (amostra 3057), o quartzo e a montmorilonita também se acham associados em uma massa pigmentada de vermelho (tabela 9).

A mineralogia observada em todas as amostras que apresentam vestígios de intemperismo está representada, de forma resumida, na tabela 10. Como se pode constatar, a montmorilonita (incluindo mixed-layer) ocorre sempre associada à hematita e a grãos de quartzo alóctone.

#### 6.2. Estudos mineralógicos das ocorrências de montmorilonita de origem hidrotermal

Nos basaltos da sondagem Rainrod I, pôde-se ainda observar efeitos nitidamente hidrotermais, que também conduziram à formação da montmorilonita. Esses efeitos deutéricos apresentam-se em três modos diferentes de ocorrência, como apresentado abaixo.

##### a. Preenchendo poros

A maioria dos basaltos da sondagem é mais ou menos porosa, sobretudo nas partes superiores e inferiores dos derrames. Os poros apresentam-se frequentemente preenchidos por zeólitas e esmectita, sendo a montmorilonita predominante neste último grupo. Tal

mixed-layer princip. montmorilonita			Quartzo		
$1,520 < n_d < 1,525$			$1,545 < n_d < 1,550$		
d(Å)	hkl	I/I <sub>o</sub>	d(Å)	hkl	I/I <sub>o</sub>
16,80	001	Glicol	4,23	100	32
14,80	001	100	3,33	101	100
4,47	020	57	1,81	112	24
1,49	060	24	1,53	211	26

Tabela 6: Dados ópticos e roentgenográficos dos componentes principais da amostra de paleossolo 2973 (120,0m de profundidade) - parte superior da série 5. Intensidades relativas (I/I<sub>o</sub>), para cada um dos minerais, em um só difratograma.

Montmorilonita branca	Montmorilonita marrom	Quartzo	Hematita						
$1,49 < n_d < 1,50$	$1,501 < n_d < 1,507$	$1,545 < n_d < 1,550$							
d(Å)	hkl	I/I <sub>o</sub>	d(Å)	hkl	I/I <sub>o</sub>	d(Å)	hkl	I/I <sub>o</sub>	
17,00	001 Glic.	17,10	001 Glic.	4,25	100	14	3,68	012	19
14,80	001 100	15,10	001 100	3,33	101	100	2,69	104	62
4,45	020 55	4,47	020 37	1,52	211	37	2,51	110	100
1,49	060 27	1,50	060 25	1,37	203	11	2,20	113	22

Tabela 7: Dados ópticos e roentgenográficos dos principais componentes da massa vermelha (amostra 2297 - 243,4m de profundidade) - parte superior da série 3. Intensidades relativas (I/I<sub>o</sub>), para cada um dos minerais, em difratogramas diferentes, exceto para o quartzo e montmorilonita branca.

Mixed-layer (verde) princ. montmorilonita	Montmorilonita Marrom	Quartzo	Plagioclásio								
$1,522 < n_d < 1,557$			$1,545 < n_d < 1,550$								
$d(\text{\AA})$	hkl	I/I <sub>o</sub>	$d(\text{\AA})$	hkl	I/I <sub>o</sub>	$d(\text{\AA})$	hkl	I/I <sub>o</sub>	$d(\text{\AA})$	hkl	I/I <sub>o</sub>
16,82	001	Glicol	17,31	001	Glicol	4,24	100	35	4,03	201	18
14,71	001	100	14,91	001	100	3,33	101	100	3,74	111	61
4,44	020	86	4,43	020	68	1,81	112	11	3,44	221	10
1,49	060	45	1,48	060	36				3,22	040	100

Tabela 8: Dados ópticos e roentgenográficos dos componentes principais do latito alterado 3040 (254,5m de profundidade) - parte superior da série 2. Intensidades relativas (I/I<sub>o</sub>), para cada um dos minerais, em difratogramas diferentes, exceto para o quartzo e Mixed-layer.

Montmorilonita	Quartzo				
$1,535 < n_d < 1,545$			$1,545 < n_d < 1,550$		
$d(\text{\AA})$	hkl	I/I <sub>o</sub>	$d(\text{\AA})$	hkl	I/I <sub>o</sub>
16,91	001	Glicol	4,22	100	24
15,22	001	100	3,32	101	100
4,46	020	72	2,45	110	9
1,49	060	27	1,81	112	12

Tabela 9: Dados ópticos e roentgenográficos da massa avermelhada (amostra 3057 - 292m de profundidade) - parte superior do tufo basal. Intensidades relativas (I/I<sub>o</sub>) para cada um dos minerais e em um só difratograma.

Série	6	6	5	3	2	tufo
Am.Nr.	2226	2946	2973	2297	3040	3057
Prof.	78,9	79,3	120,0	243,4	254,5	292,0
Quartzo	X	X	X	X	X	X
Hematita	X	X		X	X	X
Magnetita						X
Fe - Gel			X			
Montmoril.	X	X		X	X	X
Mixed-layer			X		X	
Augita	X	X	X	X	X	
Plagiocl.	X	X				
Oligoclas.	X					X
Andesina						X
Chabasita	X			X	X	
Philipsita						X
Serpentina				X		

Tabela 10: Mineralogia das amostras que apresentam evidências de in-temperismo na sondagem Rainrod I (Vogelsberg). Baseado em observações roentgenográficas e petrográficas.

modo de ocorrência pode ser observado tipicamente no olivina basalto alcalino 3005 (169,0 m), localizado na parte superior de uma unidade basáltica (intervalo de 169,0 m a 176,15 m) pertencente à série 5. Nesta unidade, à profundidade de 174,5 m, foi realizada, por Kreuzer et alii (1974), uma datação geocronológica pelo método K/Ar, obtendo esses autores um valor relativamente menor que aqueles encontrados para as outras amostras datadas (compare figura 3), concluindo daí que esta unidade seria intrusiva. Os dados ópticos e roentgenográficos daquela esmectita estão apresentados na tabela 11).

b. Alteração de plagioclásios

A formação hidrotermal da montmorilonita, à partir de plagioclásios, pode ser observada principalmente nas partes inferiores da série 2 (amostra 3048 - 283,0 m). A preparação do material apresentou neste caso algumas dificuldades, tendo sido obtida uma determinação aproximada da montmorilonita (tabela 12) através da comparação deste material com o equivalente, que também ocorre nos poros adjacentes (fotomicrografia 4).

c. Em veios nas amostras com evidências de intemperismo

Algumas zonas de intemperismo descritas no capítulo anterior, especialmente nas séries 3 e 6, apresentam-se cortadas por veios e vênulas. O material que preenche esses veios e vênulas é constituído essencialmente por zeólitas e montmorilonita, como pode ser constatado na fotomicrografia 11 e tabela 13. Em se tratando aqui de uma sequência de rochas vulcânicas, o aparecimento de veios nas partes superiores dos derrames é facilmente compreensível.

6.3. Estudos geoquímicos das unidades basálticas consideradas intrusivas

Os resultados das pesquisas petrográficas e mineralógicas até aqui apresentados para as amostras com evidências de intemperismo e para aquelas com efeitos hidrotermais não constituem

Trioc. esmectita		
$1,507 < n_d < 1,517$		
d(Å)	hkl	I/I <sub>o</sub>
16,85	001	Glicol
14,81	001	100
4,52	020	20
1,53	060	17

Tabela 11: Dados ópticos e roentgenográficos da esmectita dos poros (amostra 3005 - 169,0m)

Mixed-layer		
princ. montmorilonita		
$1,520 < n_d < 1,525$		
d(Å)	hkl	I/I <sub>o</sub>
16,78	001	Glicol
14,62	001	100
4,45	020	45
1,49	060	18

Tabela 12: Dados ópticos e roentgenográficos da montmorilonita dos poros (amostra 3048 - 283,0m)

Montmorilonita			Chabasita			Phillipsita		
$1,502 < n_d < 1,507$			$1,48 < n_d < 1,49$			$n_d \approx 1,48$		
d(Å)	hkl	I/I <sub>o</sub>	d(Å)	hkl	I/I <sub>o</sub>	d(Å)	hkl	I/I <sub>o</sub>
17,11	001	Glicol	9,30	101	94	7,07	020	72
14,62	001	100	5,52	021	49	4,31	103	79
4,45	020	61	4,98	003	54	4,11	131	22
1,48	060	22	2,91	401	100	3,17	020	100

Tabela 13: Dados ópticos e roentgenográficos dos constituintes dos veios na zona de intemperismo da série 3 (amostra 2297 - 243,4m) - parte superior desta série. A phillipsita apresenta hábito acicular alongado e a chabasita romboédrico pseudocúbico.

por si só em argumento suficiente a favor ou contra o caráter intrusivo dos olivina basaltos alcalinos das séries 3 (243,0 - 254, m) e 5 (intervalo 169,0 - 176,15 m), onde Kreuzer e outros determinaram idades K/Ar relativamente mais jovens. Convém ressaltar entretanto que no topo da série 3 (amostra 2297) e da unidade da série 5 considerada intrusiva (intervalo acima referido - amostra 3005 - 169,0m) observa-se, respectivamente, vestígios de intemperismo e textura vesicular com posterior preenchimento por montmorilonita. Esta textura resulta da liberação relativamente rápida de gases nas partes superiores de derrames de lavas.

Assim, objetivando extrair novas informações que contribuam na definição do tipo de jazimento dos basaltos em questão, tentou-se, através da distribuição dos elementos traços e principais, obter dados favoráveis, ou a uma origem efusiva (no caso desses basaltos apresentarem características de intemperismo) ou, por outro lado, confirmar a natureza intrusiva defendida por Kreuzer *et alii* ( 1974 ).

Na tabela 14 estão relacionadas as amostras pesquisadas nas séries 3 (243 - 254 m) e 5 (intervalo 169,0 - 176,15m) e suas respectivas classificações petrográficas.

Como visto inicialmente, é possível extraír-se informações de cunho genético baseando-se na distribuição dos elementos químicos. Desta forma, foram determinados os óxidos  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{H}_2\text{O}$  (perda ao fogo), assim como os elementos traços Cu, Co, Ni, Zn, Li e Be, e feitos testes para os casos de intrusão acompanhada de diferenciação primária e para extrusão submetida ao intemperismo.

#### 6.3.1. Estudo geoquímico dirigido para diferenciação primária

Caso as duas unidades em questão sejam intrusivas e tenham sofrido alguma diferenciação gravitativa, os elementos químicos mais pesados poderão concentrar-se preferencialmente na base do

Série	Amostra Nr.	Profund. (m)	Descrição
5	3004	168,0	tufo
	3005 +	169,0	olivina-basalto vesicular a amigdaloidal (diâmetro médio das vesículas = 0,5cm)
	2248 +	170,0	olivina - basalto
	3006 +	172,0	olivina - basalto
	3008 +	174,0	olivina - basalto
	960	174,5	olivina - basalto ( K/Ar )
	3009 +	175,0	olivina - basalto
	2249 +	176,15	olivina - basalto
	3010	177,5	olivina-basalto oxidado e vesicular (diâmetro médio das vesículas = 0,4cm)
	3011	178,9	tufo
4	2296	241,55	toleito
	2297 +	243,4	olivina-basalto intemperizado com quartzo
	2300 +	248,1	olivina - basalto
3	957	250,6	olivina - basalto ( K/Ar )
	2472 +	252,6	olivina - basalto
2	2473 +	253,7	olivina-basalto c/xenólito de quartzo + mont.
	3040	254,5	latito intemperizado com quartzo

Tabela 14: Classificação petrográfica das amostras pesquisadas (com +) e daquelas que limitaram os intervalos pesquisados (169,0-176,15m, na série 5, e 243,4-253,7m, na série 3). Na tabela estão também incluídas, para posicionamento, as amostras datadas por Kreuzer et alii (1974).

corpo, e os mais leves nas partes superiores. Tal comportamento pode também ser medido através do conteúdo mineralógico de cada uma das amostras e pelas variações químicas naqueles minerais que constituem soluções sólidas, como as olivinas, os piroxênicos e plagioclásios.

Na tabela 15 a composição normativa das amostras estudadas foi recalculada considerando-se todo o ferro como bivalente. A observação desta tabela e das figuras 11, 12 e 13, nos mostra que na unidade da série 5 a quantidade de piroxênio aumenta suavemente, da base para o topo, até a amostra 3008, sofrendo uma redução na amostra 3006 e novamente aumentando na amostra 2248, para então decrescer significativamente na amostra 3005. A distribuição de olivina e plagioclásio é semelhante, podendo ambos serem tratados juntos. Da base para o topo, a quantidade desses minerais normativos diminui até a amostra 3008, para em seguida aumentar gradativamente. O plagioclásio sofre entretanto um acréscimo relativamente maior na amostra 3006. Na 3005 o plagioclásio aumenta e o piroxênio diminui, atingindo quantidades não comparáveis àquelas observadas na base da unidade. Essa variação desigual pode ser atribuída ao valor relativamente mais alto de água (perda ao fogo), resultante do preenchimento dos poros dessa amostra por argilominerais, e que consequentemente reflete no cálculo da norma anidra da rocha (compara-se também a redução observada de nefelina na tabela 15; em um "trend" normal deveria aumentar). Quanto à ilmenita, pode-se considerar como não tendo variado de forma significativa.

A distribuição do plagioclásio, olivina e piroxênio concorda relativamente bem com as variações observadas em sills de diabásio que sofreram diferenciação gravitativa, como o de Palisade (Walker 1940). No presente caso, o grau de diferenciação é entretanto bem menor que naquele.

A variação composicional da olivina, embora de pequena monta, ou seja, o teor de forsterita diminui suavemente da base para o topo, está também de acordo com aquelas verifica-

Série	Amostra Nr.	Quartzo	Ortocássio	Plagioclás.	Nefelina	Olivina	Salita	Hiperstênio	Ilmenita	Apatita
5	3005	-	8,06	26,21 (An=89)	5,22	25,26 (Fo=58)	28,38 (Di=64)	-	4,44	2,41
	2248	-	3,35	17,78 (An=92)	14,16	24,64 (Fo=60)	33,35 (Di=66)	-	3,93	2,29
	3006	-	6,45	19,46 (An=82)	11,39	24,57 (Fo=60)	31,55 (Di=65)	-	4,31	2,26
	3008	-	7,37	16,25 (An=89)	13,46	23,77 (Fo=62)	32,44 (Di=67)	-	4,50	2,22
	3009	-	5,78	16,41 (An=92)	13,67	25,18 (Fo=63)	32,47 (Di=68)	-	4,15	2,34
	2249	-	5,48	18,36 (An=88)	11,29	26,40 (Fo=60)	31,74 (Di=66)	-	4,43	2,30
	2297	0,63	4,69	39,77 (An=73)	-	-	9,47 (Di=59)	37,36 (En=55)	5,58	2,51
3	2300	-	8,98	29,26 (An=54)	7,40	22,02 (Fo=59)	25,98 (Di=64)	-	4,06	2,30
	2472	-	8,44	33,92 (An=53)	4,20	22,78 (Fo=63)	22,91 (Di=68)	-	5,92	1,83
	2473	-	10,62	38,26 (An=56)	3,88	17,77 (Fo=55)	23,02 (Di=60)	-	4,61	1,83

Tabela 15: Composição normativa das amostras estudadas nas séries 3 (243 - 254 m.) e 5 (intervalo 169,0 - 176,15 m.)  
Ferro total como FeO.

das em corpos diferenciados (vide Wager and Brown 1968; Atkins 1969; Morse 1969). O piroxênio (figura 14) mostra, da mesma forma que a olivina, uma tendência normal na variação de sua composição, ou seja, se dá um aumento regular no conteúdo de hedembergita, da base para o topo. Neste caso acompanhado porém de valores irregulares como nas amostras 2249 e 2248. O plagioclásio, que deveria apresentar uma redução gradativa no teor de anortita, da base para o topo, comporta-se entretanto de forma inversa, caso não se considere a amostra 3006. Isto demonstra que a unidade é pouco diferenciada, ou que o plagioclásio neste caso não é um bom guia para o controle da diferenciação.

Na série 3, verifica-se (tabela 15 e figuras 15, 16, 17 e 18) que as quantidades de olivina e de piroxênio tendem a aumentar, da base para o topo, até a amostra 2300, para em seguida desaparecer e diminuir, respectivamente. O plagioclásio por sua vez diminui até a amostra anteriormente mencionada para então aumentar no topo da série, onde também aparece uma pequena quantidade de quartzo normativo, acompanhado do consequente desaparecimento da nefelina. Tais variações anômalas no topo da série 3 podem ser explicadas com base no fato da amostra 2297 apresentar alguns efeitos de intemperismo, conforme discutido anteriormente. A composição do plagioclásio varia, da base até a amostra 2300 de acordo com a tendência normal de diferenciação enquanto que a da olivina não. Os piroxénios comportam-se de maneira irregular, especialmente na amostra 2473, onde observou-se um teor bem menor de diopsídio. Tal teor é devido certamente à influências químicas provocadas pela presença de xenólitos com quartzo e montmorilonita nesta amostra (compare tabelas 14 e 15). A pequena quantidade de nefelina e de olivina aí verificada corrobora esta afirmativa.

O comportamento dos elementos químicos (os maiores sob a forma de óxidos) que se concentram preferencialmente nos estágios mais avançados de diferenciação, como Si, Al, Na,

K, Li e Be, e o daqueles que estão presentes em quantidades relativamente maiores nos estágios iniciais, como Mg, Ca, Ni e Co, pode ser observado, para as duas unidades em inspeção, na tabela 17 e nas figuras 19, 20 e 21.

