UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

EVOLUÇÃO MINERALÓGICA E GEOQUÍMICA DO PERFIL LATERÍTICO MINERALIZADO A Sn, Zr, Nb, Y E ETR DA SERRA DO MADEIRA - PITINGA(AM)

Tese Apresentada por

ADRIANA MARIA COIMBRA HORBE

como requisito parcial à obtenção do grau em

MESTRE EM CIÊNCIAS

Na área de

GEOQUÍMICA E PETROLOGIA

Conferido pelo Curso de Pós-Graduação em

Geociências da

Universidade Federal do Pará

Aprovado: 15.04.91

Comitê de Tese

MARCONDES LIMA DA COSTA(ORIENTADOR)

MILTON LUIZ LAQUINTINIE FORMOSO

JOSE VICENTE VALARELLI

AGRADECIMENTOS

Expresso meu profundo agradecimento aos geólogos e colegas Admar Coelho e José Thadeu Teixeira, pelo incentivo a este estudo acadêmico de suma importância para o enriquecimento profissional.

Agradeço também ao Prof. Dr. Marcondes Lima da Costa, pela sua imensa paciência e compreensão.

Agradeço ao geólogo Marco Antonio Horbe pelo incentivo e pelas suas inúmeras contribuições técnicas.

Agradeço aos meus ex-colegas da Paranapanema, pelo incentivo e discussões a respeito da geologia do Pitinga, em especial aos geólogos Hilton Tulio Costi, Paulo Cezar Brito de Souza e Kátia Zanol Alcântara.

A Anselmo M. dos Santos, Edina Pinheiro, Walfir Torres e Gilmar Santos que muito contribuiram na parte de datilografia e desenhos, sem os quais seria impossível a conclusão desta tese de mestrado.

Agradeço ao colega Rômulo S. Angélica pela sua inestimável contribuição para decifrar os softwares utilizados nesta tese, bem como a respeito dos processos de intemperismo.

A Walmeire Costa, Telma Faraco, José Galindo e aos demais colegas e professores do Centro de Geociências da UFPa.

Agradeço o apoio financeiro da Paranapanema S/A, na qual espero poder continuar contando nos trabalhos futuros, ao CNPq e a CAPES sem o qual este trabalho não teria sido realizado.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS..... I
SUMÁRIO..... II
LISTA DE ILUSTRAÇÕES..... IV
LISTA DE TABELAS..... VI
RESUMO..... VII
ABSTRACT..... IX

1 - INTRODUÇÃO..... 1
1.1 - Objetivos..... 1
1.2 - Histórico..... 2
1.3 - Localização..... 3
1.4 - Os Lateritos e Sua Associação com a Mineralização... 3
1.5 - Fisiografia e Relevo..... 7
1.6 - Geologia Regional..... 8
1.7 - Geologia do Granito da Serra do Madeira..... 9

2 - METODOLOGIA..... 13
2.1 - Mapeamento Geológico..... 13
2.2 - Amostragem..... 13
2.3 - Descrição dos Perfis e Tratamento das Amostras..... 14
2.4 - Medidas de Densidade..... 14
2.5 - Medidas de Potencial Hidrogeniônico..... 16
2.6 - Análises Granulométricas..... 16
2.7 - Análises Químicas e Mineralógicas..... 16
2.8 - Balanço Geoquímico..... 19
2.9 - Tratamento Estatístico e Informática..... 19

3 - RESULTADOS OBTIDOS..... 20
3.1 - Geologia da Superfície da Serra do Madeira..... 20
3.2 - Geologia dos lateritos da Serra do Madeira..... 20
3.3 - Características Granulometricas..... 36
3.4 - Densidade Relativa..... 39
3.5 - Potencial Hidrogeniônico - pH..... 39
3.6 - Mineralogia..... 40
3.6.1 - Minerais Principais..... 40
3.6.1.1 - Distribuição nos Perfis e Horizontes..... 41
3.6.2 - Minerais Acessórios e Minerais de Minério..... 48
3.7 - Características Químicas..... 55
3.7.1 - Da Rocha Total nos Perfis..... 56
3.7.1.1 - Distribuição dos Elementos Maiores..... 56
3.7.1.2 - Distribuição dos Elementos Traços..... 66
3.7.1.3 - Distribuição dos Elementos Terras Raras..... 71
3.7.2 - Composição Química das Frações Granulométricas..... 82
3.7.2.1 - Distribuição dos Elementos Maiores nas Frações Granulométricas..... 83
3.7.2.2 - Distribuição dos Elementos Traços nas Frações Granulométricas..... 89
3.7.2.3 - Distribuição dos Elementos Terras Raras nas Frações Granulométricas. 93

4 - DISCUSSÃO.....111
4.1 - Evolução Geológica.....111
4.1.1 - Evolução Geológica do Perfil da Serra do Madeira.....112

4.2 - Evolução Mineralógica.....116
4.3 - Evolução Geoquímica.....125
4.3.1 - Balanço Geoquímico.....127
4.3.1.1 - Conclusões.....150
4.3.2 - Associações Geoquímicas.....151
5 - CONCLUSÕES.....158
6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....159

ANEXOS.....167

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização..... 5
Figura 2 - Distribuição geográfica dos platôs..... 6
Figura 3 - Mapa geológico do Granito Madeira..... 11
Figura 4 - Localização dos poços..... 15
Figura 5 - Mapa geológico da Serra do Madeira..... -
Figura 6 - Vista panorâmica da porção sul da Serra do Madeira.22
Figura 7 - Perfis geológicos N-S..... -
Figura 8 - Perfis 500 e 750..... -
Figura 9 - Perfis 1000 e 1250..... -
Figura 10 - Perfil 1500..... -
Figura 11 - Perfis 1600 e 1750..... -
Figura 12 - Venulações caolinÍticas e 23
Figura 13 - Perfil laterÍtico 24
Figura 14 - Frente de lavra, na porção SW da 26
Figura 15 - Amostra do horizonte bauxÍtico 27
Figura 16 - Horizonte concrecionário 29
Figura 17 - Seção no topo da Serra 30
Figura 18 - Seção no topo da Serra mostrando a 31
Figura 19 - Vista de um relÍcto da crosta ferruginosa..... 32
Figura 20 - Seção na frente de lavra, ... 33
Figura 21 - Seção no topo da Serra 35
Figura 22 - Distribuição acumulativa das frações 38
Figura 23 - Composição mineralógica dos perfis 500/875 43
Figura 24 - Composição mineralógica dos perfis 750/1000 44
Figura 25 - Composição mineralógica dos perfis 1250/375..... 45
Figura 26 - Composição mineralógica dos perfis 1500/625 46
Figura 27 - Composição mineralógica dos perfis 1600/1000 47
Figura 28 - Concentrado de minerais com zircão, columbita..... 51
Figura 29 - Concentrado de minerais com zircão, torita..... 51
Figura 30 - Concentrado de minerais com zircão, cassiterita... 52
Figura 31 - Concentrado de minerais com cassiterita..... 52
Figura 32 - Concentrado de minerais pesados com columbita..... 53
Figura 33 - Concentrado de minerais pesados com xenotima..... 53
Figura 34 - Concentrado de minerais pesados com riebeckita.... 54
Figura 35 - Distribuição dos elementos no perfil 750/375..... 60
Figura 36 - Distribuição dos elementos no perfil 1000/750..... 61
Figura 37 - Distribuição dos elementos no perfil 1250/1250.... 62
Figura 38 - Distribuição dos elementos no perfil 1250/1750.... 63
Figura 39 - Distribuição dos elementos no perfil 1600/1000.... 64
Figura 40 - Distribuição dos elementos no perfil 1750/375..... 65
Figura 41 - Padrão dos ETR por horizonte..... 76
Figura 42 - Comportamento dos ETR nos perfis 500/875..... 77
Figura 43 - Comportamento dos ETR nos perfis 1000/750..... 78
Figura 44 - Comportamento dos ETR nos perfis 1500/625..... 79
Figura 45 - Padrão de distribuição dos ETR na xenotima..... 81
Figura 46 - Padrão de distribuição no perfil 1250/1250..... 87
Figura 47 - Padrão de distribuição no perfil 1250/1750..... 88
Figura 48 - Distribuição dos ETR no perfil 500/875..... 96
Figura 49 - Distribuição dos ETR no perfil 750/1000..... 97
Figura 50 - Distribuição dos ETR no perfil 1250/1250..... 98
Figura 51 - Distribuição dos ETR no perfil 1250/1750..... 99
Figura 52 - Distribuição dos ETR no perfil 1600/1000.....100
Figura 53 - Distribuição dos ETR no perfil 1750/375.....102
Figura 54 - ETR segundo as frações no perfil 500/875.....104
Figura 55 - ETR segundo as frações no perfil 750/1000.....105
Figura 56 - ETR segundo as frações no perfil 1250/1250.....106
Figura 57 - ETR segundo as frações no perfil 1250/1750.....107
Figura 58 - ETR segundo as frações no perfil 1600/1000.....108
Figura 59 - ETR segundo as frações no perfil 1750/375.....109

Figura 60 - Evolução geológica 114
Figura 61 - Evolução mineralógica.....118
Figura 62 - Diagrama de estabilidade.....122
Figura 63 - Evolução laterítica.....126
Figura 64 - Fator ... isovolumétrico do perfil 1000/750.....131
Figura 65 - Fator ... isoalumínio do perfil 1000/750.....132
Figura 66 - Fator ... isoestanho do perfil 1000/750.....133
Figura 67 - Fator ... isozircônio do perfil 1000/750.....134
Figura 68 - Fator ... isonióbio do perfil 1000/750.....135
Figura 69 - Fator ... isovolumétrico do perfil 1250/1250....136
Figura 70 - Fator ... isoalumínio do perfil 1250/1250.....137
Figura 71 - Fator ... isoestanho do perfil 1250/1250.....138
Figura 72 - Fator ... isozircônio do perfil 1250/1250.....139
Figura 73 - Fator ... isonióbio do perfil 1250/1250.....140
Figura 74 - Fator ... isovolumétrico do perfil 1250/1750....141
Figura 75 - Fator ... isoalumínio do perfil 1250/1750.....142
Figura 76 - Fator ... isoestanho do perfil 1250/1750.....143
Figura 77 - Fator ... isozircônio do perfil 1250/1750.....144
Figura 78 - Fator ... isonióbio do perfil 1250/1750.....145
Figura 79 - Dendrograma.....152

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Métodos de análise química..... 17
Tabela 2 - Densidade..... 39
Tabela 3 - pH..... 40
Tabela 4 - Mineralogia..... 41
Tabela 5 - Minerais pesados..... 50
Tabela 6 - Composição química total dos elementos maiores.... 58
Tabela 7 - Composição químoca dos elementos menores..... 67
Tabela 8 - Composição parcial da xenotima, cassiterita..... 70
Tabela 9 - Composição química total dos ETR..... 73
Tabela 10 - Razão de distribuição dos ETR..... 74
Tabela 11 - Teores de ETR em minerais..... 82
Tabela 12 - Composição química dos elementos maiores nas frações..... 84
Tabela 13 - Composição química dos elementos menores nas frações..... 90
Tabela 14 - Composição química dos ETR nas frações..... 94

RESUMO

A Serra do Madeira localiza-se no interflúvio dos rios Pitinga e Alalaú, no Município de Presidente Figueiredo, Estado do Amazonas. Geologicamente, é parte de extensa cobertura laterítica que se estende, praticamente, por toda a região Amazônica. O perfil foi desenvolvido a partir de rocha mãe de composição granítica, autometassomatizada (apogranito), enriquecida em F, Sn, Zr, Nb, Y e TR em teores economicamente explotáveis e empobrecida em Mg, Ca e Ti. Mineralogicamente, a rocha mãe é constituída por albita, quartzo e K-feldspato além de riebeckita, biotita, lepidolita, criolita, zircão, cassiterita, columbita, pirocloro, xenotima, torita, fluorita, monazita e opacos como acessórios. A lateritização atuante sobre essa rocha desenvolveu um perfil laterítico, que encontra-se parcialmente truncado pelos fenômenos erosivos Quaternários.

No perfil são identificados os seguintes horizontes da base para o topo: o saprolítico, o argiloso, o bauxítico, o concrecionário, o colúvio e o latossolo. Os três primeiros são autóctones e os demais alóctones. Na análise granulométrica do perfil laterítico, nota-se a larga predominância da fração < 62 μm, representando o material argiloso e perfazendo até 70% deste. Em direção ao topo do perfil, como um todo, tem-se diminuição da proporção da fração mais fina devido ao concrecionamento do material, chegando em caso extremo, da fração mais grosseira representar 70% do material total. O estudo das curvas acumulativas permitiu a individualização de quatro frações mais características: 2.000μm-1.410μm; 1.000μm-750μm; 250μm-177μm e <62 μm sendo estas utilizadas para o estudo do comportamento químico das frações.

Cálculos mineralógicos semiquantitativos, obtidos a partir dos dados de análises químicas e difração de raios-x, mostram que a evolução dos lateritos é comparável aos demais da região Amazônica. A composição mineralógica do perfil é constituida basicamente por quartzo, caolinita, gibbsita e hematita, com variações, a medida que se ascende no perfil, caracterizando valores mais elevados em gibbsita e hematita no horizonte concrecionário.

Análises químicas multi-elementares do material total permitiram concluir que a lateritização se processou com diminuição dos teores de SiO2, FeO, CaO, Na2O, K2O, F, Y, Pb, U e Rb e aumento dos de Al2O3, Fe2O3, TiO2, Sn, Zr, Nb, Ta, Ga, P, Th e W. As análises químicas das frações granulométricas, mostram que a SiO2, concentra-se nas frações 2.000-1.410μm e 1.000-710μm caracterizando a granulometria grosseira do quartzo. O Al2O3 tem preferência pela fração <62μm, representando a porção de domínio da caolinita e gibbsita e o Fe2O3 nas frações 250-175μm e 62 μm, como hematita. Os elementos que compõem os minerais resistatos se desdobram em dois grupos: Sn, Zr, Hf, Ta, P, Th e W se concentram nas frações 250-170μm e 1.000-740μm, enquanto o Nb, Y, U e Pb nas frações 250-170 μm e <62μm, provavelmente ocorrendo tanto como resistatos (xenotima, columbita e pirocloro) como sorvidos nos argilominerais. O F tem os teores mais elevados na fração <62 μm em provável associação com os argilominerais, e também tende a se enriquecer nas frações mais grosseiras dos horizontes superiores, indicando possível associação com os óxi-hidróxidos de Fe.

Para o de estudos de correlação e associações geoquímicas foram considerados quatro horizontes:

rocha mãe, saprólito, argiloso e o topo englobando os horizontes concrecionário, o colúvio e o latossolo. As correlações se modificam com a evolução do perfil, caracterizando o processo dinâmico de sua formação. A associação clássica de Al2O3-PF-Fe2O3 representando os hidróxidos de Fe e Al persiste na base do perfil restringindo-se para Al2O3-PF, no topo do perfil representando a gibbsita, e o Fe2O3 comportando-se isoladamente como hematita. As correlações entre os demais elementos relacionados aos minerais de minério também modificam-se com a evolução do perfil. Enquanto na rocha mãe Sn, Nb e Y estão isolados ou têm correlações pouco significativas com outros elementos, no perfil intempérico agrupam-se, formando nos horizontes de topo associações compatíveis com cada mineral: Zr-Hf para o zircão, Y-P para a xenotima, Sn-Nb-Ta para a columbita e a cassiterita. Os elementos terras raras (ETR) têm correlações diferentes ao longo do perfil. Na rocha mãe, os ETR estão agrupados formando uma única associação (La-Ce-Nd-Sm-Eu-Gd-Dy-Ho-Er-Yb-Lu), já para o saprólito os elementos terra raras pesados (ETRP) se correlacionam ao Zr, enquanto os elementos terras raras leves (ETRL) formam um grupo isolado. Para o horizonte argiloso ambos formam grupos isolados, indicando possíveis neoformações de minerais, nos quais o comportamento dos ETR implica em nova distribuição dos mesmos.

O balanço geoquímico, com base no cálculo isoquímico indica alta mobilidade dos álcalis, Fe, U e F, o enriquecimento do Zr, Sn, Nb, Ta e Th por estarem na estrutura dos resistatos e o comportamento intermediário do Pb, Y, Ga, ETR, Mn e Si. O P, Y e Mn ocorrem tanto na forma de minerais resistatos como em minerais instáveis à lateritização. O Al2O3 é praticamente imóvel.

Geneticamente, o perfil laterítico da Serra do Madeira é do tipo maturo e de desenvolvimento completo e está relacionado ao evento lateritizante transcorrido durante o Terciário Inferior, em toda a Amazônia. Do Terciário Superior ao Quaternário, a região foi palco de uma fase de lateritização imatura com longo processo de dissecação e peneplanização, formando extensos depósitos aluvionares e coluvionares mineralizados. A lateritização permite, devido ao enriquecimento residual dos minerais resistatos, em até seis vezes em relação a rocha mãe, a formação de uma jazida economicamente explorável de estanho, zircônio, nióbio, ítrio e terras raras. O processo de lateritização gerou argilo-minerais de modo que o beneficiamento do minério secundario é de fácil desmonte, não necessitando de prévia britagem, tornando a implantação da lavra, à primeira vista, mais simples e econômica.

ABSTRACT

The Madeira Hill is located between Pitinga and Alalaú rivers, in Presidente Figueiredo Municipality, Amazonas State (northern Brazil). it is part of wide lateritic cover that reaches almost all of the Amazon region. The lateritic profile was developed over granitic parent rocks, autometasomatized (apogranite), enriched on F, Sn, Zr, Nb, Y and REE (with economicaly exploitable contents), impoverished in Mg, Ca and Ti. The parent rocks present the folLowing mineralogy: albite, quartz and K-feldspar, besides riebeckite, biotite, lepidolite, cryolite, zircon, cassiterite, columbite, pyroclore, xenotime, fluorite, monazite and opaques as acessories.

Lateritization processes developed a thick lateritic profile over these rocks, actually truncated by Quaternary erosive processes.

The following horizons are identified in profile, from base to top: saprolite, clayey horizon, bauxite, concretionary horizons,
coluvium and latossol. The first three horizons are authochtone and the others are alloctone. In granulometric analysis from lateritic profile, one observes a greate domain of minus 62 μm fraction - related to clayey material - reaching 70% of the total material.

This finest fraction diminishes toward the top of profile, as a consequence of concretioning, where the coarse fraction reaches 70% of the total material. Criterious analysis of cumulative curves allowed individualization of four characteristic fractions: 2000μm-1410μm, 1000μm-750μm, 250μm-177 μm and <62μm, with the objective of studying chemical behavior of each fraction.

Semi-quantitative mineralogical calculation obtained from chemical and x-ray diffraction analysis show that laterites evolution are comparable to Amazon region laterites.

The profile presents the following mineralogy: quartz, kaolinite, gibbsite and hematite, with variable contents toward the top of the profile, where gibbsite and hematite domain in concretionary horizon.

Multi-elementary chemical analysis from total material allow to conclude that lateritization processed with diminishing of SiO2, FeO, Cao, Na2O, K2O, F, Y, Pb, U and Rb contents and increasing Al2O3, Fe2O3, TiO2, Sn, Zr, Nb, Ta, Ga, P, Th and W contents. Chemical analysis from granulometric fractions show that: SiO2 concentrates in 2000 μm-1410μm and 1000 μm-710 μm fractions (characterizing quartz coarse granulometry); Al2O3 enriches in <62μm fraction (related to kaolinite and gibbsite domain) and Fe2O3 in 250μm-175μm and <62 μm fractions, as hematite. The elements from resistate minerals are divided in two groups: Sn, Zr, Hf, Ta, P, Th and W (250μm- 170μm and 1000μm-740 μm fractions) and Nb, Y, U and Pb (250μm-170μm and <62 μm fractions), probably as resistates (xenotime, pyroclore and columbite) or sorbed by clay minerals. F is more abundant in <62μm clay minerals structure with tendency to concentrate in coarse fractions of upper horizons, indicating a possible iron oxi-hydroxides associations.

For the correlations and geochemical associations studies were considered the folloing horizons: parent rock, saprolite, clayey horizon and top of profile, involving concretionary, coluvium and latosol horizons. Correlations modify with profile evolutions, characterizing the dinamic processes of its formation.

The classical correlation Al2O3-PF-Fe2O3, relates to Fe and Al hydroxides persists in the base of profile, restrict to Al2O3-PF toward the top related to gibbsite, where Fe2O3 shows an isolated behavior as hematite. The correlations between other elements related to ore minerals also modify themselves with the profile evolution.

Sn, Nb and Y, in the parent rock, are isolated on exhibit correlations less significative with other elements, while in the profile, they are clustered, making compatible associations with each mineral in upper horizons: Zr-Hf to zircon, Y-P to xenotime, and Sn-Nb-Ta to columbite and cassiterite. REE presents differents correlations in the profile. In the parent rock REE are clustered forming a single association. In the saprolite, HREE show better correlations with Zr, while LREE make an isolated group. In the clayey horizon, both light and heavy make isolated groups indicating possible REE mineral neoformation.

The geochemical balance, based on isochemical calculations, indicates high mobility of alkaline elements, Fe, U and F, enrichment of Zr, Sn, Nb, Ta and Th (in resistates strutures) and intermediate behavior of Pb, Y, Ga REE, Mn and Si. Pb, Y and Mn occur both as resistates on instable minerals. The Al2O3 is almost imobile

In terms of its genesis, the "Serra do Madeira" lateritic profile is mature, with complete development but partially truncated, being related to Lower Tertiary lateritization event that took place all over the Amazon region. From Upper Tertiary to Quaternary, this region underwent an immature lateritization phase, with extensive dissection and peneplanation process, building great aluvionar and coluvionar mineralized deposits. Due to residual enrichment of resistate minerals until six time parent rocks contents, lateritization processes allow the formation of economicaly exploitable Sn, Zr, Nb, Y and REE ores. The lateritization processes have been produced a lot of clay minerals so that the secondary ore beneficiation is easier than the primary ore.

1. INTRODUÇÃO

O Pitinga representa atualmente a maior província estanífera do Brasil, responsável por 90% do estanho produzido, tendo projeção mundial. Por incluir depósitos de origem primária e secundária (aluviões e lateritos), com grande complexidade mineralógica, é indiscutível a importância geológica da região do Pitinga.

Os processos de lateritização desenvolvidos em toda a Amazônia têm testemunhos marcantes na região do Pitinga, com expressivos depósitos de bauxita metalúrgica. A lateritização do minério primário da Serra do Madeira foi a responsável pela reconcentração dos minerais resistatos no perfil, que associado à processos erosivos posteriores, foi fonte de material para a formação dos aluviões circunvizinhos.

1.1. Objetivos

Esta tese tem por objetivo discutir os processos de formação do perfil laterítico desenvolvido sobre os granitos da Serra do Madeira, e a conseqüente formação da jazida laterítica de Sn, Zr, Nb, Y e ETR.

Por ser um perfil bauxítico desenvolvido sobre um corpo granítico mineralizado a metais raros, único no Brasil, metais estes que ocorrem tanto na estrutura de minerais resistatos como na forma de minerais solúveis ao intemperismo, torna-se imprescindível este estudo, tanto para a compreensão do processo como para efeito de comparação com outras ocorrências e até como modelo metalogenético.

Espera-se que esta tese seja uma entre muitas a estudar a jazida Pitinga, já que a complexidade e extensão desta exige estudos aprofundados e de detalhe, para que esta raridade geológica não desapareça sem deixar contribuição no campo da

geologia e da mineração.

1.2. Histórico

Os primeiros relatos sobre a geologia da área que hoje compõe a Mina Pitinga foram apresentados por Mandetta et al. (1974), em seu trabalho de reconhecimento no Rio Pitinga.

Araújo et al. (1976), dentro do Projeto RADAM, apresentam o primeiro mapa geológico da região, em escala 1:1.000.000 como parte da Folha SA.21 SANTARÉM. Posteriormente esse trabalho é complementado (Lourenço, 1978) para oeste do meridiano 60° W na Folha SA.20 MANAUS.

Veiga Jr. et al. (1979), da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), concluem o mapeamento geológico em escala 1:100.000 apresentando o Projeto Sulfetos do Uatumã. É esse trabalho que obtém os primeiros indícios de mineralização de cassiterita na região.

Nesse mesmo ano, a SERTEMI - Serviços Técnicos de Mineração Ltda, subsidiária do Grupo Paranapanema, em trabalhos prospectivos na região, comprova a mineralização de cassiterita e inicia os trabalhos de prospecção e mapeamento geológico na bacia do Ig. Serra, próximo a confluência com o Rio Pitinga.

Os trabalhos prosseguem com êxito e no primeiro semestre de 1982 é dado início a implantação da Mina Pitinga, com a lavra de cassiterita no Igarapé Queixada.

A prospecção mineral na região prossegue e em 1983 são obtidos os primeiros indícios de mineralização primária na Serra do Madeira.

Com base nos dados obtidos com o mapeamento de detalhe (1:25.000) Carvalho Filho et al. (1984) apresentam à comunidade geológica os primeiros dados a respeito da geologia e controle da mineralização da Província Estanífera do Pitinga.

Posteriormente, Horbe et al., (1985) discutem a

geologia do Granito Madeira e a mineralização primária da Serra do Madeira e Daoud & Antonietto Jr. (1985) discutem a geologia do Granito Água Boa.

Trabalhos complementares sobre a área são apresentados por Daoud & Antonietto Jr. (1985), Daoud & Veiga (1986) e Macambira et al. (1987). Ainda sobre a geologia dos granitos estanníferos do Pitinga, Daoud (1988) apresenta sua tese de mestrado.

Mendes da Silva (1988) faz estudo sobre a concentração do minério primário da Serra do Madeira .

Veiga Jr. et al. (1979) e Daoud (1988) discorrem rapidamente sobre a presença de platôs lateríticos, mas o real interesse sobre os lateritos da região surge nos trabalhos de avaliação do minério primário enquanto as primeiras observações sobre a potencialidade da área são apresentados por Costa et al. (1988).

Horbe et al.(1991) apresentam novos dados petroquímicos sobre a rocha mãe (granito) da Serra do Madeira com enfoque mais específico sobre a gênese da jazida primária.

1.3. Localização

A Serra do Madeira é a denominação local de um pequeno acidente geológico na Mina do Pitinga, da Mineração Taboca - Grupo Paranapanema. A região localiza-se no município de Presidente Figueiredo, no Estado do Amazonas, a norte de Manaus, no interflúvio dos Rios Pitinga e Alalaú, próximo a divisa com o Estado de Roraima (figura 1).

1.4. Os Lateritos e Sua Associação com a Mineralização

Testemunhos dos generalizados processos de lateritização que afetaram toda a região amazônica estão também

presentes no Pitinga sob a forma de perfis maturos e imaturos, segundo classificação geral proposta para os lateritos da Amazônia, por Costa (1990).

Os perfis maturos são os que descrevem a superfície mais elevada da área, sob a forma de platôs, que atingem em média 2 a 5 km de extensão por centenas de metros de largura, com desnível de dezenas de metros (figura 2).

Os perfis imaturos são marcados pela superfície rebaixada e peneplanizada. Esta superfície engloba os paleoaluviões e aluviões recentes, constituídos de fragmentos dos perfis maturos e imaturos (figura 2).

Ambos os perfis apresentam grande distribuição geográfica onde os maturos dominam na parte central da área (figura 2).

O processo laterítico atingiu tanto as rochas graníticas como as vulcânicas e sedimentares da região. Foi sobre a Serra do Madeira que esse processo teve sua maior importância, devido a rocha mãe estar mineralizada primariamente a Sn, Nb, Zr, Y e TR, os quais foram ainda mais enriquecidos durante a lateritização.

A Serra do Madeira tem em seu substrato um corpo de albita-granito (apogranito) mineralizado a F, Sn, Zr, Nb, Y e ETR ocupando uma área de aproximadamente 2 Km2. Associados a esses elementos têm-se ainda o Rb, W, Th e U em valores anômalos, podendo inclusive alcançar valores econômicos.

A presença de um corpo de minério primário, com o processo laterítico superimposto e com a gama de associações de minerais da envergadura da Serra do Madeira é de singular importância no meio geológico mundial. Um trabalho criterioso no seu detalhamento, permitirá conhecer a distribuição das mineralizações no material intemperizado, bem como na proto-rocha laterítica e consequentemente estabelecer a importância da



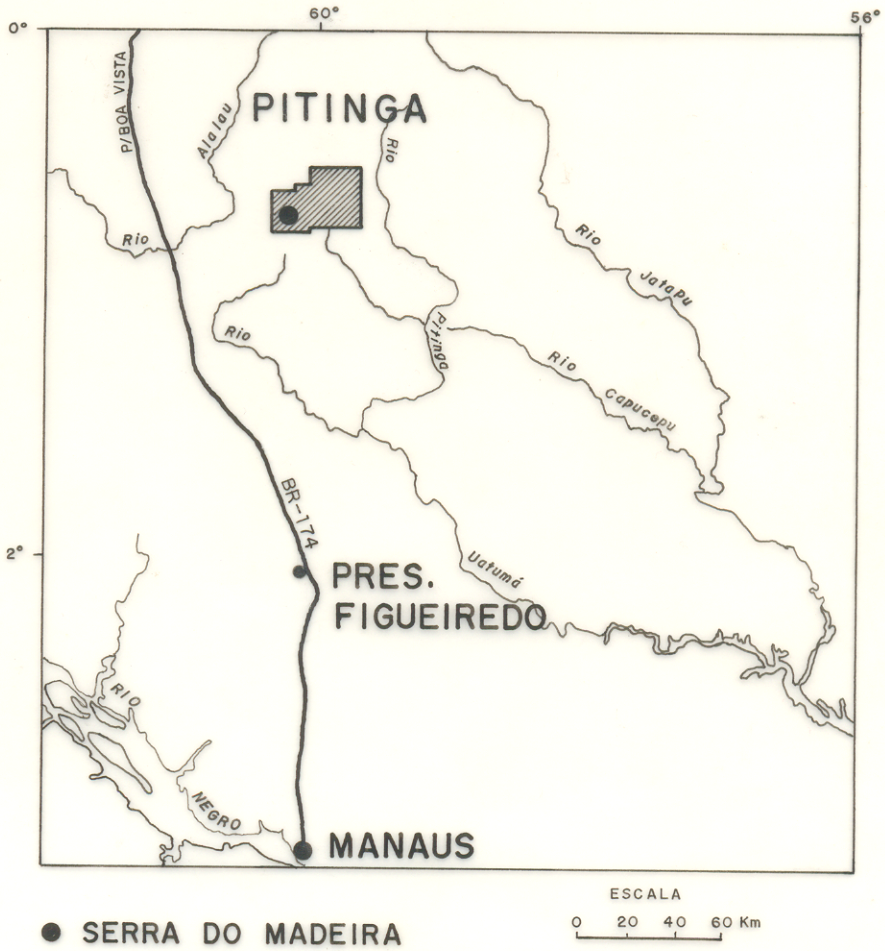


FIGURA 1 – Localização da região das Minas de cassiterita do Pitinga.

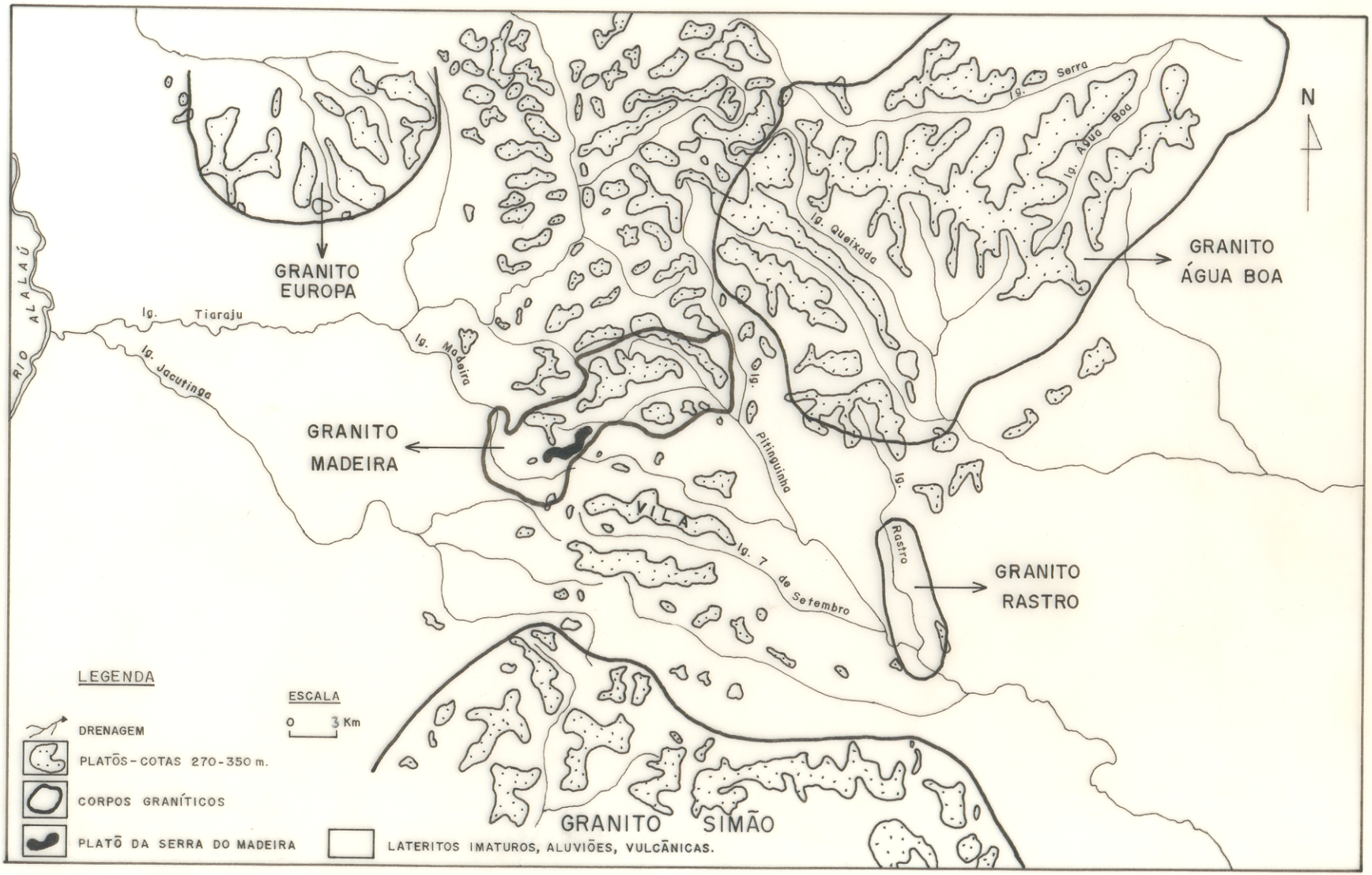


FIGURA 2 – Distribuição geografica dos platôs e morros esculpidos sobre os lateritos maturos na Região do Pitinga.

lateritização na formação de jazidas desta natureza, além de servir como modelo para prospecção mineral em áreas geologicamente similares.

1.5. Fisiografia e Relevo

A região do Pitinga insere-se no clima tropical equatorial úmido quente e chuvoso, com período de chuvas longo e não bem definido. A precipitação anual é em média 2000 mm e a temperatura média de 26°C. A vegetação é do tipo floresta tropical, característica da Amazônia. Regionalmente o relevo é dissecado com interflúvios tabulares com altitudes entre 100 e 300 m, em relação ao nível do mar, constituindo os platôs (figura 2).

Como foi dito anteriormente sobre os lateritos maturos e imaturos, o relevo da região pode ser dividido em duas unidades morfoestruturais: 1- a dos platôs e 2- a das superfícies rebaixadas. Ambas se encontram interpenetradas sendo o limite marcado por considerável desnível. A unidade dos platôs, localizada na porção leste da área, abrange a parte oeste da bacia do Rio Pitinga. É caracterizada por uma altimetria em torno de 450 m, decrescendo para oeste. O relevo é dissecado com topos planos conservados e interflúvios tabulares, descrevendo a superfície de platôs lateríticos maturos, bauxíticos (figura 2).

A drenagem é pouco densa, geralmente orientada e adaptada aos alinhamentos estruturais regionais, reativados no Cenozóico. O Rio Pitinga tem vale encaixado e meandros mal definidos com trechos encachoeirados.

A superfície rebaixada a oeste da região, abrange as drenagens da margem esquerda do Rio Alalaú (figura 2). É marcada pela dissecação em colinas constituindo uma superfície rebaixada com topos de extensão entre 250 e 500 m e com fraco aprofundamento da drenagem dendrítica. O Rio Alalaú tem vale

encaixado e retilinizado e corredeiras. Esta região está constituída pelos perfis imaturos.

1.6. Geologia Regional

A região é formada por rochas ígneas de idade Arqueana e Proterozóica e sedimentares Proterozóicas, indistintamente afetadas pelos processos lateríticos ocorridos durante o Cenozóico.

São marcantes na região os processos erosivos Quaternários, responsáveis pela formação dos aluviões a partir de rochas graníticas mineralizadas e dos respectivos perfis lateríticos.

A estatigrafia da região, aqui apresentada, foi definida por Veiga Jr. et al. (1979) e complementada por Costa et al. (1988) para os lateritos.

A unidade mais antiga é o Complexo Guianense, que constitui o embasamento cristalino da área de idade Arqueana. Os litotipos principais são gnaisses, anfibolitos, granulitos e migmatitos.

O Complexo Guianense compõe os extensos batólitos intrusivos agrupados no Adamelito Água Branca de idade estimada de 1,9 G.A., constituindo o magmatismo ácido pré-Uatumã.