Na série 3 verifica-se que os óxidos  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  e os traços Li e Be decrescem da base para o topo, enquanto que o Ni e Co aumentam, não correspondendo assim com a tendência esperada em um corpo intrusivo diferenciado. O CaO e MgO mostram, de modo geral, um comportamento também inverso. O comportamento do FeO,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e P.F. indicam um aumento de água e da oxidação do ferro, da base para o topo.

Na unidade considerada intrusiva na série 5 (intervalo 169,0-176,15m) o CaO e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  tendem a aumentar da base para o topo e o  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Na}_2\text{O}$  a aumentar até a amostra 3008 para a seguir decrescer de modo geral. O MgO e  $\text{K}_2\text{O}$  diminui e aumenta, respectivamente, embora apresentem valores descontínuos na amostra 2248. Adicionalmente, verifica-se que os conteúdos de água (P.F.) e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  aumentam regularmente da base para o topo, enquanto o FeO apresenta comportamento inverso a este último, indicando um aumento de oxidação. O Ni e o Co mostram variações coerentes com uma diferenciação incipiente. O Co diminui entretanto no topo da unidade. O Li e Be, devido aos valores bastante baixos encontrados nas amostras analisadas, podem ser considerados praticamente como constantes. Excluindo-se, nesta unidade, os valores anômalos encontrados na amostra localizada na parte superior ( 3005-169,0m), a variação dos óxidos e elementos traços é relativamente compatível com aquelas que ocorrem em corpos diferenciados.

#### 6.3.2. Estudo geoquímico dirigido para intemperismo:

Neste ítem somente serão tratadas as amostras da série 3 e aquelas situadas na parte superior da série 6, onde também foram encontradas evidências de intemperismo. Quanto às

Amostra Profundida. (m)	3005 169,00	2248 + 170,60	3006 172,00	3008 174,00	3009 175,00	2249 + 176,15	2297 + 243,40	2300 + 248,10	2472 + 252,60	2473 + 253,70
SiO <sub>2</sub>	40,50	41,30	42,10	42,46	42,05	41,79	42,11	45,43	44,81	45,91
TiO <sub>2</sub>	2,16	1,97	2,16	2,28	2,10	2,24	2,55	2,07	2,99	2,32
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,54	11,39	11,25	11,40	11,30	10,96	11,85	12,32	12,25	13,86
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,41	7,58	8,38	7,46	5,77	7,68	10,10	4,87	4,08	4,57
FeO	3,00	4,75	3,96	4,28	5,84	5,06	2,02	6,17	6,65	5,86
MgO	10,97	12,74	11,74	12,10	12,73	12,60	8,16	10,26	10,74	7,86
CaO	12,10	12,33	11,72	11,77	11,94	11,92	8,37	10,57	9,95	10,55
Na <sub>2</sub> O	1,34	3,10	2,75	3,01	3,01	2,60	1,07	3,08	2,66	2,70
K <sub>2</sub> O	1,26	0,54	1,04	1,20	0,94	0,89	0,69	1,47	1,37	1,72
P.F.	7,40	4,60	4,34	3,29	3,49	3,28	12,63	2,98	3,44	4,44
Total	99,68	99,58	99,44	99,25	99,17	99,02	99,55	99,22	98,94	99,79
Ni	236	224	225	232	238	231	239	208	160	129
Co	58	66	54	53	54	82	68	57	52	73
Cu	64	59	61	64	63	56	43	51	42	45
Zn	96	105	101	92	92	90	123	101	91	147
Li	0,6	0,7	0,6	0,7	0,6	0,7	0,9	0,9	1,4	1,1
Be	1,9	1,6	1,8	1,7	1,8	1,9	0,5	1,0	1,2	1,5

**Tabela 17:** Análises químicas para os elementos maiores (em%) e traços (em ppm) das amostras estudadas nas séries 3 (243-254m) e 5 (intervalo 169,0-176,15m).

As análises de elementos maiores para as amostras com (+) foram retiradas de Ernst et alii (1970).

Analista: Elson Paiva de Oliveira

últimas, embora sejam o resultado do intemperismo de rochas de composição um pouco diferente (toleítos), se prestam satisfatoriamente para fins de comparação. A unidade da série 5, tida como intrusiva (intervalo 169,0 - 176,15m), não será investigada, pois não se dispõe de dados mineralógicos suficientemente favoráveis a uma consolidação na superfície, acompanhado posteriormente de uma "longa" exposição às condições de intemperismo reinantes na região no período Mioceno, ou seja, condições correspondentes às de um clima tropical (Wirtz 1965; Schenk 1965b).

Durante a discussão do comportamento dos elementos traços será feita também uma comparação com algumas amostras da série 2 (latito), no topo da qual (amostra 3040-254,5m) se encontrou fragmentos de quartzo associado à montmorilonita e hematita.

Para se ter uma idéia quantitativa do intemperismo nas amostras estudadas nas séries 3 e 6, admitiu-se o alumínio como constante e em seguida verificou-se as variações dos demais elementos em relação a este. Nas tabelas 18 e 19, as análises foram recalculadas conforme normas contidas em Krauskopf (1967, pp. 100 - 104), estando suas variações representadas na figura 22. O intemperismo atuando no topo dessas séries provocou um decréscimo relativo de CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, FeO e SiO<sub>2</sub>, e um acréscimo de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O (P.F.), o que concorda em grande parte com as variações observadas em rochas básicas (compare figs. 4 e 5).

Quando se recalcula as análises em relação à rocha mais fresca (conforme Cabral 1973), a variação é semelhante, exceto para o K<sub>2</sub>O na série 6, e para o TiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> na série 3 (vide tabela 20 e figura 23).

A distribuição dos traços Ni, Co, Cu e Zn nas séries 2, 3, e 6 (tabela 21 e figura 24) mostra a seguinte configuração: Ni, Co e Cu, nas séries 2 e 6, aumentam significativamente das amostras frescas para as mais intemperizadas; na série 3, Ni, Co e Zn também sofrem um acréscimo no topo da unidade, concordando assim com a variação esperada durante o intemperismo. Alguns elementos, como o Zn nas séries 2 e 6, e o Cu

na série 3, comportam-se de maneira inversa à normalmente observada em rochas intemperizadas, o que é possível tendo-se em conta que nas partes superiores desses derrames ocorrem materiais alóctones, responsáveis provavelmente pelos desvios químicos observados.

Amostra Nr. Profund. (m)	2226 (78,9)				2946 (79,3)				2227 (80,4)				2229 (85,45)			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	A	B
SiO <sub>2</sub>	42,18	41,88	40,48	- 8,79	44,32	44,88	40,64	-8,63	51,66	51,43	46,99	-2,28	49,23	49,27		
TiO <sub>2</sub>	3,69	3,66	3,54	+ 2,08	4,04	4,09	3,78	+2,24	1,89	1,88	1,72	+0,26	1,46	1,46		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,00	12,91	12,48	0	13,61	13,78	12,48	0	13,72	13,66	12,48	0	12,47	12,48		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,32	13,23	12,79	+ 5,98	9,34	9,46	8,57	+1,76	3,94	3,92	3,58	-3,23	6,80	6,81		
FeO	0,91	0,91	0,88	- 3,16	0,66	0,67	0,61	-3,43	6,79	6,76	6,18	+2,14	4,04	4,04		
MgO	5,20	5,16	4,99	- 2,63	4,72	4,78	4,33	-3,29	7,75	7,72	7,05	-0,57	7,61	7,62		
CaO	2,87	2,85	2,75	- 4,44	4,40	4,46	4,04	-3,15	7,67	7,63	6,97	-0,22	7,18	7,19		
Na <sub>2</sub> O	0,31	0,31	0,30	- 2,60	0,92	0,93	0,84	-2,06	3,41	3,39	3,10	+0,20	2,90	2,90		
K <sub>2</sub> O	0,50	0,49	0,47	+ 0,10	0,78	0,79	0,71	+0,34	0,40	0,40	0,36	-0,01	0,37	0,37		
P.F.	18,47	18,34	17,73	+10,50	15,51	15,71	14,23	+7,00	2,89	2,88	2,63	-4,60	7,22	7,23		
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,26	0,26	0,25	- 0,38	0,45	0,45	0,41	-0,22	0,33	0,33	0,30	-0,33	0,63	0,63		
Total	100,71	100,00	96,66	- 3,34	98,75	100,00	90,56	-9,44	100,45	100,00	91,36	-8,64	99,91	100,00		

Tabela 18: Cálculos isoalumínio (em relação à amostra 2229) para as amostras intemperizadas do topo da série 6 (Toleito). A = análise química em peso %, segundo Ernst et alii (1970); B = A recalculada a 100%; C = B recalculada para alumínio constante (em gramas por 100 gramas da amostra); D = Ganhos e Perdas durante o intemperismo (em gramas).

Amostra Nr. Profund. (m)	2297 (243,4)				2300 (248,1)				2472 (252,6)			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
SiO <sub>2</sub>	42,11	41,91	43,69	-1,26	45,43	45,36	45,32	+0,37	44,81	44,95		
TiO <sub>2</sub>	2,55	2,54	2,65	-0,35	2,07	2,07	2,07	-0,93	2,99	3,00		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,85	11,79	12,29	0	12,32	12,30	12,29	0	12,25	12,29		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,10	10,05	10,48	+6,39	4,87	4,86	4,85	+0,76	4,08	4,09		
FeO	2,02	2,01	2,09	-4,58	6,17	6,16	6,15	-0,52	6,65	6,67		
MgO	8,16	8,12	8,46	-2,32	10,26	10,24	10,23	-0,55	10,74	10,78		
CaO	8,37	8,33	8,68	-1,30	10,57	10,55	10,54	+0,56	9,95	9,98		
Na <sub>2</sub> O	1,07	1,07	1,12	-1,55	3,08	3,08	3,08	+0,41	2,66	2,67		
K <sub>2</sub> O	0,69	0,69	0,77	-0,66	1,47	1,47	1,47	+0,09	1,37	1,38		
P.F.	12,63	12,57	13,10	+9,65	2,98	2,97	2,97	-0,48	3,44	3,45		
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,92	0,92	0,96	+0,22	0,94	0,94	0,94	+0,20	0,74	0,74		
Total	100,47	100,00	104,24	+4,24	100,16	100,00	99,91	-0,09	99,68	100,00		

Tabela 19: Cálculos isoalumínio (em relação à amostra 2472) para as amostras estudadas na série<sup>3</sup> (olivina-basalto alcalino). A = análise química em peso % segundo Ernst et alii (1970); B = A recalculada a 100%; C = B recalculada para alumínio constante (em gramas por 100 gramas da amostra); D = Ganhos e Perdas durante o intemperismo (em gramas).

Amostra Nr.	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P.F.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
2226	0,85	2,50	1,03	1,94	0,22	0,67	0,39	0,10	1,32	2,53	0,41
2946	0,91	2,80	1,10	1,38	0,16	0,62	0,32	2,13	2,17	0,71	
2227	1,04	1,28	1,09	0,57	1,67	1,01	1,06	1,16	1,08	0,39	0,52
2229	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2297	0,93	0,84	0,95	2,45	0,30	0,75	0,83	0,40	0,50	3,64	1,24
2300	1,00	0,69	1,00	1,18	0,92	0,95	1,05	1,15	1,06	0,86	1,27
2472	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Tabela 20: Análises químicas, das amostras investigadas no topo da série 6 e na série 3, recalculadas em relação ao conteúdo dos basaltos considerados mais frescos (2472 na série 3 e 2229 na 6). Ordem das amostras no perfil é da base para o topo. Análises da coluna B obtidas das tabelas 18 e 19.

Série	Amostra Nr.	Profundidade (m)	Descrição	Ni	Co	Cu	Zn
6	2226	78,9	Paleossolo	159	81	55	132
	2946	79,3	Paleossolo	206	58	54	108
	2227	80,4	Toleito	120	40	32	126
	2951	85,5	Toleito	104	44	27	134
2	3040	254,5	Latito intemp.	89	56	15	118
	2475	262,05	Latito	8	18	11	130
	2479	268,95	Latito	7	16	10	121

Tabela 21: Análises de elementos traços (ppm) das amostras investigadas no topo das séries 2 e 6.

## 7. Conclusões

Os resultados das pesquisas mineralógicas e geoquímicas obtidos ao longo deste trabalho, embora com algumas limitações, permitem as seguintes conclusões:

1. Quartzo, montmorilonita e hematita associam-se comumente nas amostras intemperizadas da sondagem Rainrod I. O quartzo, por sua forma sub-arredondada e pela extinção ondulante, deve ser proveniente de outras fontes e não dos próprios basaltos.
2. A presença de montmorilonita no topo e na base das unidades basálticas não constitui, por si só, em argumento a favor de intrusão, pois outros modos de ocorrência puderam ser observados, como por exemplo preenchendo poros, substituindo plagioclásios e em veios hidrotermais nas zonas de intemperismo.
3. As séries 3 (243-254m) e 5 (intervalo 169,00 - 176,15m), onde Kreuzer et alii (1974) encontraram idades absolutas menores, exibem uma distribuição de minerais normativos de acordo com uma diferenciação gravitativa incipiente, o mesmo ocorrendo com relação à distribuição dos elementos maiores e traços, na série 5. Na série 3, por outro lado, as variações químicas sugerem um efeito de alteração intempérica nas partes superiores da unidade, o que pode ser comprovado mineralogicamente pela presença de hematita, montmorilonita e de fragmentos de quartzo na amostra 2297, no topo desta série.
4. Embora a unidade da série 5, situada entre 169,0 m e 176,15 m, apresente efeitos de diferenciação gravitativa incipiente, sua natureza intrusiva ou extrusiva não pode ser confirmada satisfatoriamente por falta de maiores informações mineralógicas. A ocor-

rência de textura vesicular-amigdaloidal na amostra 3005 (169,0m), no topo da unidade, sugere entretanto um modo de ocorrência extrusivo. A granulometria das amostras dessa unidade é afanítica fina, não nos fornecendo, assim, nenhuma informação quanto ao resfriamento lento ou rápido no centro do corpo e na capa e lapa, respectivamente.

Como parte das observações realizadas durante o desenvolvimento deste trabalho foram feitas com base em análises químicas (p. ex. composições de minerais normativos) ou mesmo com um número reduzido de amostras, as conclusões acima estão sujeitas a confirmações futuras. Da mesma forma as comparações geoquímicas dos níveis de intemperismo deveriam ter sido feitas com rochas de composições semelhantes e não com outras diferentes, como latitos e toleitos. Infelizmente não se pôde contar com um número suficiente de amostras com composição apropriada.

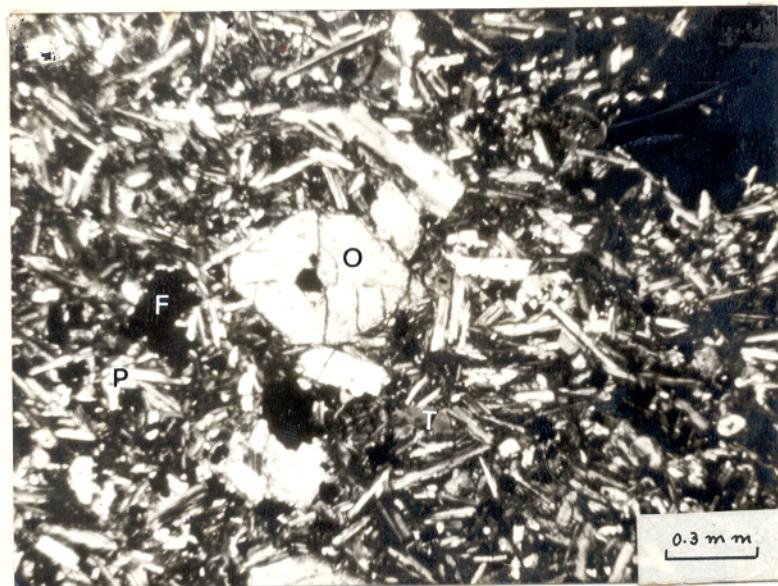
## 8. Agradecimentos

Aos Professores Dr. Th. Ernst e Dr. R.G. Schwab, do Institut für Geologie und Mineralogie der Universität Erlangen/Nürnberg, o autor gostaria de agradecer pela sugestão do tema e pela orientação científica. Aos colegas e amigos do Instituto acima e à oficina do mesmo Instituto, pela ajuda em problemas específicos e pela atenção especial na solução de problemas mecânicos de natureza diversa.

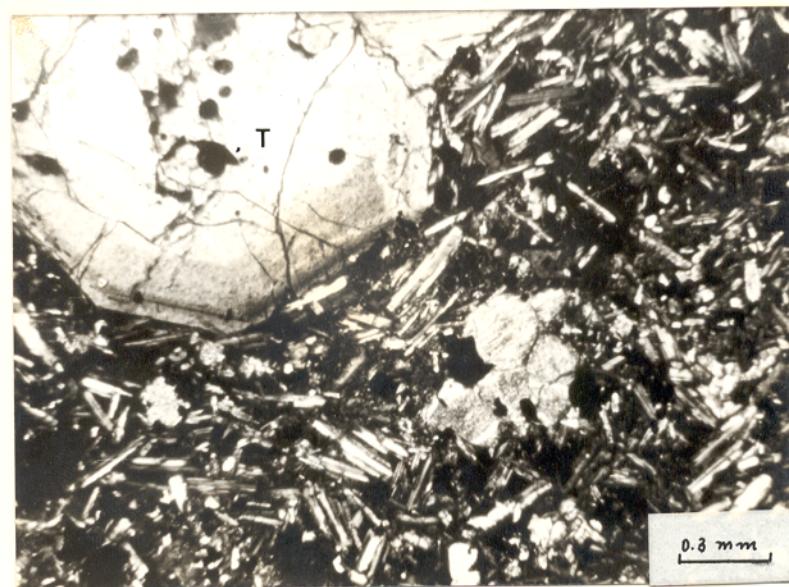
Ao colega Jorge Wilson Delgado Leão, do Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológicas da U.F.Pa, o autor registra seus agradecimentos pela gentil elaboração dos programas de cálculo petroquímico e pela introdução ao funcionamento da calculadora Hewlett-Packard. Da mesma forma ao Dr. Mathias Petersen, e a Sra. Monika Petersen pela revisão da versão inglesa e alemã do resumo, ao desenhista Paulo Cecim pela valiosa confecção das figuras e a Sra. Luizete Ferreira da Silva pela colaboração na datilografia do texto.

Finalmente, ao Serviço Alemão de Intercâmbio Acadêmico (DAAD), à Universidade Federal do Pará e à Capes o autor é grato pelo apoio financeiro, sem o qual não seria possível a realização deste trabalho.

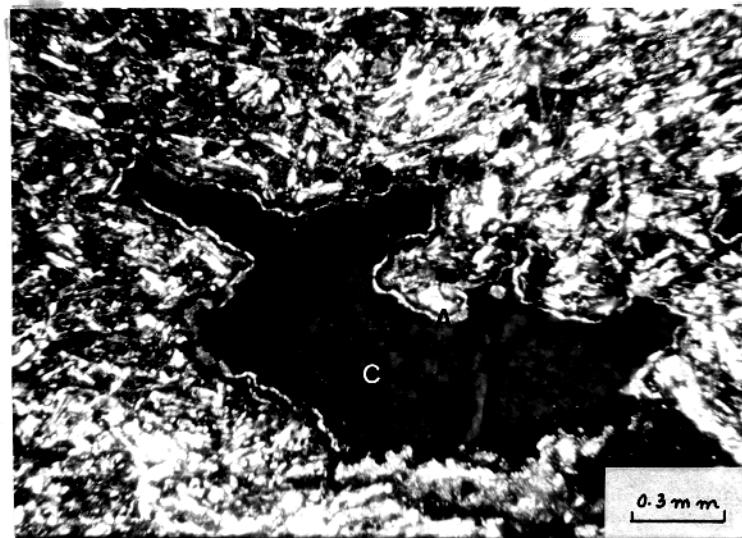
9. Apêndice: Relação de Fotomicrografias



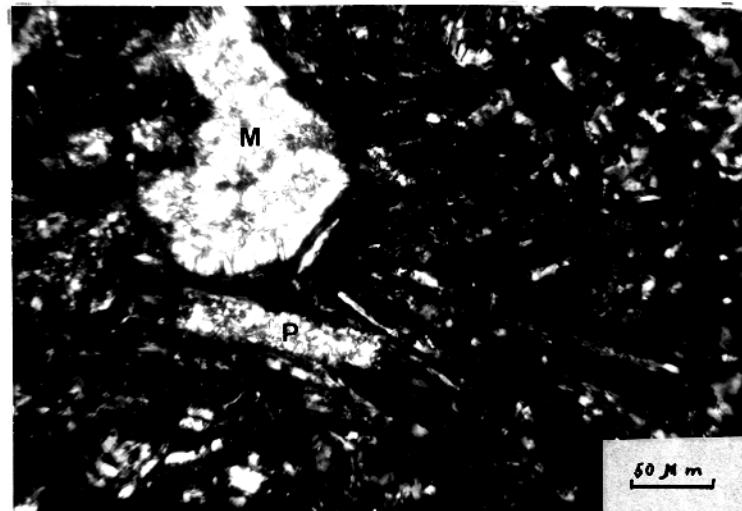
Fotomicrografia 1: Olivina basalto 3055 (290,0m), série 1, porfirítico com fenocristal de olivina (O) em matriz constituída de titanoaugita (T), olivina, plagioclásio (P) e óxidos de ferro (F). Nicóis cruzados.



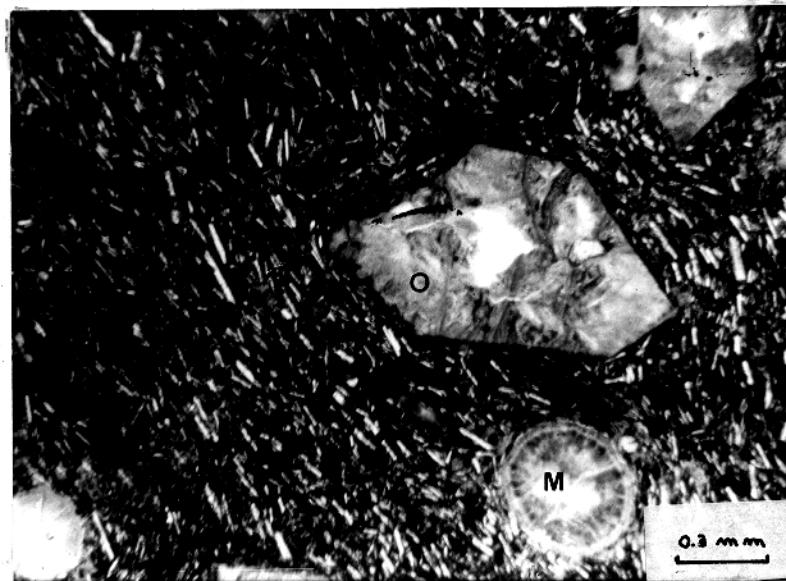
Fotomicrografia 2: Fenocristal de titanoaugita (T) com zoamento, em olivina basalto 3055 (290,0m) porfirítico, na série 1. Nicóis cruzados.



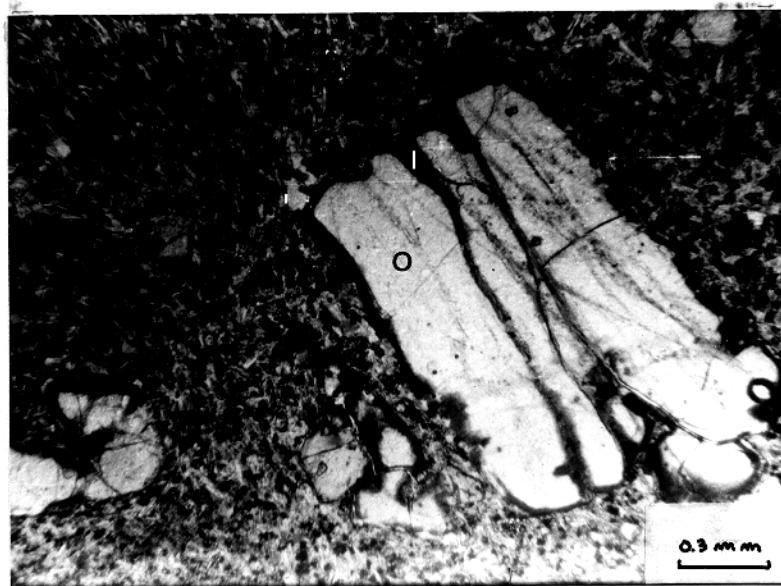
Fotomicrografia 3: Latito 2476 (264,2m), na série 2, com poro preenchido por chabasita (C) e com uma película de argilo-minerais (A). Nicóis cruzados.



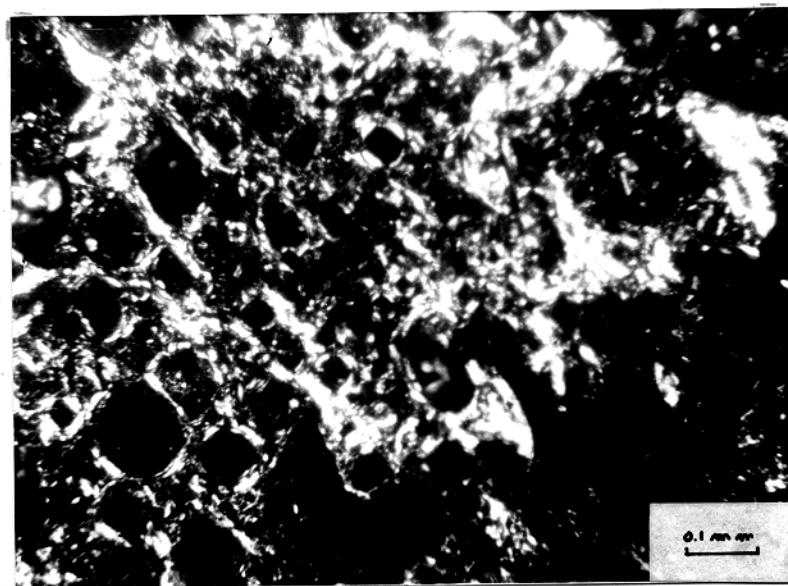
Fotomicrografia 4: Ripas de plagioclásio (P) substituídas por montmorilonita (M), que também ocorre preenchendo poros. Latito 3048 (283,0m), na série 2. Nicóis cruzados.



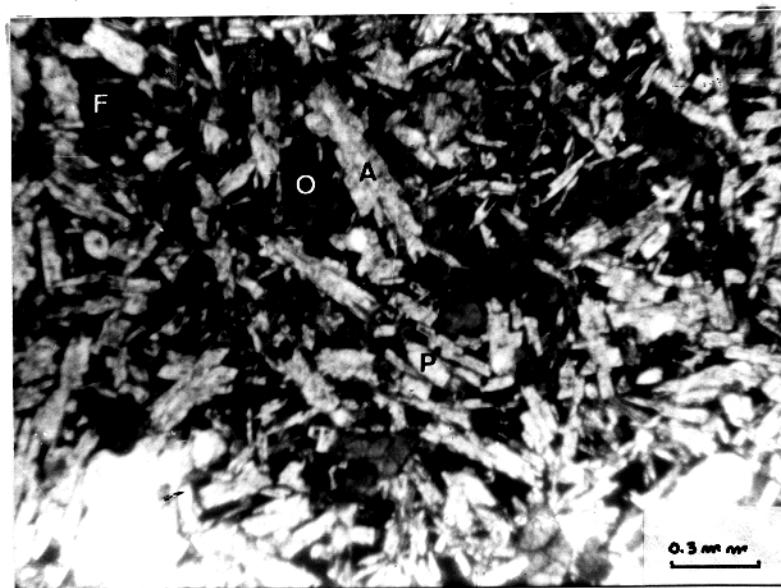
Fotomicrografia 5: Olivina basalto 2473 (253,70m), na série 3, com fenocristal de olivina (O) substituído por talco e serpentina. Adicionalmente observa-se poro preenchido por montmorilonita (M). Nicóis paralelos.



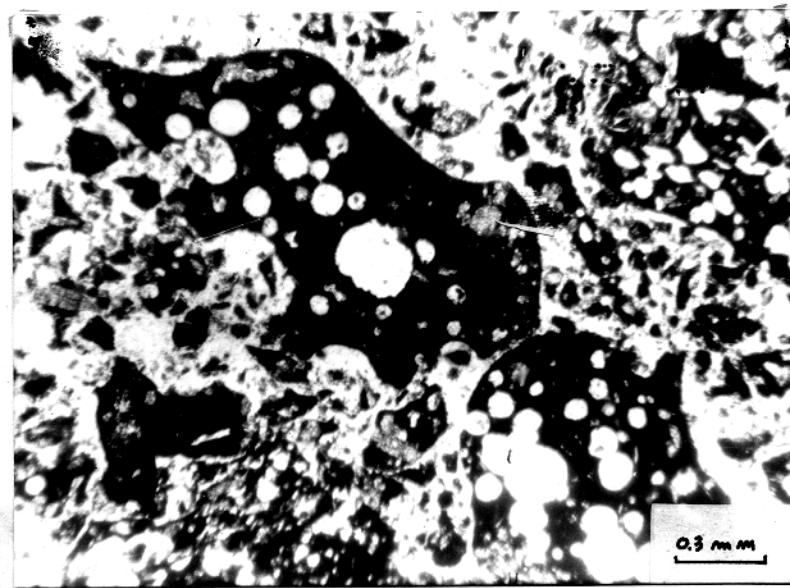
Fotomicrografia 6: Olivina basalto 2300 (248,10m), na série 3, com fenocristais de olivina (O) com bordas de idingsita (I). Nicóis paralelos.



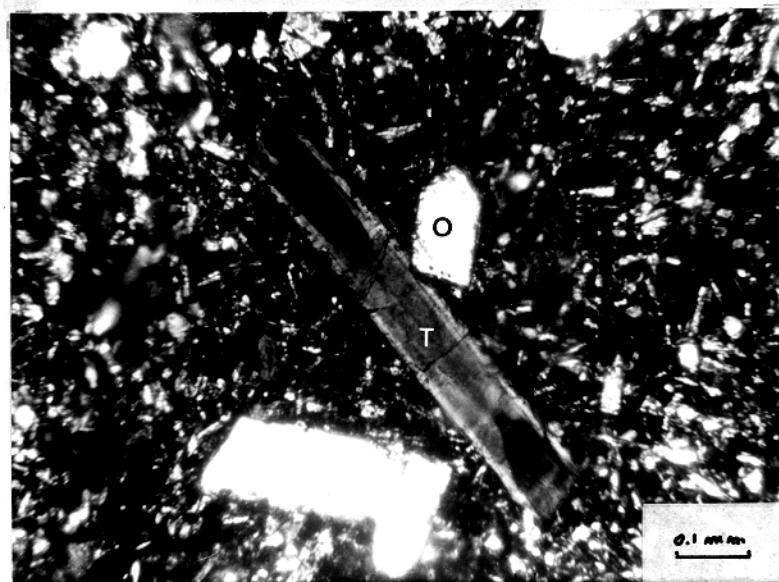
Fotomicrografia 7: Tufo 3012 (179,0m), na série 5, com textura porosa e semelhante à reticulada. Nícois cruzados.



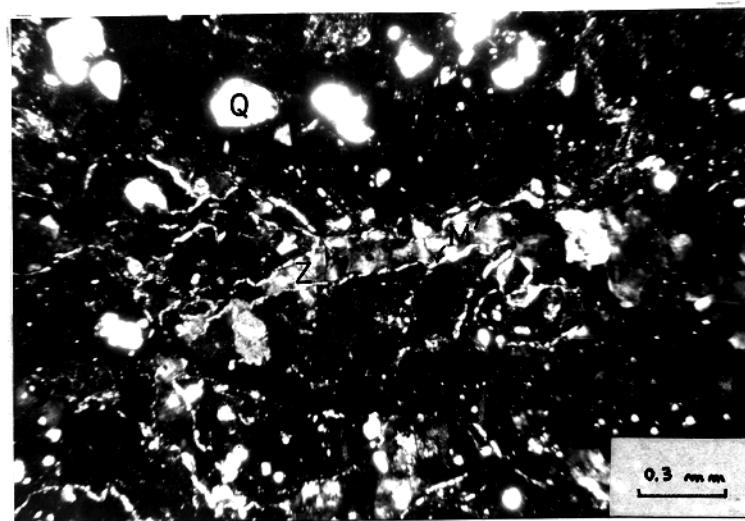
Fotomicrografia 8: Toleito 2956 (92,40m), na série 6, com olinina oxidada (O), augita (A), plagioclásio (P) e opacos (F). Nícois paralelos.



Fotomicrografia 9: Amostra 2224 (68,30m), na série 7, mostrando textura escoriácea. Nicóis paralelos.



Fotomicrografia 10: Fenocristal de titanoaugita (T) com estrutura em ampulheta e de olivina (O). Amostra 4519 (35,40m), na série 7. Nicóis cruzados.



Fotomicrografia 11: Montmorilonita (M) e zeólicas (Z) na zona de intemperismo da série 6 (Amostra 2226 - 78,9m).  
Q = quartzo. Nicóis cruzados.