O Supergrupo Uatumã é representado pelas vulcânicas e plutônicas ácidas que se estendem desde as Guianas até a porção mediana do Cráton Amazônico, de idade 1,95 até 1,7 G.A. Essas rochas são cogenéticas a unidade vulcânica ácida (riolítos, dacitos, riodacitos, piroclásticas) representando o Grupo Iricoumé. A unidade plutônica (granito stricto sensu, adamelitos, granodioritos e granófiros) é denominada de Suite Intrusiva Mapuera. Sobreposta ao Grupo Iricoumé ocorrem rochas sedimentares continentais da Formação Urupi. São arenitos ortoquartzíticos e

arcóseos com argilitos, siltitos e tufos intercalados subordinados.

Sills e/ou diques de rocha básica toleítica ocorrem encaixados na Formação Urupi.

Uma segunda unidade plutônica constituída de granitos rapakivíticos (1,55 G.A.) é representada pela Suite intrusiva Abonari que ocorrem intrusivos na Formação Urupi. É nessa unidade que se inserem os dois corpos graníticos mineralizados da região, Granitos Madeira e Água Boa, bem como os estéreis a estanho, Granitos Simão, Rastro, Bom Futuro e Europa.

Derrames basálticos alcalinos de idade 0,88 a 1,16 G.A. da Formação Seringa se manifestaram na região.

No Terciário Inferior, em condições de clima tropical iniciou-se o processo laterítico que favoreceu o desenvolvimento de extensos e profundos perfis intempéricos, sobrepostos a todas as rochas pré-existentes, formando os lateritos maturos. No Plio-Pleistoceno nova fase laterítica originou os lateritos imaturos. Ambos os perfis, sofrendo retrabalhamento físico, formaram os paleoaluviões, linhas de pedras (stone-lines) e aluviões atuais. O cascalho encontrado nesses aluviões é basicamente constituído por nódulos, concreções e fragmentos de rochas lateríticas.

No Holocêno a região foi palco de intensa atividade indígena, indicada por vários sítios de terras pretas arqueológicas (TPA). Atualmente, as últimas tribos indígenas da região estão representados pelos Waimiri-Atroari.

1.7. Geologia do Granito Madeira

A evolução da geologia do granito Madeira foi definida por Horbe et al. (1985) e complementada, com ênfase na fácies apogranito, em Horbe et al. (1991). O resumo das conclusões obtidas são aqui apresentadas.

O Granito Madeira é a principal unidade geológica do

substrato da Serra do Madeira, situado geograficamente na porção SW da região (figura 4). É correlacionado com a Suite Intrusiva Abonari e compreende três fácies litológicas de marcadas diferenças petrográficas e petroquímicas, a saber: granito rapakivi, biotita-granito e apogranito (figura 3). Esses mostram clara evolução cronológica entre si,corroborada quer por suas relações de campo quer por um nítido trend de especialização química em direção ao apogranito.

A fácies rapakivi- tem coloração cinza acastanhada a cinza escuro e contém fenocristais ovóides de K-feldspato com borda de albita emersos em matriz quartzo-feldspática. Compõe-se essencialmente de ortoclásio, quartzo e plagioclásio, tendo albita, anfibólio, zircão, titanita, fluorita, apatita, opacos e epidoto como acessórios. É intrusivo nas vulcânicas ácidas do Grupo Iricoumé e em relação aos demais fácies está na borda do corpo.

A fácies biotita-granito - é equigranular com granulação média, coloração rosada e aspecto isotrópico. Mineralogicamente é composto por ortoclásio pertítico, quartzo e plagioclásio subordinado, com biotita, fluorita, zircão, titanita, opacos e anfibólio como acessórios. Essa fácies perfaz um total de 60 % da área do corpo, sendo intrusivo na unidade rapakivi.

A fácies apogranito - a mais jovem, definida como apogranito tanto por suas características petrográficas - litotipos albitizados - fruto da intensa alteração sódica, bem como o seu notável enriquecimento em metais raros. Sobre esta unidade está o perfil laterítico Serra do Madeira.

Os dados petrográficos ainda não permitem uma integral concepção genética, porém, quer esteja relacionada a uma fase magmática ou pós-magmática, sem dúvida foram os processos

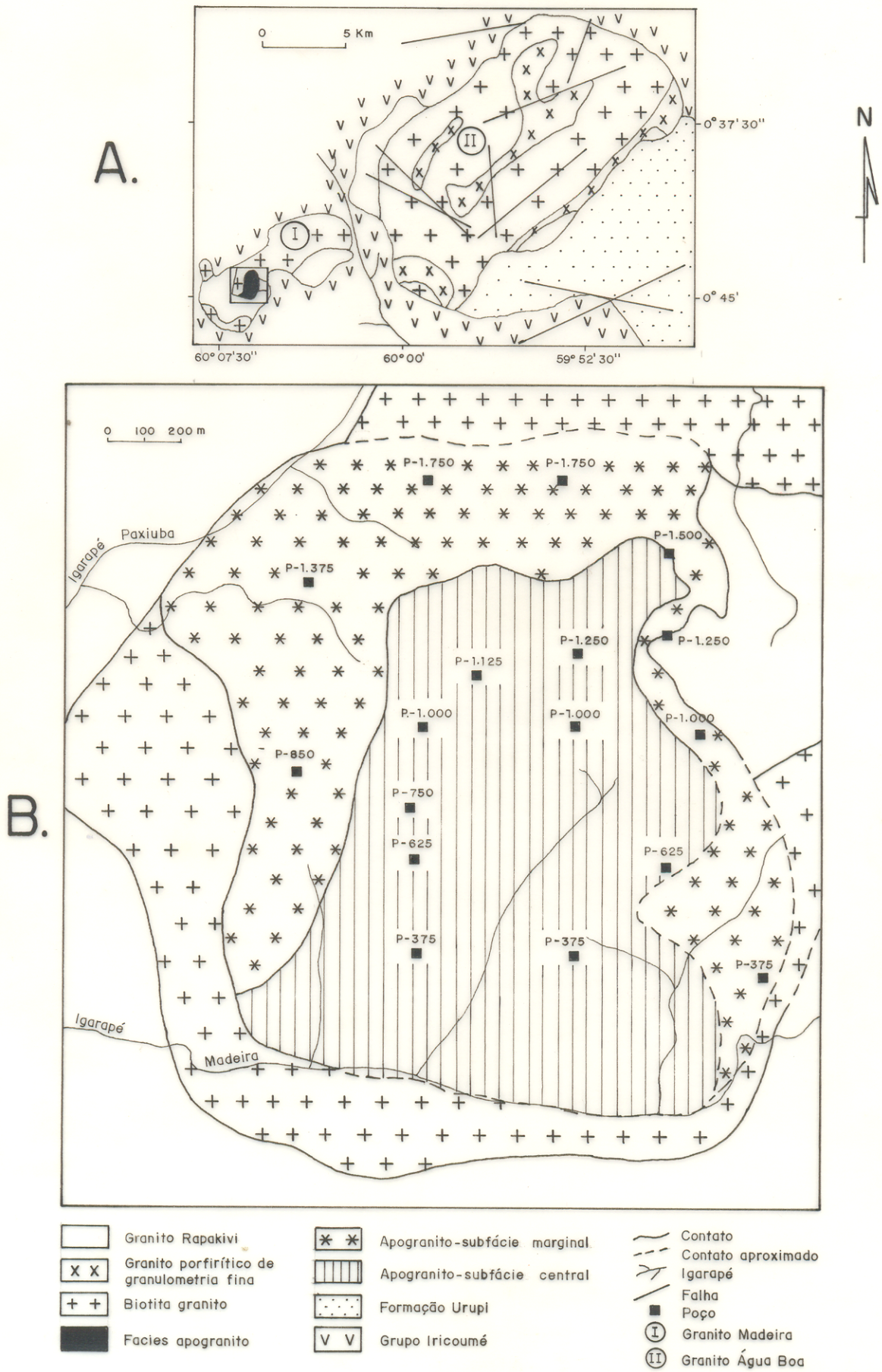


Figura 3 - (A) Mapa geológico do granito Madeira e Água Boa.
(B) Mapa geológico do substrato rochoso da Serra do Madeira.

hidrotermais e/ou autometassomáticos que originaram o caráter metalogenético anômalo da unidade (Horbe et al. no prelo).

A rocha apresenta granulação fina a média, coloração cinza, cinza avermelhada e vermelha, sendo mineralogicamente constituída por albita (An=0), quartzo e K-feldspato, com riebeckita, biotita, lepidolita, criolita, zircão, cassiterita, columbita, xenotima, torita, fluorita, monazita e opacos como acessórios. A coloração avermelhada é atribuida a maior abundância em hematita neste litotipo.

Bordejando essa unidade ocorrem litologias pertencentes a fácies rapakivi e biotita granito que foram parcialmente metassomatizadas pelos fluídos hidrotermais.

2. METODOLOGIA

2.1. Mapeamento Geológico

À época do início do presente trabalho, a área da Mina Pitinga já dispunha de levantamento geológico em escala 1:100.000, iniciado em 1979. As áreas de maior interesse econômico, a dos granitos Água Boa e Madeira, já estavam mapeadas em escala 1:25.000. Hoje a geologia da Serra do Madeira, devido a sua importância econômica, está em constante trabalho de mapeamento em escala 1:2.500 com previsão para 1:1.000. O mapeamento da Serra do Madeira, aqui apresentado, com atenção aos lateritos, foi feito através de caminhamentos realizados ao longo de drenagens, picadas, estradas e frentes de lavra executados em grande parte pela autora deste trabalho. Com base nos dados anteriores, obtidos pela autora, foi possível elaborar o mapa geológico da área.

Concomitante ao mapeamento geológico de superfície a empresa Paranapanema desenvolveu a campanha de sondagem e escavação de poços, em malha de 250 m x 125 m, para avaliação da potencialidade econômica da jazida que foi também acompanhada pela autora. Foram realizados 60 poços, num total de 985 m, onde o poço mais profundo atingiu 32,00 m, além de 36 furos de sondagem rotativa com testemunhagem tanto do intemperizado (861 m) como da rocha sã, (836 m) num total de 1697 m.

Os trabalhos de geologia e de sondagem estão sendo rigorosamente controlados por trabalhos topográficos.

2.2. Amostragem

Em função da malha de poços ser mais densa na época da amostragem para este trabalho e considerando que os mesmos são mais adequados para a coleta de maior volume de material e portanto com maior representatividade, a descrição e amostragem

da Serra do Madeira para o presente trabalho, foram feitas ao longo de 17 poços (figura 4) deixando os furos apenas para a rocha fresca, não alcançada nos poços. Em cada poço foi feita a amostragem de metro em metro, onde se retirou aproximadamente 2 Kg de material, num total de 220 amostras. Esse material foi seco ao sol por dois dias e quarteado, uma parte seguindo para análise granulométrica e a outra pulverizada para análise química e mineralógica por difração de raio-x.

2.3. Descrição dos Perfis e Tratamento das Amostras

A descrição dos perfis foi elaborada com base nos conhecimentos da petrografia de lateritos, enfatizando-se:

- Coloração
- Granulometria
- Textura
- Presença de nódulos e concreções lateríticas
- Composição mineralógica e
- Espessura dos horizontes

2.4. Medidas de Densidade

Concomitantemente à amostragem foi coletado material para medida de densidade. Foram escolhidos dois poços: 1000/1125 e 1250/1750 (figura 4), representando todos os horizontes presentes no perfil laterítico da Serra do Madeira.

Em ambos os poços, até 10 metros de profundidade, foram coletadas amostras a cada 0,50 m de modo a ter-se pelo menos uma amostra em cada horizonte. A partir de 10 m de profundidade a amostragem foi feita a cada metro.

Do material amostrado, isolou-se um paralelepípedo de aproximadamente 5 cm x 3 cm de aresta, que foi pesado e banhado em parafina. Deste modo foi possível medir o volume com uma

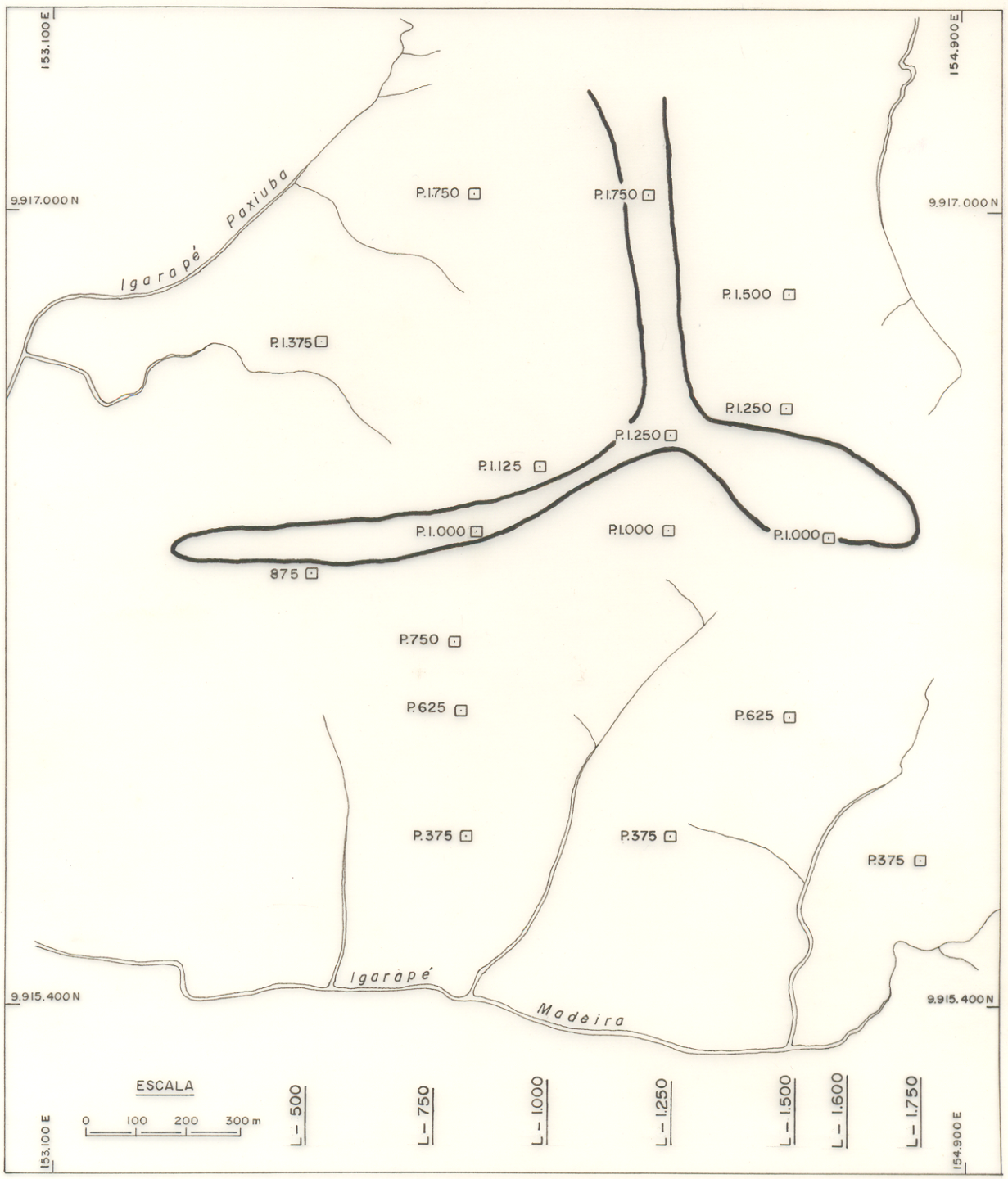


FIGURA 4 – Mapa de localização dos poços amostrados na Serra do Madeira, ao longo das diversas transversais.

CRISTA DA SERRA

bureta graduada e água. A densidade foi expressa em g/cm3.

2.5 . Medidas de pH

Em todas as amostras de material total dos 17 poços foram feitas medidas de pH. Para isto foram deslamadas 5 gramas de material pulverizado na fração inferior a 62μm, em 25 ml de água destilada, e após estabilização foi feita a leitura com o auxílio de potenciômetro marca WTW.

2. 6. Análise Granulométrica

O material coletado e quarteado foi submetido a análise granulométrica numa bateria de 11 peneiras, com as seguintes malhas em milímetros: 2.000; 1.410; 1.000; 0,710; 0,500; 0,350; 0,250; 0.177; 0.125; 0.088; 0.062; obtendo-se 12 frações a partir de 220 amostras iniciais, gerando 2640 novas amostras. Esta análise foi executada nos laboratórios da Escola Técnica Gilberto Mestrinho, Manaus-AM.

Inicialmente todo material foi peneirado, a úmido, na peneira de 0.062 mm para separar a fração argila. O material retido nessa peneira foi repassado nas demais peneiras acima citadas. Todas as frações foram secas em estufa e pesadas.

O objetivo dessa análise foi conhecer a distribuição da granulometria ao longo do perfil e estudar a mineralogia e o comportamento dos elementos químicos nas diferentes frações.

Foram confeccionados gráficos em escala normal que auxiliaram a selecionar os intervalos granulométricos e a profundidade mais adequada para a posterior análise química. Os intervalos selecionados foram 2.000μm- 1.410μm, 1.000μm - 710μm, 250μm- 177μm e <62μm.

2.7. Análises Químicas e Mineralógicas

Todas as análises químicas foram realizadas pela GEOSOL

-Geologia e Sondagens Ltda, em seus laboratórios em Belo Horizonte. Foram feitas análises totais (SiO2, Al2O3, Fe2O3, FeO, CaO, MgO, Na2O, K2O, MnO, TiO2 e P.F.) e dos elementos traços (F, Sn, Zr, Nb, Y, Pb, Ga, Hf, Ta, Rb, Th, U e W) e terras raras (La, Ce, Nd,Sm, Eu, Gd, Dy, Ho, Er, Yb e Lu).

Os métodos utilizados nas análises químicas estão indicados na tabela 1. Além destes métodos foi utilizado a colorimetria para o W, volumetria para o FeO, íon específico para o F e fluorimetria para o U.

Para as análises químicas, foram selecionadas 109 amostras de rocha laterítica total e 144 de frações granulométricas. Além destas, foram selecionadas 36 amostras para separação de minerais pesados em bromofórmio.

Tabela 1: Métodos de análise e elementos analisados

Fluorescência de raio-x	Absorção atômica	Espectrografia ótica
SiO2	Na2O	Hf
Al2O3	K2O	Zr
Fe2O3	MnO	Y
CaO	Pb	Nb
MgO		Sn
TiO2		Ga
P2O5		
SnO2		
ZrO2		
P		
Ta		
Rb		
Th		
U		

A análise mineralógica envolveu tanto a amostra total como as respectivas frações granulométricas. Estas foram feitas por difração de raios-x no laboratório do Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará, com o auxílio de espectrômetro de difração de raios-x Philips modelo PW 1729, com tubo de cobre. As condições do aparelho foram 2 - 2Θ cm/min e 4 x 10 c/seg, 45 kvolts, 40 amperes e intervalo de 4° a 60°.

Os teores dos minerais de cada amostra foram calculados aliando-se os resultados das análises químicas (teor dos óxidos maiores) com os resultados dos difratogramas de raios-x. O algorítimo esquematizando o procedimento para estes cálculos está sumarizado no anexo 3.

Em uma primeira etapa foram obtidos os teores das amostras constituídas apenas por quartzo, caolinita e hematita, já que em amostras com esta mineralogia, todo o Al2O3 está sob a forma de caolinita. O teor de quartzo foi obtido após o cálculo do teor de SiO2 contido na caolinita, enquanto todo o Fe2O3 foi convertido em hematita.

Na segunda etapa foi construída a curva de calibração orientativa, com base nos teores obtidos de quartzo nas amostras da primeira etapa e sua correlação com a altura da reflexão a 3,343 Å. Essa curva foi utilizada para estimar a percentagem de quartzo quando da presença simultânea de caolinita e gibbsita, já que nesta situação o Al2O3 se desdobra nesses dois minerais. Na terceira etapa, conhecendo-se o teor de quartzo da amostra, a SiO2 restante, após o cálculo da lepidolita e albita (com base nos teores de K2O e NaO, respectivamente) serviu para o cálculo do teor de caolinita. O Al2O3 foi convertido em gibbsita. Foi utilizada a composição química média da lepidolita e albita obtida por Daoud (1988) a partir de análises de microssonda, e a composição química média de caolinita e gibbsita de Newman & Brown, (1987). Os teores de quartzo para as amostras com

aluminossilicatos foram obtidos após os cálculos dos teores da lepidolita, albita e caolinita.

Além das análises por difração de raios-x, 36 amostras de quatro poços (500/875, 750/1000, 1250/1250 e 1250/1750) foram submetidas ao estudo no estereomicroscópio nas frações A: 2.000μm a 1.410μm e B: 1.000μm a 710μm. O material foi separado em fração leve e pesada com bromofórmio. A fração pesada sofreu ataque por HCl a 20%, com remoção das películas de óxido de ferro, que capeam os grânulos.

2.8. Balanço Geoquímico

Os balanços geoquímicos (isoquímicos e isovolumétricos) foram calculados conforme a fórmula abaixo descriminada:

$$FE = \frac{Ce(hz) * D(rm)}{Ce(rm) \quad D(hz)}$$ onde

FE - fator de enriquecimento

C(hz) - concentração do elemento no horizonte

C(rm) - concentração do elemento na rocha mãe

D(hz) - densidade ou concentração do elemento imóvel no horizonte

D(rm) - densidade ou concentração do elemento imóvel na rocha mãe

2.9. Tratamento dos Dados

O "software" utilizado para a análises de agrupamentos em modo-R (cluster) e diagramas binários e ternários das amostras foi o sistema Geoquant da CPRM. Para a parte gráfica dos resultados granulométricos e para os cálculos mineralógicos foi desenvolvido "software" específico. Para a confecção das tabelas de resultados de análises químicas e os cálculos isovolumétricos e isoquímicos, foi utilizado o "Lotus 123". O editor de texto foi o "Wordstar 3.3".

3. RESULTADOS OBTIDOS

3.1. Geologia da Superfície da Serra do Madeira

A Serra do Madeira é constituida por um perfil bauxítico truncado, com restitos do horizonte concrecionário ao longo da crista da Serra e expressivos depósitos coluvionares ao longo das encostas que estão representados na figura 5. Esses horizontes estão total a parcialmente recobertos por latossolo amarelo de expressão regional (figura 5), correlacionável à Argila de Belterra (Sombroeck, 1966).

Nas porções rebaixadas, na borda da Serra, preeenchendo os canais de drenagens, ocorrem depósitos aluvionares de grande volume, mineralizados a Sn e Zr, formados a partir do desmantelamento da porção superior do perfil laterítico (figura 6).

Afloramentos da rocha mãe encaixante (granito rapakivi e biotita granito) das mineralizações ocorrem nas cabeceiras das drenagens na forma de boulders e de paredões verticais, testemunhos da tectônica que afetou a região.

É marcante a ausência de afloramentos de rocha mãe do tipo apogranito mineralizada, recoberta totalmente pela cobertura laterítica.

3.2. Geologia dos Lateritos da Serra do Madeira

Os perfis lateríticos da Serra do Madeira (figura 7 a 11), são estruturados nos seguintes horizontes, do topo para a base:

1 - Latossolo

2 - Colúvio

3 - Concrecionário

4 - Bauxítico

5 - Argiloso

6 - Saprolítico

O horizonte saprolítico - Apresenta uma espessura média de 15 m com desenvolvimento maior em direção a porção sul, onde chega a alcançar 41 m (figura 9a, perfil 375, a rocha fresca foi atingida a profundidade de 47,10m). A estrutura da rocha está bem preservada, sendo possível identificar algumas porções reliquiares ainda bem consistentes. De modo geral, o material é compacto, predominando uma matriz argilosa caolinítica de cor rosada nas porções correpondentes ao granito vermelho (figura 8a, perfil 875 e figura 9b, perfil 1750) e rosa-esbranquiçada a branco-amarelada relacionada ao granito cinza (figuras 8 a 11). A matriz argilosa, proveniente do intemperismo das albitas e dos feldspatos, engloba os grânulos de quartzo, os de riebeckita e os de lepidolita. Estes últimos com uma auréola vermelha de óxido de ferro, manchando o material argiloso, são responsaveis, em parte, também pela tonalidade rosada do saprólito. O saprólito, proveniente do granito vermelho, tem coloração vermelha mais intensa, pois é bem mais rico em minerais de ferro. É intensa a presença de venulações de caolinita primária na porção média basal deste horizonte. Essas venulações marcam as antigas fraturas da rocha mãe, que foram utilizadas como condutos das soluções hidrotermais. São essas venulações juntamente com a argilização dos feldspatos que dão o aspecto esbranquiçado ao material (figuras 12 a 13).

A medida que se ascende no horizonte saprolítico, nota-se o estabelecimento de uma nova petrofábrica, tornando mais difícil a identificação e acompanhamento das venulações, alterando a estruturação do saprólito. Remanescentes dos feldspatos apresentam aspecto fosco e são bastante friáveis, enquanto o quartzo apresenta-se levemente corroído. Localmente ocorrem concentrações de cristais de riebeckita bem preservados



FIGURA 6 - Vista panorâmica da porção sul da Serra do Madeira

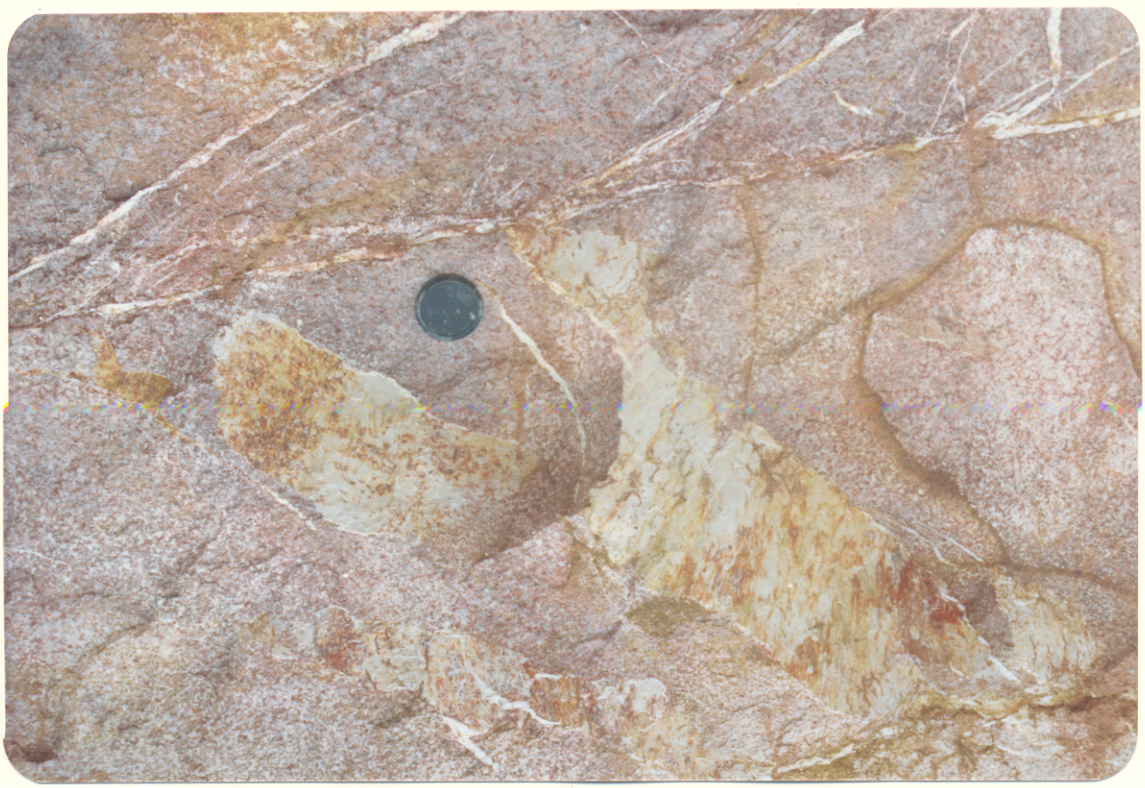


FIGURA 12 - Venulações caoliníticas e plasmas venulares de hidróxido de ferro no horizonte saprolítico.



FIGURA 13 - Perfil laterítico junto a L-1.250 da Serra do Madeira, mostrando o horizonte saprolítico na base, horizonte argiloso, horizonte concrecionário e latossolo húmico.

(figura 9b perfil 1000) e bolsões de material essencialmente arenoso manchados por óxido de ferro, podendo ter cristais de lepidolita, hematita e hematita especular primários associados (figura 8b, perfis 500 e 750 e figura 9a, perfil 750 e figura 9b, perfil 250).

O horizonte argiloso - Sobrepõe-se ao saprólito em contato gradual. A estruturação da rocha mãe dificilmente pode ser identificada (figura 14). O material é essencialmente argiloso, de coloração vermelha intensa quando derivado do granito vermelho, devido à maior concentração de óxido/hidróxido de ferro, e cores amarelo-avermelhadas quando derivado do granito cinza. As venulações caolinísticas estão fragmentadas e parcialmente concrecionadas, formando pseudo-nódulos esbranquiçados com borda externa vermelha impregnada de óxido de ferro.

Dos minerais essenciais da rocha mãe é possível identificar somente o quartzo, que apresenta-se corroído e com as suas microfraturas preenchidas por óxido de ferro, conferindo-lhe um aspecto manchado. Imerso nesse material ocorrem manchas friáveis de óxido de ferro, que se tornam maiores e mais frequentes para o topo do horizonte, configurando um aspecto mosqueado.

O horizonte argiloso tem espessura de 2 a 5 metros, ocorrendo ao longo da crista da Serra (figura 9a, perfil 1125 e 9b, perfil 1250 e figura 10, perfil 1125). Nos perfis das encostas, devido em parte à pequena área exposta, é difícil diferenciar este horizonte do colúvio, que assenta-se ora sobre o saprólito ora sobre o horizonte argiloso.

O horizonte bauxítico - Está restrito a porção NE da Serra, fora da área mineralizada. Ocorre na forma de lentes maciças com espessura inferior a um metro, sobrepostas ao horizonte argiloso.

A estrutura original da rocha está localmente



FIGURA 14 - Frente de lavra na porção SW da Serra do Madeira: horizonte saprolítico na base, horizonte argiloso no topo e latossolo coberto pela floresta.



FIGURA 15 - Amostra do horizonte bauxítico enfatizando a gibbsita pseudomórfica segundo o feldspato.

preservada, sendo possível identificar gibbsita pseudomórfica segundo os cristais de feldspato (figura 15). Tem coloração rosada é micro a mesocristalino, compacto, duro e com aparente estratificação subhorizontal.

O horizonte concrecionário - representa a crosta desmantelada. É constituído de nódulos, concreções e estruturas colunares de oxi-hidróxidos de ferro e alumínio, e fragmentos destes imersos em uma matriz argilosa vermelho amarelada (figura 9a,perfil 1000 e figura 9b, perfil 1250 e figura 11a perfil 1000). Ao longo das exposições, nota-se facilmente a mistura de material da base da crosta (colunas) com material argiloso e concrecionário mais fino (figura 17 e 18). A cor amarelada é originada pela desferrificação causada pela ação da densa cobertura vegetal (figura 22). Essa cor amarelada é semelhante à coloração dos latossolos que recobrem os demais horizontes. Dentro do concrecionário, encontram-se blocos isolados da crosta ferruginosa no topo da Serra, entre as linhas 500 e 1000 (figuras 7, 8a e 9a). Grande parte do material da crosta encontra-se nos aluviões das drenagens circunvizinhas à Serra. Os relíctos da crosta têm estrutura brechóide, tipo "pele de onça" (figura 19), com gibbsita micro a mesocristalina, cimentando nódulos e fragmentos de hematita, além de cristais de quartzo corroídos.

Litorelíctos alóctones da crosta, na forma de pseudo-nódulos e concreções, ocorrem sobrepostos ao horizonte saprolítico e argiloso na crista da Serra entre as linhas 1000 e 1750 (figura 5).

O horizonte coluvionar - corresponde neste trabalho ao material resultante do desmantelamento dos horizontes argiloso e saprolítico. Ocorre ao longo das encostas, geralmente onde o nível concrecionário está ausente, sobreposto ao horizonte saprolítico e argiloso. Apresenta uma espessura máxima de 8,5 m (figura 9b, perfil 1125). Este horizonte, semelhante ao argiloso,



FIGURA 16 - Horizonte concrecionário coluvionar na topo da Serra do Madeira.



FIGURA 17 - Seção no topo da Serra do Madeira mostrando o horizonte concrecionário colu vionar com relíctos da crosta ferruginosa na porção mediana e de fragmentos de caolinita hidrotermal na base.



FIGURA 18 - Seção no topo da Serra do Madeira mostrando a interface do horizonte argiloso na base com horizonte concrecionário sobreposto.

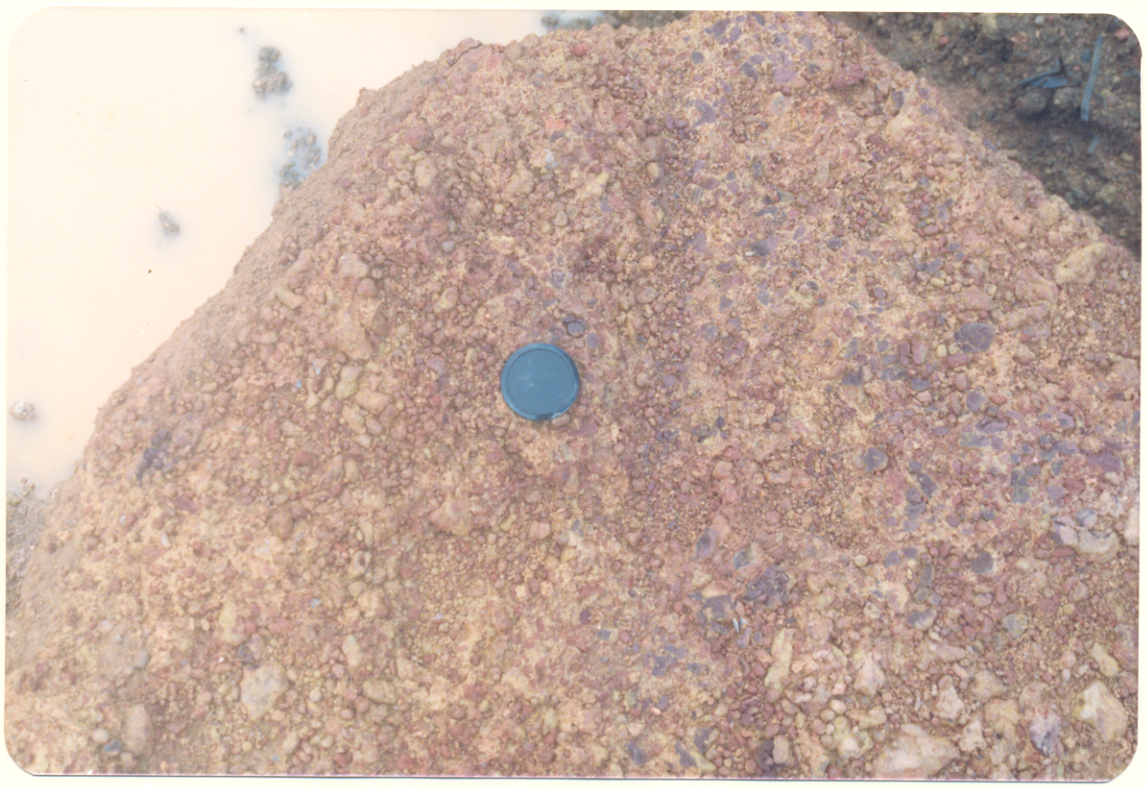


FIGURA 19 - Vista de um relícto da crosta ferruginosa.



FIGURA 20 - Seção em frente de lavra, porção SE da Serra do Madeira com ênfase ao contato do horizonte saprolítico com horizonte coluvionar.

se apresenta friável, de cor vermelha a ocre. Emersos neste material ocorrem fragmentos de caolinita endurecida e nódulos de hidróxido de ferro. A presença deste horizonte caracteriza a intensidade da atuação dos processos erosivos, que resultou no truncamento do perfil.

Ao contrário do que seria de se esperar nem sempre ocorre na base do colúvio um nível de material grosseiro, proveniente do desmantelamento e transporte da crosta, que marcaria o início do mesmo. Esse fato é facilmente constatado nos cortes verticais nas frentes de lavra, na porção sul da Serra (figura 20), nas porções NE e NW, nas cabeceiras da Grota "A" e no ig. Pachiúba, respectivamente. A ausência do nível conglomerático e a similaridade litológica entre o horizonte argiloso e o colúvio dificultam a individualização dos mesmos, pois a área de observação a nível de poços, é muito reduzida, embora em certos trechos, o nível conglomerático seja facilmente identificado. A ausência do nível conglomerático na base do horizonte coluvionar é provavelmente devido à forte intensidade do intemperismo físico, que proporcionou o transporte de todo o material do topo do perfil (crosta e horizonte bauxítico) para as áreas mais rebaixadas. Os aluviões dos igarapés Madeira, Paxiuba e Jabuti são formados quase que inteiramente por cascalhos com fragmentos lateríticos. Com a intensificação da fase erosiva, formaram-se os colúvios na encosta da Serra do Madeira, a partir do desmantelamento dos horizontes argiloso e saprolítico.

O latossolo -é constituído quase que essencialmente por material argiloso amarelado com nódulos e concreções ferruginosas esparsas (figura 13 e 21) e espessura média de 0,90 m.