## 10. Referências Bibliográficas

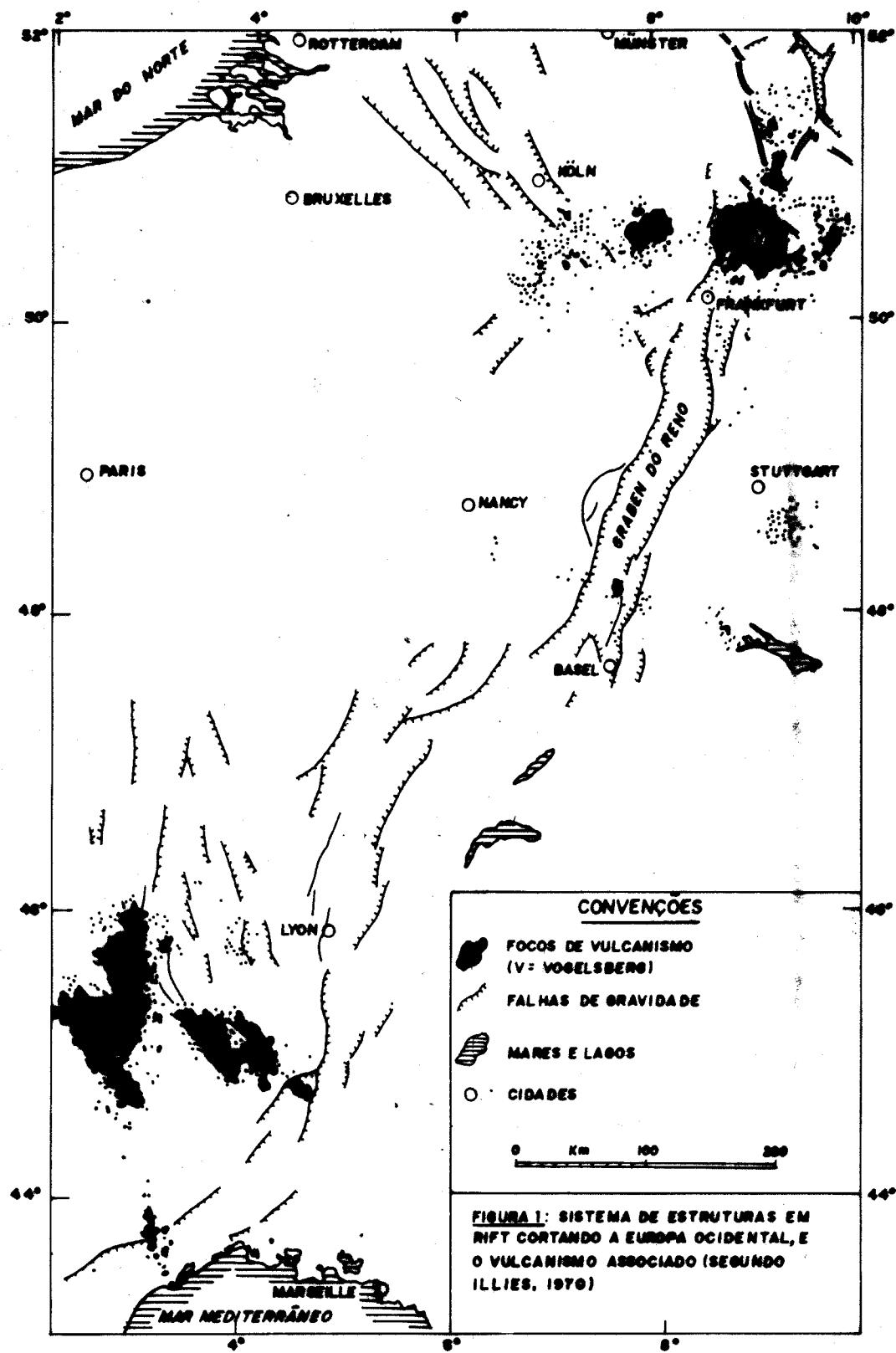
- ASTM (1967): Index to the x-ray Powder Data File.
- Atkins, F.B. (1969): Pyroxenes of the Bushveld Intrusion South Africa, J. Petrol 10, 224-249.
- Bowen, N.L. (1928): The Evolution of the Igneous Rocks. Princeton Univ. Press., N.Y.
- Boyle, R.W. and Dass, A.S. (1967): Geochemical Prospecting: Use of the A horizon in soil surveys. Econ. Geol. 62, 274-276.
- Cabral, C. (1973): Die tertiären Laterite des westlichen Vogelsberges und ihre Eignungen als Steine und Erden-Rohstoffe. Clausthal. Geol. Abh. 16, Clausthal-Zellerfeld.
- Carmichael, I.S.E.; Turner, F.J. and Verhoogen, J. (1974); Igneous Petrology, pp. 437-451. McGraw-Hill Book Co., New York.
- Craig, D.C. and Loughnan, F.C. (1964): Chemical and mineralogical transformations accompanying the weathering of basic volcanic rocks from New South Wales. Austr. J. Soil Res., 2, 218-234; in Loughnan (1969).
- Dennen, W.H. and Anderson, P.J. (1962): Chemical changes in incipient rock weathering. Geol. Soc. Am. Bull., 73, 375-384.
- Ernst, T. (1975): Petrographisch ermittelte Altersfolge der Basaltergüsse von Rainrod I (Vogelsberg) im Gegensatz zur radiuktiven Altersbestimmung. Fort. Min. Beih.1, S. 18.
- Ernst, T. (1976): Petrographisch ermittelte Altersfolge der Basaltergüsse von Rainrod I (Vogelsberg) im Gegensatz zur radiuktiven Altersbestimmung. Fort. Min. (no prelo).
- Ernst, T.; Kohler, H.; Schütz, D. and Schwab, R. (1970): The volcanism of the Vogelsberg (Hessen) in the North of the Rhinegraben rift system: in Illies and Müller - Graben Problems, Int. Up. Mant. Proj. Sci. Rep., 27, 143-146, Stuttgart.

- Goldschmidt, V.M. (1954): Geochemistry. Ed. by A. Muir. Oxford Univ. Press, London.
- Greenland, L. and Lovering, J.F. (1966): Fractionation of fluorine, chlorine and other trace elements during differentiation of a tholeiite magma. Geoch. Cosm. Acta, 30, 963-982.
- Harre, W.; Kreuzer, H.; Müller, P.; Pucher, R. und Schricke, W. (1975): Datierung nach der K/Ar-Methode und Paläomagnetik. Erl. geol. Kte., 67-73, Wiesbaden.
- Henningsen, D. (1976): Einführung in die Geologie der Bundesrepublik Deutschland. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- Hotz, P.E. (1953): Petrology of granophyre in diabase near Dillsburg, Pennsylvania. Geol. Soc. Am. Bull., 64, 675-704.
- Hummel, K. (1939): Sind die Basalte des Vogelsberges durchweg Intrusionen? Ber. d. Oberh. Ges. f. Nat. u. Heilk. zu Giessen, Bd. 19, Giessen.
- Hutchinson, C.S. (1975): The norm, its variations, their calculation and relationships. Schweiz. min. petrog. Mitt. 55, 243-256.
- Hyndman, D.W. (1972): Petrology of Igneous and Metamorphic Rocks. McGraw-Hill Book Co., New York.
- Illies, J.H. (1970): Graben tectonics as related to Crust-Mantle interaction: in Illies and Müller - Graben Problems. Int. Up. Mant. Proj. Sci. Rep. 27, 4-27, Stuttgart.
- Jaeger, J.C. (1968): Cooling and solidification of igneous rocks; pp 503-536 in H.H. Hess and Poldervaart - Basalts., v. 2, John Wiley & Sons, N.Y.
- Jambor, J.L. (1971): Distribution of some minor elements in the Nipissing Diabase. Can. Min., 11, 320-357.
- Krauskopf, K.B. (1967): Introduction to Geochemistry. McGraw-Hill Book Company, New York.
- Kreuzer, H.; Kunz, K.; Müller, P. und Schenk, E. (1974): Petrologie und Kalium/Argon-Daten einiger Basalte aus der Bohrung 31, Rainrod I (Vogelsberg). Geol. Jb., D 9, 67-84.

- Kuno, H. (1968): Differentiation of basalt magmas; pp. 623-688; in Hess and Poldervaart - Basalts., v. 2, John Wiley & Sons, N.Y.
- Kushiro, I. (1964): Petrology of the Atumi dolerite, Japan. Univ. Tokyo J. Fac. Sci., sec. II, 14, (2), 135-202: in Kuno, H. (1968).
- Levinson, A.A. (1974): Introduction to Exploration Geochemistry. Applied Publ. Ltd., Maywood.
- Loughnan, F.C. (1969): Chemical Weathering of the Silicate Minerals. Elsevier, N.Y.
- MacDonald, G.A. (1967): Forms and structures of extrusive basaltic rocks; pp. 1-61: in Hess and Poldervaart - Basalts., v. 1. John Wiley & Sons, N.Y.
- MacDonald, G.A. & Katsura, T. (1964): Chemical composition of Hawaiian Lavas. J. Petrology, 5, 82-133.
- McDougall, I. and Lovering, J.F. (1963): Fractionation of chromium, nickel, cobalt and copper in a differentiated dolerite-granophyre sequence at Red Hill, Tasmania. Jour. Geol. Soc. Austr., 10, 325-338: in Jambor, J.L. (1971).
- Morse, S.A. (1969): The Kiglapait Layered Intrusion, Labrador. Geol. Soc. Amer. Mem. 111.
- Mörtel, H. (1971): Foide und Zeolith (Restkristallivate) basaltischer Gesteine des Vogelsberges (Hessen). N. Jb. Min., Ab h. 115, 54-97.
- Müller, G. (1964): Methoden der Sediment-Untersuchung. T. 1. E. Schweiz. Verlag, Stuttgart.
- Murata, K. J. (1960): A new method of plotting chemical analyses of basaltic rocks. Amer. J. Sci. 258A, 247-252.
- Schellmann, W. (1964): Zur lateritischen Verwitterung von Serpentinit. Geol. Jb. 81, 645-678.

- Schellmann, W. (1966): Die Bildung von Roterde und Bauxitknollen in Vogelsberg. N. Jb. Min., Mh., 321-341.
- Schenk, E. (1964): Die geologischen Erscheinungen der Subfusion des Basaltes. Abh. hess. L.A. Bod. f., Hf. 46, Wiesbaden.
- Schenk, E. (1965 a): Bohrachiv, Z.O.V., 17.8.1965.
- Schenk, E. (1965 b): Das Alter der Lateritdecken und Eisenerzlagertätte in Vogelsberg. Erzmetall, 18, 352-353.
- Schenk, E. (1965 c): Tuffe, Basalt und Laterit am Oeleberg bei Grossen-Bureck, Krs. Giessen. Notizbl. hess. L.-Amt. f. Bodenforsch., 93, 292-302, Wiesbaden.
- Schenk, E. (1970): Zur Problematik der Deutung paläomagnetischer Messergebnisse auf Grund von Untersuchungen an den Basalten des Paläovulkans Vogelsberg in Hessen. Zeit. Geophys., 36, 359-385.
- Schorer, G. (1970): Die Pyroxene tertiärer Vulkanite des Vogelsberges. Chemie der Erde, 29, 69-138, Jena.
- Schotler, W. (1937): Der Vogelsberg. Notizbl. hess. geol. Landesanst., V. Folge, H. 18, 3-86, Darmstadt.
- Streckeisen, A.L. (1967): Classification and Nomenclature of Igneous Rocks. N. Jb. Miner., abh 107, 144-240.
- Tiller, K.G. (1959): The distribution of trace elements during differentiation of the Mt. Wellington dolerite sill. Pap. and Proc. Roy. Soc. Tasmania, 93, 153-158: in Jambor, J.L. (1971).
- Tröger, W.E. (1969): Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale. E. Schweiz. Verlag, T. 2, Stuttgart.
- Tröger, W.E. (1971): Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale. E. Schweiz. Verlag, T. 1. Stuttgart.

- Wager, L.R. and G.M. Brown (1968): "Layered Igneous Rocks", Oliver and Boyd, London.
- Wager, L.R. and Mitchell, R.L. (1951): The distribution of trace elements during strong fractionation of basic magma. Geoch. Cosm. Acta, 1, 129-208.
- Walker, G.F. (1940): Differentiation of the Palisade diabase, New Jersey. Bull. Geol. Soc. Amer., 51, 1059-1106.
- Walker G.F. (1958): Reactions of expanding-lattice clay minerals with glycerol and ethylene glycol. Clay Min. Bull., 3, 302-313.
- Walker, K.R. (1969): A mineralogical, petrological and geochemical investigation of the Palisades Sill, New Jersey, Geol. Soc. Am. Mem. 115, 175-187.
- Warshaw, C.M. and Roy, R. (1961): Classification and a scheme for the identification of layer silicates. Geol. Soc. Am. Bull., 72, 1455-1492.
- Wilkinson, J.F.G. (1958): The petrology of a differentiated tesc-henite sill near Gunnedah, New South Wales. Am. J. Sci., 256, 1-39.
- Williams, H; Turner, F.J.; Gilbert, C.M. (1970): Petrografia: Uma introdução ao estudo das rochas em Seções Delgadas. Tradução de Ruy Ribeiro Franco. Editora Polígono, São Paulo.
- Wirtz, R. (1965): Beitrag zu der Kenntniss der Paläosole in dem Vogelsberg. Dissertation, Utrecht.
- Yagi, K. (1953): Petrochemical studies on the alkalic rocks of the Morotu district, Sakhalin. Gel. Soc. Am. Bull., 64, 769-810.
- Zeissink, H.E. (1969): The mineralogy and geochemistry of a nickeliferous laterite profile (Greenvale, Queensland-Australia). Mineralium Deposita, 4, 132-152.
- Zeissink, H.E. (1971): Trace element behavior in two nickeliferous laterite profiles. Chem. Geol., 7, 25-36.



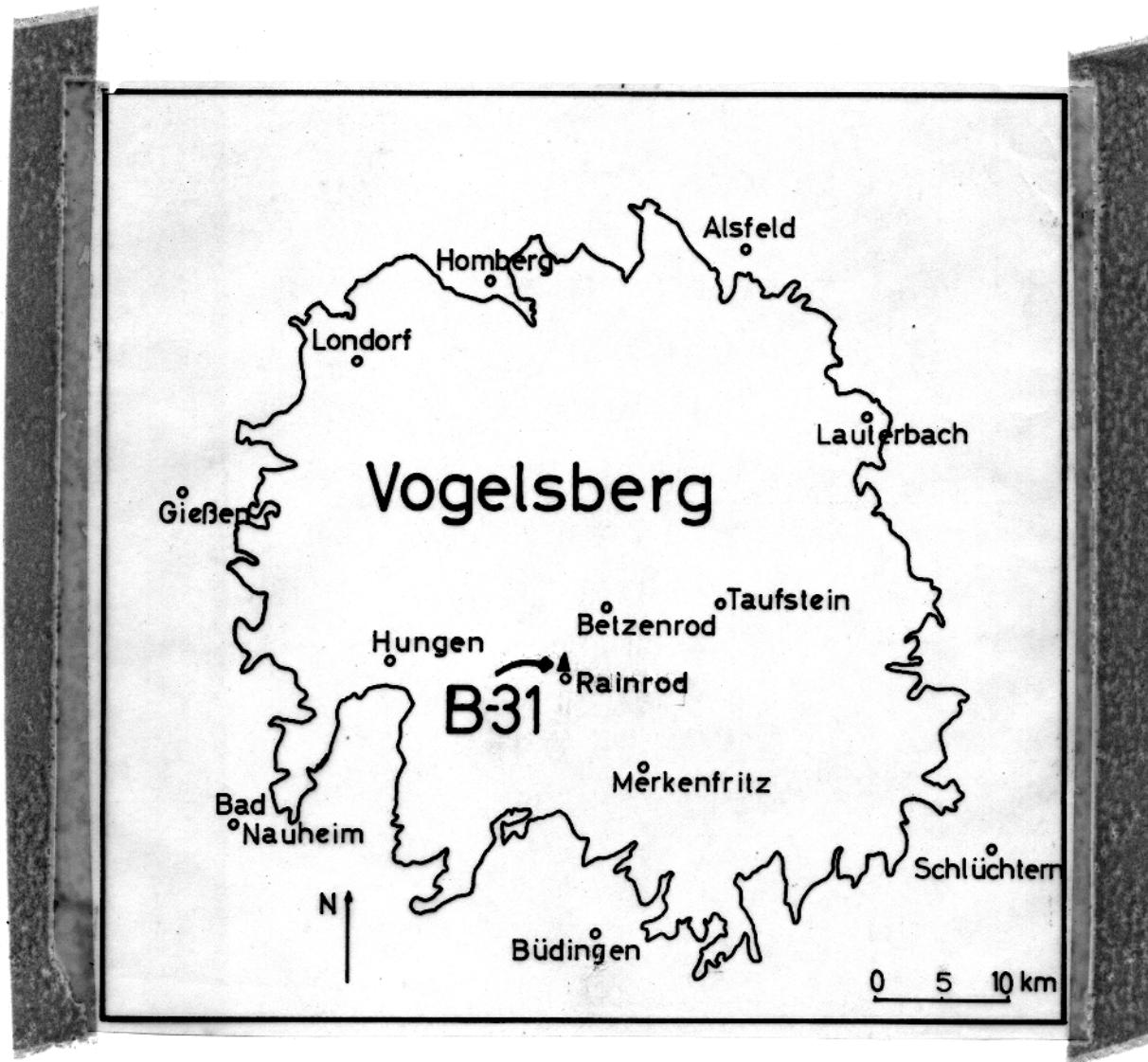


Figura 2: Localização da sondagem Rainrod I (B - 31), segundo Schenk (1970).