Observa-se uma passagem gradual entre os nódulos e as concreções e a porção argilosa, que passam de cor ocre avermelhada para amarelo, por desferrificação, para o topo. Desse modo, assim como o material concrecionário é resultante do



FIGURA 21 - Seção no topo da serra do Madeira com ênfase no horizonte concrecionário na base e o latossolo no topo.

intemperismo da crosta, o latossolo é resultante de um grau mais avançado de intemperismo sobre o material concrecionário e dos demais horizontes. O latossolo, com o processo de formação associado em parte ao clima e cobertura vegetal atual, está presente em quase todos os perfis, como pode ser observado nas figuras 7 a 11.

Correlação entre os perfis- Dentre os 16 perfis estudados nenhum apresenta simultaneamente os seis horizontes descritos acima. O perfil 1820 (figuras 7 e 9b), localizado fora da área mineralizada, é o único que apresenta relíctos do horizonte bauxítico. Os perfis da porção leste da Serra representados pelo perfil 1000 (figura 11a), apresentam quatro horizontes: saprólito, argiloso, concrecionário e latossolo. Os demais perfis da crista da Serra (figura 9b, perfis 1250 e 1750), apresentam apenas o horizonte saprolítico e parte do argiloso e sobre este o latossolo no primeiro perfil e horizonte coluvionar entre o argiloso e o latossolo no segundo perfil. Os perfis restantes, nas encostas, tem o colúvio sobreposto diretamente ao saprólito (figura 8a, perfil 875, 8b, perfis 375 e 625, figura 9b, perfil 1000 e figura 10 perfis 625 e 1500) ou o colúvio sobreposto ao horizonte argiloso (figuras 8b perfil 1750, figura 9a perfil 1125, figura 9b perfis 375 e 1750, figura 10 perfil 1250 e figura 11b perfil 375) ou ainda o horizonte argiloso aflorando (figura 8a perfil 1375), marcando as diferentes intensidades de intemperismo físico.

3.3. Características Granulométricas

Os resultados obtidos para cada um dos perfis estudados, com base no estudo das doze frações granulométricas, estão representados no anexo 1. A figura 22 sumariza as variações granulométricas segundo os diferentes horizontes para todos os perfis em conjunto. Nota-se que há um domínio das frações mais

finas nos horizontes inferiores e uma mistura de finas e grosseiras para o topo. Os campos de distribuição do horizonte saprolítico e argiloso (figura 22) são semelhantes entre si, com predominância da proporção do material mais fino sobre o mais grosseiro, principalmente no horizonte argiloso. Nota-se uma tendência de aumento da proporção de finos em direção ao topo do horizonte argiloso onde os efeitos lateritizantes já destruiram os relíctos da rocha mãe, como pode ser melhor observado no anexo 1. No horizonte coluvionar, concrecionário e latossolo (figura 22) apesar da predominância da proporção do material mais fino, é claro o aumento da proporção do material mais grosseiro, representado pelas concreções ferro-aluminosas do topo do perfil. Isto pode ser observado nas figuras 1 e 12 do anexo 1, onde 56% e 70% respectivamente, da rocha estão representados por material da fração >2.000μm. Em relação ao perfil como um todo, a fração <62μm têm maior representatividade, mesmo no topo do perfil onde a fração mais grosseira tem uma importância maior .

Entre a fração 2.000μm e a fração 1.000μm tem-se uma curva com tendência côncava suave (anexo 1), que permitiu a individualização de uma população representada pela fração 2,000 μm - 1,410μm.

Entre a fração 1.000 μm e a 88μm tem-se nova quebra na curva, passando a ter a mesma tendência convexa suave com uma sutil inflexão na fração 500μm, mais notada no horizonte argiloso e saprolítico (anexo 1). Esse ponto de inflexão foi otimizado como divisor para duas populações:a 1.000μm-500μm e a 500μm-88μm. Desse modo tem-se quatro populações: >2,000μm - 1.000μm; 1000μm-500 μm; 500 μm - 88μm e <62μm. Dentro destas quatro populações foram escolhidas as frações A= 2.000μm-1.410μm, B= 1.000μm-750μm, C= 250μm-177μm, e D= <62μm como representativas do comportamento químico granulométrico do perfil.

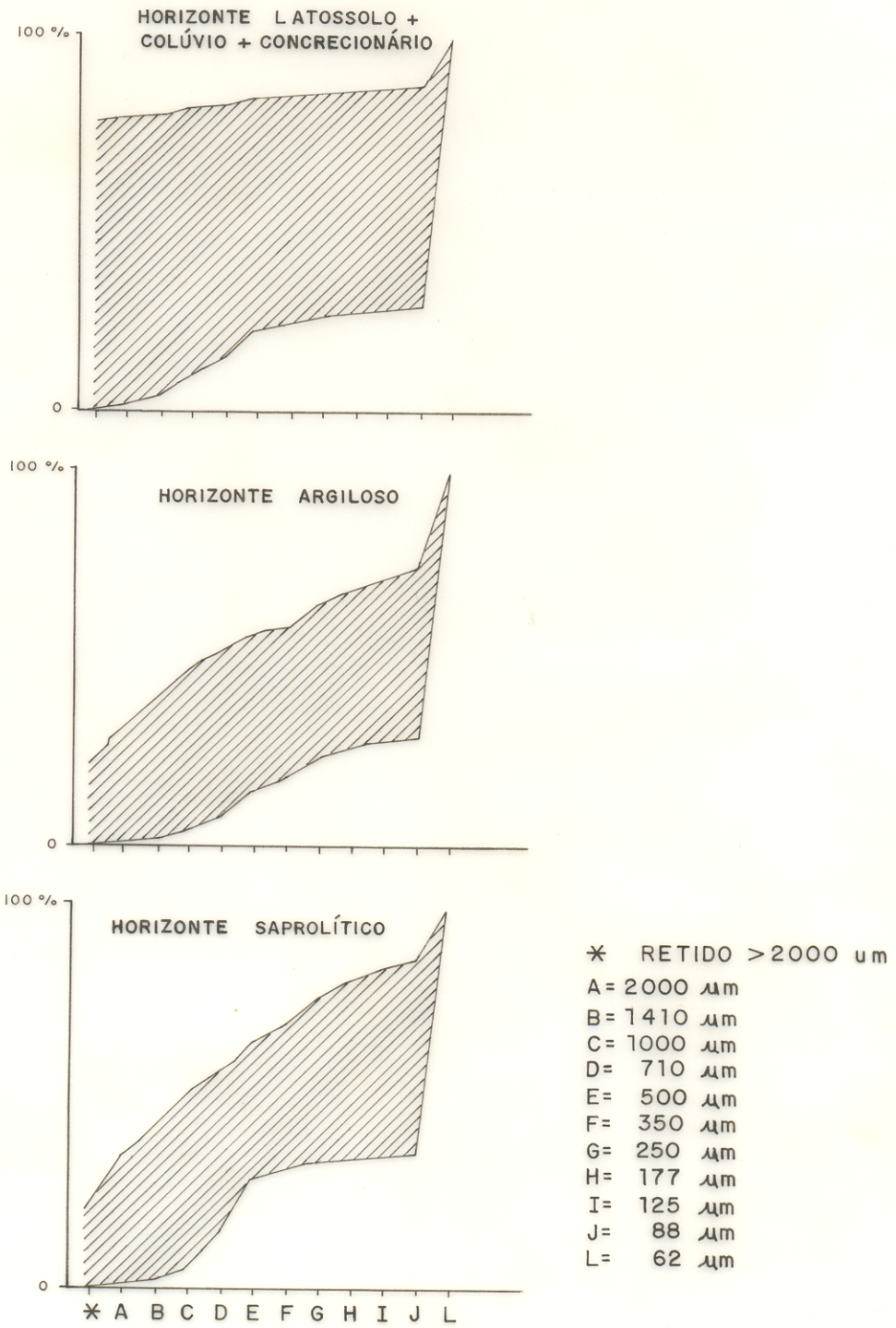


FIGURA 22 – Distribuição acumulativa das frações granulométricas no perfil laterítico, segundo os horizontes.

As análises granulométricas realizadas, além de caracterizarem o padrão de distribuição da granulometria ao longo do perfil, auxiliaram na definição das frações que melhor representam o material aqui estudado.

3.4. Densidade Relativa

A densidade obtida para os horizontes do perfil da Serra do Madeira refere-se a densidade aparente, isto é, aquela que considera os poros, que é em torno de 20% no material intemperizado.

TABELA 2 :Valores médios(x), máximos (max) e mínimos (min) da densidade por horizonte.

	POÇO 1000/1125		POÇO 1250/1750	
HORIZONTE	x	max - min	x	max - min
Latossolo	1,91			
Colúvio			1,97	1,89-2,02
Concrecionário	1,86	1,78-2,00		
Bauxítico*	2,05			
Argiloso	1,78	1,75-1,81	1,85	1,80-1,97
Saprólito	1,75	1,64-1,85	1,77	1,63-1,92
Rocha	2,71		2,71	

* refere-se a amostra do poço 1250/1820

A densidade dos horizontes é inferior a da rocha mãe, como pode ser observado na tabela 2. Os valores se enquadram no comportamento normal de um perfil de alteração intempérica, desenvolvido sobre rocha granítica. O aumento da densidade perfil acima é devido a maior concentração de oxi-hidróxido de Fe na forma de concreções ferroaluminosas.

3.5. Potencial Hidrogeniônico - pH

Os valores de pH obtidos, (Tabela 3) caracterizam

claramente um ambiente ácido para o perfil da Serra do Madeira com valores médios decrescentes para o topo do perfil.

TABELA 3: Valores de pH médios (x), máximos (max) e mínimos (min) por horizonte

HORIZONTE	X	min - min
Latossolo	4,40	3,88 - 5,05
Colúvio	4,50	3,06 - 5,28
Concrecionário	5,38	5,29 - 5,47
Bauxítico	5,64	
Argiloso	4,42	4,25 - 5,90
Saprólito	4,85	4,23 - 6,67
Rocha mãe	6,32	

O pH é ácido no horizonte saprolítico (tabela 3) aumentando a acidez para o horizonte argiloso. Do horizonte argiloso para o bauxítico o pH se torna menos ácido devido a abundância de gibbsita neste último horizonte, onde este mineral apresenta um pH de formação entre 5,5 e 6 (Gardner, 1970). Do bauxítico para o concrecionário o ambiente se torna novamente mais ácido, tendência que é seguida pelo colúvio e latossolo. Essa tendência é devida a forte influência da matéria orgânica, principalmente no latossolo.

3.6. Mineralogia

3.6.1 Minerais Principais

Os principais minerais identificados nos perfis lateríticos da Serra do Madeira são: quartzo, caolinita, gibbsita e hematita, além de feldspatos, lepidolita e riebeckita, sendo que estes três últimos e o quartzo são primários, isto é, fazem parte da estrutura da rocha-mãe, além das caolinitas venulares.

As concentrações médias por horizontes estão indicadas na tabela 4 e as concentrações mineralógicas de cada perfil estudado no anexo 3.

TABELA 4: Média dos teores dos minerais nos diferentes horizontes (% em peso).

HORIZONTE	QUARTZO	CAOLINITA	GIBBSITA	HEMATITA	LEPIDO*	FELDSPATO
Latossolo	40	16	32	10		
Colúvio	38	30	23	11	<1	<1
Concrec.	15	12	32	40		
Argiloso	42	41	10	6	<1	<1
Saprólito	42	50	4	5	1-2	<1

* lepidolita

Em termos gerais, omitindo o horizonte concrecionário, que foi detectado em um único perfil, o teor de quartzo tem pequena variação (2%), a caolinita tem teores decrescentes e a gibbsita e hematita crescentes em direção ao topo (tabela 4), indicativo de um perfil mineralogicamente evoluído (Costa, 1990), porém truncado pelos processos de intemperismo físico e químico posteriores. Contudo, as figuras 23 a 27 mostram perfis em que o teor de quartzo é nitidamente decrescente para o topo do perfil. A presença de lepidolita no horizonte saprolítico e nos concentrados de minerais pesados, mostra a resistência desse mineral ainda na fase inicial do intemperismo.

3.6.1.1. Distribuição nos Perfis e Horizontes

A distribuição dos principais minerais ao longo de cada perfil estudado está representada nas figuras 23 a 27.

Horizonte saprolítico - Como pode ser observado na tabela 4, os minerais predominantes neste horizonte são caolinita e quartzo com gibbsita e hematita subordinada e proporções inferiores a 1%

para lepidolita e albita.

Para a caolinita, a tendência de decréscimo de teor para o topo do horizonte é mais clara, principalmente para os perfis da figura 23 a, c e d; figura 25 a, b e d; figura 26 b e figura 27. O decréscimo no teor de caolinita é acompanhado pelo aumento do teor de gibbsita. Essa tendência acentua-se a partir da interfáce do horizonte saprolítico com o argiloso.

Os teores de hematita deste horizonte são baixos, variando de 4 a 9% (anexo 3), podendo se concentrar ou não para o topo do horizonte. No horizonte saprolítico dos perfis, a variação do teor de quartzo é pequena, onde o teor aumenta ou diminui em média 10%.

Em geral, o teor de hematita se mantém praticamente constante ao longo do horizonte.

Horizonte argiloso - A composição mineralógica é semelhante a do horizonte saprolítico (tabela 4 e figuras 23 a 27), especialmente nos teores de quartzo (42%), divergindo em parte nos teores menores de caolinita (41%) e maiores em gibbsita (10%), indicando que este horizonte é um estágio mais avançado de intemperismo. A hematita, na faixa de 6%, encontra-se nos pseudo-nódulos friáveis. A lepidolita ocorre ainda neste horizonte em alguns perfis (figuras 25 b e c e 27 a). Ao longo do horizonte não há nítida tendência de decréscimo de teor de quartzo, onde no topo se observa até mesmo um ligeiro aumento de teores. Os teores estão na proporção do horizonte saprolítico para os perfis das figuras 23 c e 24 a. Para os perfis da figura 25 a ,c e d; figura 26 a e d; figura 27 b e d e figura 27 a, o decréscimo de teores é maior, principalmente na interfáce do horizonte argiloso com o sobreposto. O decréscimo de quartzo para o topo, nesses perfis, é acompanhado pelo decréscimo do teor de caolinita e acréscimo no teor de gibbsita. Em todos os perfis é característica a diminuição dos teores de caolinita e aumento nos de gibbsita no

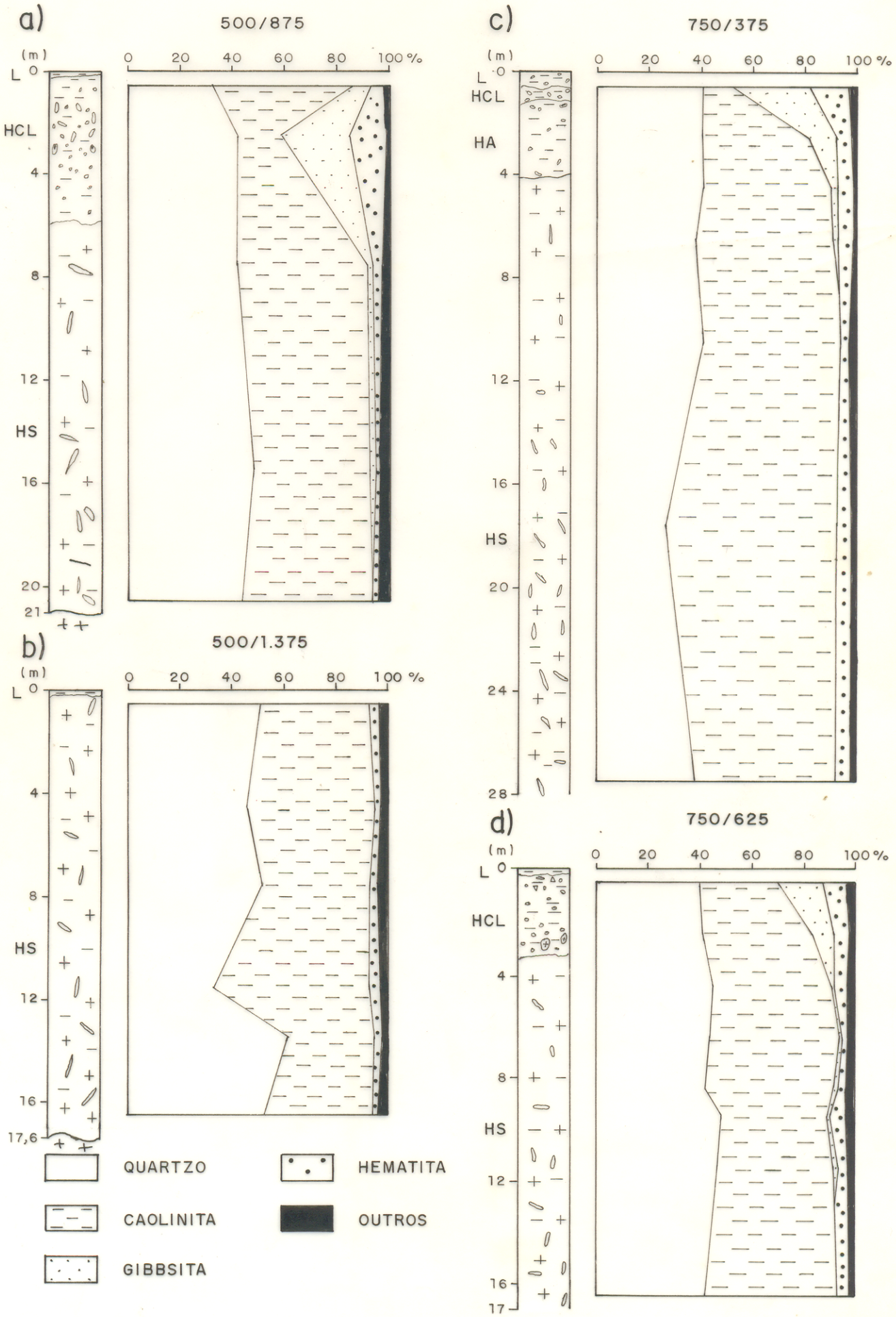


FIGURA 23 – Composição mineralógica dos perfis 500/875, 500/1.375, 750/375 e 750/625 da Serra do Madeira.

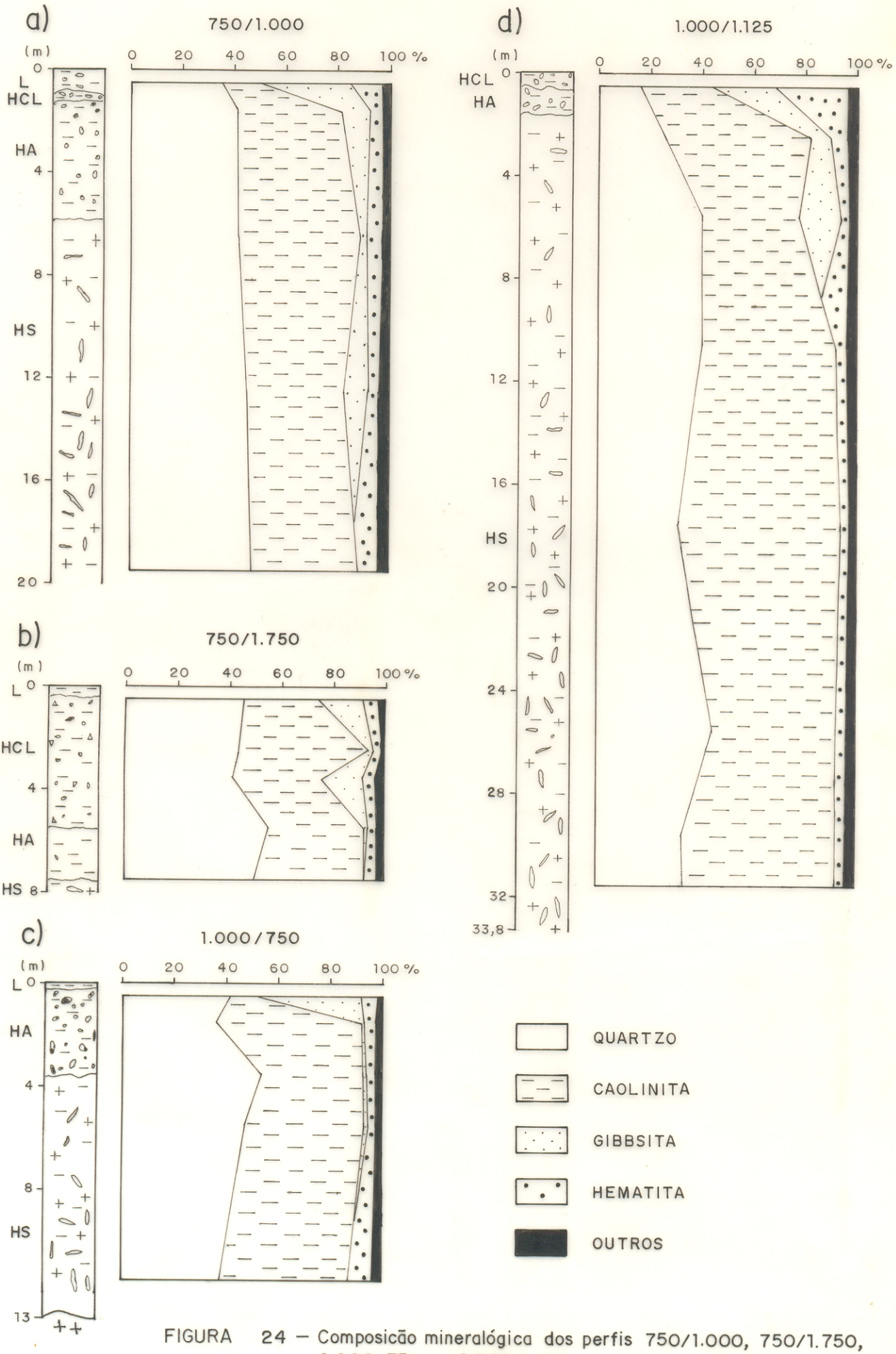


FIGURA 24 – Composicão mineralógica dos perfis 750/1.000, 750/1.750, 1.000/750 e 1.000/1.125 da Serra do Madeira.

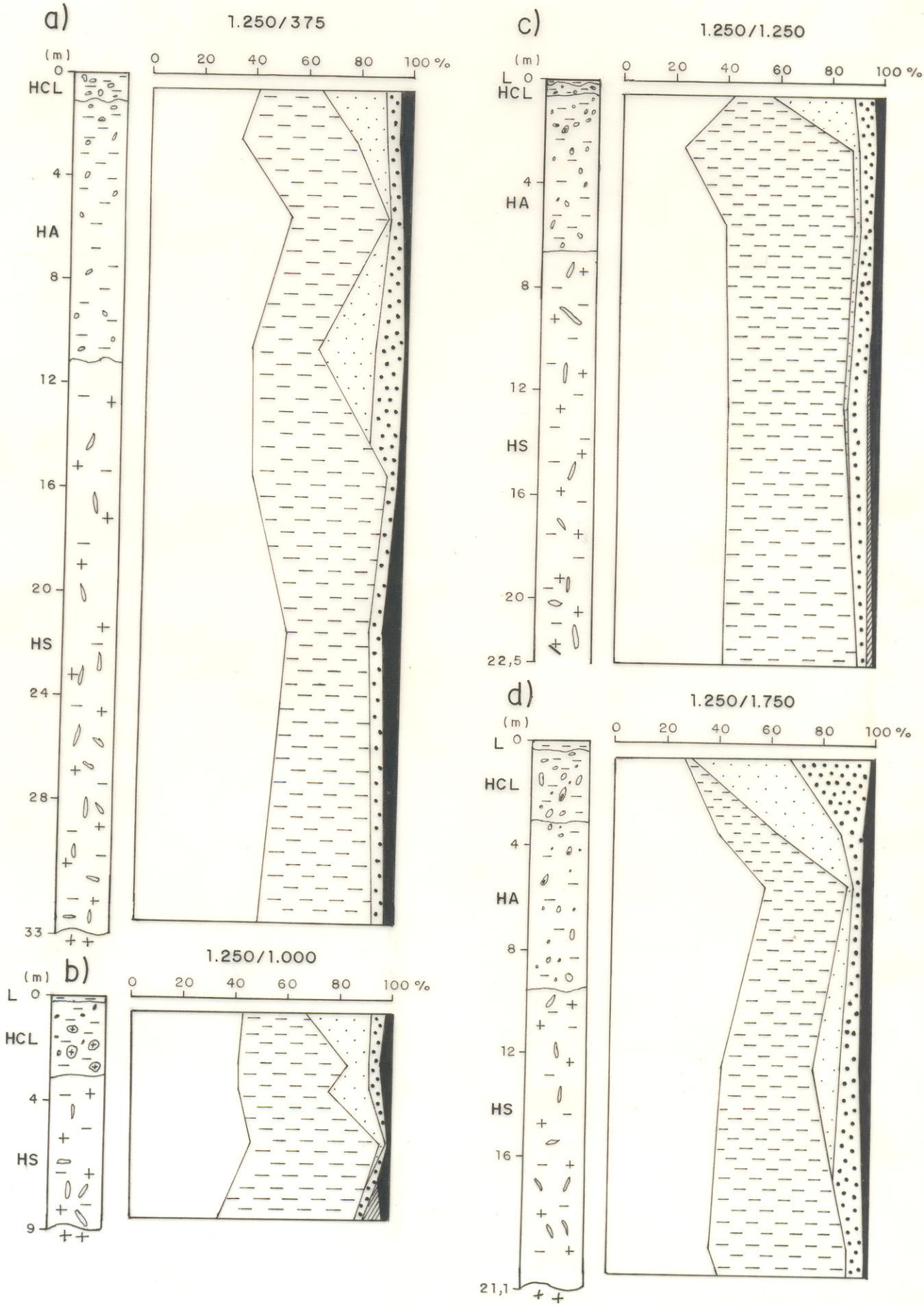


FIGURA 25 – Composição mineralógica dos perfis 1.250/375, 1.250/1.000, 1.250/1.250 e 1.250/1.750 da Serra do Madeira.

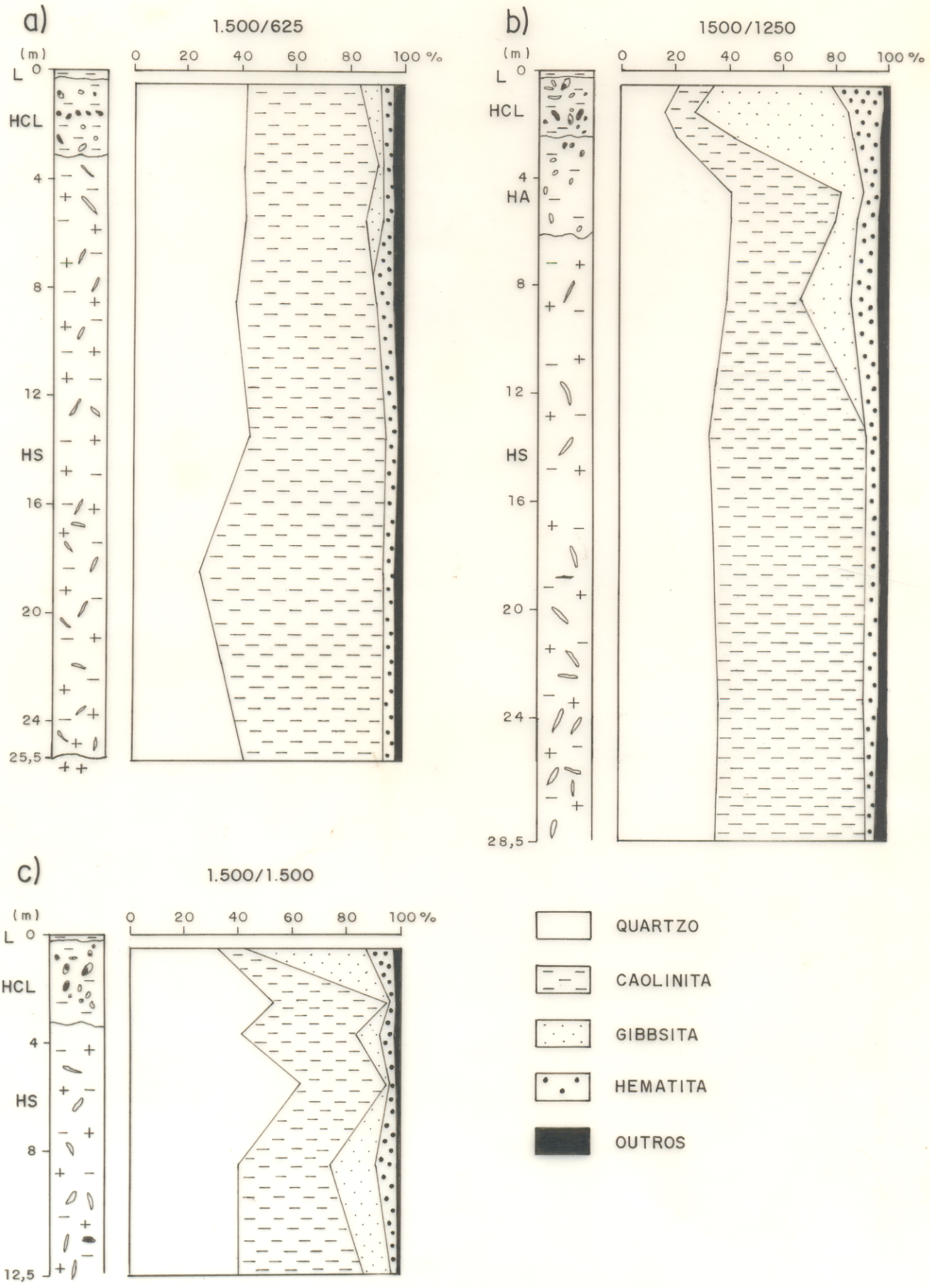


FIGURA 26 – Composição mineralógica dos perfis 1.500/625, 1.500/1.250 e 1.500/1.500 da Serra do Madeira.

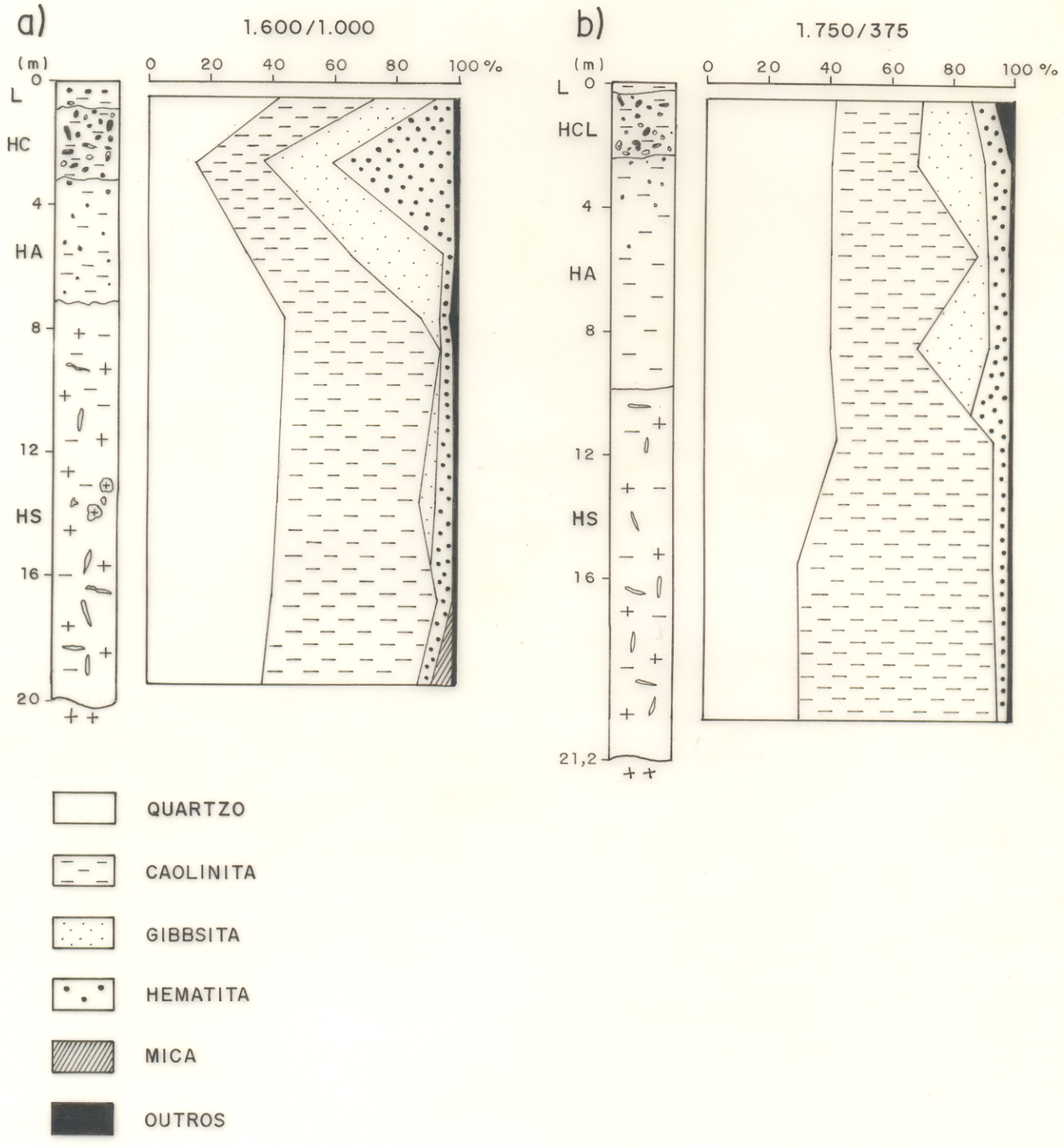


FIGURA 27 – Composição mineralógica dos perfis 1.600/1.000 e 1.750/375 da Serra do Madeira.

topo do horizonte argiloso. O teor de hematita é crescente para o topo do horizonte.

Horizonte bauxítico - Apesar de não estar representado nos perfis estudados, onde ocorre (NE da área) é constituído predominantemente por gibbsita microcristalina e quartzo.

Horizonte concrecionário - Este horizonte está representado somente pelo perfil da figura 27a. A sua mineralogia é marcada pelo predomínio de hematita (40%) e gibbsita (32%) (tabela 4), composição esta que engloba a crosta ferruginosa e o horizonte bauxítico. O teor de quartzo, que no horizonte argiloso decrescia em direção ao concrecionário, neste, volta a crescer em direção ao latossolo. Comportamento similar têm a caolinita e gibbsita. A hematita apresenta neste horizonte o teor de 40%, sendo o mais elevado de todos os perfis.

Horizonte coluvionar - Por ser um horizonte originado de materiais resultantes do desmantelamento dos horizontes saprolítico e argiloso, é constituído pelos mesmos minerais destes horizontes. Enquanto os teores de quartzo são idênticos aos daqueles horizontes, os de caolinita são inferiores (30%) e os de gibbsita e de hematita superiores (23% e 11% respectivamente).

Latossolo - É formado também pelos mesmos minerais principais dos horizontes subjacentes, entretanto diverge nas concentrações relativas dos mesmos, apenas o quartzo não apresenta teores diferentes dos demais horizontes. Ressaltam-se os altos teores de gibbsita (32%), por sinal o mais elevado do perfil (exceto o concrecionário que tem só uma amostra) e o mais baixo de caolinita (tabela 4 e figuras 24 a 28).

3.6.2. Minerais Acessórios e Minerais de Minério

Embora já tenham sido feitos vários estudos, a mineralogia dos minerais de minério e dos acessórios do perfil

laterítico da Serra do Madeira ainda não foi desvendada por completo, estando a reclamar investigações profundas com auxílio de microssonda e microscópio eletrônico. São aqui apresentados apenas os minerais passíveis de caracterização em lupa binocular com o apoio da difração de raios -x. O material foi obtido a partir das frações A (2.000μm - 1.410μm) e B (1.000μm - 710μm), após separação com bromofórmio.

Em média, 10% do material total são constituídos por minerais pesados sendo eles: hematita, hematita especular, Al-goethita, cassiterita, zircão, columbita, pirocloro, xenotima, torita, bastnaesita, mica e anfibólio. Tem-se notícia da presença de samarskita e fergusonita (Mendes da Silva, 1988). Contudo, nos estudos realizados pela autora desta tese, esses minerais não foram identificados pelos métodos aqui utilizados. Todos estes minerais foram identificados na rocha mãe com excessão dos oxi-hidróxidos de ferro.

Oxi-hidróxidos de ferro - encontram-se sob a forma de hematita e Al-goethita. A hematita apresenta coloração avermelhada a rosada, aspecto poroso (figura 28), é criptocristalina (hematita laterítica), ora como cristais isolados, ora especular ou formando agregados com outros minerais. Os oxi-hidróxidos de ferro são os responsáveis pelo mascaramento das características visuais dos demais minerais. A Al-goethita ocorre em pequenas proporções com coloração ocre-amarelada.

Cassiterita - Tem brilho submetálico, geralmente maclada, fratura conchóide, de coloração preta a acastanhada (figura 29), com alguns cristais apresentando propriedades eletromagnéticas. Ela ocorre intercrescida com o zircão, quartzo, oxi-hidróxidos de Fe e columbita. É o principal mineral de minério do Pitinga

Zircão- A característica principal do zircão é a ausência do prisma, ocorrendo somente na forma bipiramidal tetragonal. Os

cristais possuem coloração verde, rosa, castanha e cinza, são levemente translúcidos, e as superfície das faces são geralmente corroídas (figura 28 a 30). Foi identificada a variedade malacon onde o núcleo dos cristais se apresenta parcialmente destruído pela desintegração causada pelos elementos radioativos que substituem parcialmente o zircônio. Parte dos cristais de zircão, assim como os de cassiterita, apresentam relativa susceptibilidade magnética. É o segundo mineral em importância econômica na Serra do Madeira.