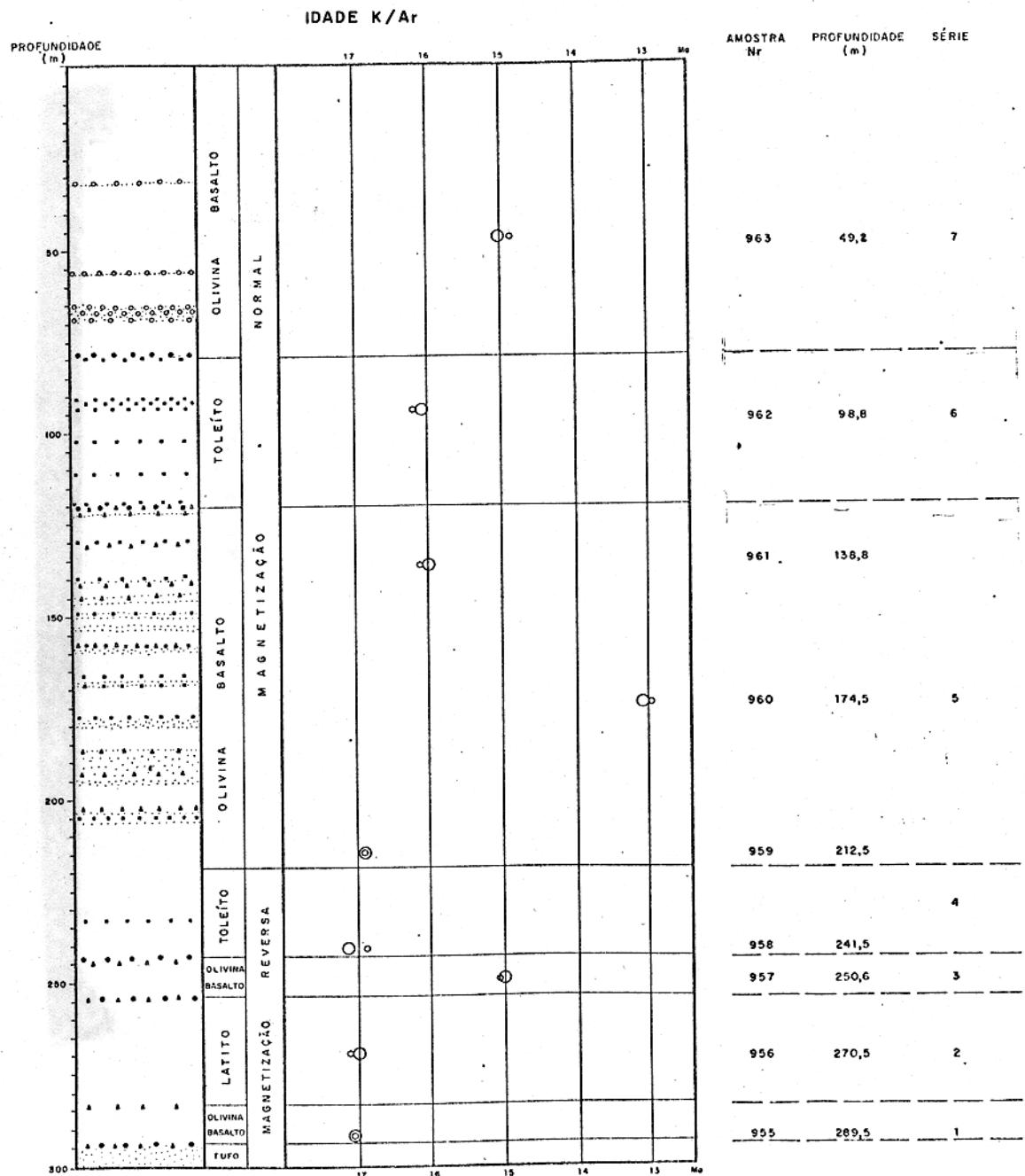
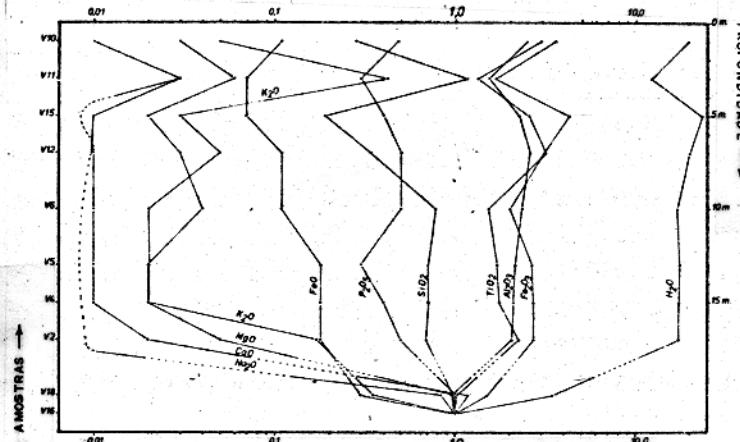
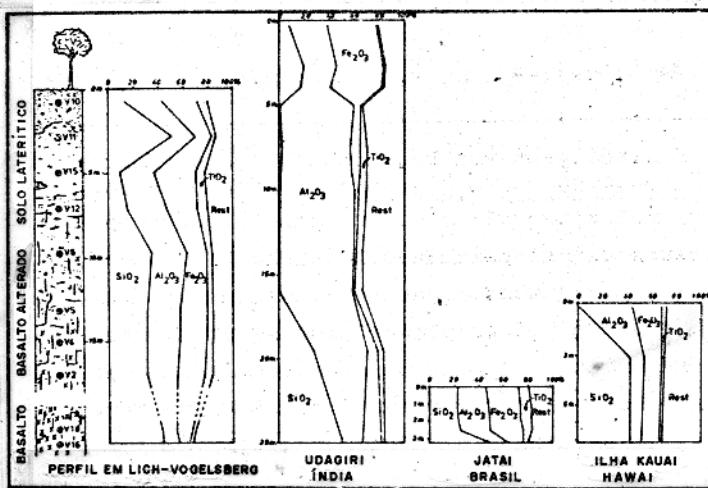


Figura 3: Perfil parcial e esquematizado da sondagem Rainrod I, paleo-magnetismo e idades K/Ar, segundo Kreuzer et alii (1974), Ernst et alii (1970).



L E G E N D A

Figura 3

- ▲ ▲ Brecha
- ● Laterita ou níveis intemperizados
- ■ Níveis bastante oxidados
- ○ Níveis escoriáceos
- :::: Tufo
- ○ Idades K-Ar das frações fina e grossa, respectivamente

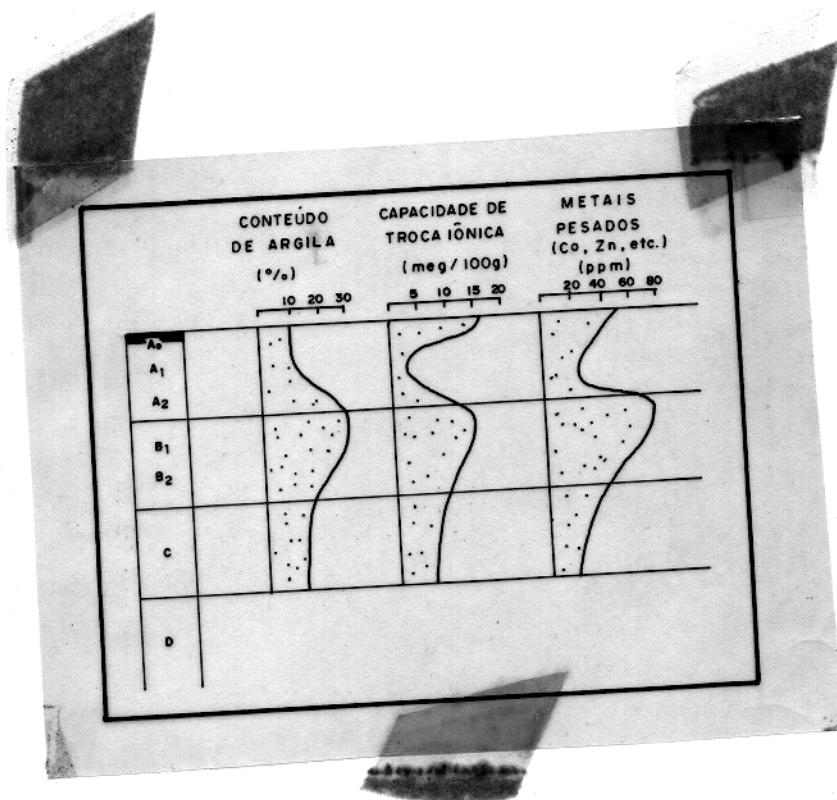


Figura 6 - Conteúdo de argila, capacidade de troca iônica e concentração de elementos traços nos diversos horizontes de um solo generalizado (podsol). Simplificado de Levinson (1974).

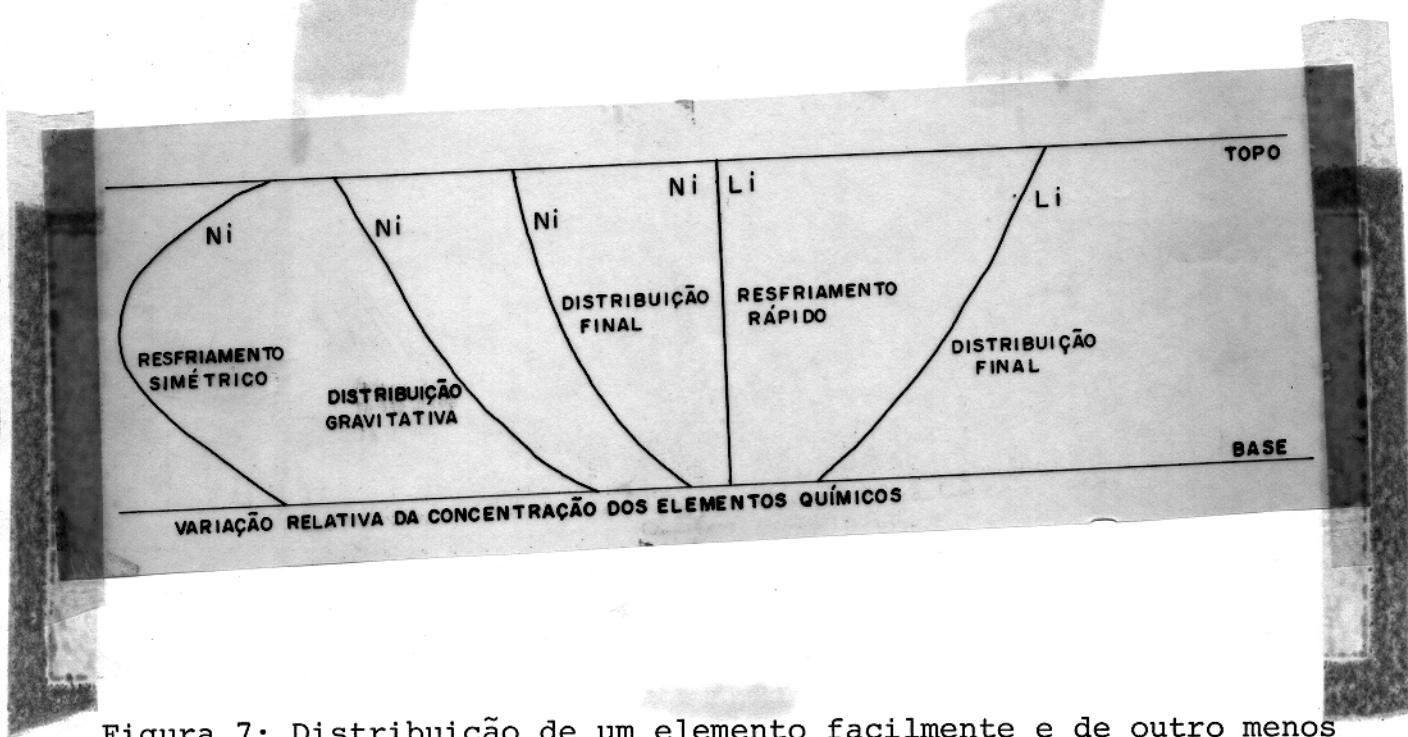
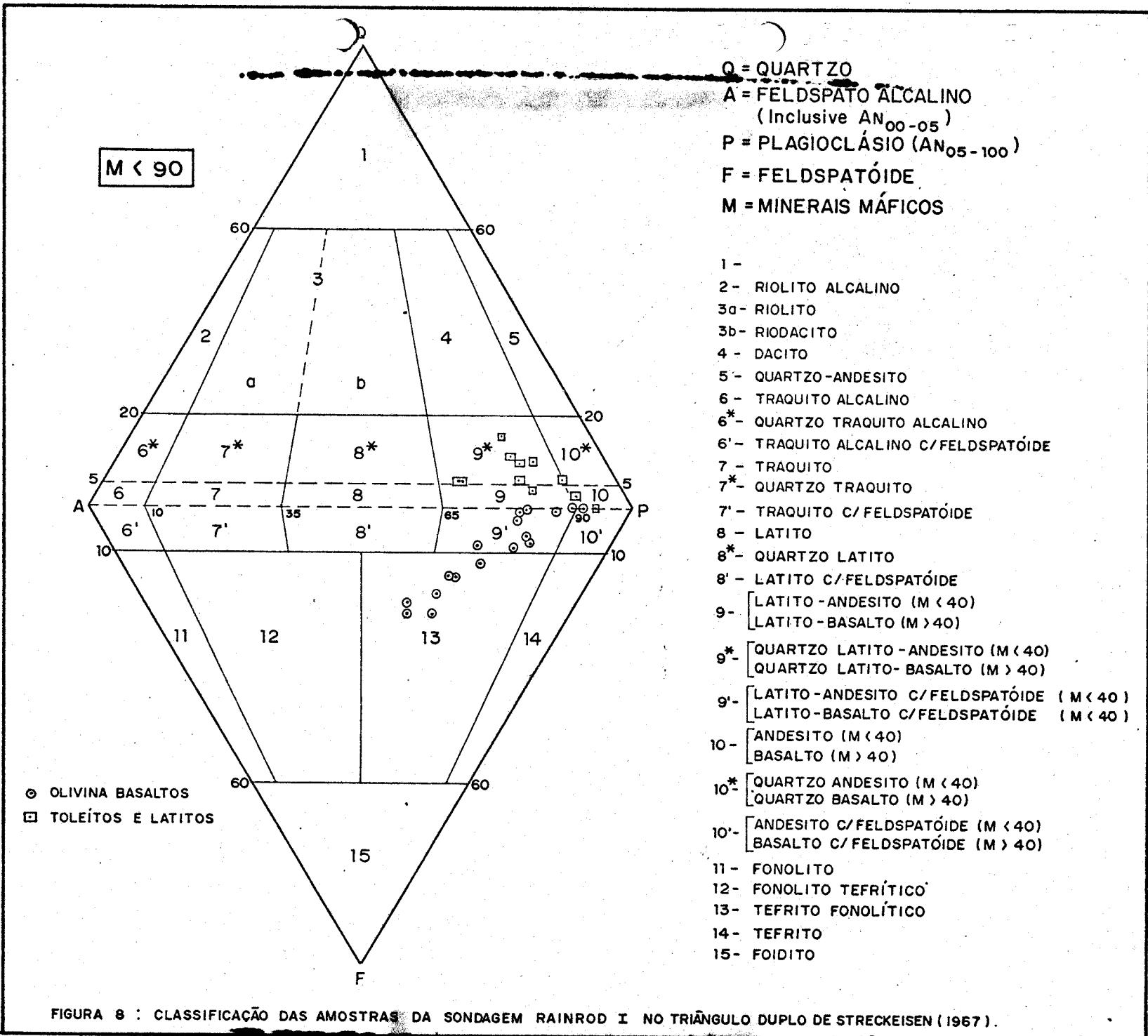


Figura 7: Distribuição de um elemento facilmente e de outro menos fugitivo, em uma intrusão. Esquematizado de Jaeger (1968), Walker (1969), Hyndman (1972, pp. 178 - 186), Carmichael et alii (1974, pp. 437 - 451).



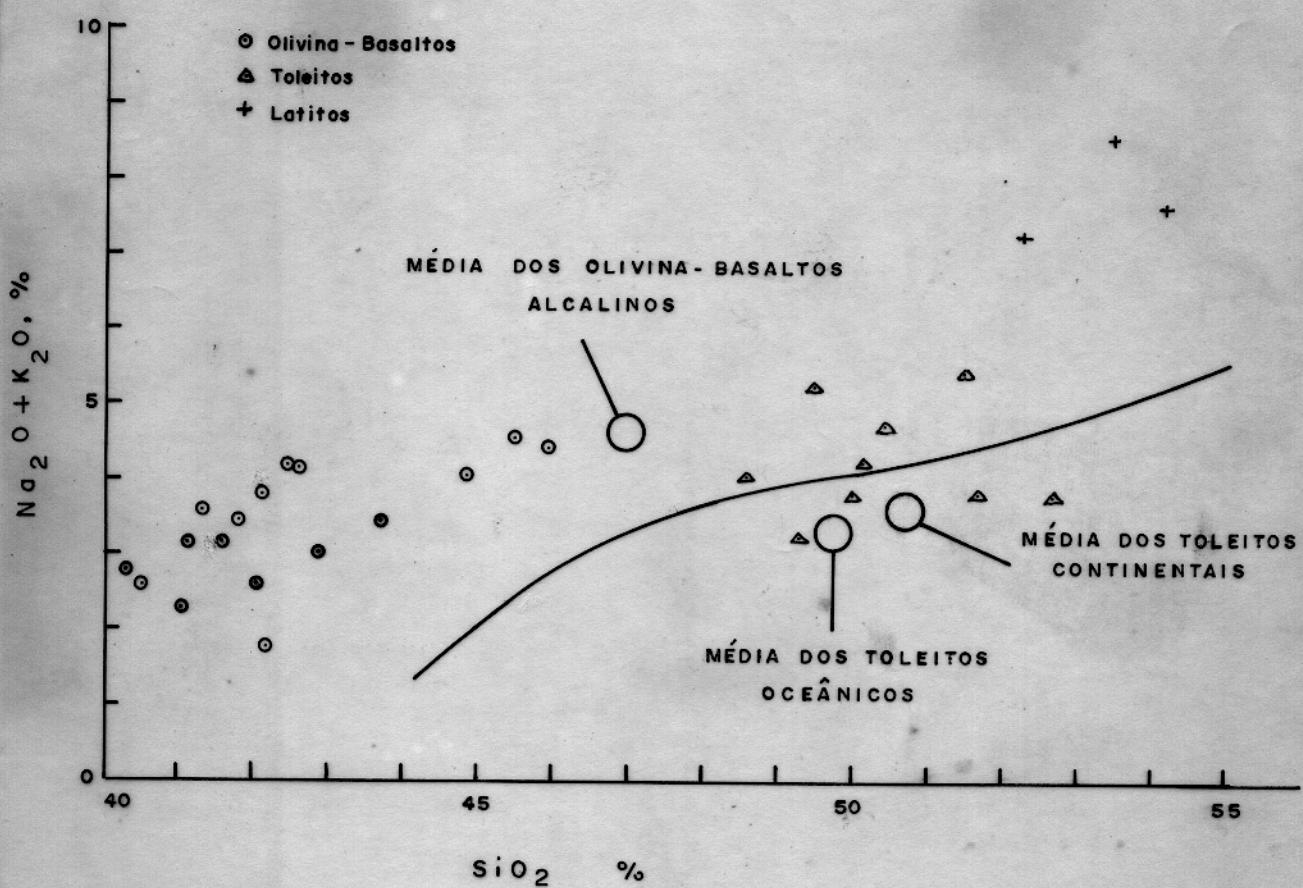


Figura 9: Variação ácalis-sílica dos basaltos da sondagem Rainrod I. Plotação do tipo utilizado por MacDonald and Katsura (1964) e Hyndman (1972).

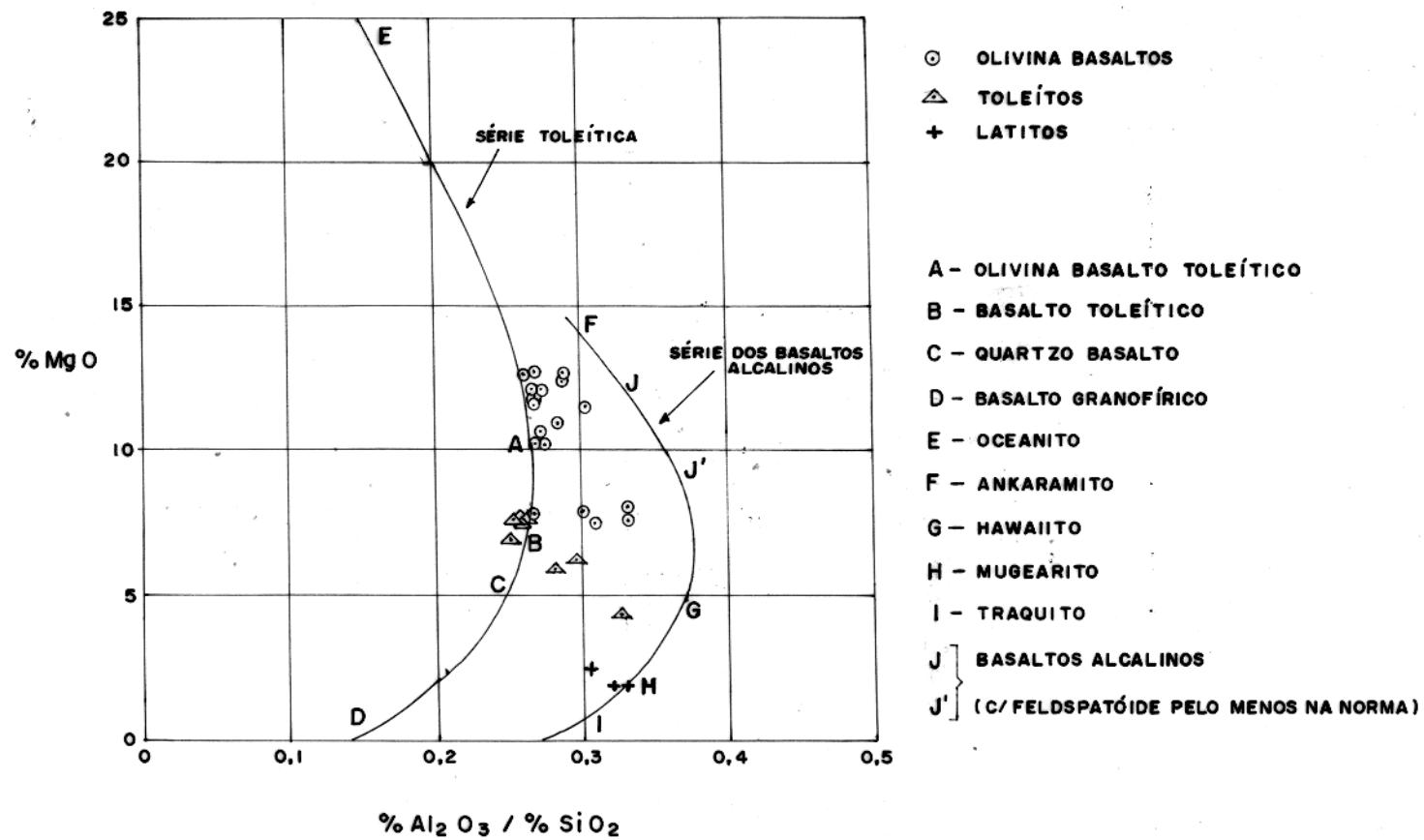


FIGURA 10: DIAGRAMA DE  $\text{MgO}$  VERSUS  $\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{SiO}_2$  PARA AS AMOSTRAS DA SONDAÇÃO RAINROD II (PERCENTUAL EM PESO )  
PLOTAGÃO E SÍMBOLOS SEGUNDO MURATA (1960)

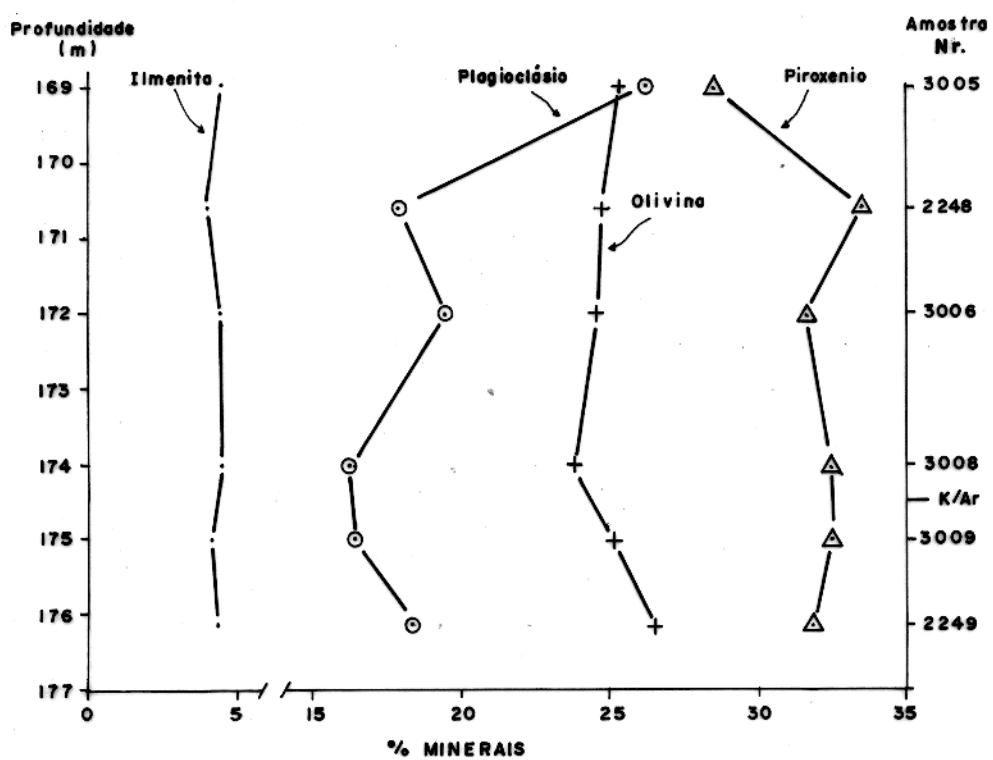


FIGURA II : VARIACÕES MINERALÓGICAS NA UNIDADE CONSIDERADA INTRUSIVA NA SÉRIE 5 ( INTERVALO 169,0 - 176,15 m )

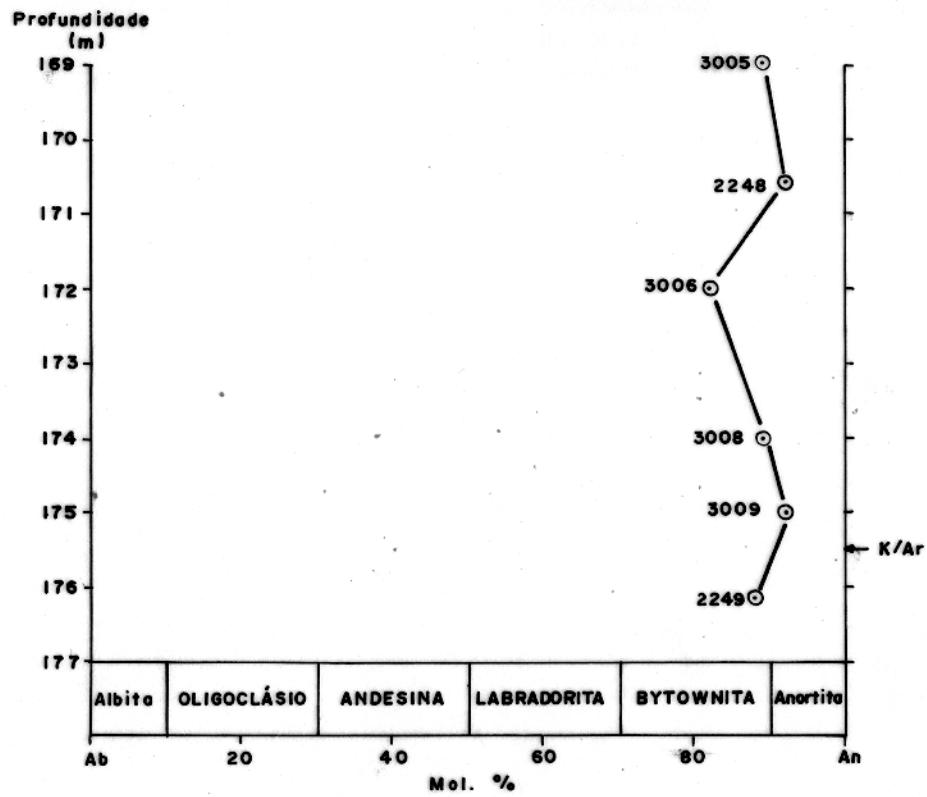


FIGURA 12 : VARIAÇÃO NA COMPOSIÇÃO NORMATIVA DOS PLAGIOCLÁSIOS DA UNIDADE CONSIDERADA INTRUSIVA NA SÉRIE 5 (INTERVALO 169,0 - 176,15 m ).

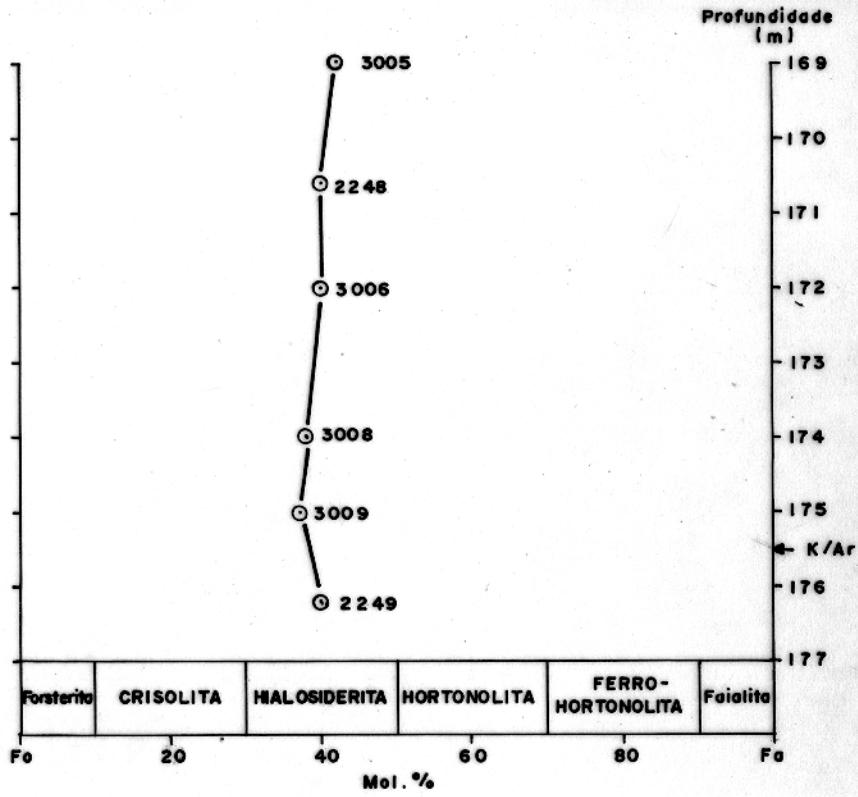


FIGURA 13 : VARIAÇÃO NA COMPOSIÇÃO NORMATIVA DAS OLIVINAS DA UNIDADE CONSIDERADA INTRUSIVA NA SÉRIE 5 (INTERVALO 169,0 - 176,15 m ).

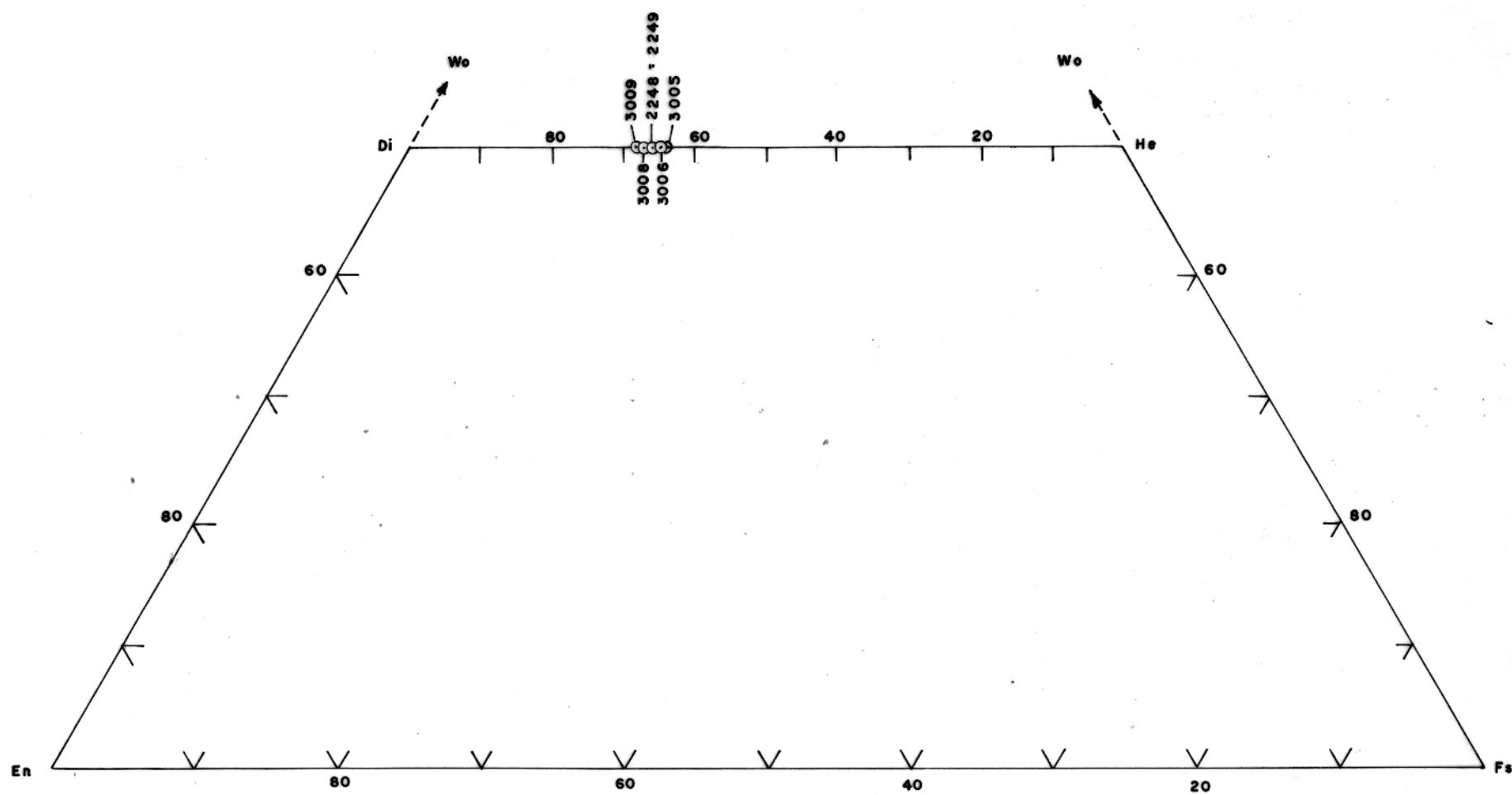


FIGURA 14 : VARIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO DOS PIROXENIOS NA SÉRIE 5 ( UNIDADE COMPREENDIDA ENTRE 169,0 - 176,15 m )