TABELA 5: Teores médios de minerais pesados por fração granulométrica e horizontes (% em peso)

HORIZONTE	FRAÇÃO	CAS	ZIR	COL	XEN	HID	MI	ESP
Latossolo	A	1	2	1		96		
	B	12	64	1		23		
Colúvio	A	20	1			48		
	B	15	45	3		54		
Argiloso	A	4	4	8	2	29		
	B	7	72	4	2	13		
Saprólito	A	3	9		2	40	1	
	B	7	59	2		27	3	3

CAS=cassiterita, ZIR=zircão, COL=columbita, XEN=xenotima, HID=hidróxido de Fe e Al, MI=mica e ESP=especularita

Columbita - Quando bem cristalizada, apresenta geralmente a forma de octaedros, pseudomórfica, segundo o pirocloro, podendo ocorrer também na forma granular. Tem coloração preta e brilho fosco.

Suas propriedades paramagnéticas, equivalentes a da xenotima, permitem separá-la dos demais minerais resistatos, com o separador isodinâmico Frantz. Concentra-se preferencialmente nas frações granulométricas inferiores a 710μm . É obtida economicamente como subproduto da lavra de cassiterita (figura

0 0,5 mm

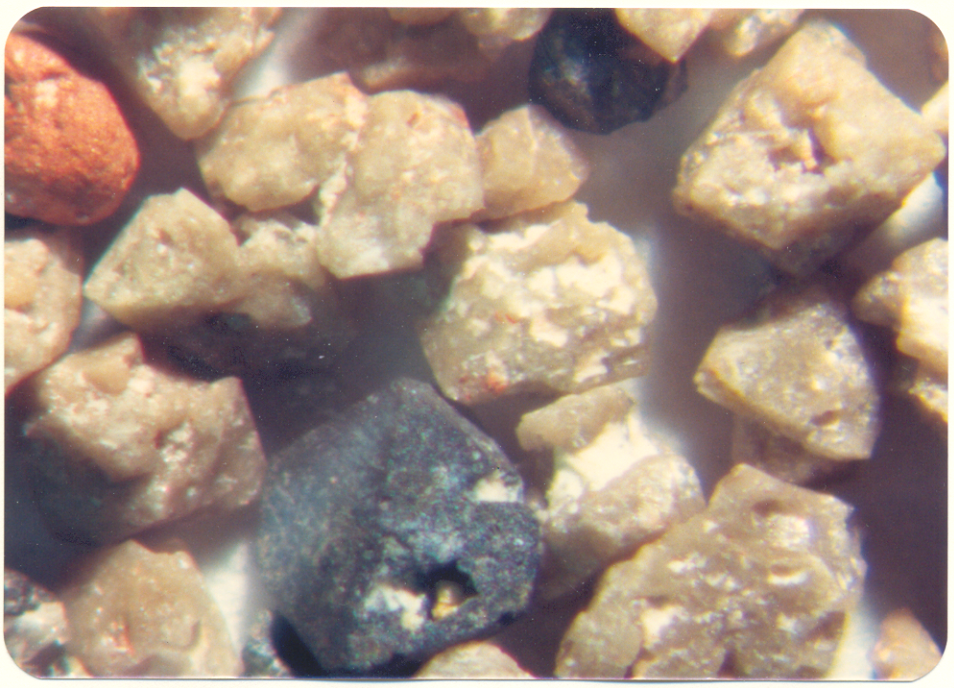


FIGURA 28 - Concentrado de minerais pesados da Serra do Madeira com zircão de cor bege, octaedro de columbita pseudomórfica segundo o pirocloro e um cristal de hidróxido de ferro avermelhado.

0 1 mm

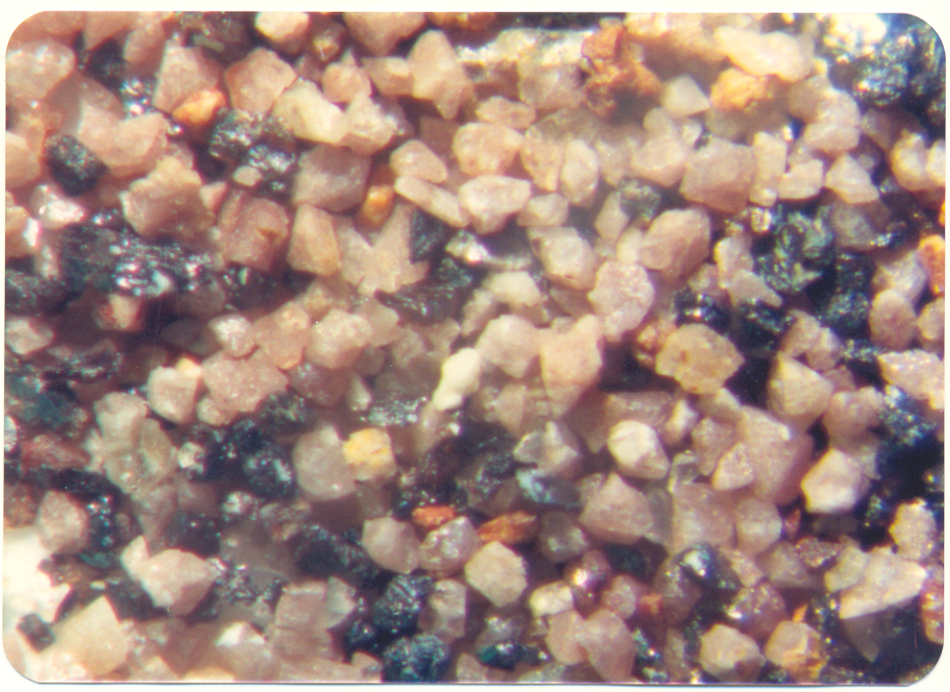


FIGURA 29 - Concentrado de minerais pesados da Serra do Madeira com cristais de zircão de cor bege, de cassiterita preta e de torita castanha.

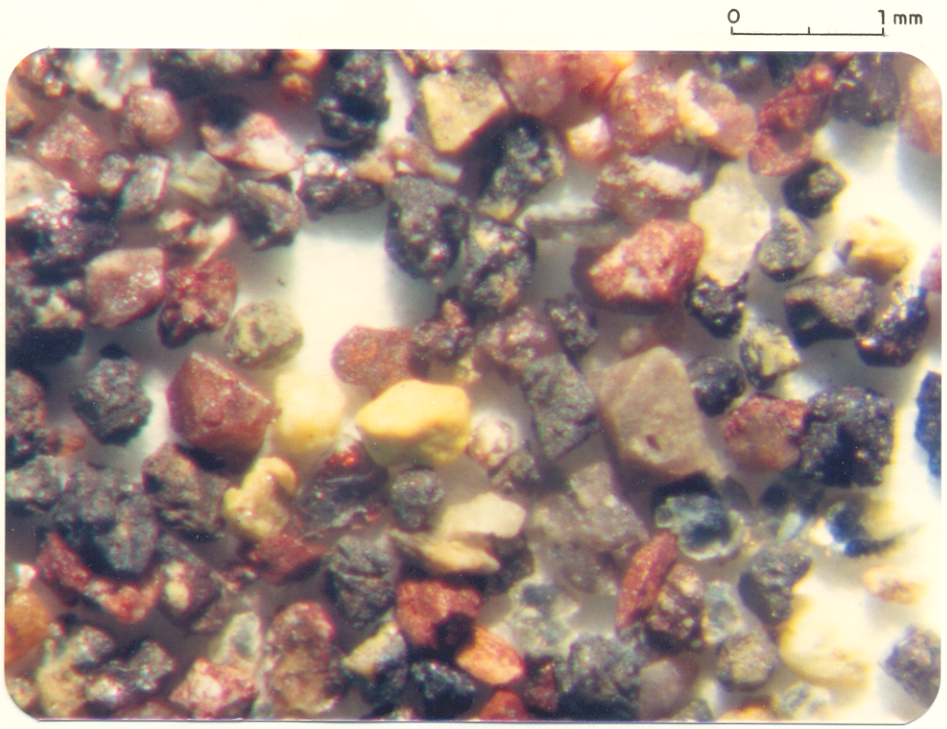


FIGURA 30 - Concentrado de minerais pesados da Serra do Madeira com zircão de cor bege, cristais de cassiterita preta, e torita castanha. Cristais de lepidolita na porção inferior direita e cristais intercrescido de columbita e pirocloro de cor preta e amarelada, na porção superior direita. Enfase aos cristais de torita branco amarelada no centro.

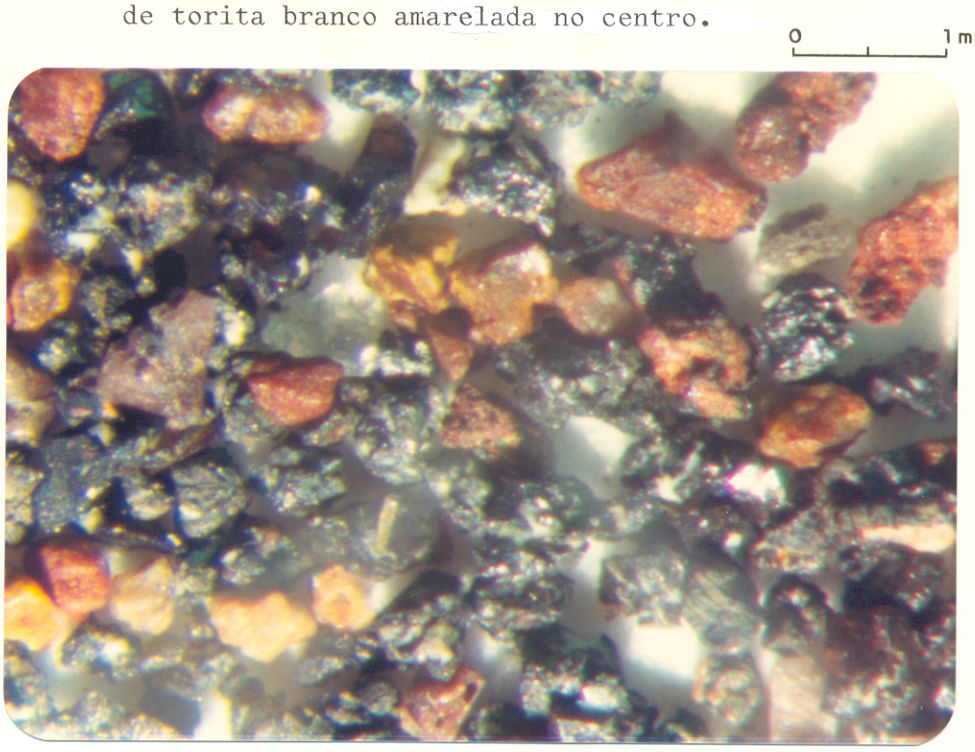


FIGURA 31 - Concentrado de minerais pesados da Serra do Madeira com cristais de cassiterita preto e de torita cor castanha na porção inferior esquerda e cor amarelada, na porção superior direita.

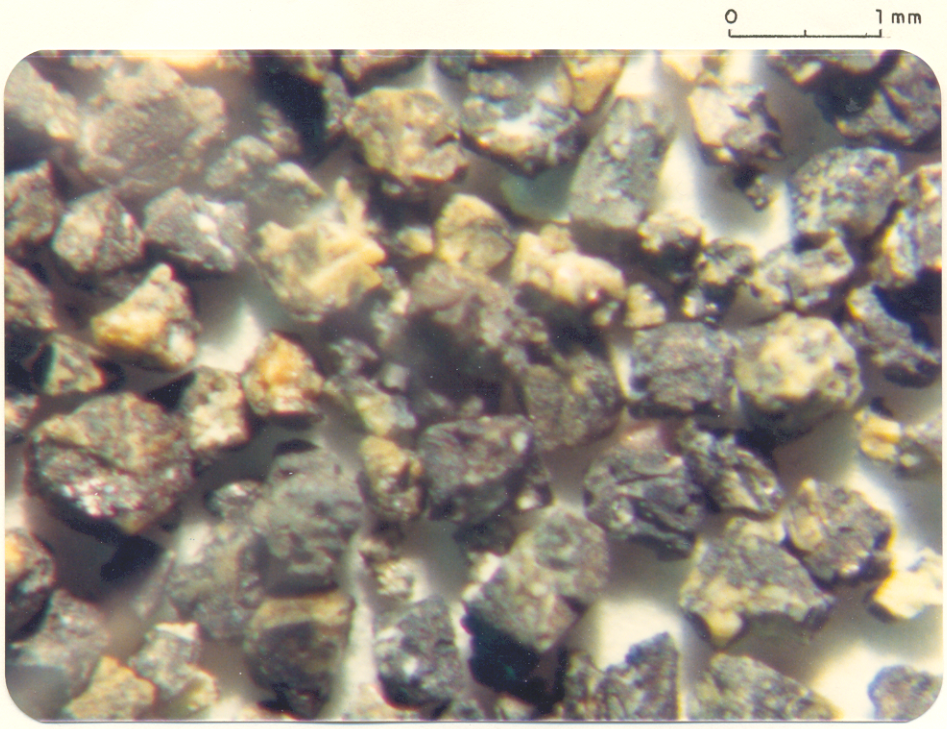


FIGURA 32 - Concentrados de minerais pesados da Serra do Madeira com cristais de columbita pretos intercrescido com pirocloro amarelado.

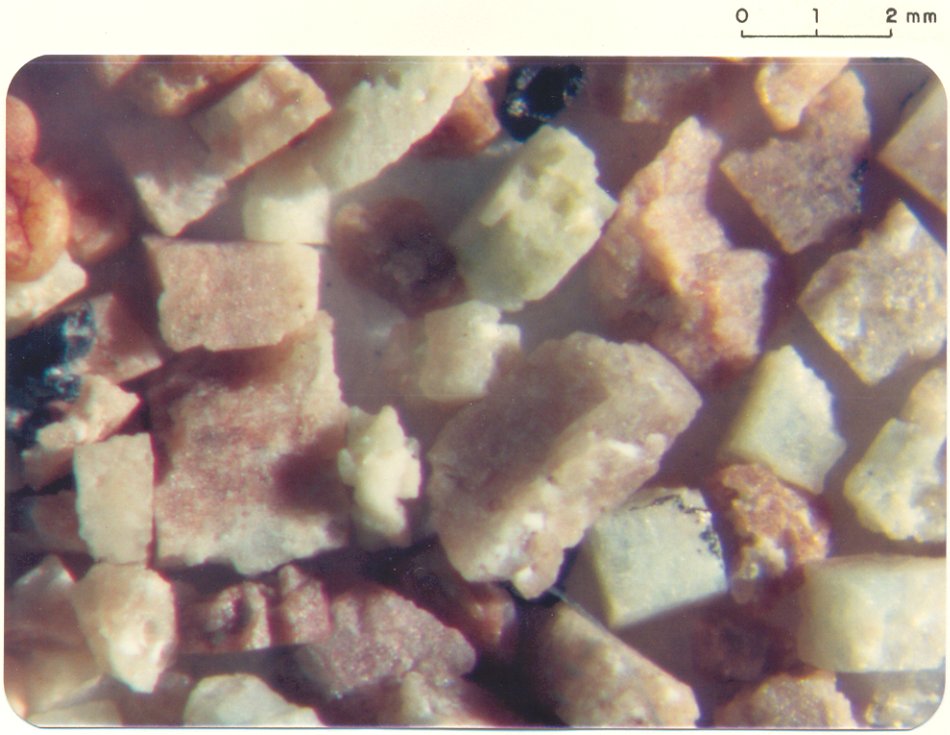


FIGURA 33 - Concentrado de minerais pesados da Serra do Madeira com cristais de xenotima rosados (maiores) e de cor branca (menores).

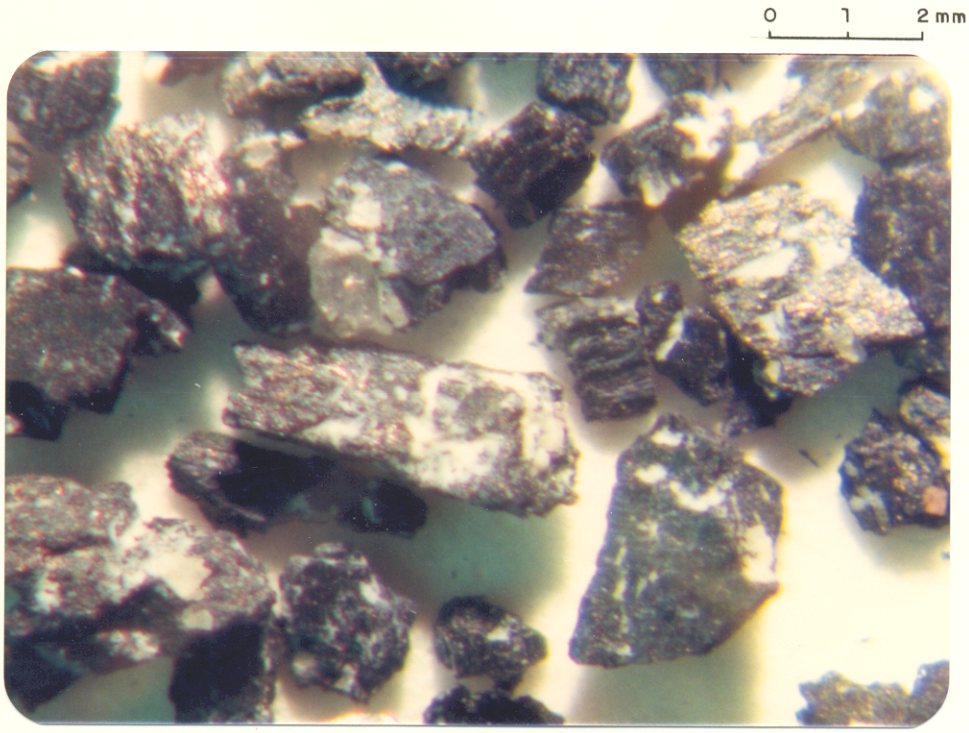


FIGURA 34 - Concentrado de minerais pesados da Serra do Madeira com cristais de riebeckita.

28, 30 e 32).

Pirocloro - Ocorre intercrescido com a columbita formando manchas amareladas, raramente ocorrendo como cristal isolado, quando ocorre tem forma granular, e assim como a columbita ocorre preferencialmente nas frações finas (figura 28, 30 e 32).

Xenotima- Coloração geralmente rosada em diversas tonalidades, alguns cristais têm núcleo rosado com coroa esbranquiçada, indicando que esta última seria de alteração. Apresenta-se em cristais prismáticos tetragonais e na forma granular, facilmente identificáveis. O brilho é graxo, a clivagem boa e tem propriedades paramagnéticas (figura 33).

Torita - Apresenta-se em cristais granulares, com brilho graxo, de coloração variando de branca a ocre em vários matízes (figura 29 a 31)

Lepidolita- Cor azul esverdeada, bem cristalizada e contendo material argiloso branco, provavelmente caolinita, tanto entre os planos de clivagens como envolvendo os cristais (figura 30).

Anfibólio - Representado pela variedade riebeckita, de cor preta, com cristais prismáticos e com clivagem perfeita (figura 34).

Bastnaesita - Apresenta-se em formas arredondadas, cor ocre e frágeis. A ocorrência deste mineral é extremamente rara na porção laterítica, tendo sido identificada somente em uma amostra na base do perfil.

3.7. Características Químicas

O estudo do comportamento dos elementos durante o intemperismo laterítico na Serra do Madeira foi feito com base na

- Rocha total e nas
- Frações granulométricas

Isto porque, além da necessidade de se conhecer a distribuição dos elementos nos horizontes ao longo dos diferentes perfis, torna-se fundamental para o processamento do minério

conhecer a granulometria em que esses elementos preferencialmente se concentram.

Os resultados médios das análises de material total, assim como das frações granulométricas, foram separadas em horizontes e encontram-se nas tabelas 6, 7, 9, 12, 13 e 14 .

Em termos gerais, as concentrações dos elementos e sua distribuição ao longo do perfil laterítico da Serra do Madeira retratam nitidamente a evolução de um perfil a partir de rocha granítica. A assinatura da rocha mãe, empobrecida em MgO, CaO e TiO2 e enriquecida em Na2O, F, Sn, Zr, Nb Y e ETR e com valores compatíveis com granitos normais nos demais elementos (Baker, 1985 e Mackenzie et al., 1988), se espelha ainda ao longo do perfil laterítico, principalmente para F, Sn, Zr, Nb, Y e TR.

3.7.1 Da Rocha Total nos Perfis

Os dados químicos obtidos (tabelas 6, 7 e 9), evidenciam que o intemperismo laterítico sobre o apogranito se dá, em geral, com diminuição dos teores da base para o topo do perfil de SiO2, FeO, CaO, Na2O, K2O, F, Y, Pb, Rb, U e ETR e aumento dos de Al2O3, Fe2O3, TiO2, PF, Sn, Zr, Nb, Ga, Hf, Ta, P, Th e W. O MgO e MnO por apresentarem teores muito próximos do limite de detecção não mostram um comportamento específico bem nítido, mas diminuem os seus teores perfil acima. A distribuição dos teores dos elementos acima é típico do intemperismo laterítico em estágio avançado, se comparados com os trabalhos de Kronberg et al. (1985), Dennen & Norton (1977), Chesworth (1979), Oliveira (1988) entre outros.

3.7.1.1 Distribuição dos Elementos Maiores

Os teores dos elementos maiores por perfil investigado estão representados nas figura 35 a 40 e os teores médios por

horizontes estão indicados na tabela 6. Nessa tabela o horizonte concrecionário tem pouca representatividade, pois é constituído por uma única amostra, a do perfil 1600/1000.

Os teores de SiO2 decrescem paulatinamente da base para o topo de todos os perfis, como podem ser observados nas figuras 35 a 40 e na tabela 6. Esse decréscimo acentua-se a partir do topo do horizonte saprolítico, passando de teores médios de 70% de SiO2 na rocha mãe para teores de 40% de SiO2 nos horizontes de topo (concrecionário, colúvio e latossolo). O comportamento da SiO2 no perfil caracteriza a sua mineralogia associada, isto é, os teores mais elevados na base do perfil (horizonte saprolítico e argiloso) estão relacionados as altas concentrações de quartzo e caolinita, enquanto, no topo do perfil, ao quartzo, que se comporta como resistato, com caolinita subordinada (tabela 4).

O Al2O3 tem teores crescentes ao longo do perfil (tabela 6 e figuras 35 a 40) com os teores mais elevados nos horizontes de topo (concrecionário, colúvio e latossolo).

O latossolo é o que apresenta teores mais elevados de Al2O3 (27%) (tabela 6), contudo as figuras 38 a 40 mostram que alguns perfis têm teores decrescentes para este horizonte devido a sua ressilicificação, transformando-se em caolinita. Essa ressilicificação da gibbsita pode ser via ciclo biológico (Butty & Chapallaz, 1984), assim como também parte do Al e o Fe.

O Fe2O3 tem distribuição similar ao Al2O3 com teores crescentes para o topo do perfil (tabela 6 e figuras 35 a 40), com o teor mais elevado no horizonte concrecionário (40%). O maior aumento relativo dos teores de Fe2O3 (figuras 35, 36 e 38) é devido a sua maior mobilidade, concentrando-se preferencialmente na zona de flutuação do lençol freático, onde é oxidado e imobilizado, podendo haver aporte externo via lençol freático em pequenas distâncias (Nahon, 1986).

TABELA 6: Composição química total dos elementos maiores segundo os horizontes

	LATOSSOLO		COLÚVIO		CONCRECIONÁRIO	ARGILOSO		SAPRÓLITO		ROCHA	
	X	min-max	X	min-max	X	X	min-max	X	min-max	X	min-max
SiO2	46.32	41.0-53.6	47.72	19.8-69.8	20.4	59.75	50.2-71.8	64.70	52.5-77.2	69.80	63.3-77.4
Al2O3	26.58	23.9-29.2	25.09	16.1-39.6	25.8	21.30	13.0-27.8	19.19	12.1-24.5	12.30	10.9-15.5
Fe2O3	9.74	6.6-16.2	10.38	2.9-39.9	39.6	6.69	3.9-20.5	4.43	1.4- 9.0	1.15	0.2- 2.2
FeO	0.44	0.3- 0.7	0.50	0.3- 1.2	0.29	0.33	0.14-0.59	0.41	0.14-0.88	1.39	0.30-2.70
CaO	0.07	*0.05-0.08	0.11	*0.05-0.81	0.05	0.07	*0.05-0.12	0.06	*0.05-0.14	1.02	0.05-4.10
MgO	0.05	*0.05-0.05	0.05	*0.05-0.10	0.05	0.05	*0.05-0.09	0.06	*0.05-0.16	*0.05	
Na2O	0.03	*0.02-0.03	0.03	*0.01-0.08	0.12	0.03	*0.01-0.06	0.04	0.01-0.54	5.01	3.10-8.80
K2O	0.02	*0.01-0.03	0.05	*0.01-0.21	0.02	0.14	*0.01-1.70	0.56	*0.01-5.80	4.64	0.46-5.60
MnO	0.04	0.03-0.06	0.04	*0.01-0.08	0.01	0.03	*0.01-0.05	0.04	*0.01-0.28	0.04	0.02-0.08
TiO2	0.34	0.16-0.87	0.29	0.05-0.81	0.70	0.26	0.05-0.90	0.15	*0.05-1.00	*0.05	
PF	13.54	11.57-15.09	12.70	7.15-22.18	12.78	9.29	5.27-13.17	7.76	3.38-10.93	n.a.	

* teor abaixo do limite de detecção n.a.=não analisado

teores medios (x), teores mínimos (min) e teores máximos (max)

Subsequentes fases de mobilização/oxidação são responsáveis pela formação da crosta ferruginosa e pela manutenção dos teores elevados no horizonte concrecionário (39% de Fe203) da Serra do Madeira.

O teor de FeO decresce abruptamente da rocha mãe (1,4%) para o horizonte saprolítico (0,41%), mantendo ao longo do perfil, pequena variação de teores (tabela 6 e figura 37). O FeO tem comportamento oposto ao Fe203, pois ele representa o Fe2+ liberado pelos minerais instáveis à lateritização (máficos e sulfetos ferrosos), sendo imediatamente oxidado para Fe3+ e imobilizado, decrescendo portanto os teores em direção ao topo do perfil. Parte do FeO também está retido na estrutura da columbita (tabela 8), que é estável à lateritização e com distribuição irregular, justificando o comportamento irregular deste elemento ao longo do perfil (figura 35, 36, 39 e 40). Segundo Taylor & Schwertmann (1974), até 10% de FeO pode ocorrer em lateritos (principalmente em solos), relacionados ao mineral maghemita justificando os teores mais elevados de FeO no latossolo (figura 35, 38 e 39).

Os álcalis (CaO, Na2O e K2O) apresentam comportamento semelhante ao longo do perfil (tabela 6 e figuras 35 a 40), ou seja, queda brusca de teores, principalmente do Na2O, da rocha mãe para o horizonte saprolítico, devido ao rápido intemperismo dos minerais portadores destes elementos (K-feldspato, albita, mica e anfibólio). O K2O é parcialmente retido (0,56%) no saprólito por participar da estrutura da lepidolita, ainda parcialmente intacta, e dos argilo-minerais, provavelmente ilita apesar de não identificada na difração de raios-x. O CaO tem teores, relativamente elevados em relação aos demais horizontes (entre 0,10% e 0,80%) na porção média superior de alguns perfis (anexo 2 perfis 750/625, 1250/1000 e 1500/1250). Esses teores

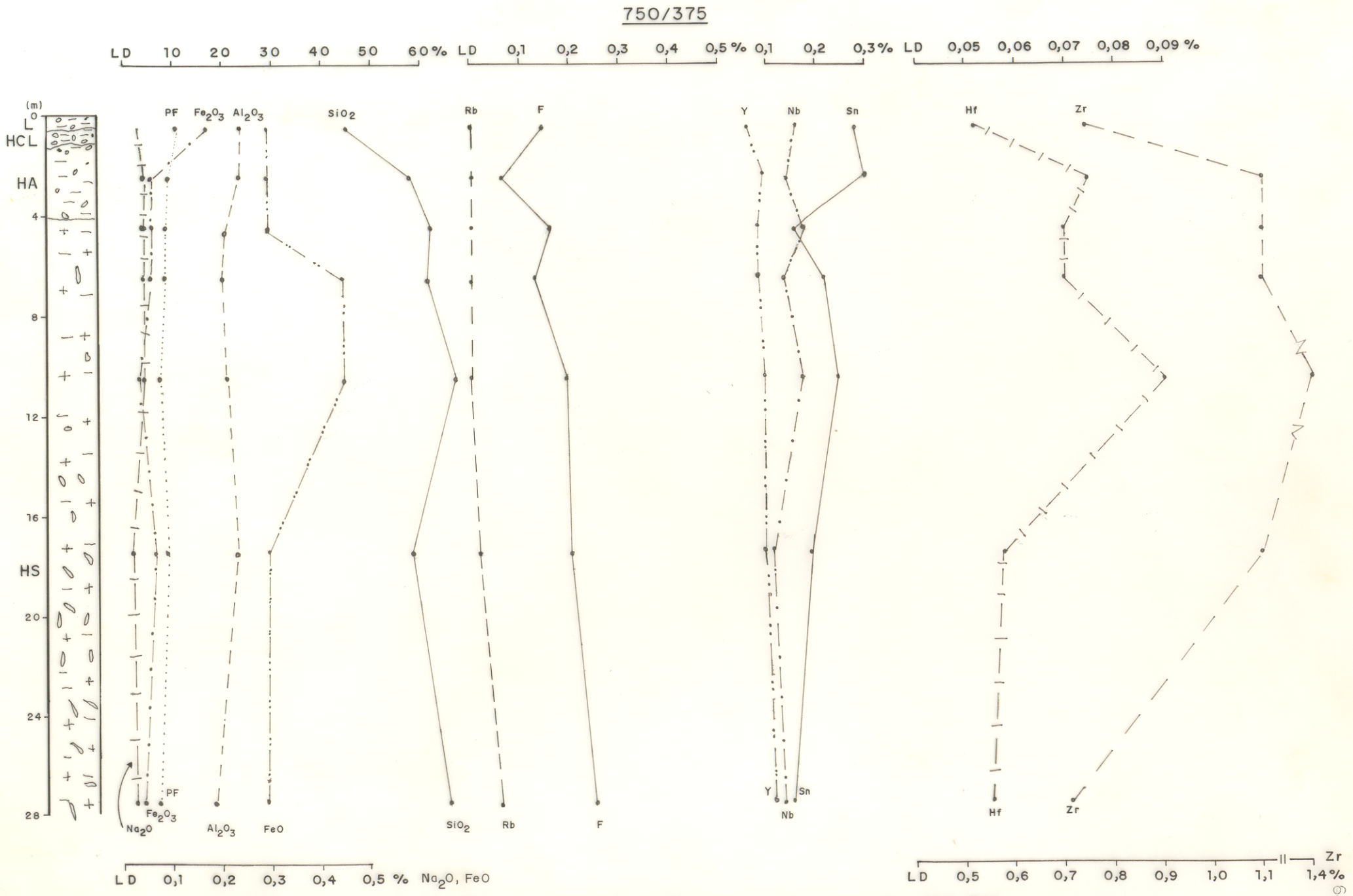


FIGURA 35 – Distribuição das concentrações dos elementos químicos ao longo do perfil 750/375.

1.000/750

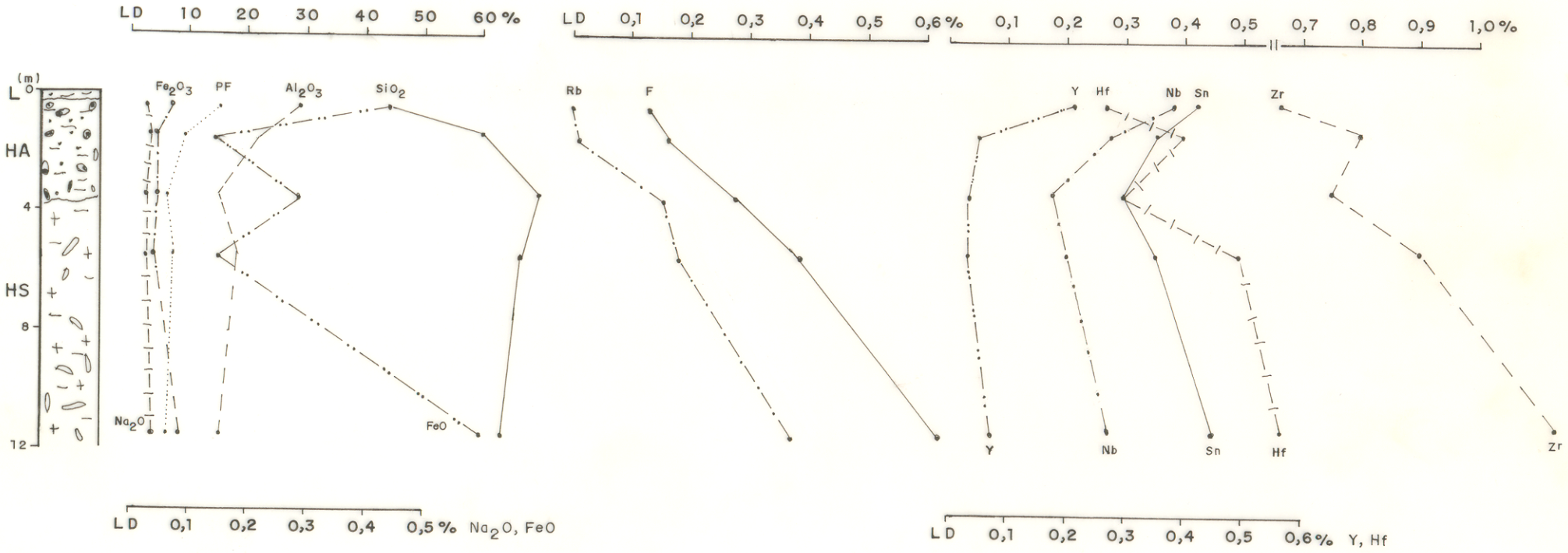


FIGURA 36 – Distribuição dos elementos ao longo do perfil 1.000/750.

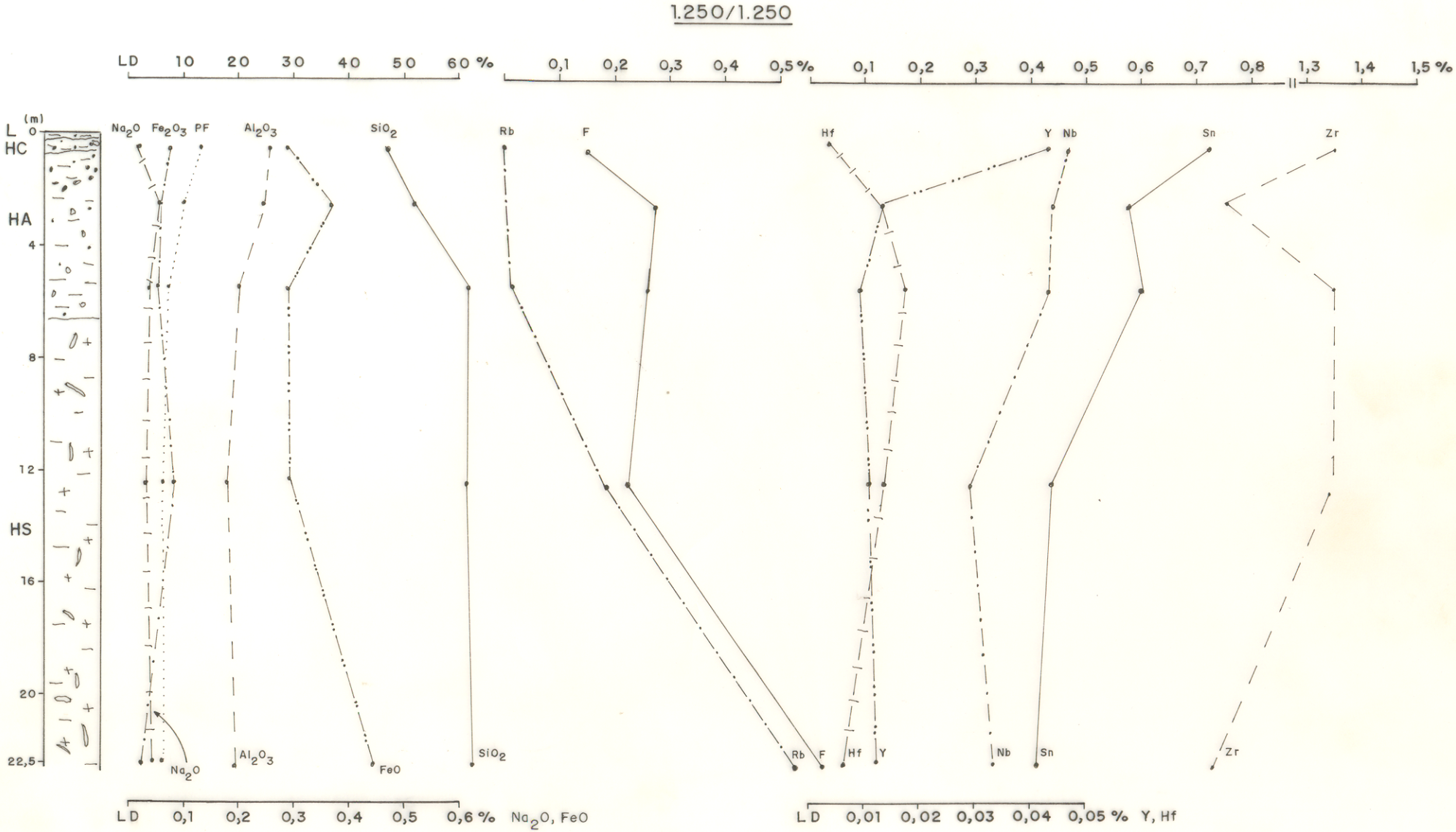


FIGURA 37 – Distribuição dos elementos ao longo do perfil laterítico do Poço 1.250/1.250.