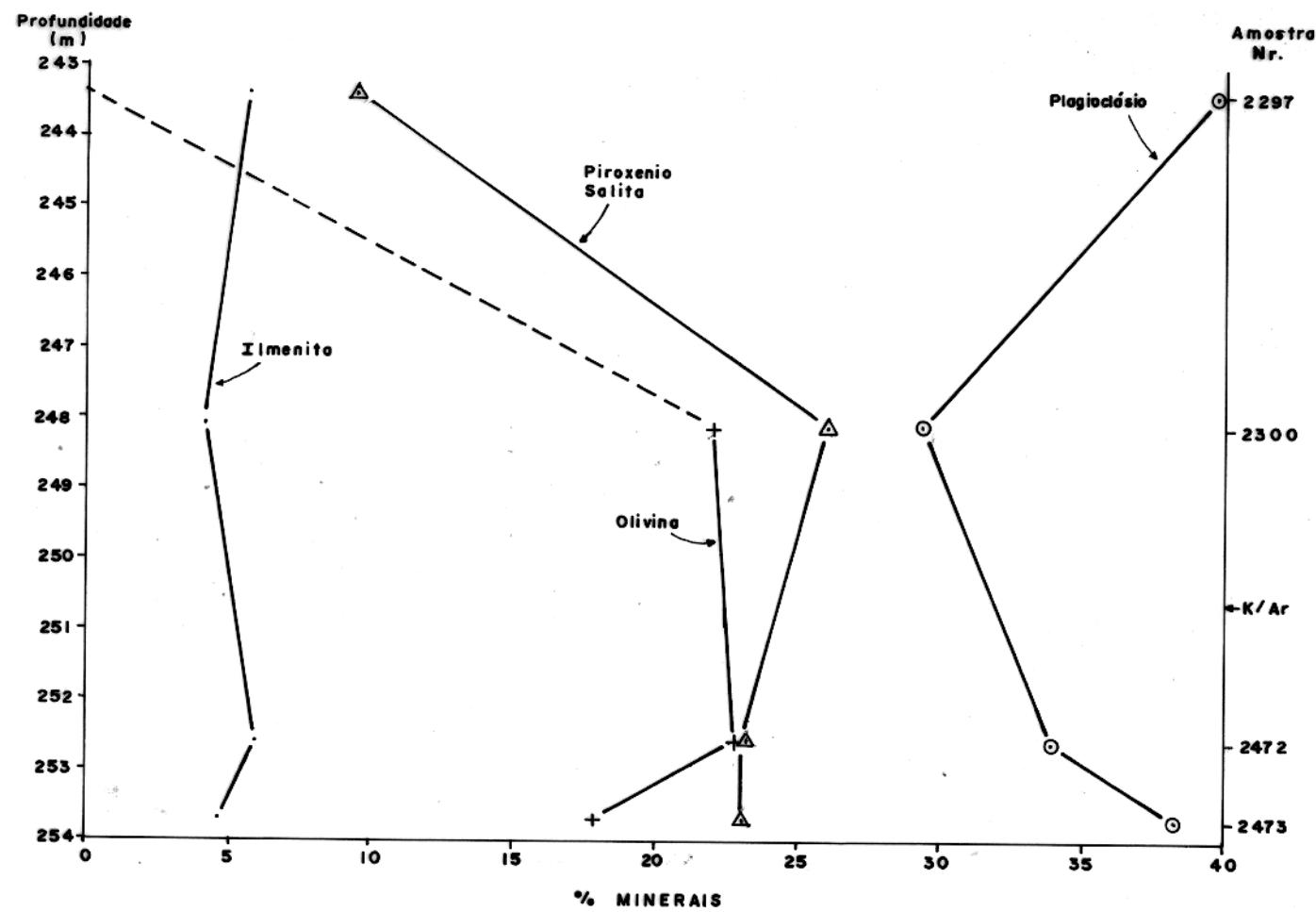


FIGURA 15 : VARIAÇÕES MINERALÓGICAS NAS AMOSTRAS ESTUDADAS NA SÉRIE 3 ( 243 - 254 m )

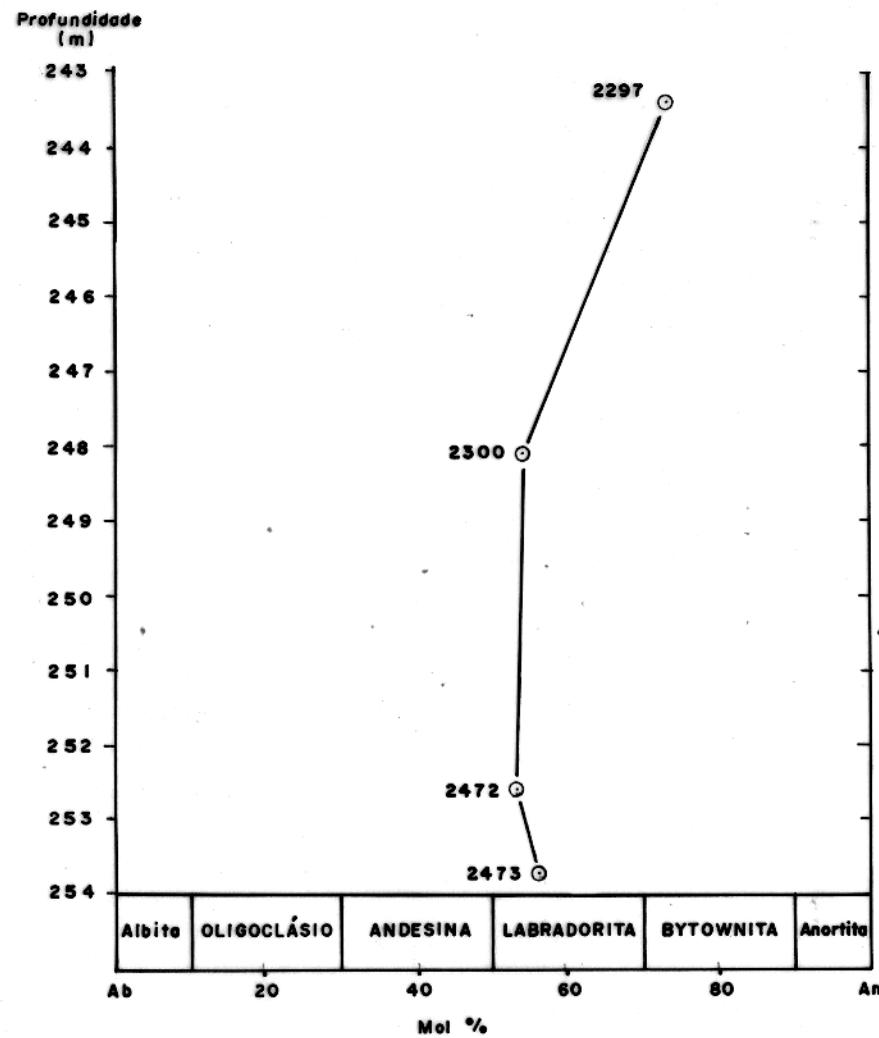


FIGURA 16 : VARIACÃO NA COMPOSIÇÃO NORMATIVA DOS PLAGIOCLÁSIOS DAS AMOSTRAS ESTUDADAS NA SÉRIE 3 ( 243 - 254 m ).

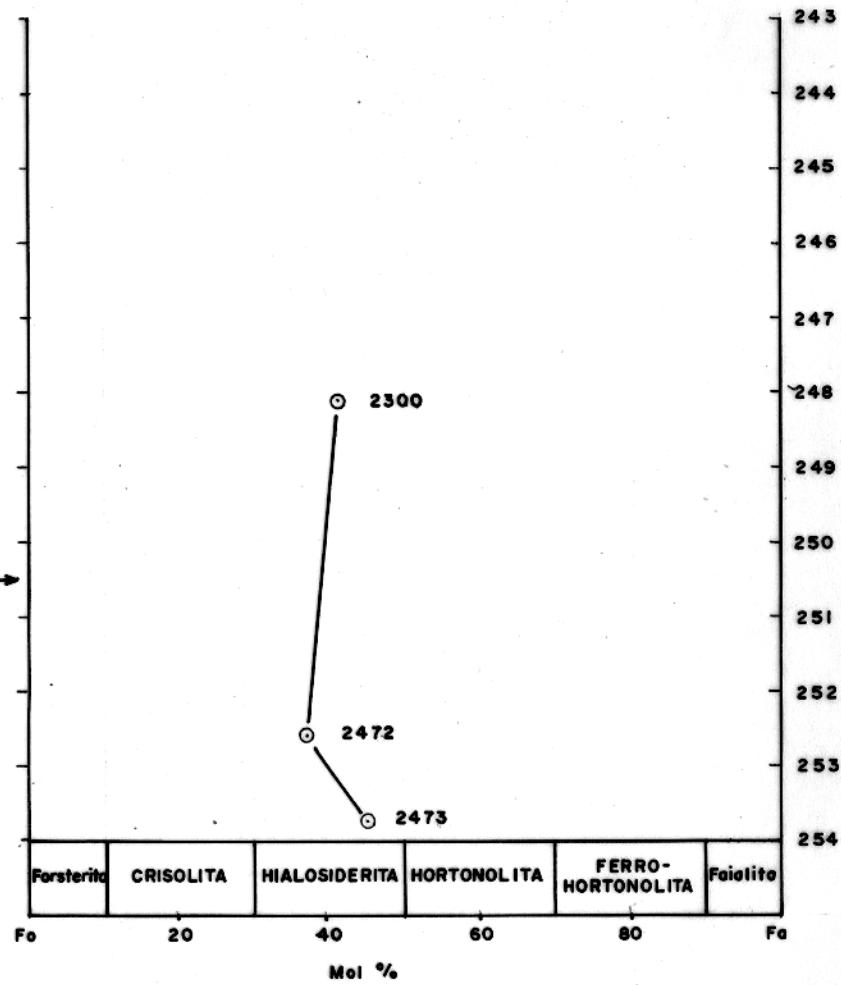


FIGURA 17 : VARIACÃO NA COMPOSIÇÃO NORMATIVA DAS OLIVINAS DAS AMOSTRAS ESTUDADAS NA SÉRIE 3 ( 243 - 254 m ).

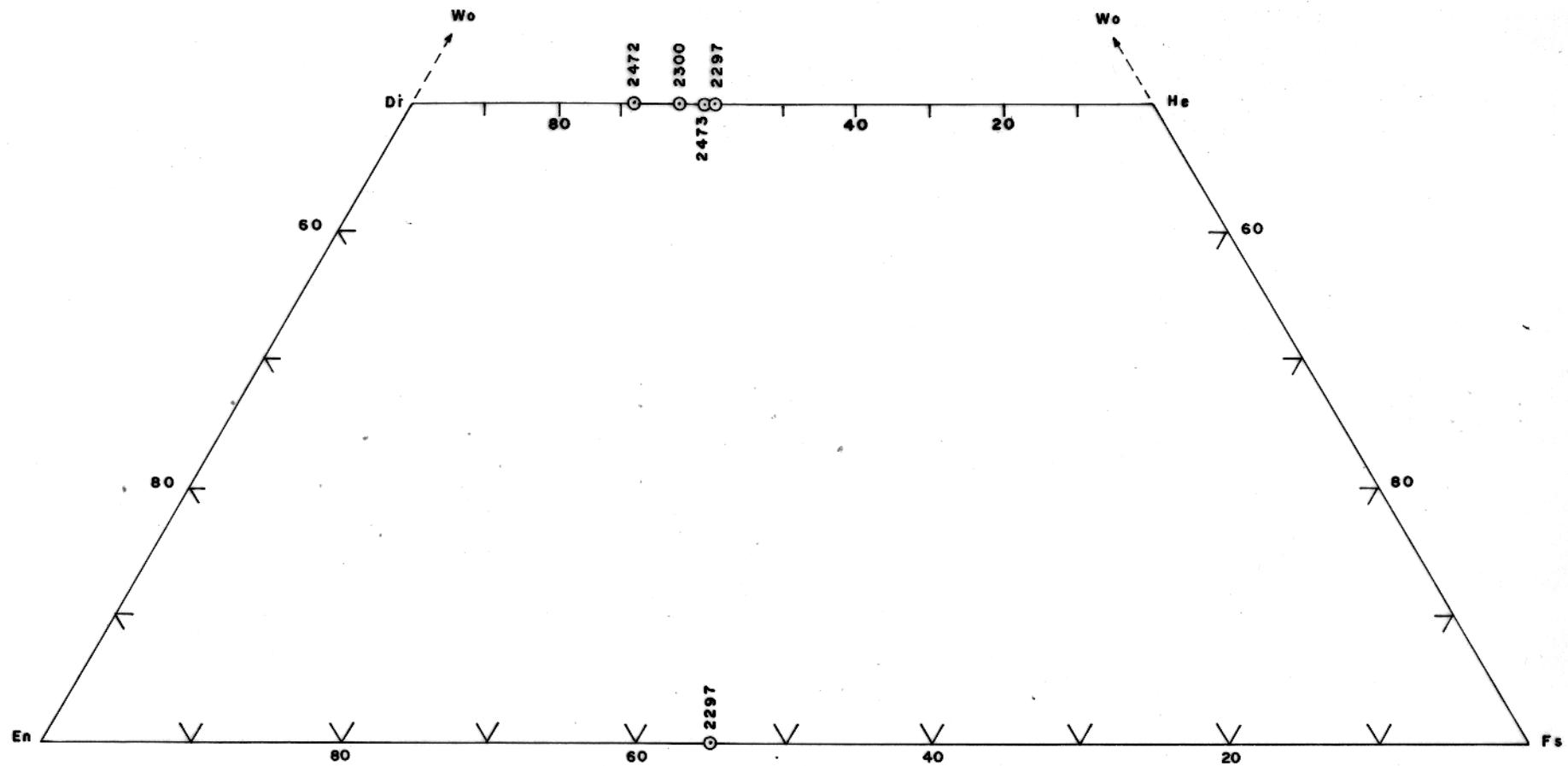


FIGURA 18 : VARIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO DOS PIROXENIOS NAS AMOSTRAS ESTUDADAS NA SÉRIE 3.

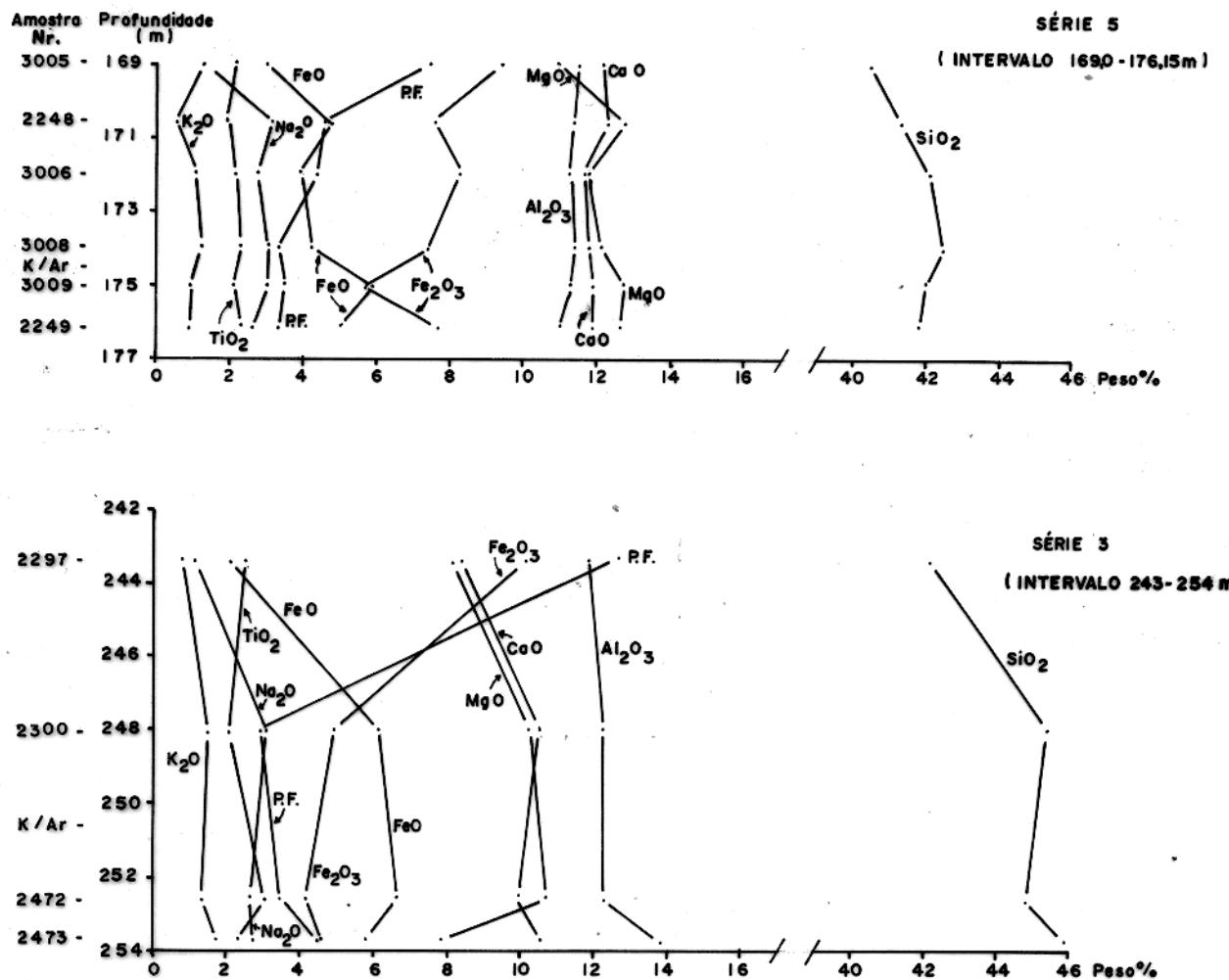


FIGURA 19: DISTRIBUIÇÃO DOS ÓXIDOS PRINCIPAIS NAS AMOSTRAS DA SÉRIE 3 E 5 (INTERVALO 169,0 - 176,15m).