1.250/1.750

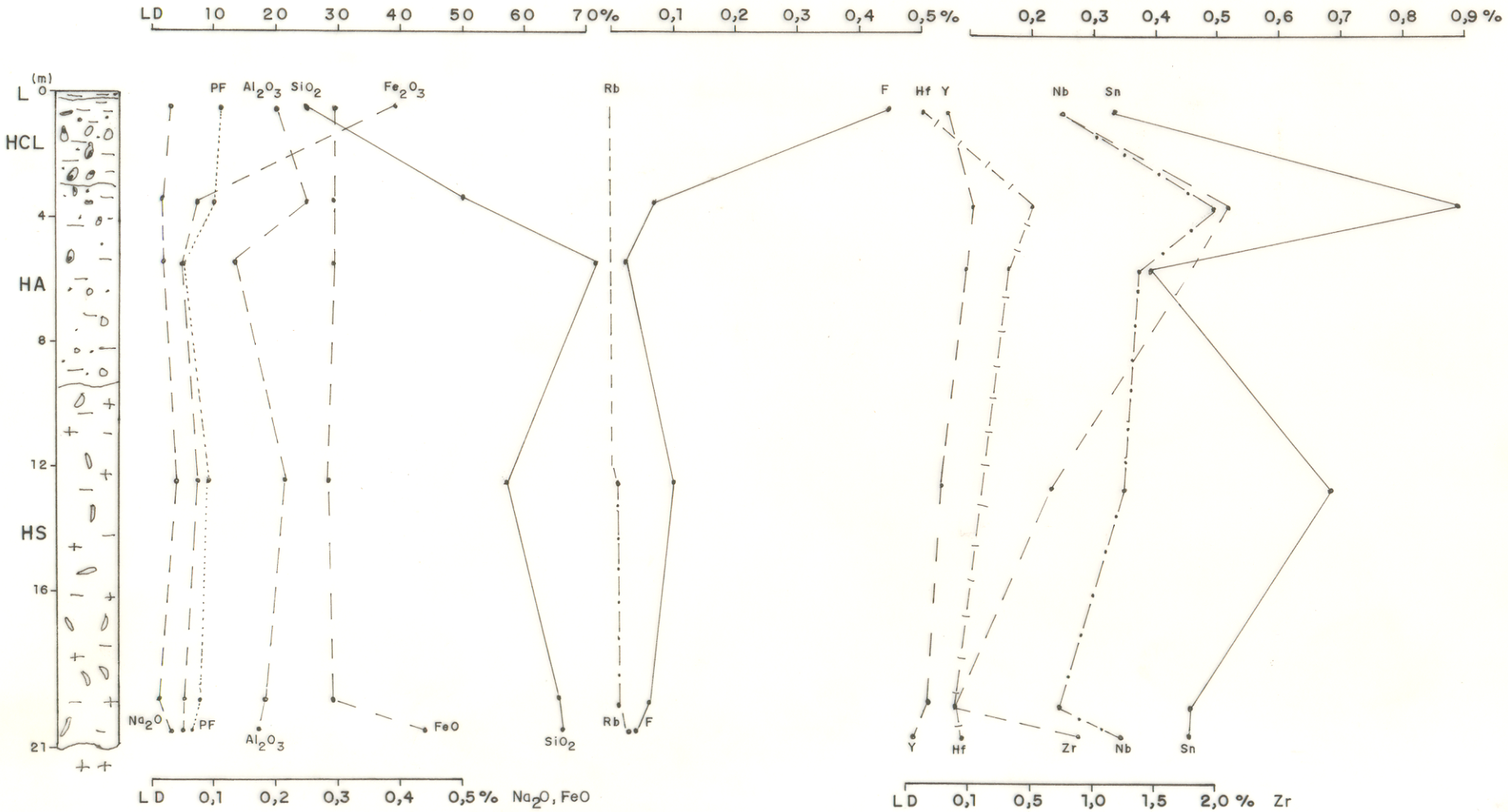


FIGURA 38 – Distribuição dos elementos ao longo do perfil 1.250/1.750.

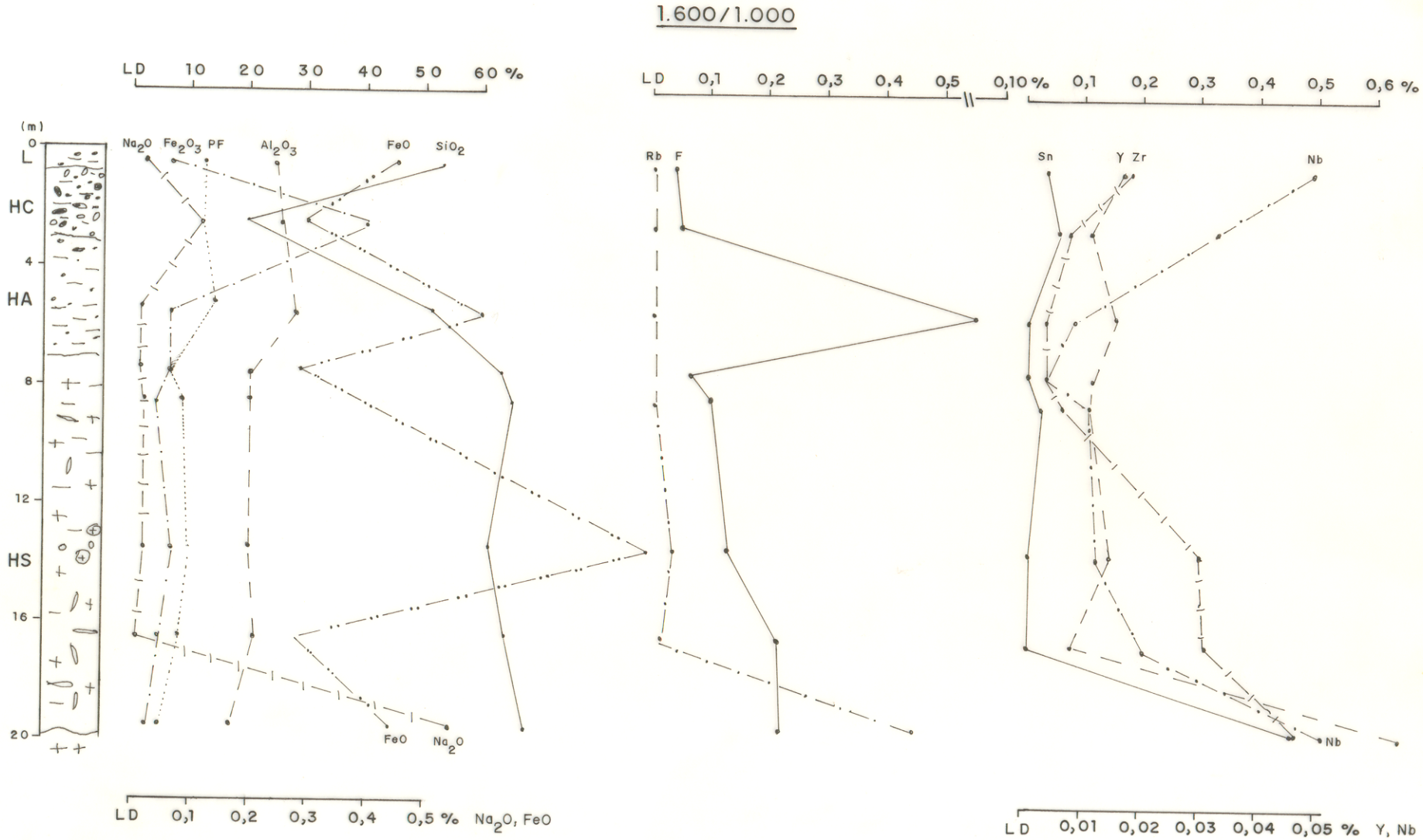


FIGURA 39 – Distribuição dos elementos ao longo do perfil 1.600/1.000.

1.750/375

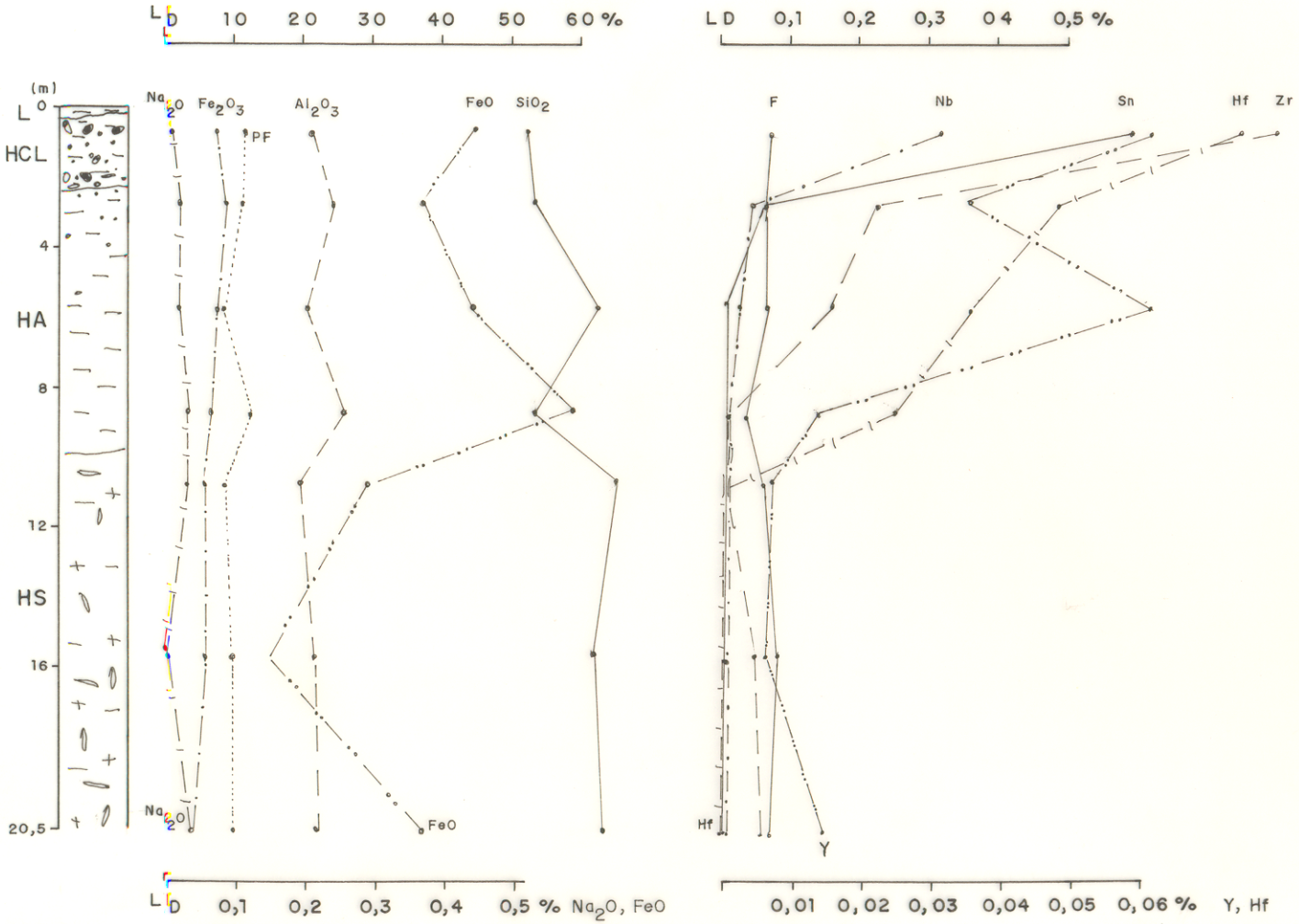


FIGURA 40 - Distribuição dos elementos ao longo do perfil 1.750/375.

devem estar relacionados aos minerais resistatos que se acumulam para o topo do perfil, principalmente aqueles portadores de nióbio (pirocloro).

O **MnO** tem comportamento similar ao MgO (tabela 6) com teores muito baixos, próximos ao limite de detecção na rocha mãe (0,04%) e ao longo do perfil (0,01% a 0,04%).

O **TiO2** apresenta teores crescentes em direção ao topo do perfil (tabela 6), passando de teores abaixo do limite de detecção (0,05%) a 0,3% no latossolo, devido ao seu acúmulo residual, provavelmente como anatásio, apesar de não identificado na difração de raios-x, e/ou mesmo como constituinte da cassiterita (tabela 8).

A PF (perda ao fogo) cresce perfil acima paralelamente com os teores de Al2O3 (tabela 6 e figuras 34 a 39), retratando o acúmulo de minerais hidroxilados neoformados (caolinita e gibbsita).

Em resumo o gradual decréscimo dos teores de SiO2, redução drástica dos teores de álcalis e FeO na base do horizonte saprolítico, aumento crescente de teores de Al2O3, Fe2O3, TiO2 e PF para o topo do perfil, comprova a evolução laterítica do perfil da Serra do Madeira.

3.7.1.2 Distribuição dos Elementos Traços

O estudo da distribuição dos elementos traços nos perfis lateríticos da Serra do Madeira cujos teores médios, segundo os horizontes, estão apresentados na tabela 7, permitiu a sua separação em 3 grupos: 1- elementos traços relacionados aos minerais primários resistatos : Sn, Zr, Nb, Hf, Ta, Th e W; 2- elementos associados a minerais instáveis e sorvidos parcial ou totalmente nos neoformados durante o intemperismo: F, Pb, Ga, Rb, e U e 3- elementos que estão tanto na estrutura de minerais resistatos como em minerais instáveis ao intemperismo: Y e P.

TABELA 7: Composição química total dos elementos traços segundo os horizontes

	LATOSSOLO		COLÚVIO		CONCRECIONÁRIO	ARGILOSO		SAPRÓLITO		ROCHA	
	X	min-max	X	min-max	X	X	min-max	X	min-max	X	min-max
F	0.13	0.04-0.19	0.19	0.05-0.95	0.04	0.17	0.03-0.95	0.23	0.02-0.84	2.13	0.04 -4.80
Sn	0.43	0.04-0.72	0.38	0.04-0.72	0.06	0.40	0.001-0.96	0.32	0.003-0.70	0.11	0.040-0.22
Zr	0.83	0.17-1.50	1.11	0.16-1.80	0.11	1.09	0.01-2.1	1.02	0.01-1.90	0.62	0.05 -1.30
Nb	2904	490-4700	2519	490-4670	330	2568	82-4970	1947	40- 4850	898	59-2240
Y	186	48- 430	214	42- 620	77	223	28-1020	115	17- 570	275	54-1080
Pb	256	108- 470	286	17- 900	158	457	76-1148	646	52- 3800	675	174-1460
Ga	92	42- 120	95	48- 126	72	81	39- 104	71	32- 126	63	46- 87
Hf	344	*200- 520	567	*200-1320	*200	874	*200-2050	643	200- 1640	n.a.	
Ta	260	21- 400	204	21- 400	15	212	15- 400	140	15- 390	n.a.	
Rb	21	*10 - 66	116	*10- 950	10	191	*10- 400	1142	*10-12000	5142	670-8400
P	97	74- 120	122	*50- 370	140	98	*10-1670	66	*50- 300	115	*50- 270
Th	1608	920-2800	2162	600-10500	690	1588	230-3960	1300	74- 5600	525	84-1230
W	72	12- 120	90	20- 170	8	99	10- 280	75	5- 220	n.a.	
U	48	5- 93	90	6- 240	5	101	7- 290	132	6- 350	435	113- 830

* teor abaixo do limite de detecção n.a.= não analizado

teores médios (x), teores mínimos (min) e teores máximos (max)

O Sn, Zr, Nb, Hf, Ta, Th e W têm seus teores médios no saprólito maiores que na rocha mãe (tabela 7), mantendo-se nesta mesma ordem de grandeza no restante do perfil, com tendência a ligeiro crescimento dos teores para o topo do perfil. Os teores máximos de Sn(0,43%), Nb(2904 ppm), Ta(260 ppm) estão no latossolo, os de Zr(1,11%), Hf(567 ppm) e Th(2162ppm) no colúvio e o W(99 ppm) no argiloso. Por outro lado quando observados em perfis individualmente estes apresentam variações. Ao longo dos perfis das figuras 35 a 38, nota-se crescimento gradual dos teores em direção ao topo dos perfis para o Zr, Sn, Nb, e Hf sendo que Sn e Nb e Zr e Hf desenham curvas subparalelas entre si. O Zr e o Hf, por outro lado, apresentam teores decrescentes no topo dos perfis das figuras 35, 36 e 38. Para as figuras 39 e 40, nota-se que o padrão das curvas foge do normal dos demais perfis. São perfis da borda do corpo mineralizado, onde a distribuição da mineralização é mais irregular por influência da rocha encaixante. No perfil da figura 39, os teores de Sn e Zr são mais elevados na base do horizonte saprolítico e no latossolo, no restante do perfil os teores não são aproveitáveis economicamente. Para a figura 40, os teores crescem abruptamente a partir do topo do horizonte argiloso confirmando a presença do horizonte coluvionar.

Tendo em vista a distribuição similar do Zr e Hf, esse deve substituir isomorficamente o Zr na estrutura do zircão, conforme mostra a literatura, (Lin Chyi, 1986). Isto está evidente nas figuras 35, 36, 38 e 40 sempre com o Hf em teores inferiores ao Zr. Na figura 37 e no anexo 2 (perfis 750/625, 1000/1125, 1250/1000, 1500/625 e 1500/1500) o comportamento dos dois elementos diferem um pouco indicando a existência de outro mineral com Hf ou que a substituição entre o Zr e Hf não é uniforme.

O Sn, Nb e Ta também apresentam comportamentos

similares entre si ao longo do perfil das figuras 36, 37, 38 e 40 onde o tântalo tem os teores mais baixos e o niôbio os intermediários.

Comparando os teores da rocha mãe com os teores do horizonte saprolítico e argiloso, tem-se um acréscimo de teores, na ordem de duas a três vezes, para a porção laterítica. Desse modo é possível calcular o teor dos elementos associados aos minerais resistatos na rocha mãe que não foram analisados: para o Hf será 250ppm, para o Ta 60ppm e para W 30ppm.

O F e Rb mostram padrões geoquímicos similares entre si, com acentuado decréscimo de teores da rocha mãe para o saprólito (tabela 7), devido à grande instabilidade de seus minerais portadores, principalmente criolita, fluorita, além de mica, anfibólio e feldspatos que são rapidamente decompostos na fase inicial do intemperismo, especialmente a criolita e fluorita.

A redução de teores do F do horizonte saprolítico em relação a rocha mãe é maior (900%) que o do Rb (450%) confirmando maior instabilidade dos fluoretos (criolita e fluorita) em relação aos aluminossilicatos. Nos demais horizontes, o comportamento dos dois elementos se inverte, isto é, os teores de Rb diminuem relativamente mais que os de F (tabela 7 e figuras 35 a 39) pois este último pode entrar na estrutura da caolinita, abundante nestes horizontes. A caolinita atua como uma barreira geoquímica, onde a sua hidroxila (OH-) é trocada ionicamente pelo F (Thomas et al., 1977). Além disto, foi identificado flúor no concentrado de xenotima e torita (tabela 8), ambos minerais acessórios em quase todos os perfis, e portanto contribuindo também para o acúmulo de fluor, em menor escala. Neste caso, provavelmente, a xenotima pode ter sido parcialmente transformada em churchita.

TABELA 8: Composição química parcial da xenotima, cassiterita, zircão, columbita e torita do Pitinga (% em peso)

Elem/Min	Xenotima	Cassiterita	Zircão	Columbita**	Torita
SiO2	0,41	2,90	28,70		12,70
Al2O3	0,33	0,24	0,54		1,80
Fe2O3	*0,10	*0,10	3,10		3,40
CaO	0,07	--	0,30		0,14
TiO2	*0,05	0,40	0,09		*0,05
P2O5	28,20	0,47	0,54		0,87
Zr			42,34		0,23
Hf			1,10		
Sn		73,96	0,18	2,27	1,75
Pb	0,04	0,10	0,06	0,26	0,09
F	0,56	0,05	0,09		0,50
Y	35,43	0,16	0,13	0,06	
Nb				45,58	
Ta				6,22	
W				0,39	
Th				0,26	56,50
U	0,16	0,02	0,97	0,05	0,16

* teor menor que ** concentrado de minerais de nióbio

Em quatro perfis 500/1375 do anexo 2, 750/375 da figura 35, 1250/1750 da figura 38 e 1500/1500 do anexo 2, o flúor aumenta de teor do horizonte argiloso para o latossolo, fato similar ao do Fe2O3. Entretanto, o F não parece estar ligado à estrutura dos minerais de ferro, pois não tem correspondência com os teores elevados de Fe2O3 (39,6%) do horizonte concrecionário (figura 39). O comportamento do F no latossolo pode estar relacionado tanto com a caolinita, com a gibbsita bem como com a matéria orgânica mais abundante neste horizonte.

O Pb e U têm teores decrescentes ao longo de todo o perfil. O decréscimo do U é abrupto da rocha mãe (435ppm) para o horizonte saprolítico (132ppm), a partir desse horizonte o decréscimo é gradual. Para o Pb o decréscimo é gradual em todo o perfil passando de 675 ppm na rocha mãe para 256 ppm no latossolo. A persistência de Pb no perfil deve estar ligada á columbita e a torita (tabela 8).

O Ga mostra aumento de teor em direção ao topo do perfil, isto é, de 46 a 126 ppm, provavelmente ligada à estrutura dos minerais de alumínio e de ferro.

O Y e P têm distribuição similar do saprólito ao topo do perfil, os teores decrescem abruptamente da rocha mãe para o saprólito (tabela 7), com teores de 254 ppm e 115 ppm na rocha mãe, e 115 ppm e 66 ppm, respectivamente, no saprólito. No restante do perfil, os teores médios de Y e P são crescentes do saprólito para o colúvio e decrescentes para o latossolo (tabela 7). Nos perfis das figuras 36, 37, 39 e 40 e do anexo 2 (perfis 1250/375 e 1500/1250), há aumento de teor de Y e P no latossolo provavelmente em decorrência do acúmulo de xenotima, enriquecida residualmente como os demais resistatos. O decréscimo dos teores de Y e P da rocha mãe para o saprólito faz supor a existência de um outro mineral de Y e P, que não a xenotima, de rápida decomposição pelo intemperismo. Esta fração de Y e P, liberada desta fase instável, passa a ter seu comportamento residual ligado à xenotima e em parte ao zircão e a cassiterita (tabela 8).

3.7.1.3 Distribuição dos Elementos Terras Raras

Os teores dos ETR nos perfis lateríticos da Serra do Madeira, incluindo a rocha mãe, estão apresentados no anexo 2 e os teores médios de cada horizonte na tabela 9. As figuras 41 a

44 mostram a distribuição de teores desses elementos ao longo dos perfis.

As concentrações dos ETR no substrato da Serra do Madeira se destacam apenas pelas concentrações anômalas de ETRP, onde atinge em média 326 ppm. Nos horizontes lateríticos derivados destas rochas, as concentrações de ETRL se situam inclusive abaixo dos níveis crustais (132 ppm para ETRL e 17 ppm para os ETRP segundo Henderson, 1984), entre 24 e 590 ppm, enquanto os ETRP continuam em níveis anômalos, entre 14 e 1505 ppm. Nos horizontes de topo (concrecionário, colúvio e latossolo), dentre os ETRL o Ce atinge concentrações anômalas (tabela 9).

A tabela 10 apresenta a razão dos ETR entre um horizonte e o anterior, visando o fator de enriquecimento entre eles, e ao longo do perfil. Essa tabela permite uma melhor visualização do comportamento dos ETR ao longo do perfil.

Do horizonte saprolítico para a rocha mãe (tabela 10), observa-se uma diminuição abrupta (mais de 80%) dos teores de Nd, Sm, Eu, Gd e Dy; diminuição moderada (50% a 80%) para La, Ce, Ho e Er, e menos que 50% para Yb e Lu. Do argiloso relativo ao saprolítico (tabela 10), constata-se a diminuição dos teores de ETRL+Gd enquanto Ce, Dy, Ho, Er, Yb, Lu, ou seja Ce+(ETRP-Gd), ao contrário, aumentam de teor sendo que o Ce, Er, Yb e Lu o fazem em maior contraste, na ordem de 40 a 50%. Por sua vez, o horizonte coluvionar relativo ao argiloso (tabela 10), apresenta teores médios de ETR todos superiores (entre 1,2 e 1,6), sendo a diferença maior para os ETRP+Ce na ordem de 40% a 60%. O latossolo com relação ao colúvio também apresenta teores superiores para todos os elementos, onde o La e Nd sofrem pequena elevação (até 10%), o Ce, Sm, Eu e Gd de 40 a 80% e o Dy, Ho, Er, Yb e Lu de 170 a 220%. Pela tabela 9, no latossolo somente os teores médios de La, Nd, Sm, Eu e Gd não atingem os níveis de

TABELA 9: Composição química total dos ETR segundo os horizontes

	LATOSSOLO		COLÚVIO		CONCRECIONÁRIO	ARGILOSO		SAPRÓLITO		ROCHA	
	X	min-max	X	min-max	X	X	min-max	X	min-max	X	min-max
La	18.1	11.0- 22.3	17.1	3.9- 35.0	9.2	14.2	2.8- 86.2	18.9	1.0-200.7	44.9	10.6- 43.8
Ce	197.6	92.6-394.1	136.5	11.4-705.1	51.3	98.1	32.0-148.7	70.1	0.9-303.7	144.4	14.1-161.9
Nd	14.7	8.7- 23.9	13.9	5.2- 28.2	4.5	10.7	4.2- 33.8	18.4	0.9-230.5	78.6	13.5-402.4
Sm	7.1	3.1- 13.8	5.1	2.2- 8.1	0.8	3.9	2.6- 5.8	6.5	0.5- 76.2	34.0	9.4-186.1
Eu	0.5	0.2- 0.9	0.3	0.2- 0.8	0.1	0.2	0.1- 0.4	0.3	0.1- 2.4	1.3	0.3- 6.8
Gd	15.5	7.5- 29.8	8.6	4.1- 15.8	1.4	6.0	3.4- 10.0	8.5	1.2- 65.5	36.5	8.2-199.7
Dy	117.0	46.6-228.7	37.9	9.6-106.0	2.6	23.5	6.1- 41.1	21.1	3.2- 81.5	103.4	19.6-551.1
Ho	33.7	14.1- 67.5	10.7	2.2- 26.5	0.7	6.6	1.3- 15.0	5.7	2.2- 45.7	21.7	4.5-101.8
Er	152.5	62.2-306.7	47.4	6.6-114.1	2.9	30.4	4.8- 74.5	23.7	2.3- 59.8	71.7	16.9-308.8
Yb	270.7	103.5-538.0	87.3	0.4-183.2	5.6	63.7	7.6-160.1	44.8	3.2- 97.0	84.1	28.8-313.3
Lu	31.3	13.5- 57.6	11.5	3.3- 24.1	0.8	7.6	0.8- 19.2	5.6	0.8- 14.2	9.3	3.8- 30.1

teores médios (x), teores mínimos (min) e teores máximos (max)

teores da rocha mãe, mas o Ce a ultrapassa em 37%, Dy em 13%, Ho em 55%, Er em 113%, Yb em 222% e Lu em 236%.

Resumindo, os teores dos ETR decrescem mais no horizonte saprolítico e no argiloso, sendo que neste último os ETRL+Gd atingem os valores mais baixos do perfil. Somente o Ce, e os ETRP (Dy, Ho, Er, Yb, Lu)-Gd começam a se acumular a partir do horizonte argiloso, acentuando-se esse acúmulo ainda mais no colúvio e muito mais no latossolo. Neste último horizonte, o Ce, Dy, Ho, Er, Yb e Lu ultrapassam os teores da rocha mãe em até 200%. Assim que, Ce com 144 ppm na rocha mãe, tem sua menor concentração no horizonte saprolítico, 70 ppm e no latossolo a maior com 198 ppm. Por sua vez, o Yb com teor de 84 ppm na rocha mãe, alcança 271 ppm no latossolo.

Tabela 10: Razão de distribuição dos ETR por horizonte

Horizonte	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Yb	Lu
Lat/Col	1,1	1,4	1,1	1,4	1,7	1,8	3,1	3,2	3,2	3,1	2,7
Col/Arg	1,2	1,4	1,3	1,3	1,5	1,4	1,6	1,5	1,6	1,4	1,5
Arg/Sap	0,7	1,4	0,6	0,6	0,6	0,7	1,1	1,2	1,3	1,4	1,4
Sap/Roc	0,4	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,5	0,6
Roc/Roc	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Em termos de variação de teores, observa-se que, na Serra do Madeira, os ETR não se deixam classificar nos grupos convencionais ETRL e ETRP, mas sim em La+Nd, Ce, Sm+Eu+Gd, Dy+Ho+Er e Yb+Lu sendo possível agrupa-los em:

(La+Nd)+(Sm+Eu+Gd)

(Dy+Ho+Er)+(Yb+Lu)

Ce

A diminuição nos teores de todos os ETR mostra que eles não estavam somente na estrutura dos minerais resistatos (torita, zircão e xenotima), mas também em minerais instáveis, que

intemperizados, permitiram a perda parcial destes elementos. O acúmulo relativo de teores após o horizonte saprolítico, especialmente dos ETRP, mostra acúmulo nos resistatos, mas também a fixação dos ETRP em minerais neoformados, que ainda não foram identificados.

A figura 41 mostra o padrão de distribuição dos ETR normalizados, segundo os condritos, para todos os horizontes. O campo definido pelas curvas é mais amplo no horizonte saprolítico e mais estreito no argiloso. A dispersão no horizonte saprolítico é maior nos ETRL, enquanto, no horizonte argiloso, é maior nos ETRP da mesma forma que no concrecionário/colúvio/latossolo.

As curvas normalizadas apresentam anomalias negativas em Eu, tanto na rocha mãe como ao longo de todo o perfil, sendo esse comportamento característico em rochas graníticas (Nardi, 1989 e Sial et al., 1989). Já no horizonte saprolítico, tem-se forte anomalia positiva de Ce, persistindo ao longo de todo o perfil. Esse comportamento do Ce no perfil está de acordo com os estudos realizados por Braun et al. (1990) entre outros autores.

Em termos de dispersão das curvas normalizadas dos perfis das figuras 42 a 44, observa-se:

1- Um padrão constituído de curvas relativamente pouco dispersas, especialmente em relação aos ETRP entre os quais se destacam Er, Yb e Lu. Dentro deste padrão estão quase todos os perfis lateríticos da Serra do Madeira. Nelas se constata que, relativo à curva da rocha mãe, as curvas do perfil se situam abaixo desta, com segmentos acima apenas em Ce, Er, Yb e Lu.

2- Um segundo padrão, constituído por curvas normalizadas muito dispersas entre si, são representadas pelos perfis 1600/1000 e 1750/375 da figura 44, podendo ser incluído o perfil 1500/1250 da mesma figura. Neste padrão, a dispersão é maior em relação aos ETRP. Estes perfis se desenvolveram na borda do corpo

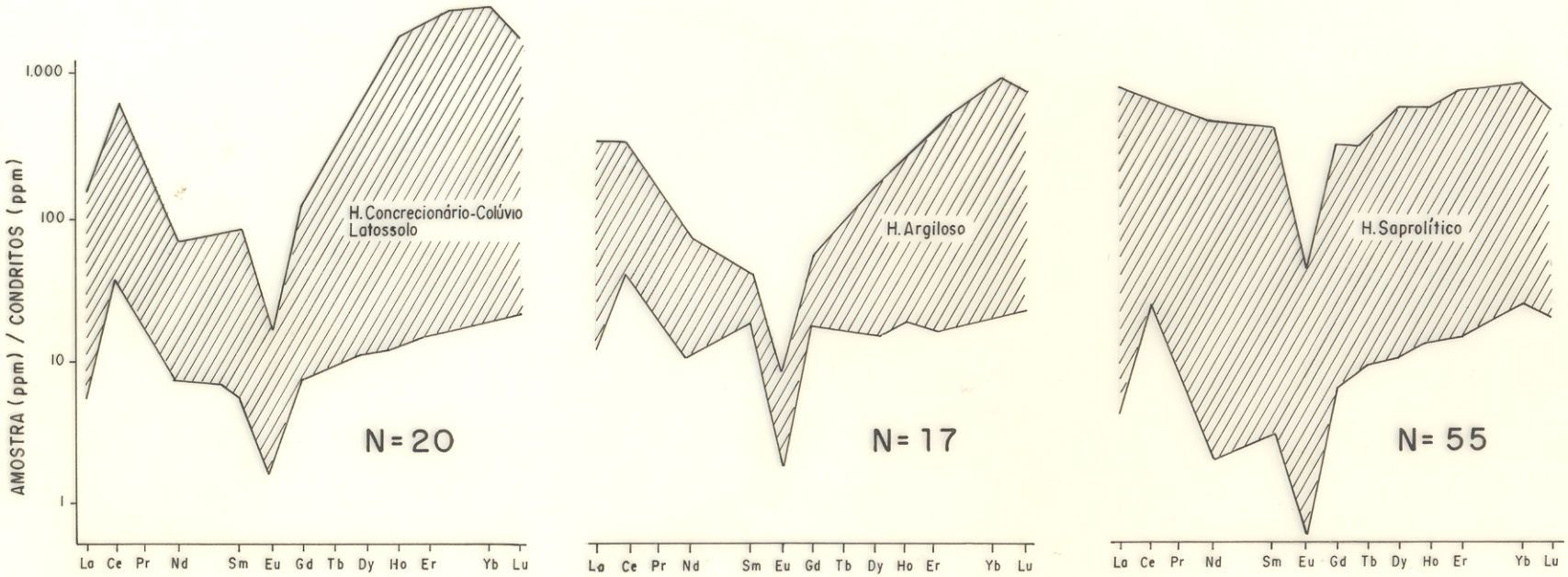


FIGURA 41 -Padão de distribuição dos ETR, segundo os horizontes do perfil laterítico da Serra do Madeira.

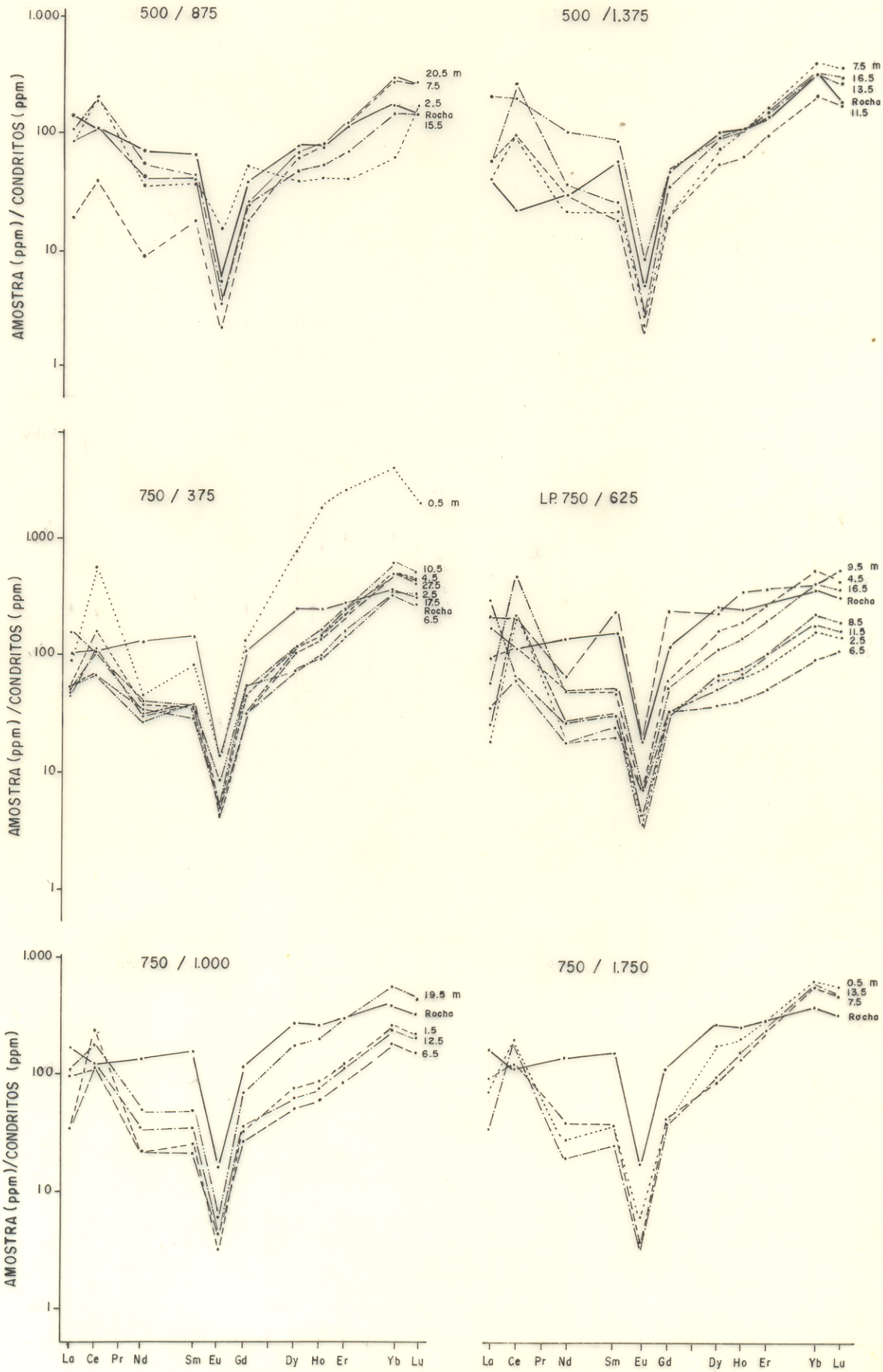


Figura 42 - Comportamento dos ETR nos perfis lateríticos da Serra do Madeira.