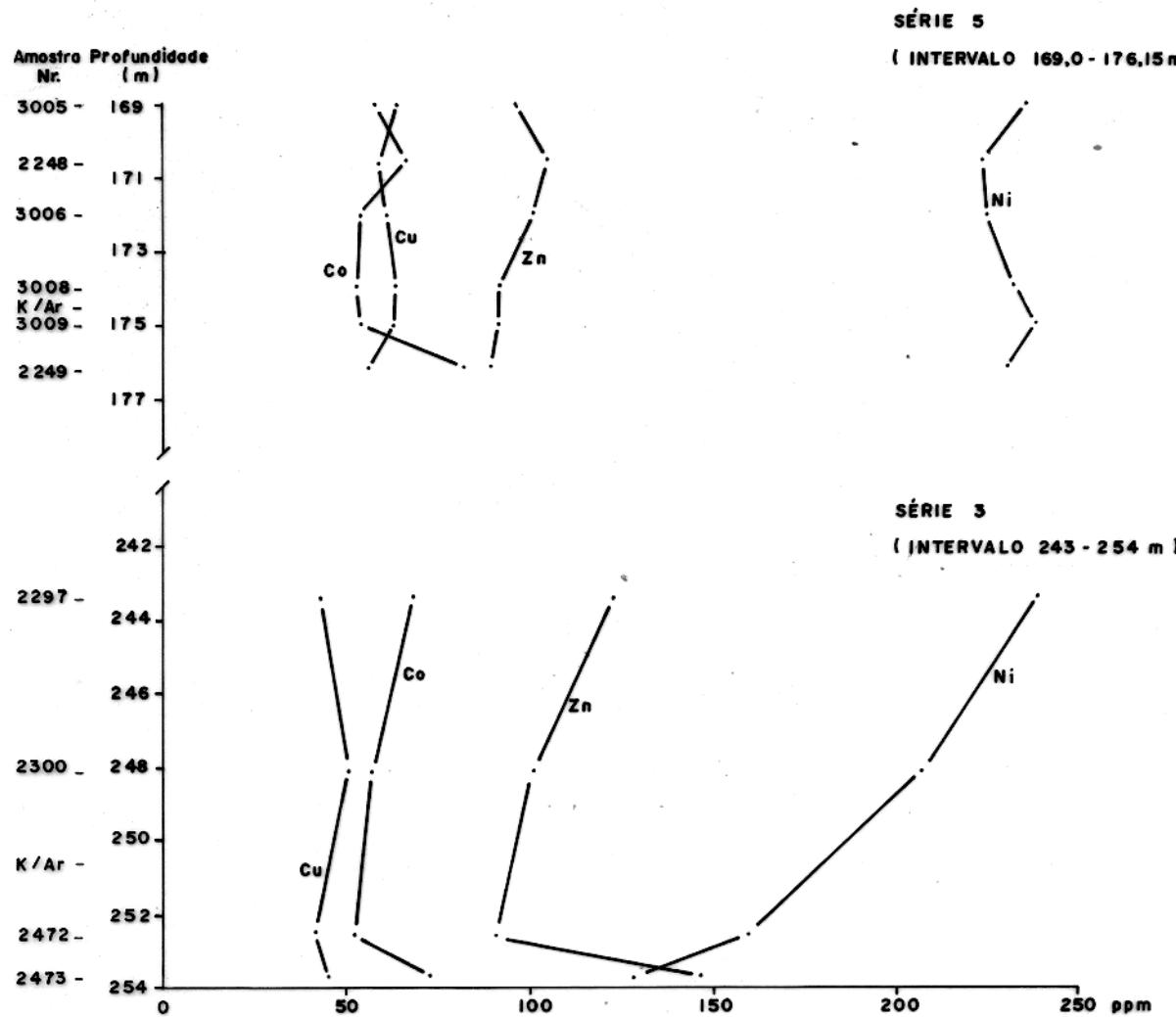


FIGURA 20: DISTRIBUIÇÃO DE Ni, Co, Cu E Zn NAS AMOSTRAS ESTUDADAS NAS SÉRIES 3 E 5 ( INTERVALO 169,0 - 176,15 m )

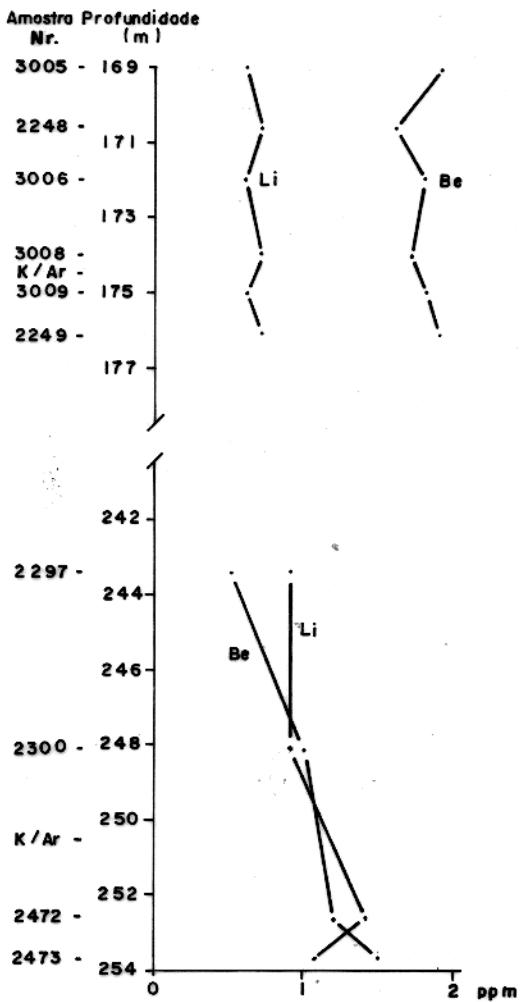


FIGURA 21 : DISTRIBUIÇÃO DE Li e Be NAS AMOSTRAS ESTUDADAS  
NAS SÉRIES 3 E 5 ( INTERVALO 169,0 - 176,15 m ).

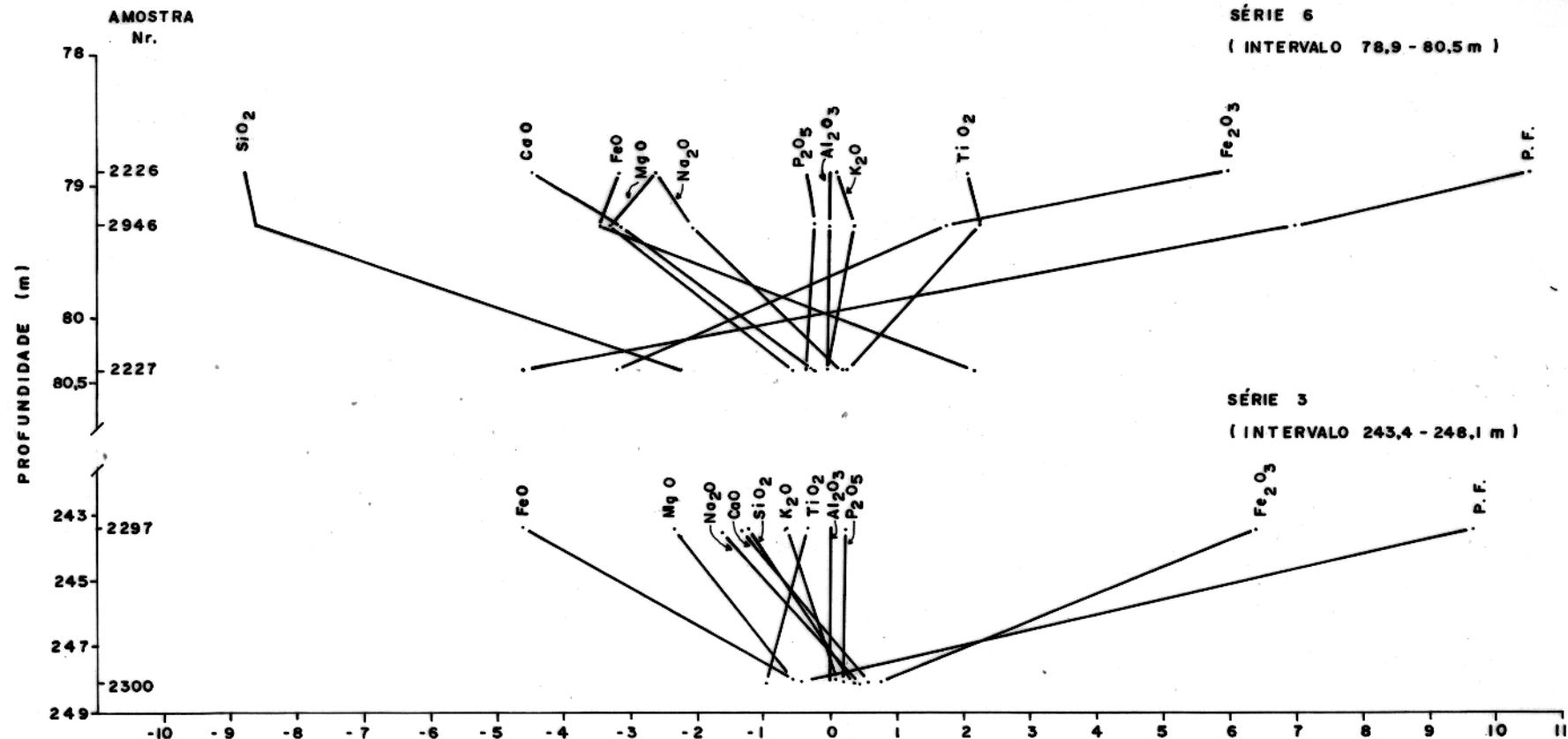


FIGURA 22 : VARIAÇÃO QUÍMICA ( ISO - ALUMINIO ) DURANTE O INTEMPERISMO DAS SÉRIES 6 E 3. PARA A SÉRIE 6 OS CÁLCULOS FORAM FEITOS EM RELAÇÃO À AMOSTRA 2229 ( 85,45 m ), PARA A SÉRIE 3, EM RELAÇÃO À AMOSTRA 2472 ( 252,6 m ).

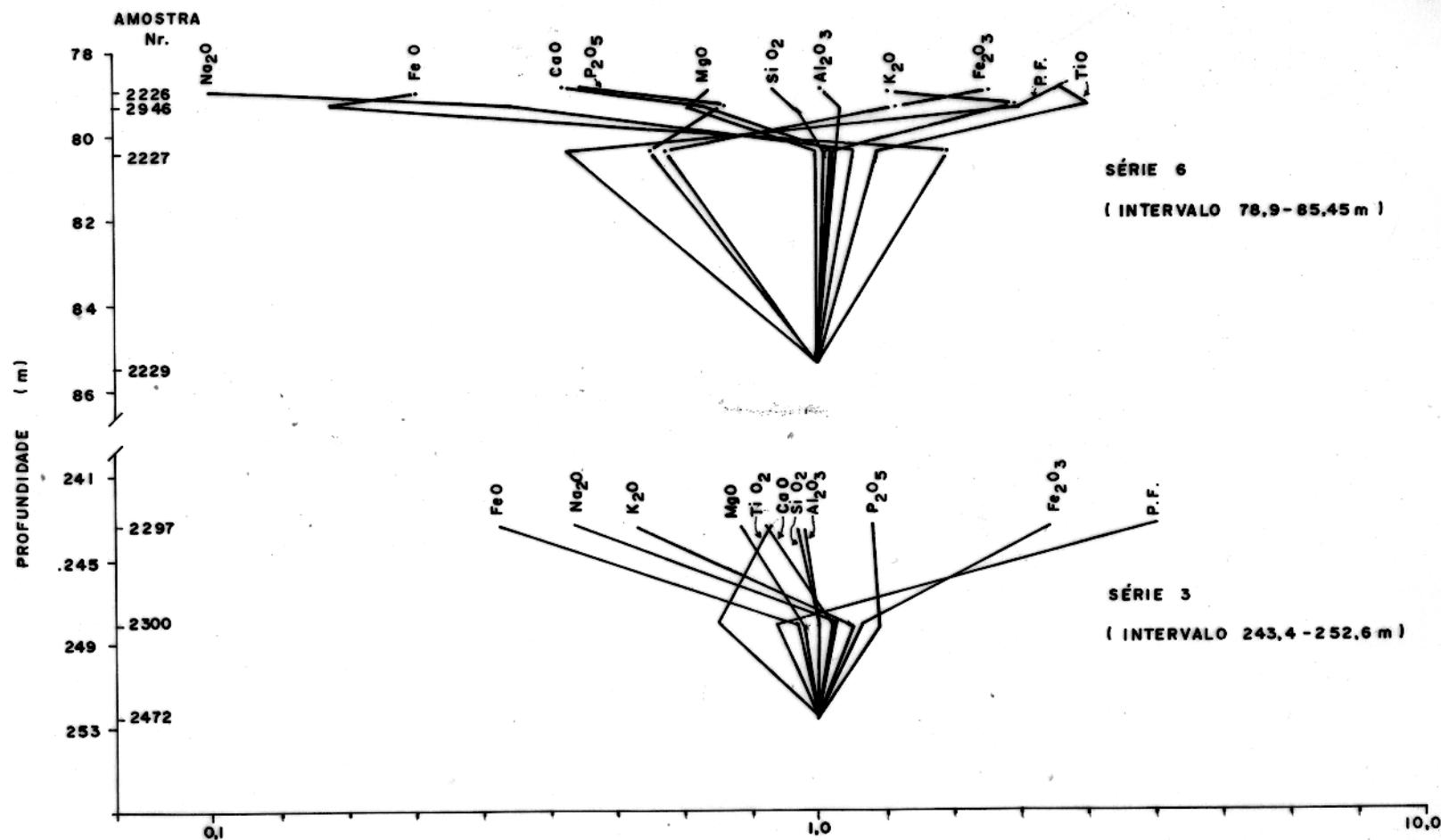


FIGURA 23: VARIAÇÃO QUÍMICA NA SÉRIE 6 E 3 COM RELAÇÃO ÀS AMOSTRAS DE BASALTO CONSIDERADAS AS MAIS FRESCAS, OU SEJA,  
2472 NA SÉRIE 3 E 2229 NA SÉRIE 6.

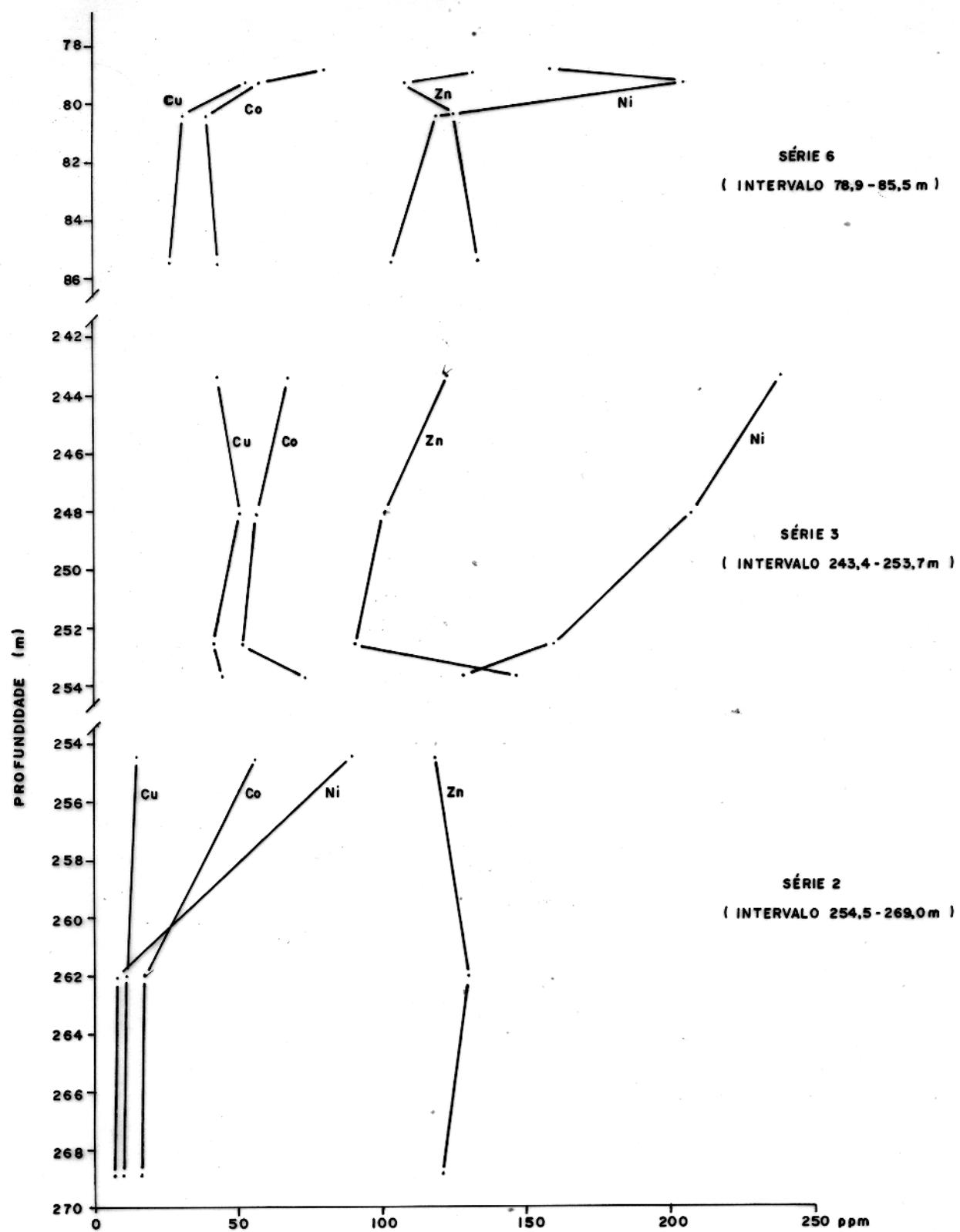


FIGURA 24 : DISTRIBUIÇÃO DE Ni, Co, Cu, Zn NAS SÉRIES 2,3 E 6, CUJOS TOPOS APRESENTAM EVIDÊNCIAS DE INTEMPERISMO.