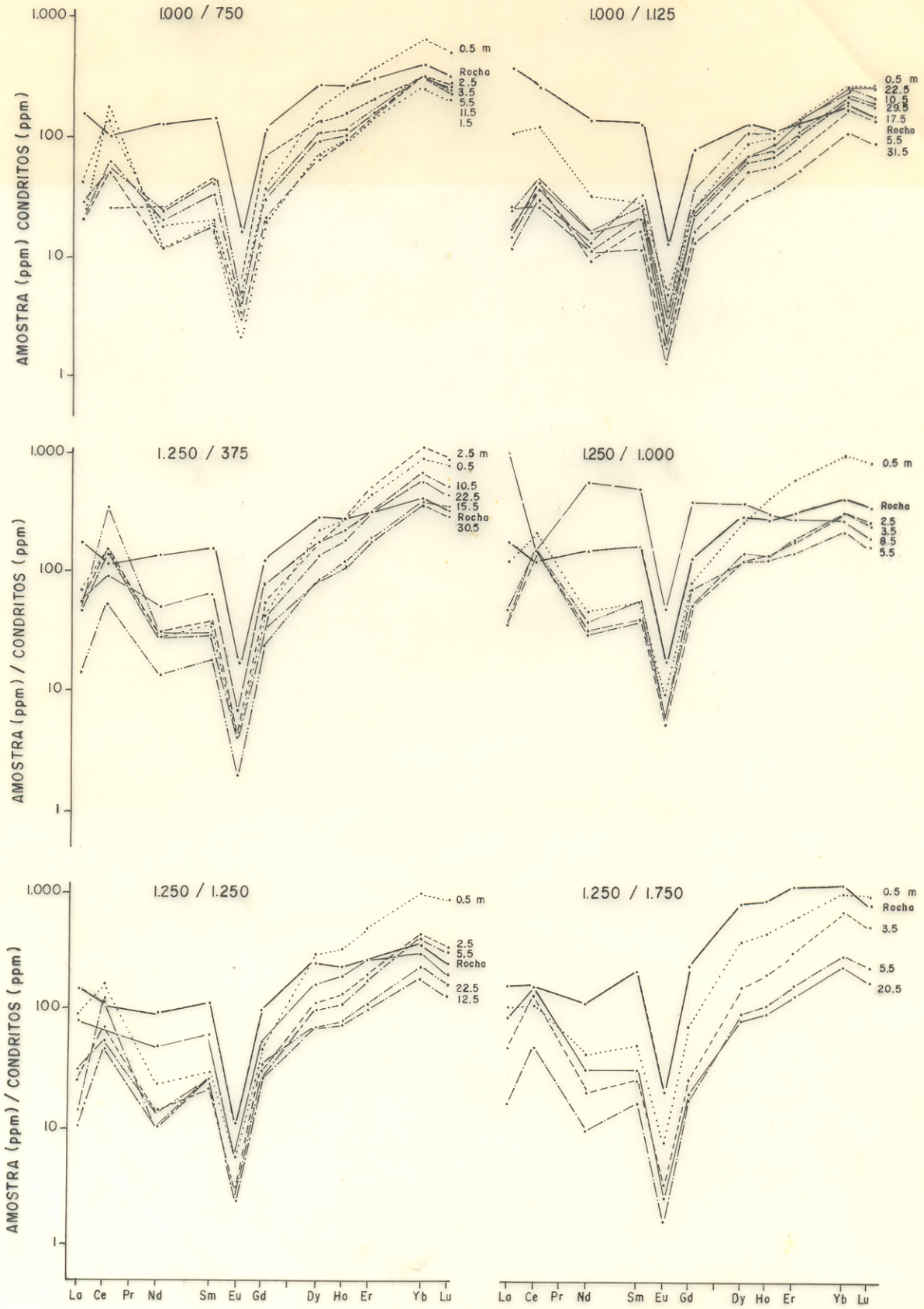


Figura 43 – Comportamento dos ETR nos perfis lateríticos da Serra do Madeira.

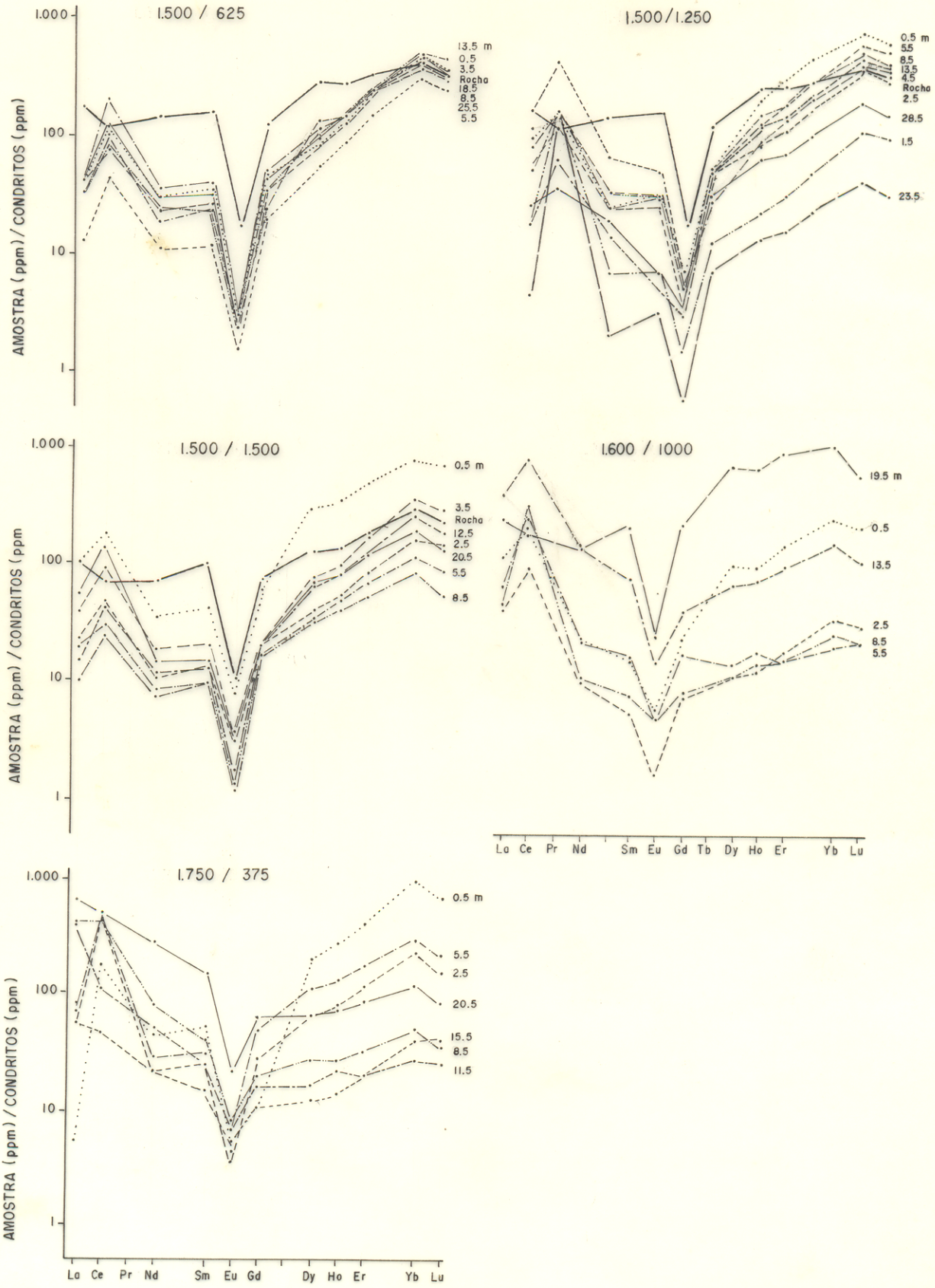


Figura 44 – Comportamento dos ETR nos perfis lateríticos da Serra do Madeira.

mineralizado, onde a mineralização está distribuida muito irregularmente.

Esse comportamento diferenciado dos perfis se deve à distribuição dos ETR na rocha mãe e a sua mineralogia associada, que não está investigada em detalhe. Contudo, com base na distribuição dos ETR nos minerais pesados (tabela 11) e nas curvas normalizadas segundo os condritos (figura 45), a xenotima, torita e concentrados de Nb apresentam forte anomalia negativa de Eu, a qual é encontrada na rocha mãe e em todo o perfil. Assim, estes minerais poderiam explicar esta anomalia em rocha total, desde a rocha mãe até o topo do perfil. Já o zircão e a cassiterita apresentam anomalias negativas em Nd, mais intensa na cassiterita, não observadas em rocha total primária e ao longo do perfil, muito embora estes minerais sejam os acessórios mais abundantes. Provavelmente, as duas anomalias se unem na rocha total. O padrão de distribuição dos ETR para a torita e para os minerais portadores de Nb é o que mais se aproxima do comportamento dos ETR no perfil, contudo os teores de Nb no perfil não são suficientes para determinarem os teores de ETR no perfil da Serra do Madeira , nem mesmo a somatória dos ETR nos demais resistatos. Faz-se portanto necessário a presença de uma nova fase mineral.

Pode-se concluir, com os dados apresentados, que há um forte controle do processo de lateritização na distribuição dos elementos no perfil e que esse controle não esta baseado somente nos minerais resistatos. O aumento crescente dos teores principalmente de Yb e Lu, no perfil em relação à rocha mãe (figuras 42 a 44), é atribuido ao enriquecimento residual dos resistatos, principalmente zircão, torita e xenotima, em direção ao topo do perfil. A forte anomalia positiva de Ce pode ser causada, além de seu acúmulo no perfil, por lixiviação diferencial do La, Dy, Sm e Eu em relação ao Ce. Este elemento,

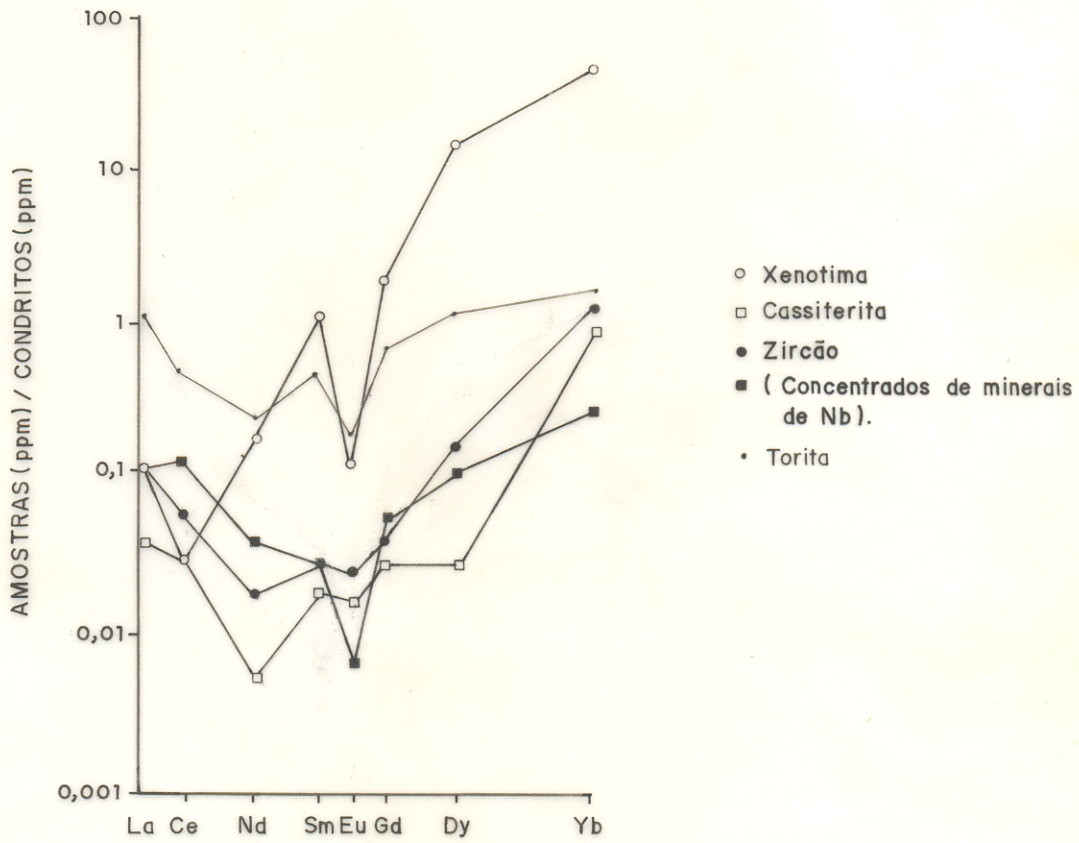


FIGURA 45 – Padrão de distribuição dos ETR na xenotima, cassiterita, zircão, concentrado de minerais de Nb e torita

ao entrar em solução na forma de Ce3+, pode ser oxidado para Ce4+, que é imóvel, precipitando como cerianita (Braun et al., 1990) e justificando este comportamento. É possível que a cerianita (CeO2) seja a responsável pelo grande enriquecimento de Ce, Er, Yb e Lu no topo do perfil. O decréscimo de teores, principalmente dos ETRL, indica clara associação com minerais instáveis a lateritização.

TABELA 11: Teores de ETR em minerais resistatos, % em peso

Elem/min	Xenotima	Cassiterita	Zircão	Columbita*	Torita
La	0,03	0,01	0,03	0,03	0,32
Ce	0,02	0,02	0,04	0,10	0,43
Nd	0,08	0,003	0,009	0,023	0,09
Pr	0,003	0,0008	0,007		0,05
Sm	0,19	0,003	0,006	0,005	0,12
Eu	0,009	0,0009	0,0014	0,0005	0,016
Gd	0,43	0,007	0,008	0,001	0,26
Dy	4,27	0,007	0,04	0,03	0,46
Yb	8,87	0,14	0,22	0,054	0,29

* concentrado de minerais de nióbio

3.7.2 Composição Química das Frações Granulométricas

A segunda etapa do estudo das características químicas foi realizada nas frações granulométricas:

A= 2.000μm a 1.410μm

B= 1.000μm a 710 μm

C= 250 μm a 177 μm

D= $<$62 μm

O comportamento dos elementos através dessas frações é apresentado nas figuras 45 e 46 e nas tabelas 12 a 14.

3.7.2.1 Distribuição dos Elementos Maiores nas Frações Granulométricas

A composição química das frações granulométricas mostra amplo espectro de teores, em função da variação mineralógica.

A SiO2 se concentra de forma marcante nas frações A, B e C com teores acima de 74% e com teores inferiores a 42% na fração mais fina, e na fração D (tabela 12) em todos os horizontes. Comparando-se os horizontes entre si (tabela 12 e figuras 46 e 47), os teores de SiO2 são mais elevados na fração D (42%) do horizonte saprolítico, decrescendo para o argiloso (28%) e mantendo o teor aproximadamente constante para o restante do perfil. Nas demais frações, os teores de SiO2 têm pequena variação, ao longo do perfil, não marcando uma clara tendência. Esse comportamento da SiO2 caracteriza o domínio de quartzo nas frações A e B, com um pouco de caolinita em C e o seu domínio em D.

Al203 tem seus teores mais elevados (mais de 28%) na fração D de todos os horizontes e decréscimo abrupto para as demais (tabela 12 e figuras 46 e 47). Esse comportamento é similar em todo o perfil, mas em teores crescentes para o topo, representando a abundância de caolinita e gibbsita na fração fina (D) e de gibbsita, na forma de agregados nodulares, nas frações A e B.

O Fe203 tem o teor mais elevado na fração D e o mais baixo na fração B em todos os horizontes (tabela 12). Ao longo do perfil, os teores são, de modo geral, crescentes para o topo, como pode ser observado nas figuras 46 e 47. A preferência dos teores de Fe203 pela fração mais fina (D) indica a presença de hematita e goethita disseminada entre os argilo-minerais e, em menor proporção, com as concreções (fração A).

O FeO tem os teores mais elevados na fração C dos

TABELA 12: Composição química total nas frações granulométricas por horizontes

		LATOSSOLO		COLÚVIO		CONCRECIONÁRIO	ARGILOSO		SAPRÓLITO	
		X	min-max	X	min-max	X	X	min-max	X	min-max
	A	79.57	60.1-96.2	78.53	74.5-82.8	60.70	80.74	39.7-97.8	85.63	44.9-97.4
	B	78.10	63.1-91.7	90.65	85.7-94.6	76.80	85.76	64.4-93.6	86.75	60.2-96.0
SiO2	C	70.37	61.5-81.8	81.00	67.9-91.0	67.90	76.51	62.0-90.1	73.93	52.9-90.1
	D	31.60	24.6-36.1	28.63	15.1-34.8	34.00	28.31	34.4-42.5	41.58	36.3-49.1
	A	9.70	1.3-20.5	10.58	4.6-14.9	16.70	9.74	0.4-34.5	6.37	0.2-31.8
	B	8.53	1.2-19.9	3.43	2.1- 5.9	9.80	4.72	0.4-21.8	4.69	*0.1-13.4
Al2O3	C	8.40	1.5-17.4	6.50	4.2-11.4	16.60	3.13	0.5- 8.0	8.61	0.6-18.1
	D	40.23	37.8-44.9	41.23	36.7-45.2	37.80	28.33	34.3-38.9	34.24	30.1-40.8
	A	3.66	0.2- 6.4	2.16	0.8- 4.5	11.10	1.92	0.17- 5.9	2.31	*0.10-14.7
	B	2.32	0.4- 3.4	0.69	*0.1- 2.0	4.50	1.61	*0.10- 3.2	1.62	*0.10-14.9
Fe2O3	C	4.37	1.1- 7.9	1.70	0.4- 3.8	4.80	5.84	3.10-16.3	3.77	0.13-17.4
	D	9.70	9.6-11.3	9.00	6.7-12.1	9.60	7.72	6.20-12.3	8.25	3.50-16.6
	A	1.30	1.10-1.50	1.85	1.30-2.40	1.40	1.60	0.88-2.80	1.06	0.52- 2.10
	B	1.59	0.88-2.60	1.17	0.88-1.30	2.20	1.39	1.00-2.40	1.07	0.88- 1.50
FeO	C	1.46	0.88-1.90	1.47	0.88-2.70	1.00	1.85	0.88-2.60	1.24	0.59- 2.20
	D	0.49	0.44-0.59	0.77	0.59-1.30	0.44	0.41	0.44-0.88	0.49	0.44- 0.74
	A	*0.05		0.10	*0.05-0.21	*0.05	0.05	*0.05-0.06	0.06	*0.05- 0.19
	B	0.07	*0.05-0.10	0.10	*0.07-0.21	*0.05	0.07	*0.05-0.12	0.07	*0.05- 0.16
CaO	C	0.23	*0.05-0.40	0.14	*0.05-0.42	*0.05	0.24	*0.05-0.51	0.18	*0.05- 0.57
	D	0.05	*0.05-0.06	*0.05		*0.05	*0.05		0.06	*0.05- 0.14
	A	*0.05		*0.05		*0.05	*0.05		0.05	*0.05- 0.10
	B	*0.05		*0.05		*0.05	*0.05		0.05	*0.05- 0.08
MgO	C	*0.05		*0.05		*0.05	*0.05		0.05	*0.05- 0.08
	D	*0.05		*0.05		*0.05	*0.05		*0.05	
	A	0.03	0.02-0.04	0.03	0.02-0.03	0.02	0.03	0.01-0.08	0.05	0.01- 0.22
	B	0.03	0.02-0.03	0.02	0.02-0.03	0.02	0.03	0.02-0.05	0.04	0.01- 0.17
Na2O	C	0.04	0.02-0.06	0.02	*0.01-0.02	0.02	0.03	0.01-0.09	0.03	0.01- 0.02
	D	0.03	0.03-0.04	0.03	0.02-0.03	0.02	0.02	0.02-0.04	0.06	0.02- 0.70
	A	0.01	*0.01-0.02	0.02	0.01-0.03	0.02	0.03	*0.01-0.07	0.01	*0.01- 2.40
	B	0.06	*0.01-0.16	0.02	*0.01-0.02	0.02	0.02	*0.01-0.03	0.20	*0.01- 2.70
K2O	C	0.02	*0.01-0.03	0.01	*0.01-0.02	0.02	0.01	*0.01-0.03	0.68	*0.01-11.60
	D	0.16	*0.01-0.42	0.03	*0.01-0.04	0.04	0.07	*0.01-0.27	0.30	0.01- 3.50
	A	0.06	0.01-0.15	0.02	0.01-0.06	0.02	0.02	*0.01-0.04	0.05	*0.01- 0.29
	B	0.08	0.02-0.19	0.01	*0.01-0.02	0.02	0.04	*0.01-0.26	0.05	*0.01- 0.61
MnO	C	0.13	0.04-0.24	0.07	0.01-0.20	0.04	0.10	0.01-0.25	0.06	*0.01- 0.12
	D	0.15	0.03-0.38	0.02	0.01-0.03	0.02	0.02	*0.01-0.03	0.03	0.01- 0.10
	A	0.21	*0.05-0.52	*0.05		0.25	0.07	*0.05-0.19	0.16	*0.05- 1.30
	B	0.21	*0.05-0.52	*0.05		0.18	0.12	*0.05-0.45	0.08	*0.05- 0.52
TiO2	C	0.35	*0.05-0.92	0.13	*0.05-0.22	0.88	0.21	*0.05-0.55	0.26	*0.05- 0.95
	D	0.49	0.13-0.92	0.78	0.56-1.20	0.90	0.63	*0.05-1.50	0.38	*0.05- 1.30

TABELA 12: Composição química total nas frações granulométricas por horizontes

		LATOSSOLO		COLÚVIO		CONCRECIONÁRIO	ARGILOSO		SAPRÓLITO	
		X	min-max	X	min-max	X	X	min-max	X	min-max
	A	4.76	0.64-10.36	5.29	2.25- 7.49	9.46	4.96	0.07-17.73	3.27	0.01-16.15
	B	4.21	0.74- 9.67	1.71	1.24- 2.96	5.28	2.64	0.25-11.19	2.09	0.08- 7.02
PF	C	4.09	1.03- 7.93	3.21	1.89- 5.27	7.85	1.46	0.54- 2.24	3.73	0.31- 8.99
	D	15.67	15.63-15.73	18.26	17.33-22.94	16.40	11.34	13.60-16.16	13.57	9.91-17.89

* teor abaixo do limite de detecção

teores médios (x), teores mínimos (min) e teores máximos (max)

horizontes saprolítico e argiloso, na fração A do colúvio e na fração B do latossolo. Entretanto, a fração D sempre apresenta os teores mais baixos (tabela 12) ao longo do perfil. Os teores de FeO tendem a aumentar em direção aos horizontes superiores (anexo 2). A persistência de teores significativos e sua preferência pelas frações A, B e C, retratam provavelmente a sua presença em minerais resistatos, principalmente columbita ((Fe,Mn)Nb2O6)) que se concentra principalmente nestas frações (figuras 46 e 47).

Os álcalis (CaO, MgO, Na2O e K2O), devido à intensa lixiviação que sofrem nas fases iniciais da lateritização e aliado aos baixos teores de CaO e principalmente MgO na rocha mãe, apresentam teores muito baixos, próximos ao limite de detecção, nas frações granulométricas ao longo do perfil (tabela 12). São portanto, de pouca significância para a definição de seu comportamento. Para CaO os teores mais elevados estão na fração C de todos os horizontes (tabela 12), exatamente onde se concentram os minerais de Nb (pirocloro). O K2O, com teores levemente mais elevados que os demais álcalis, tem o teor mais elevado na fração C (0,68%) e D (0,50%) do horizonte saprolítico, representando a presença dos argilo-minerais 2:1, biotita e lepidolita.

O MnO apresenta teores baixos ao longo de todo o perfil e consequentemente nas frações granulométricas (tabela 12). Os teores mais elevados estão na fração C, sem contudo definir um padrão granulométrico ao longo do perfil. O latossolo apresenta, em relação aos demais horizontes, os teores mais elevados, principalmente nas frações C e D, podendo estar relacionado a columbita e/ou hidróxidos de Mn.

O TiO2 apresenta os teores mais elevados nas frações C e D de todos os horizontes, crescentes para o topo do perfil provavelmente como anatásio ou nos resistatos, principalmente cassiterita.

A P.F. tem teores mais elevados na fração D e crescem

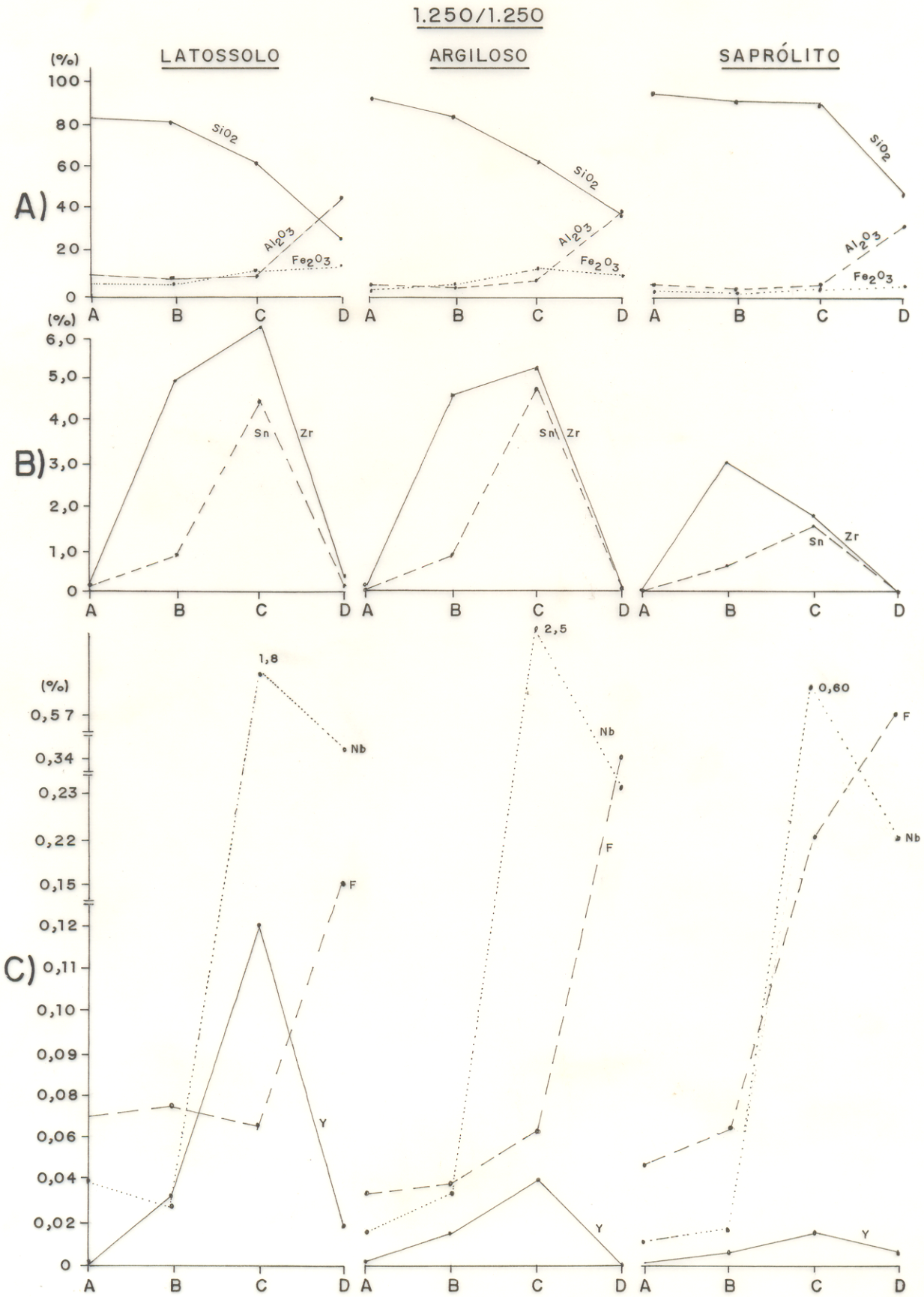


FIGURA 46 – Padrão de distribuição dos elementos, segundo as frações granulométricas A, B, C e D, no perfil 1.250/1.250.

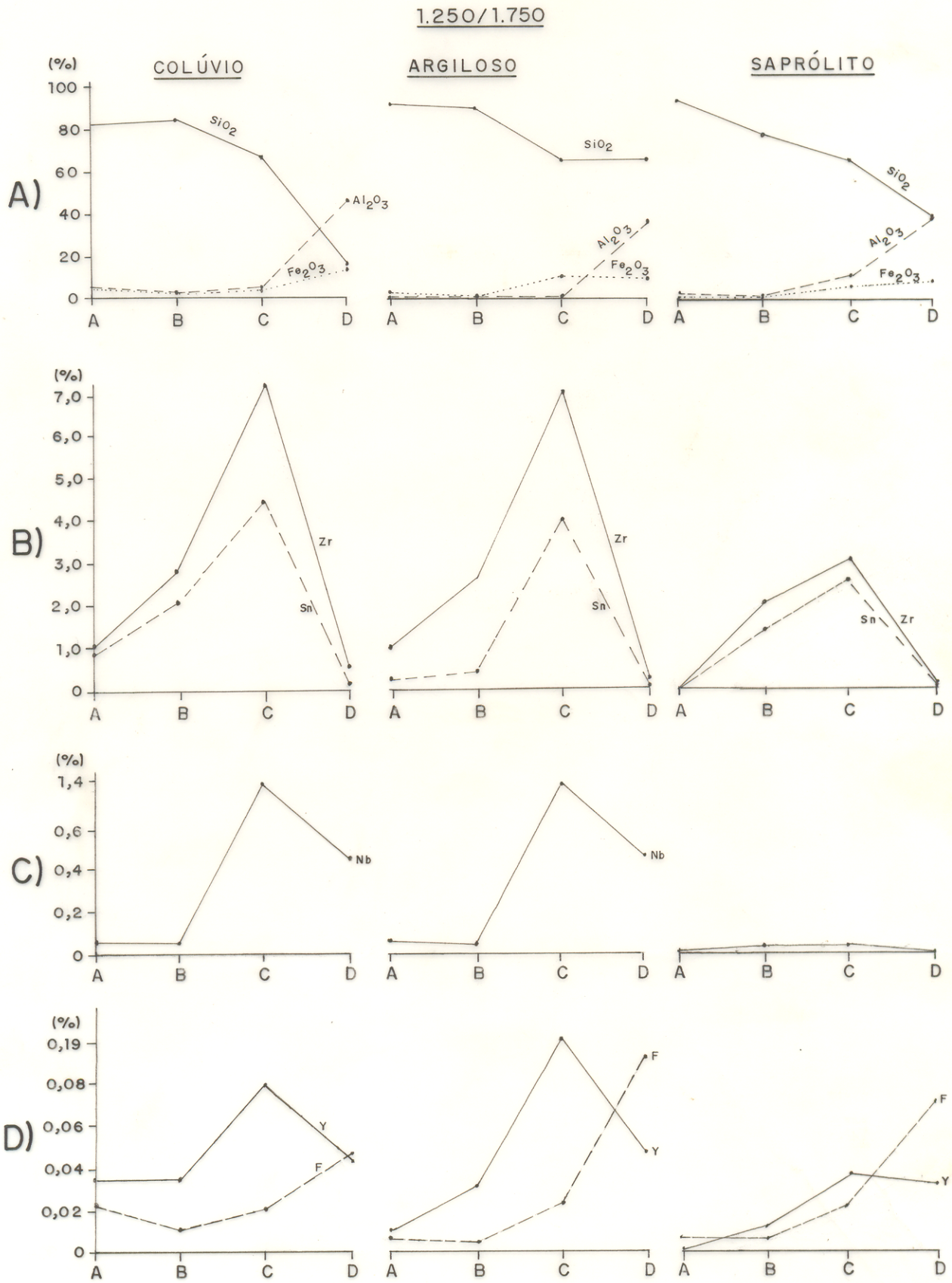


FIGURA 47 – Padrão de distribuição dos elementos, segundo as frações granulométricas A, B, C e D, no perfil 1.250/1.750.

para o topo do perfil (tabela 12), sendo mais elevados no horizonte coluvionar com 18% de PF. Esse comportamento reflete o domínio da caolinita e gibbsita, típicos desta fração.

3.7.2.1 Distribuição dos Elementos Traços nas Frações Granulométricas

O F e Rb apresentam comportamentos semelhantes, também em termos da suas distribuições nas frações granulométricas. Os teores mais elevados estão na fração D de todos os horizontes decrescendo para as frações mais grosseiras (tabela 13 e figuras 46 e 47). Ao longo do perfil os teores mais elevados estão no horizonte saprolítico, na fração D, decrescendo para o colúvio e crescendo, deste para o latossolo. As figuras 46 e 47 caracterizam a tendência de aumento de teores para o topo do perfil (colúvio e latossolo), associados às frações A e B. O decréscimo do teor de Rb do horizonte saprolítico para o argiloso é abrupto em todas as frações, sendo mais intenso na fração D, passando de 925 ppm para 31 ppm e indicando ausência de neoformação, principalmente argilo-minerais, que retenham esse elemento.

A retenção do F em todo o perfil, principalmente na fração D do horizonte saprolítico pode estar relacionada, além da caolinita, à formação de complexos amorfos de Al e F (Sanjuan e Michard, 1987).

O Sn, Zr, Nb, Y, Pb, Hf, Ta, P, Th, W e U têm em geral, os teores mais elevados na fração C; decrescendo para a B, o Sn, Zr, Hf e Th; para D, o Nb, Y, Pb, Ta e P e para A o W (tabela 13 e figuras 45 e 46). O U tem teores equivalentes nas frações B e D equivalentes. O Y e Pb, por estarem tanto na estrutura de minerais resistatos como em minerais instáveis, têm amostras que fogem a esta regra geral, apresentando teores mais elevados na fração D, no colúvio, para o Y e, no horizonte argiloso, para o

TABELA 13: Composição química total nas frações granulométricas por horizontes

		LATOSSOLO		COLÚVIO		CONCRECIONÁRIO	ARGILOSO		SAPRÓLITO	
		X	min-max	X	min-max	X	X	min-max	X	min-max
	A	0.04	0.02-0.07	0.02	0.02-0.04	0.03	0.03	0.01- 0.04	0.05	0.01-0.20
	B	0.05	0.02-0.08	0.02	0.01-0.02	0.03	0.02	0.01- 0.05	0.05	0.01-0.20
F	C	0.05	0.03-0.07	0.02	0.01-0.02	0.04	0.03	0.01- 0.08	0.10	0.01-0.19
	D	0.13	0.07-0.16	0.06	0.05-0.07	0.06	0.10	0.07- 0.29	0.23	0.09-0.79
	A	0.07	0.02-0.13	0.26	0.04-0.78	0.10	0.08	0.01- 0.57	0.08	0.01-0.42
	B	0.49	0.53-0.84	0.57	0.03-2.10	0.10	0.36	0.01- 1.10	0.53	*0.01-1.10
Sn	C	2.32	0.06-4.50	1.21	0.07-4.40	0.05	2.30	0.01- 5.40	1.60	0.02-6.20
	D	0.08	0.20-0.15	0.06	0.03-0.13	0.02	0.38	0.06- 0.09	0.08	0.04-0.12
	A	0.09	0.05- 0.14	0.34	0.09-0.91	0.08	0.28	0.02- 2.00	0.09	0.01-0.47
	B	2.60	0.31- 5.00	0.82	0.03-2.80	0.58	5.95	0.02- 4.80	1.51	0.01-3.70
Zr	C	3.76	0.19- 6.30	2.06	0.10-7.30	0.16	3.35	0.02-10.50	2.10	0.17-6.50
	D	0.21	0.14- 0.35	0.24	0.12-0.50	0.15	0.13	0.09- 0.37	0.11	0.05-0.26
	A	242	105- 400	215	20- 630	196	188	20- 980	142	10- 700
	B	267	220- 300	224	34- 630	112	222	20- 740	246	20- 1480
Nb	C	10570	410-18000	3856	144-14000	370	11146	45-29000	3772	26-18000
	D	2587	400- 5500	2600	766- 4500	400	1533	152- 4900	922	79- 2700
	A	55	10- 112	122	10- 340	98	94	*10- 440	93	*10- 570
	B	166	51- 340	128	10- 340	84	148	12- 340	137	*10- 760
Y	C	475	108- 1200	275	100- 780	108	612	72- 2040	254	13-1130
	D	128	41- 180	345	198- 540	186	264	31- 610	185	48- 540
	A	66	34- 84	98	*10- 330	88	112	24- 420	139	14- 480
	B	94	77- 124	36	*10- 86	40	155	38- 560	232	15-1520
Pb	C	1216	88- 2360	192	23- 590	90	194	37- 7900	924	21-3600
	D	283	130- 435	116	26- 290	112	296	100- 490	617	81-2500
	A	35	9- 62	31	25- 39	57	26	*5- 45	30	*5- 88
	B	36	12- 56	11	*5- 20	26	16	*5- 33	23	*5- 94
Ga	C	47	18- 78	24	9- 34	49	32	*5- 95	44	*5- 100
	D	124	70- 180	104	82- 150	70	79	58- 196	108	47- 176
	A	*200		281	*200- 505	*200	278	*200- 900	222	*200- 580
	B	1030	400- 1620	450	*200- 1200	440	978	*200- 2200	863	*200-2300
Hf	C	1532	220- 3000	608	200- 1560	*200	1995	*200- 6800	1290	*200-4450
	D	233	*200- 260	300	*200- 550	290	211	*200- 460	217	*200- 320
	A	22	15- 30	25	*15- 68	15	40	*15- 240	50	*15- 300
	B	66	28- 110	42	*15- 110	31	56	*15- 140	81	*15- 360
Ta	C	795	30- 1560	281	39- 910	59	863	*15- 1960	812	*15-3800
	D	199	27- 300	97	42- 190	58	97	*15- 270	139	*15- 380
	A	20	10- 32	*10		10	22	10- 58	242	10-2290
	B	15	*10- 26	*10		10	13	*10- 27	209	*10-2580
Rb	C	*10		*10		10	11	*10- 17	764	*10-8500
	D	33	*10- 78	11	*10- 15	10	31	*10- 230	925	47-6000
	A	77	*50- 110	893	*50- 160	96	118	*50- 380	91	*50- 360

TABELA 13: Composição química total nas frações granulométricas por horizontes

		LATOSSOLO		COLÚVIO		CONCRECIONÁRIO	ARGILOSO		SAPRÓLITO	
		X	min-max	X	min-max	X	X	min-max	X	min-max
P	B	123	59- 190	153	*50- 370	83	151	53- 390	116	*50- 380
	C	390	130- 870	320	*50- 1030	120	699	*50- 2840	169	*50- 400
	D	109	58- 120	169	84- 260	130	148	*50- 430	132	*50- 470
Th	A	1353	560- 2440	2027	820- 3160		459	15- 1190	1858	15-22000
	B	1563	1160- 2030	1550	110- 4920		1543	15- 3060	3064	15-25000
	C	2515	1190- 3840	4220	1360-12000		3627	440-12000	4128	15-31000
	D	1943	1050- 3080	2298	1500- 3690		1406	560- 3270	1944	160-13000
W	A	31	12- 44	78	15- 140	35	64	3- 200	116	*3-1400
	B	93	31- 180	107	30- 290	30	126	7- 420	83	3- 330
	C	123	46- 200	200	300- 630	34	294	7- 1060	140	3- 270
	D	73	46- 100	102	61- 140	58	78	20- 200	65	3- 190
U	A	10	7- 15	11	4- 19		14	2- 71	49	2- 350
	B	42	8- 64	20	3- 35		32	5- 93	101	1- 550
	C	275	10- 540	59	16- 180		235	1- 780	347	3- 850
	D	21	2- 53	26	14- 56		35	9- 93	199	6- 580

* teor abaixo do limite de detecção

teores médios (x), teores mínimos (min) e teores máximos (max)

Pb (tabela 12). Essa variação deve-se à influência dos perfis 1600/1000 e 1750/375 (anexo 2), que estão próximos ao limite da área mineralizada.

Os teores mais elevados na fração C do horizonte argiloso para Sn (2,3%), Nb(1,1%), Y(612ppm), Hf(1995ppm), Ta(863ppm) e P(699ppm) representam provavelmente uma zona mais enriquecida nestes elementos na rocha mãe que deu origem a este horizonte.

Os teores mais elevados de Sn, Zr, Hf, Th e W nas frações C e B (figuras 45 e 46 e tabela 13) indicam claramente que estão relacionados à minerais resistatos (cassiterita, zircão e torita). Já para o Nb, Y, Pb, P e U, a predominância de teores nas frações C e D ao longo do perfil (figuras 45 e 46 e tabela 13) indicam que esses elementos podem estar relacionados tanto a minerais resistatos (columbita, pirocloro e xenotima) na fração C, bem como a argilo-minerais ou complexos amorfos na fração D. Os teores crescentes das frações granulométricas ao longo do perfil (figuras 45 e 46 e tabela 13), principalmente nos horizontes superiores, indicam que o Nb, Y, Pb e P predominam na forma de resistatos e que os argilo-minerais e os complexos amorfos estão restritos a fase inicial de intemperismo. Os cristais de pirocloro são frágeis, tendo sua granulometria comprovadamente reduzida para o topo do perfil, desse modo os teores de Nb na fração D podem estar relacionado a finos cristais deste mineral.

O **Ga** apresenta teores mais elevados na fração D e mais baixos na B, em todos os horizontes. Em termos gerais, os seus teores diminuem apenas do saprólito para o argiloso. Estas características do Ga refletem a sua relação com os argilo-minerais e inclusive os oxi-hidróxidos de ferro no topo do perfil.

3.7.2.3 Distribuição dos Elementos Terras Raras

O comportamento dos ETR no perfil, em função de sua distribuição nas frações granulométricas, está ilustrado na tabela 14 e figuras 47 a 58.

O La, Ce e Nd têm os teores mais elevados na fração D dos horizontes saprolítico, argiloso e colúvio (tabela 14) e na fração C do latossolo. Os teores de La diminuem do saprólito para o latossolo, na fração D e aumentam nas frações A, B e C apenas no latossolo. Para o Ce, os teores são crescentes do saprólito até o colúvio apenas na fração D. Nas demais frações, diminuem até o colúvio e experimentam altas concentrações no latossolo, especialmente nas frações A e C onde estão as concreções de Fe. Na fração D, ao contrário, os teores diminuem no latossolo que tem os teores mais altos na fração C, seguido da fração D (tabela 14). Nas frações A, C e D os teores de Ce são similares.

O Sm e Eu têm comportamento similar ao Nd com os teores mais elevados na fração C, decrescendo do saprólito para o colúvio e crescendo deste para o latossolo. O Eu tem na fração D do saprólito os seus teores mais elevados.

Os ETRP (Gd, Dy, Ho, Er, Yb e Lu) apresentam, em termos gerais, comportamentos similares entre si, ao longo do perfil, com os teores mais elevados na fração C (os ETRL se concentram na fração D), seguida da fração B. O Gd e Dy se assemelham ainda ao Sm e Eu. Nota-se que as proporções entre os teores das frações C para D aumentam do Gd para o Lu, assim Yb e Lu estão fundamentalmente nas frações C e B (80% do teor total das amostras). Para o latossolo os teores, a partir do colúvio, são crescentes para o Gd, Yb e Lu, decrescentes para o Ho e Er e estável para o Dy (tabela 14). Esse comportamento dos ETRP, nas frações granulométricas é semelhante ao comportamento dos elementos formadores dos minerais resistatos (Sn, Zr, Nb, Y e

TABELA 14: Composição química total nas frações granulométricas por horizontes

		LATOSSOLO		COLÚVIO		CONCRECIONÁRIO	ARGILOSO		SAPRÓLITO	
		X	min-max	X	min-max	X	X	min-max	X	min-max
	A	7.9	3.0- 14.7	4.2	1.0- 7.1		16.8	0.8- 35.9	16.6	0.5- 92.8
	B	7.3	3.0- 21.8	4.7	4.3- 5.5	6.0	18.5	1.5- 71.4	14.9	1.5- 89.2
La	C	19.9	12.1- 59.7	12.5	9.1- 19.7	18.6	13.9	3.8- 26.3	27.5	2.5-112.9
	D	14.2	6.1- 42.6	21.3	15.8- 30.2	28.6	34.9	2.5-210.5	43.6	3.3-187.6
	A	205.9	11.8-517.8	26.8	2.2- 53.1		39.2	4.5-207.7	32.6	1.9-157.3
	B	99.4	20.7-298.3	52.8	16.7-136.4	33.6	37.8	16.8-309.0	44.1	5.7-160.7
Ce	C	211.2	80.9-633.6	73.8	45.7-116.9	49.2	106.3	24.2-363.5	105.2	13.8-309.0
	D	137.9	121.7-413.6	261.9	120.8-367.7	199.4	228.7	28.9-601.7	164.7	15.1-432.7
	A	4.1	1.6- 7.6	4.7	2.0- 7.4		7.3	0.8- 33.4	11.8	0.3- 82.4
	B	8.0	6.7- 24.1	4.4	2.6- 7.6	3.2	11.6	1.8- 71.5	15.0	1.5- 72.4
Nd	C	20.3	5.8- 60.9	11.9	7.3- 25.2	26.4	15.8	2.4- 34.7	28.8	2.9- 95.2
	D	8.3	5.7- 24.8	14.9	11.0- 22.6	12.9	17.0	2.7- 79.5	31.1	1.8-150.6
	A	1.3	0.5- 1.9	3.1	1.2- 6.7		2.2	0.4- 8.4	3.7	0.2- 15.8
	B	3.9	1.4- 11.7	2.8	0.5- 8.0	1.1	4.9	1.2- 26.3	6.5	0.4- 39.4
Sm	C	13.6	1.4- 40.8	6.9	2.2- 21.0	13.2	11.9	0.5- 35.4	12.3	0.4- 36.8
	D	2.4	2.2- 7.2	4.5	2.7- 8.2	2.6	4.4	1.1- 13.5	6.8	0.4- 40.0
	A	0.1	0.1- 0.2	0.1	0.1- 0.5		0.2	0.1- 0.9	0.2	0.1- 0.9
	B	0.2	0.2- 0.7	0.1	0.1- 0.4	0.1	0.3	0.1- 0.9	0.3	0.1- 1.7
Eu	C	0.6	0.1- 1.7	0.3	0.1- 1.1	0.4	0.6	0.1- 1.5	0.6	0.1- 1.6
	D	0.2	0.1- 0.6	0.3	0.2- 0.5	0.3	0.3	0.1- 0.9	1.3	0.1- 17.8
	A	2.1	0.6- 3.4	5.0	0.8- 9.1		3.9	0.5- 16.1	3.9	0.4- 21.9
	B	5.5	1.7- 16.4	6.7	0.4- 23.1	1.7	8.6	1.3- 29.2	8.2	0.6- 60.1
Gd	C	18.5	1.6- 55.6	15.8	2.4- 55.2	15.3	22.1	0.8- 83.3	14.2	0.5- 53.5
	D	2.8	2.7- 8.3	7.3	4.3- 13.2	2.9	6.0	1.8- 14.0	8.6	0.5- 50.6
	A	4.3	2.3- 5.5	20.6	1.3- 38.6		22.8	0.8-116.2	14.9	0.9-109.0
	B	27.9	5.1- 83.5	46.4	1.0-169.6	7.8	50.2	2.1-238.3	38.6	0.7-310.1
Dy	C	107.5	3.9-322.4	107.4	8.5-398.7	64.5	128.5	1.9-696.7	59.9	0.7-243.7
	D	7.1	5.8- 21.4	30.0	12.2- 70.9	6.1	21.6	3.7- 66.7	26.0	0.5-179.2
	A	1.2	0.5- 1.7	6.1	0.4- 12.4		6.8	0.2- 34.8	3.6	0.2- 24.2
	B	8.3	1.4- 24.8	14.2	0.2- 51.9	2.4	15.8	0.5- 79.9	10.7	0.2- 80.4
Ho	C	30.1	1.0- 90.4	32.8	2.4-122.7	17.2	37.8	0.5-212.4	15.3	0.1- 58.4
	D	1.8	1.5- 5.5	8.1	3.0- 19.7	1.5	5.5	0.8- 18.6	6.8	0.1- 38.9
	A	4.0	1.9- 5.3	25.9	1.5- 55.4		31.7	0.7-163.4	12.6	0.7- 82.7
	B	41.3	6.2-123.9	69.8	1.1-258.1	11.8	74.5	1.7-368.5	45.5	0.6-321.5
Er	C	143.7	4.2-430.9	153.1	10.4-574.2	70.4	171.2	2.0-969.4	63.7	0.5-212.4
	D	7.2	5.7- 21.5	33.9	12.2- 83.6	5.9	22.1	2.4- 79.6	21.4	0.1-130.2
	A	6.9	3.2- 9.8	49.1	3.7-101.9		50.4	0.9-198.9	18.0	1.2-105.4
	B	103.5	13.1-310.5	133.0	2.3-486.9	28.9	154.7	2.1-674.2	86.8	0.9-476.9
Yb	C	298.5	8.4-896.9	264.2	22.9-977.5	100.8	132.7	1.6-613.8	119.3	1.0-430.2
	D	12.6	9.1- 37.7	58.2	22.0-140.8	10.4	34.7	3.5-129.7	23.7	0.2-126.3

TABELA 14: Composição química total nas frações granulométricas por horizontes

		LATOSSOLO		COLÚVIO		CONCRECIONÁRIO	ARGILOSO		SAPRÓLITO	
		X	min-max	X	min-max	X	X	min-max	X	min-max
	A	0.8	0.4- 1.2	5.4	0.5- 11.3		7.3	0.2- 33.2	1.8	0.2- 9.0
	B	12.3	1.5- 36.9	14.6	0.3- 53.0	3.6	17.6	0.3- 71.9	9.9	0.1- 50.8
Lu	C	34.9	1.0-104.7	30.2	2.7-111.6	10.9	33.5	0.4-165.9	13.3	0.1- 53.6
	D	1.4	1.0- 4.3	6.2	2.5- 14.2	1.2	3.6	0.4- 12.9	2.2	0.1- 11.1

teores médios (x), teores mínimos (min) e teores máximos (max)

Th), caracterizando que são principalmente o zircão, a torita e xenotima que controlam, o comportamento dos ETRP.

As curvas normalizadas dos ETR, segundo as frações granulométricas de cada perfil estudado, estão representadas nas figuras 48 a 59. Estas curvas, em termos gerais, retratam nitidamente a distribuição dos ETR nas diferentes frações granulométricas ao longo dos perfis, como já foi discutido anteriormente. Nas figuras 47 a 51, os ETR estão representados em curvas normalizadas para cada uma das frações por profundidade e ao longo dos perfis. Nelas, nota-se o aumento da dispersão das curvas para o topo do perfil, separando as frações A e D de B e C, principalmente nos ETRP, confirmando a preferência dos ETRP pelos minerais pesados, como já foi verificado anteriormente. Há também a acentuação da anomalia de Ce para o topo do perfil, principalmente na fração D, onde deverá ocorrer um possível mineral de Ce, cerianita.

Nas figuras 52 a 59, as curvas normalizadas dos ETR foram agrupadas segundo cada fração, nas suas diferentes profundidades para cada perfil. Nota-se que o espalhamento das curvas é maior na fração mais grosseira A e que, na fração D, tem-se, em geral, carência de ETRP, indicando que a distribuição dos ETR depende da granulometria e que portanto há minerais sendo destruidos e/ou "pulverizados" (caminuidos e desagregados). Para as figuras 52, 53, 58 e 59 as curvas fogem do padrão normal, novamente indicando que estes perfis são de comportamento anômalo conforme já frizado anteriormente.

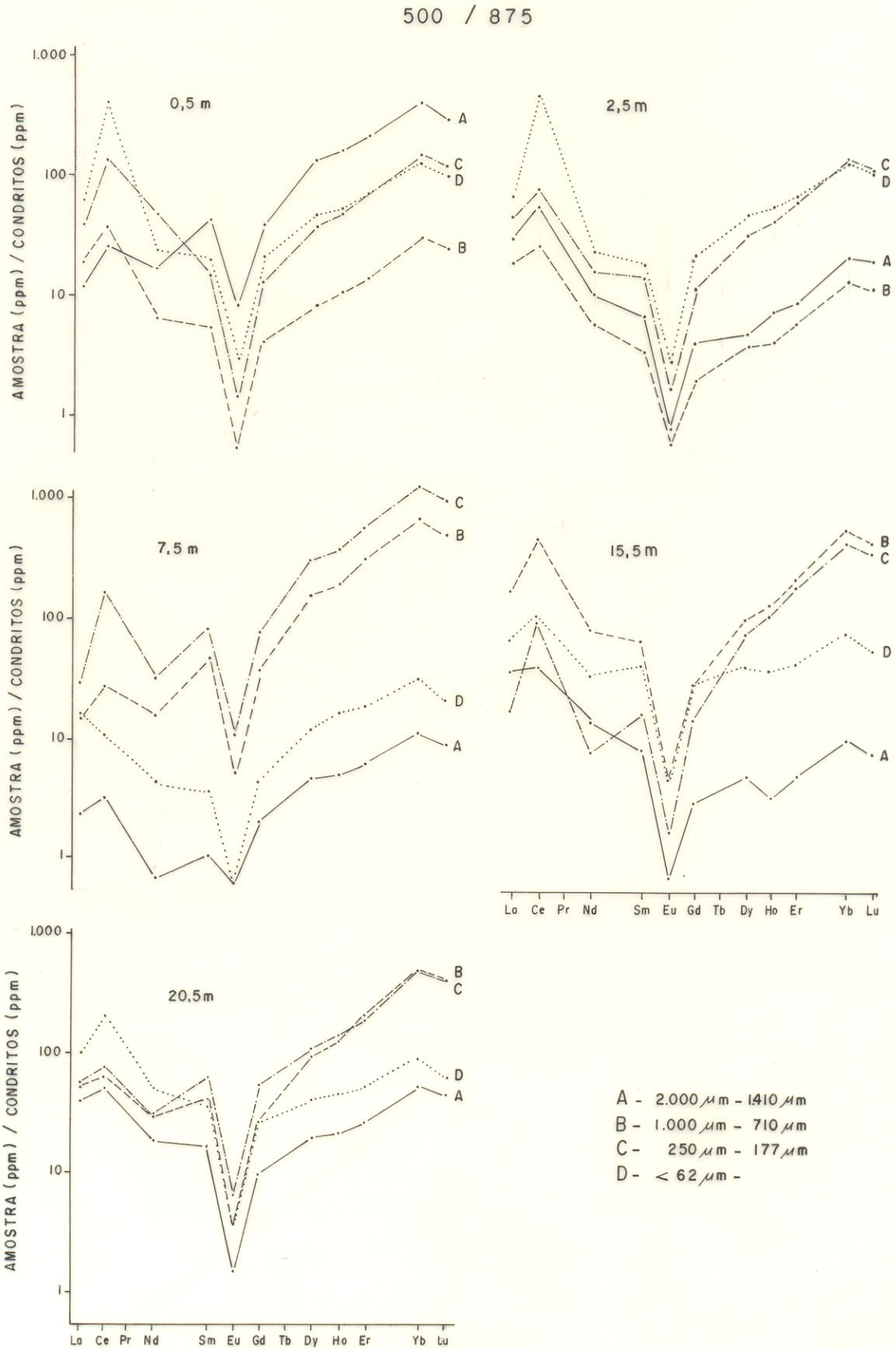


Figura 48 - Distribuição dos ETR nas frações granulométricas, A,B,C,D, de acordo com a profundidade no perfil laterítico do poço 500/875.

750 / 1.000

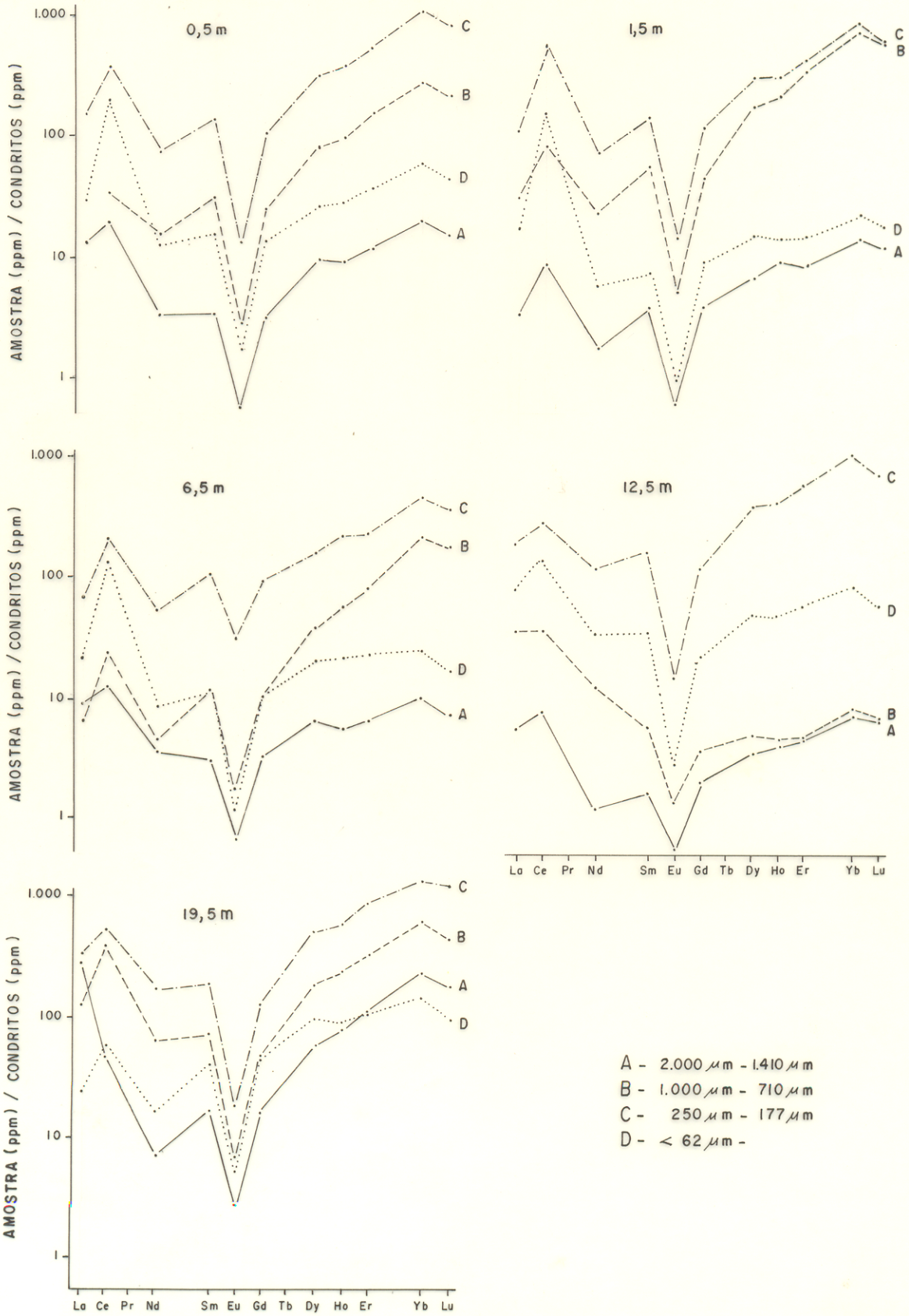


Figura 49 - Distribuição dos ETR nas frações granulométricas, A, B, C, D, de acordo com a profundidade no perfil laterítico do poço 750 / 1.000

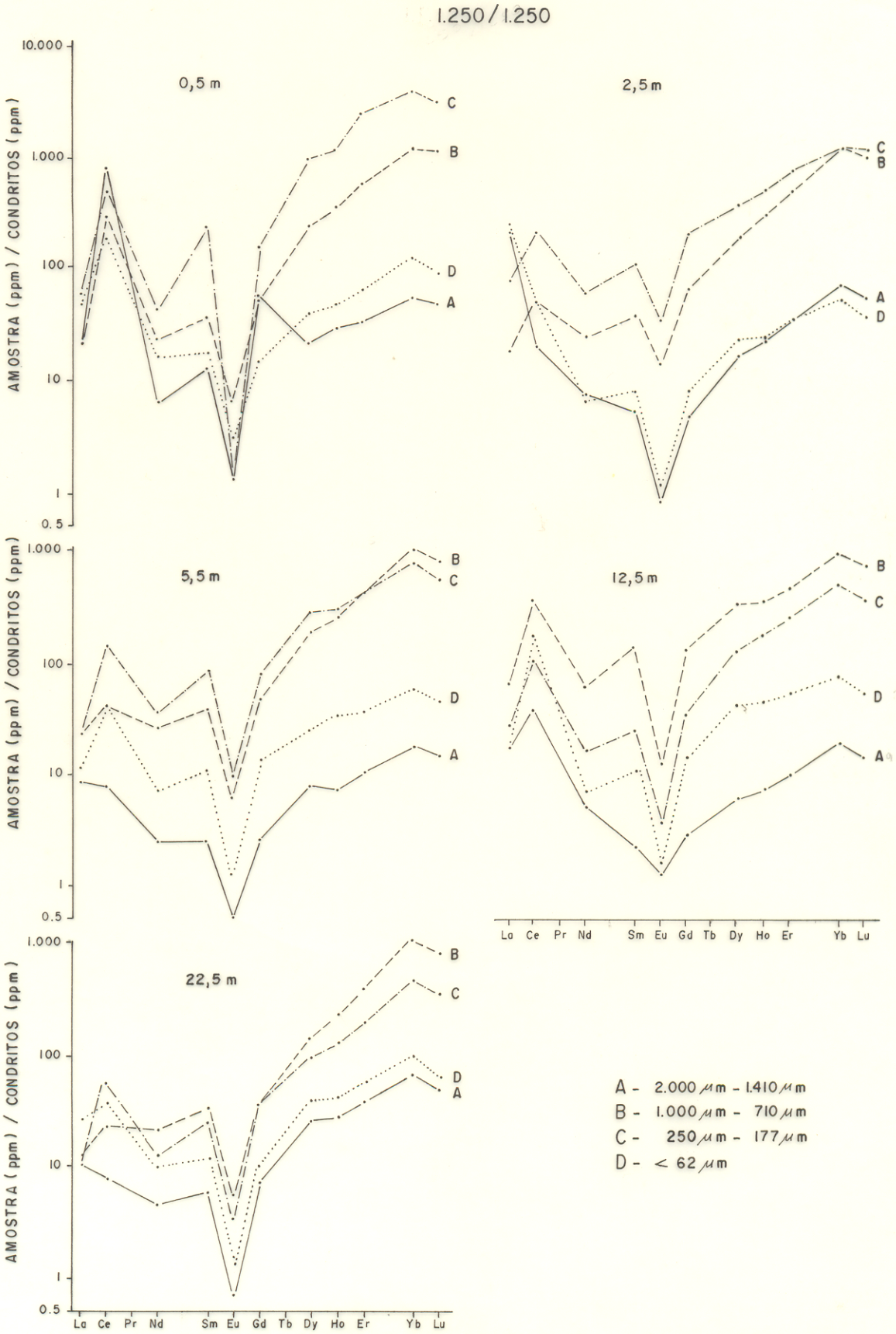


Figura 50 - Distribuição dos ETR nas frações granulométricas, A,B,C,D, de acordo com a profundidade no perfil laterítico do poço 1.250/1.250.

1.250 / 1.750

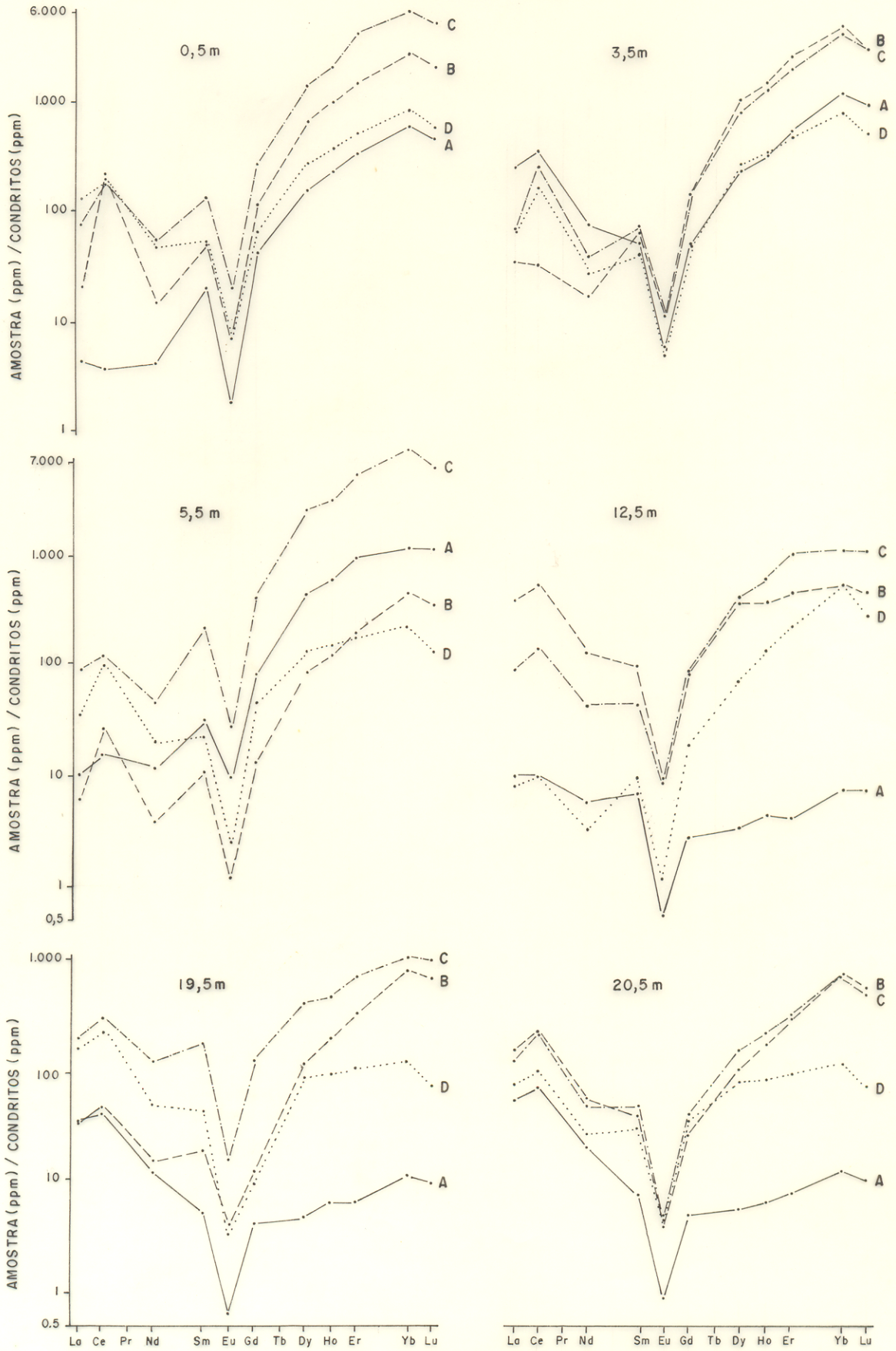


Figura 51 - Distribuição dos ETR nas frações granulométricas, A,B,C,D, de acordo com a profundidade no perfil laterítico do poço 1.250/1.750.

A - 2.000 μm - 1.410 μm
B - 1.000 μm - 710 μm
C - 250 μm - 177 μm
D - < 62 μm

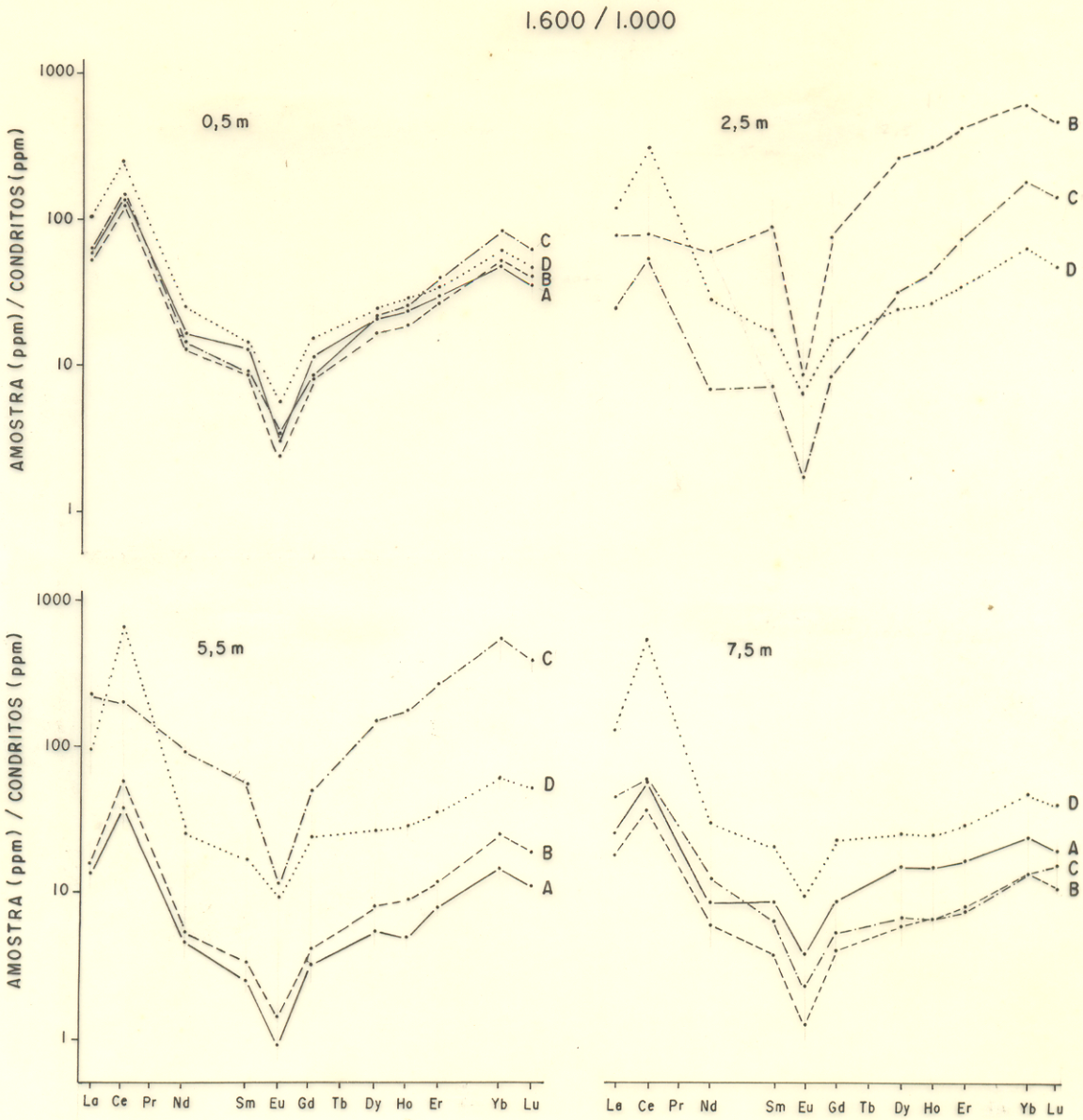


Figura 52 - Distribuição dos ETR nas frações granulométricas, A,B,C,D, de acordo com a profundidade no perfil laterítico do poço 1.600/1.000

A - 2.000 μm - 1.410 μm
B - 1.000 μm - 710 μm
C - 250 μm - 177 μm
D - < 62 μm

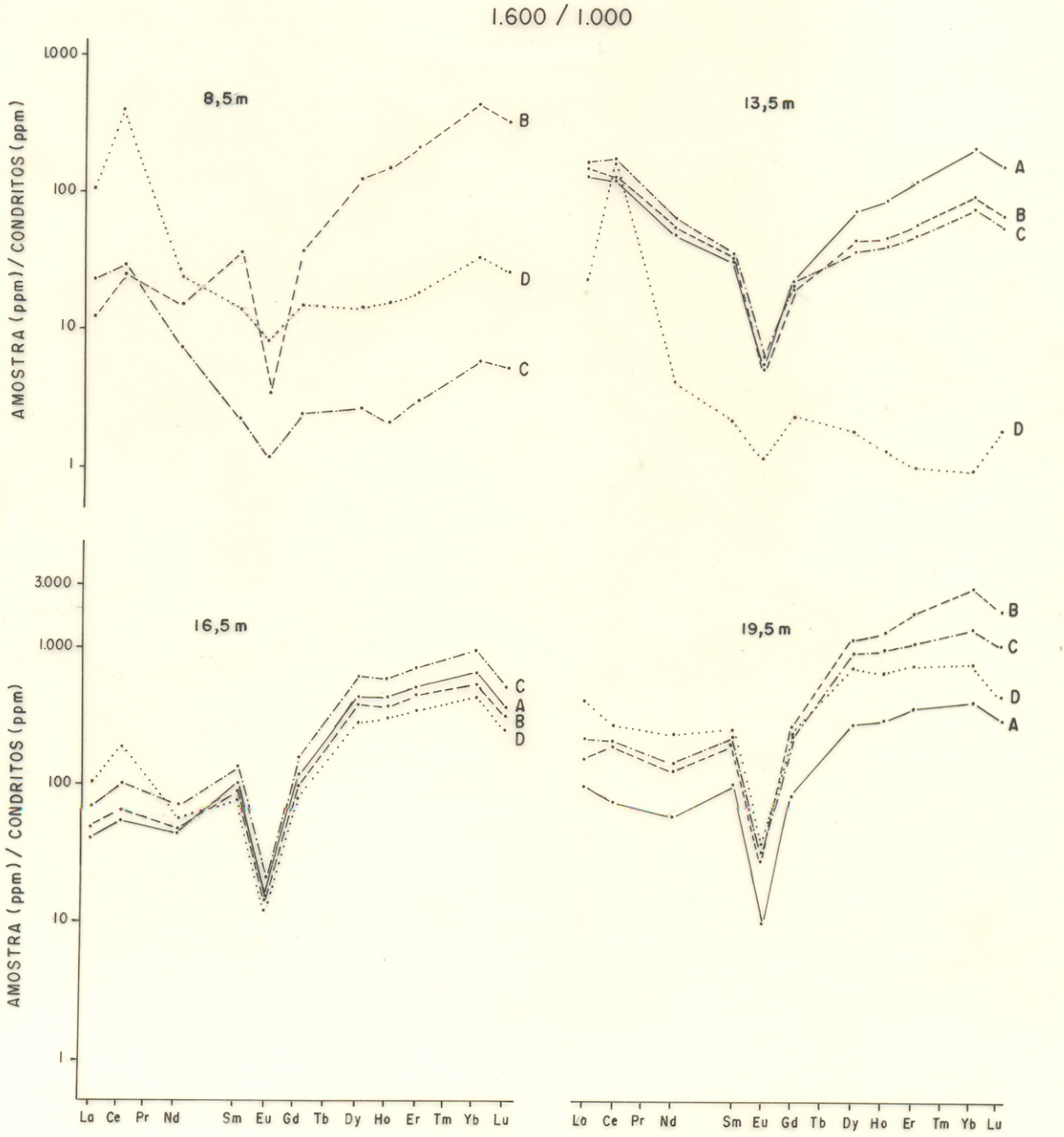


Figura 52 - Continuação

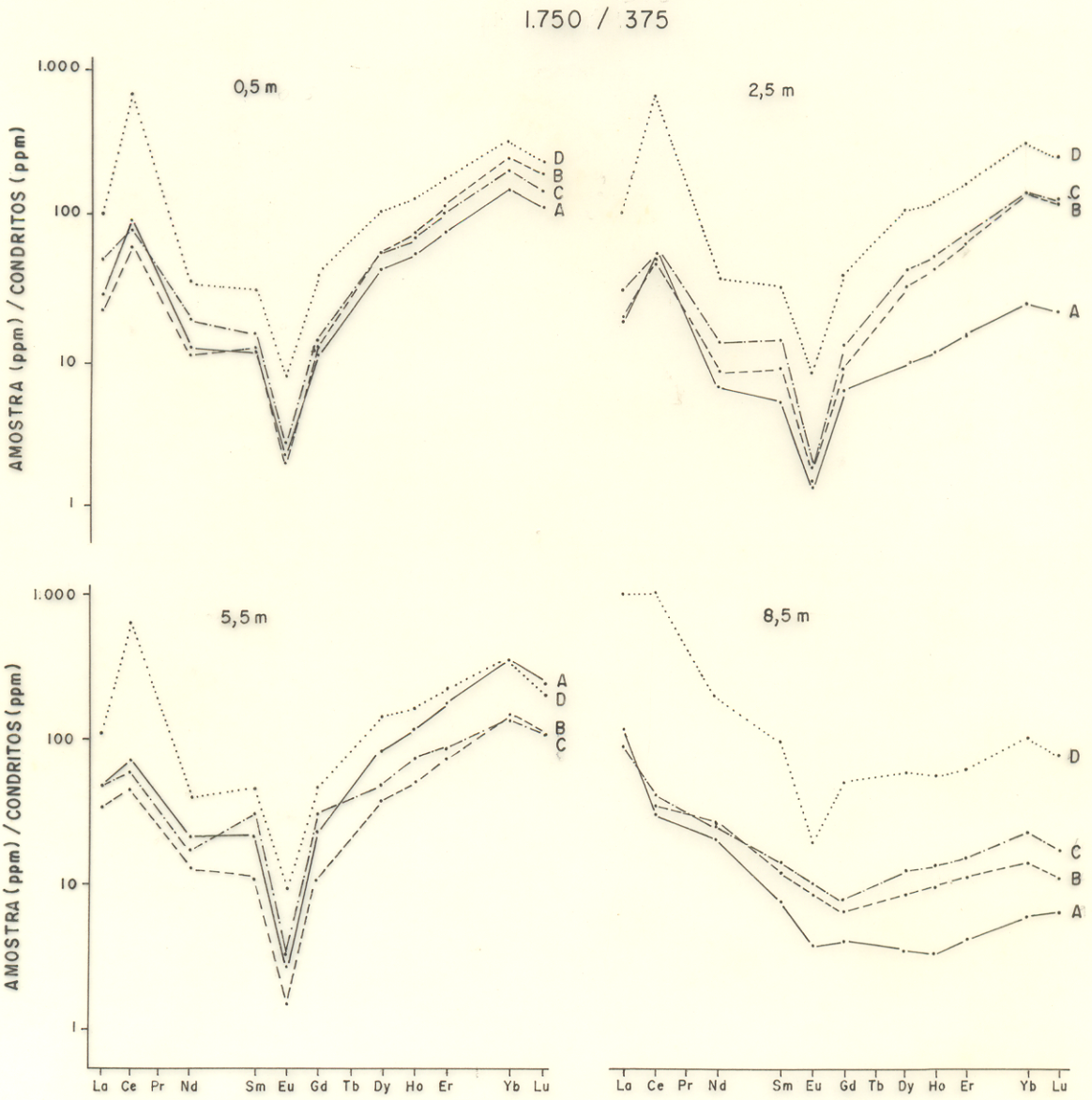


Figura 53 - Distribuição dos ETR nas frações granulométricas, A,B,C,D, de acordo com a profundidade no perfil laterítico do poço 1.750/375

A - 2.000 μm - 1.410 μm
B - 1.000 μm - 710 μm
C - 250 μm - 177 μm
D - < 62 μm

1.750 / 375

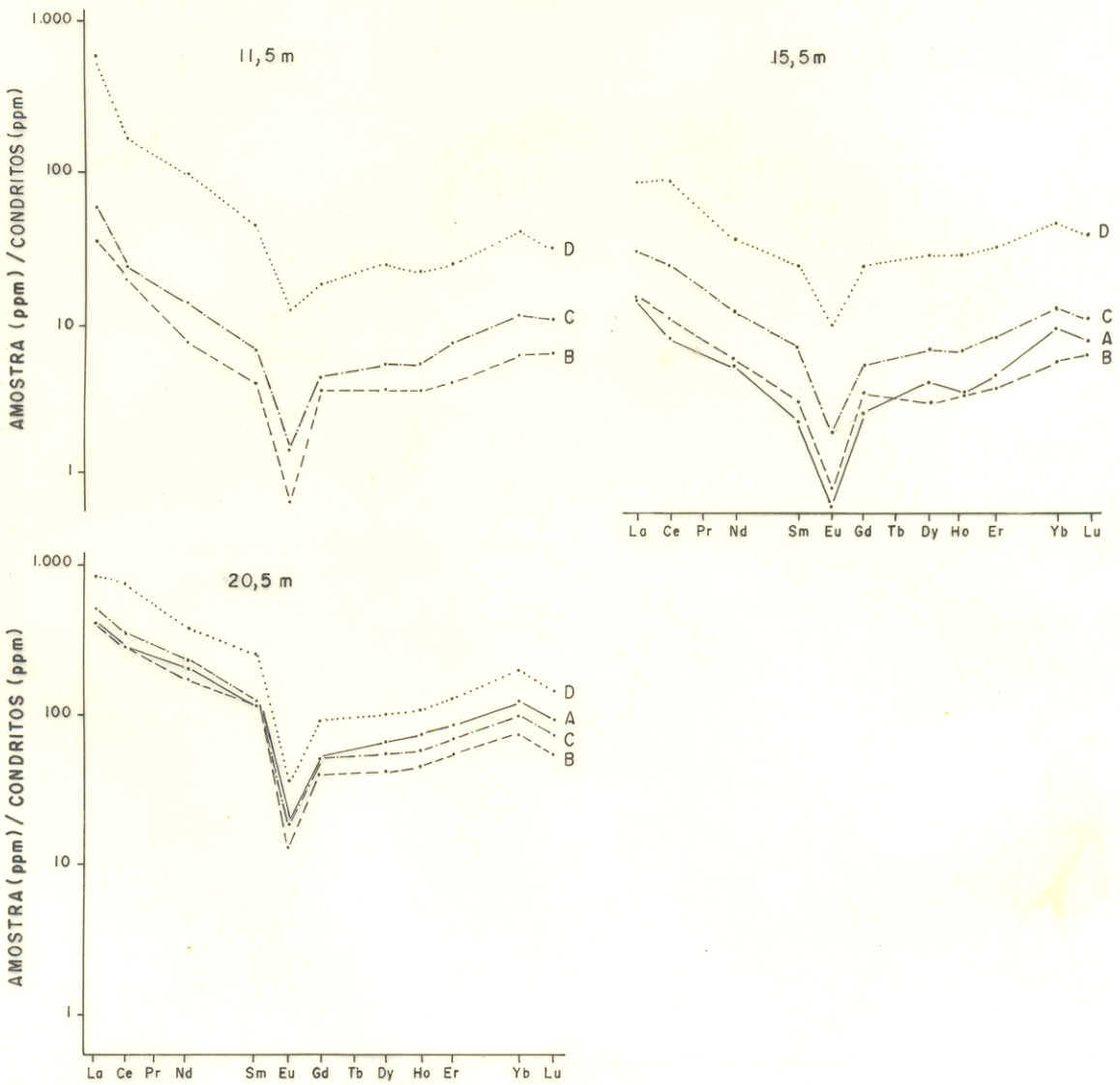


Figura 53 - Continuação.

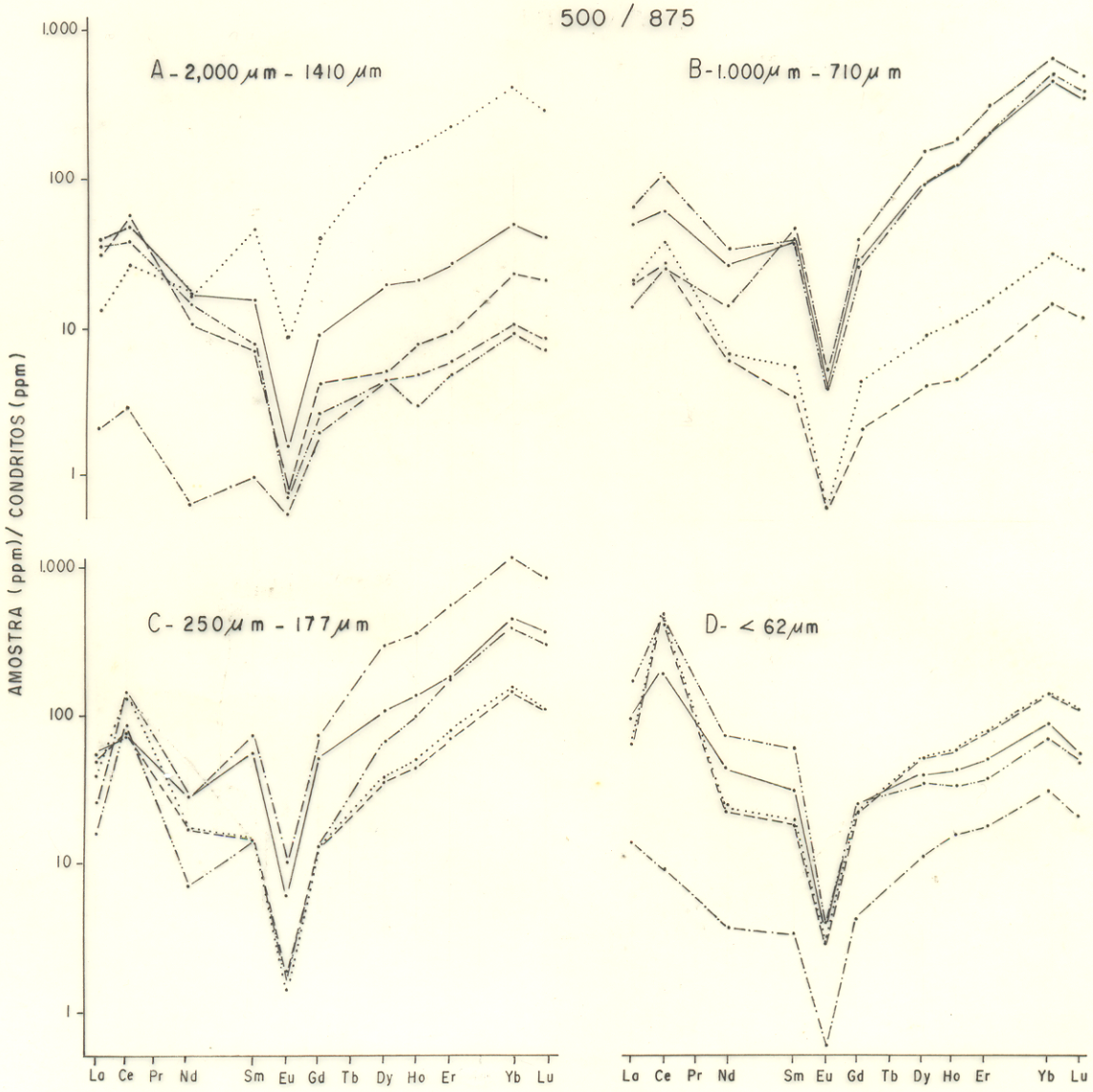


Figura 54 - Distribuição dos ETR no perfil laterítico do poço 500/875, segundo as frações granulométricas.

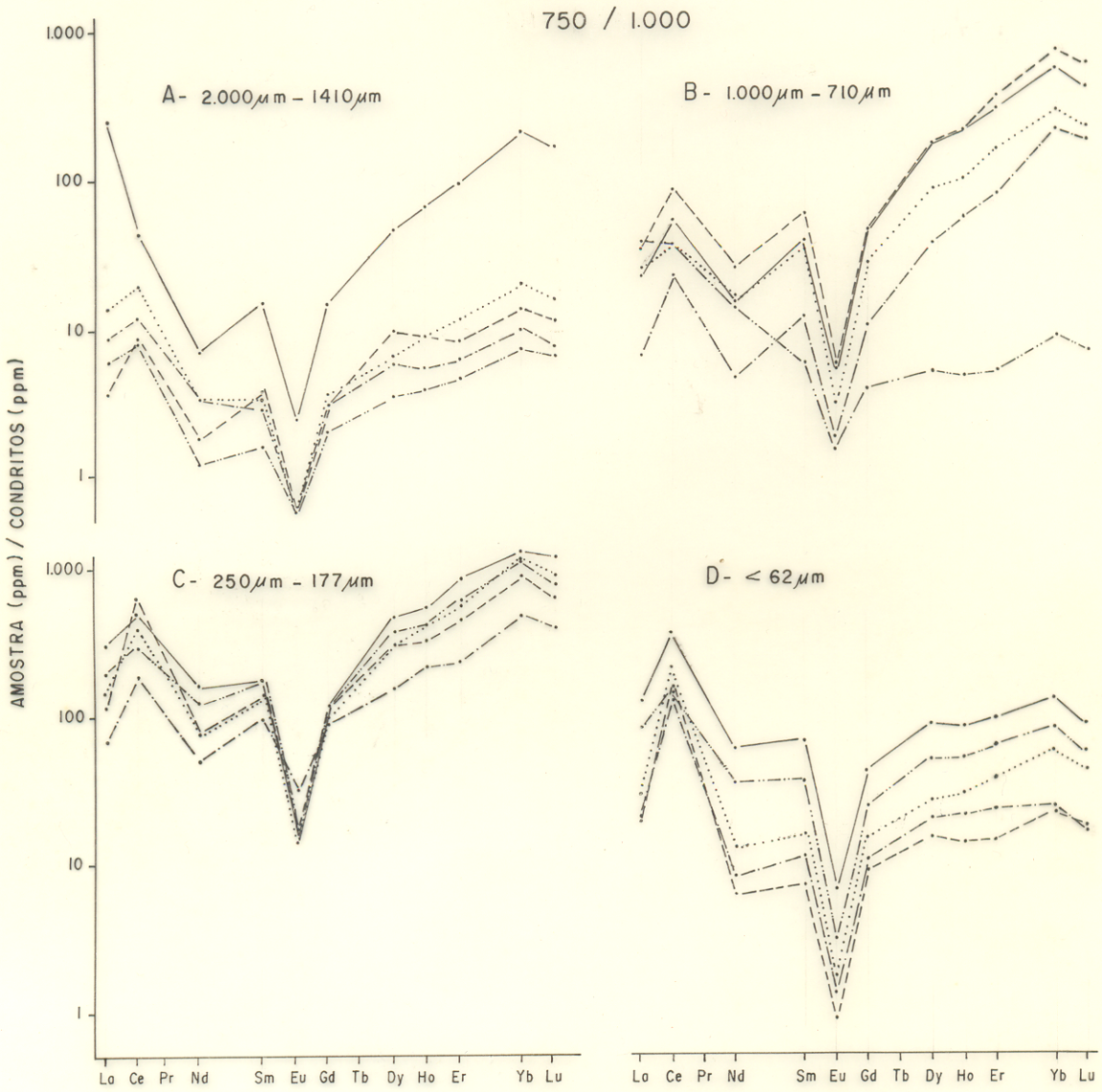


Figura 55 - Distribuição dos ETR no perfil laterítico do poço 750/1.000, segundo as frações granulométricas.

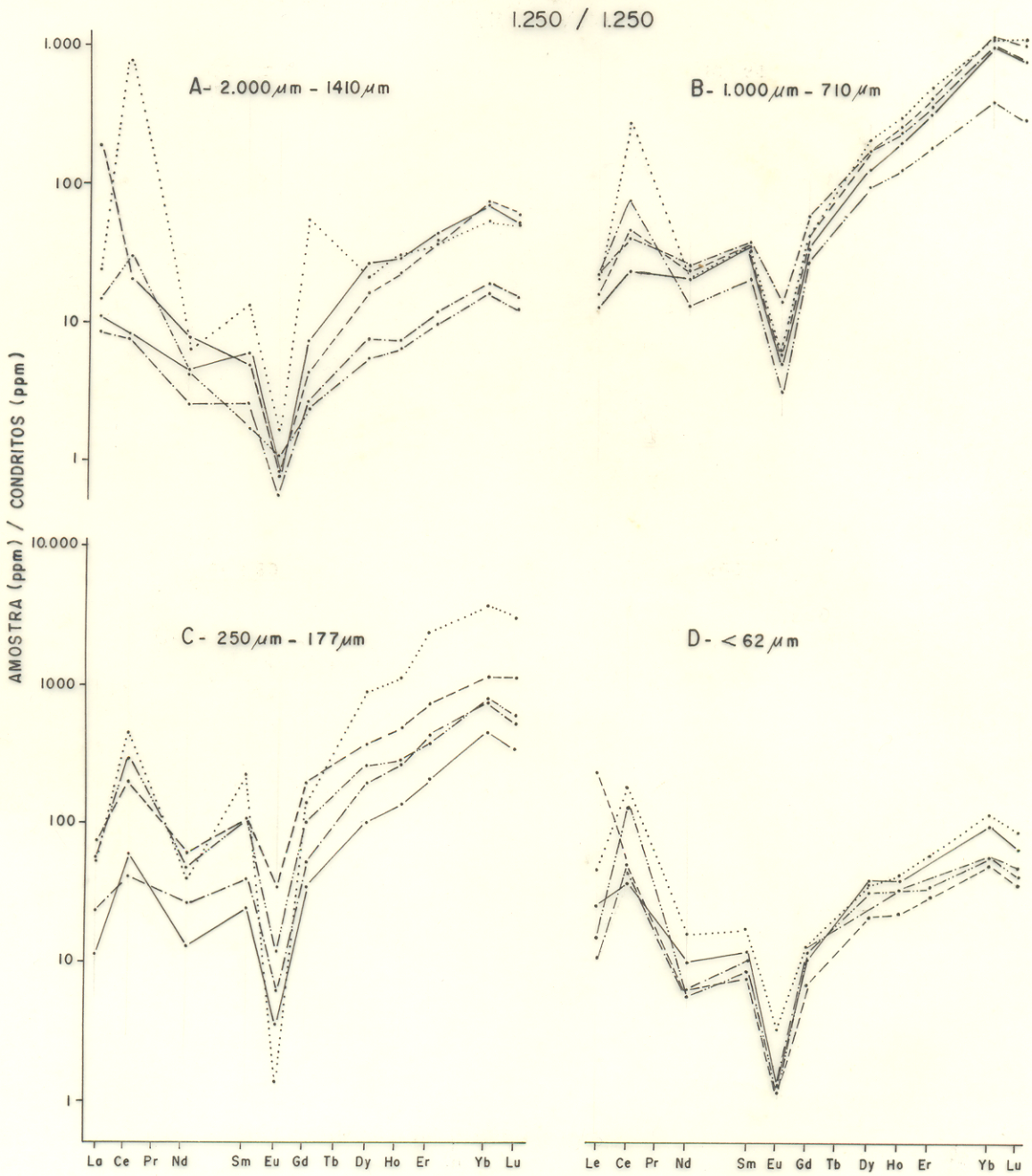


Figura 56 - Distribuição dos ETR no perfil laterítico do poço 1.250/1.250, segundo as frações granulométricas.

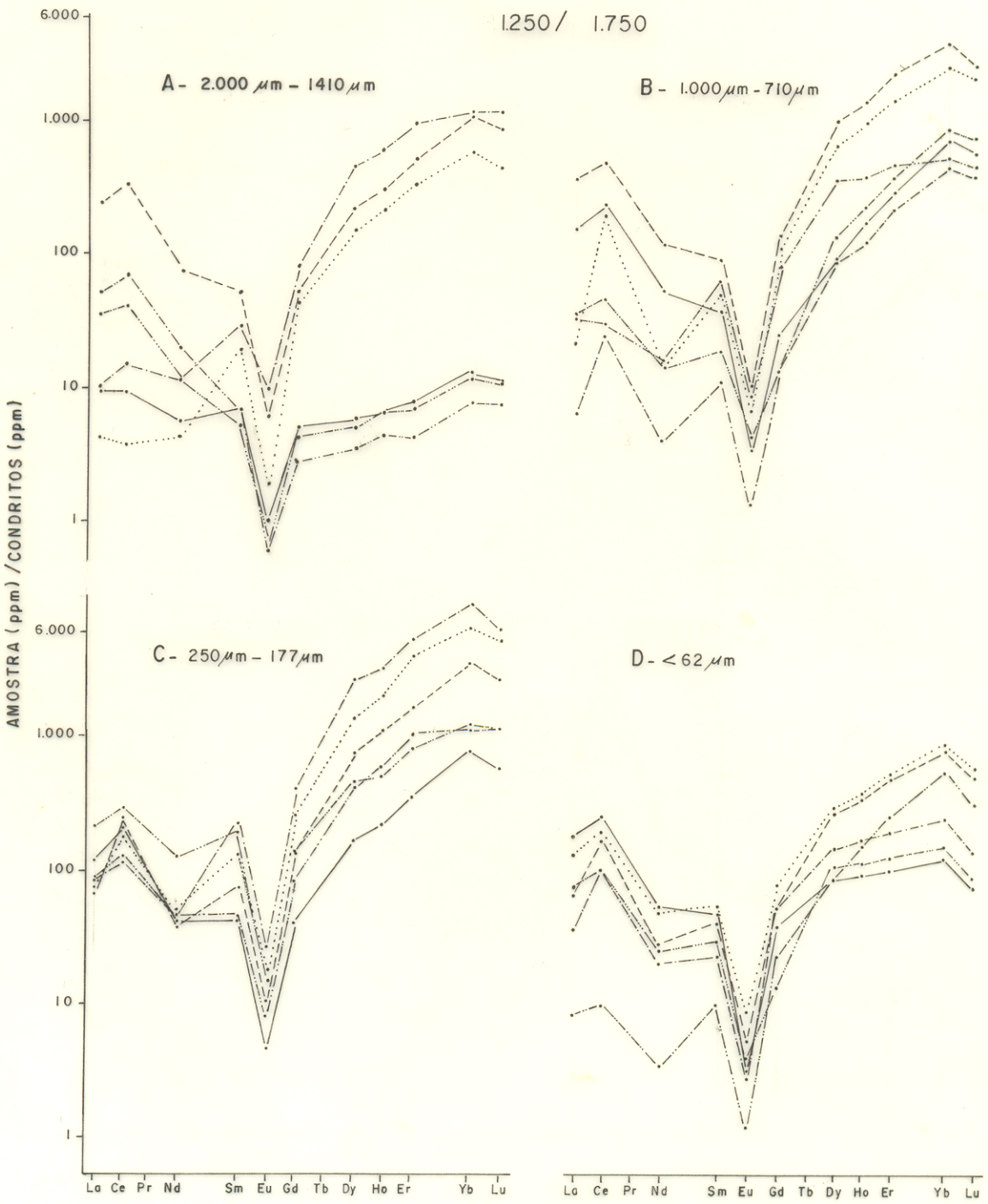


Figura 57 – Distribuição dos ETR no perfil laterítico do poço 1.250/1.750 segundo as frações granulométricas.

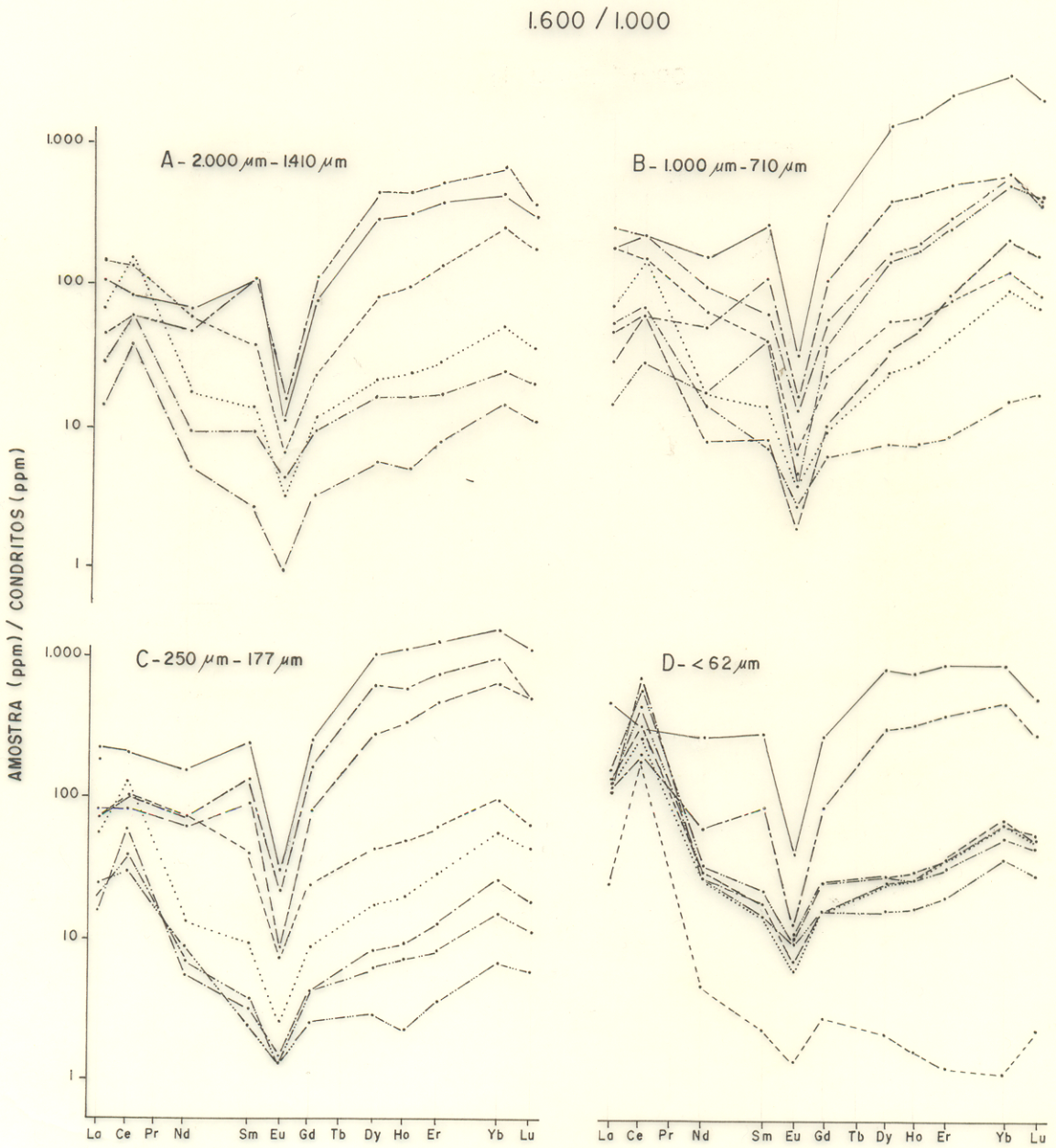


Figura 58 - Distribuição dos ETR no perfil laterítico do poço 1.600/1.000, segundo as frações granulométricas.

1.750 / 375

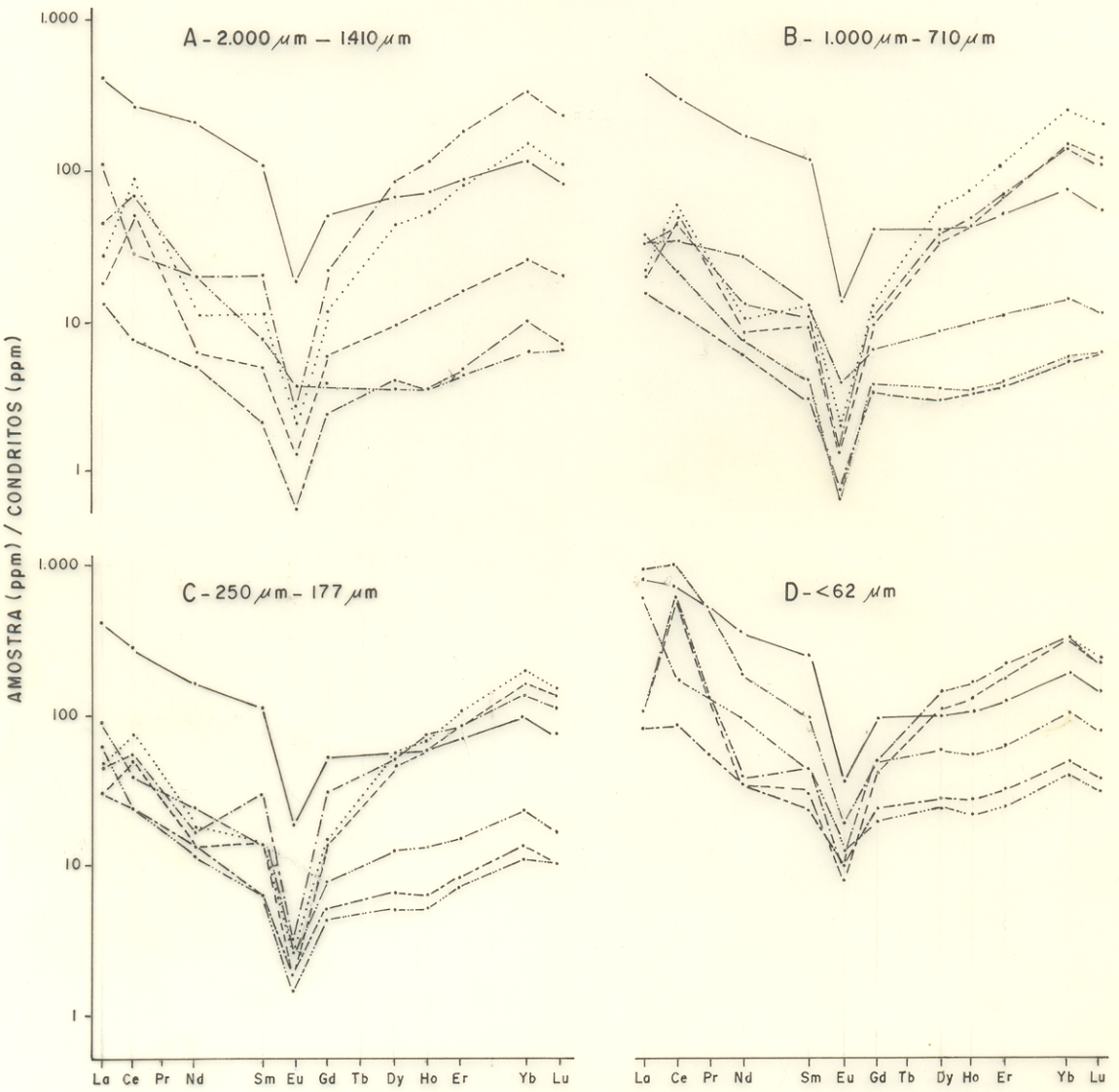


Figura 59 - Distribuição dos ETR no perfil laterítico do poço 1.750/375, segundo as frações granulométricas.

4. DISCUSSÃO

4.1. Evolução Geológica

A zona de maior ocorrência dos lateritos no globo situa-se entre os paralelos 27°N e 32°S, englobando os lateritos da zona equatorial de clima quente e úmida com cobertura de floresta e os lateritos da zona tropical seca (Bardossy, 1983).

Os lateritos da Amazônia, onde se encontra a Serra do Madeira, estão na zona tropical equatorial úmida, os quais Costa (1990), subdividiu em maturos e imaturos com base no seu grau de evolução.

Os maturos, mais antigos, são de menor distribuição areal e bem representados na Amazônia. São constituídos, da base para o topo, pelos horizontes saprolítico, argiloso, bauxítico e/ou fosfático, ferruginoso e a cobertura de latossolo.

Os lateritos imaturos são geologicamente mais recentes e menos evoluídos e estruturados, com distribuição geográfica mais ampla. São constituídos por três horizontes da base para o topo do perfil: saprolítico (zona pálida e mosqueada), ferruginoso/concrecionário e latossolo, que se equivalem aos horizontes H1, H2 e H3 descritos por Lecomte (1988), na África ocidental.

A formação de um perfil maturo exige clima tropical úmido com uma precipitação pluviométrica de no mínimo 1200mm/ano, temperatura de 26°C, com intercalação de um período chuvoso e outro seco e rocha mãe em geral aluminossilicatada (Bardossy, 1983). Sob essas condições, o intemperismo químico é muito intenso, permitindo a alteração dos minerais por hidrólise, com lixiviação dos elementos móveis e acumulação "in situ" dos imóveis. Na Amazônia as condições favoráveis para o desenvolvimento desses perfis ocorreram durante o Terciário

Inferior (Truckenbrodt et. al. (1982) e Costa (1984)), sendo dessa época os depósitos lateríticos bauxíticos de Paragominas, Almerim, Oriximiná e Carajás, com provável retomada no Mioceno e Pleistoceno (Kotschoubey, 1984).

Os perfis imaturos são mais recentes, formados durante o Pleistoceno. Por correlação eles se assemelham aos perfis do tipo stone lines de Lecomte (1988), anteriormente citados. Na região do Pitinga, adotando a classificação de Costa (1990), têm-se os dois tipos de perfis lateríticos, os maturos, com desenvolvimento do horizonte bauxítico, e os imaturos. Tanto maturos como imaturos ocorrem sob a forma autóctone e alótone.

Os lateritos maturos constituem os platôs, desenvolvidos tanto sobre os corpos graníticos como sobre as rochas vulcânicas. Os platôs do Granito Água Boa são os mais extensos, com até 10 km de extensão e várias centenas de metros de largura, enquanto, que nos demais corpos graníticos (Simão, Europa, Bom Futuro e Madeira) e nas rochas vulcânicas os platôs são menores (figura 2), todos com horizonte bauxítico e com cobertura tipo Argila de Belterra.

Os perfis maturos do granito Água Boa e da Serra do Madeira, foram a fonte de material para a formação dos colúvios e alúvios mineralizados em cassiterita, zircão e columbita das grotas e igarapés que os drenam.

Os lateritos imaturos constituem a superfície rebaixada da porção oeste-sudoeste da região.

4.1.1. Evolução do Perfil da Serra do Madeira

A evolução laterítica sobre a Serra do Madeira levou à formação de um perfil laterítico-bauxítico maturo, hoje parcialmente truncado, composto dos seguintes horizontes: saprolítico, argiloso, bauxítico, concrecionário, colúvio e cobertura de latossolo. O perfil saprolítico da Serra do Madeira

é correlacionável aos demais perfis maturos da Amazônia, com base nas fortes semelhanças texturais, morfológicas, químicas e mineralógicas, sendo formados portanto, contemporaneamente. Perfis similares desenvolvidos sobre rochas graníticas são encontrados na Índia, Ghana e Madagascar descritos por Lelong et al. (1976).

A evolução geológica dos lateritos da Serra do Madeira e da região do Pitinga como um todo, está ilustrada na figura 60.

O estágio inicial (figura 60A), no limiar do Cretáceo para o Terciário Inferior (Eoceno), ocorreu em clima quente sob condições de alternância de estações chuvosas e secas, provavelemente semelhante ao clima e cobertura vegetal que ocorre hoje na Amazônia, quando estavam expostas as rochas graníticas e vulcânicas. Essas condições, que permaneceram estáveis do Cretáceo ao Eoceno Médio (Krook, 1979 e Frakes, 1979 in Truckenbrodt et al. 1982), permitiram o desenvolvimento do horizonte saprolítico e argiloso e a formação de concreções de hidróxidos de ferro (figura 60B).

A partir deste estágio, do Eoceno Superior ao Mioceno Inferior em condições de clima menos sazonal e mais seco, tem-se a modificação da vegetação que passa a ser de pequeno porte, semelhante ao atual cerrado da região centro-oeste do Brasil. Sob essas condições há equilíbrio entre o processo de intemperismo físico e químico permitindo a lenta peneplanização da região. O clima mais seco permitiu a desidratação dos hidróxidos de ferro (goethita e ferridrita) e formação de extenso horizonte endurecido, rico em hematita, que age como selante do perfil laterítico, dificultando a infiltração das águas pluviométricas. Nesse estágio, o horizonte bauxítico diferencia-se entre o argiloso e o concrecionário (figura 60C).

Segundo Truckenbrodt et al. (1982), seriam necessários 30 milhões de anos para a formação de um perfil bauxítico na

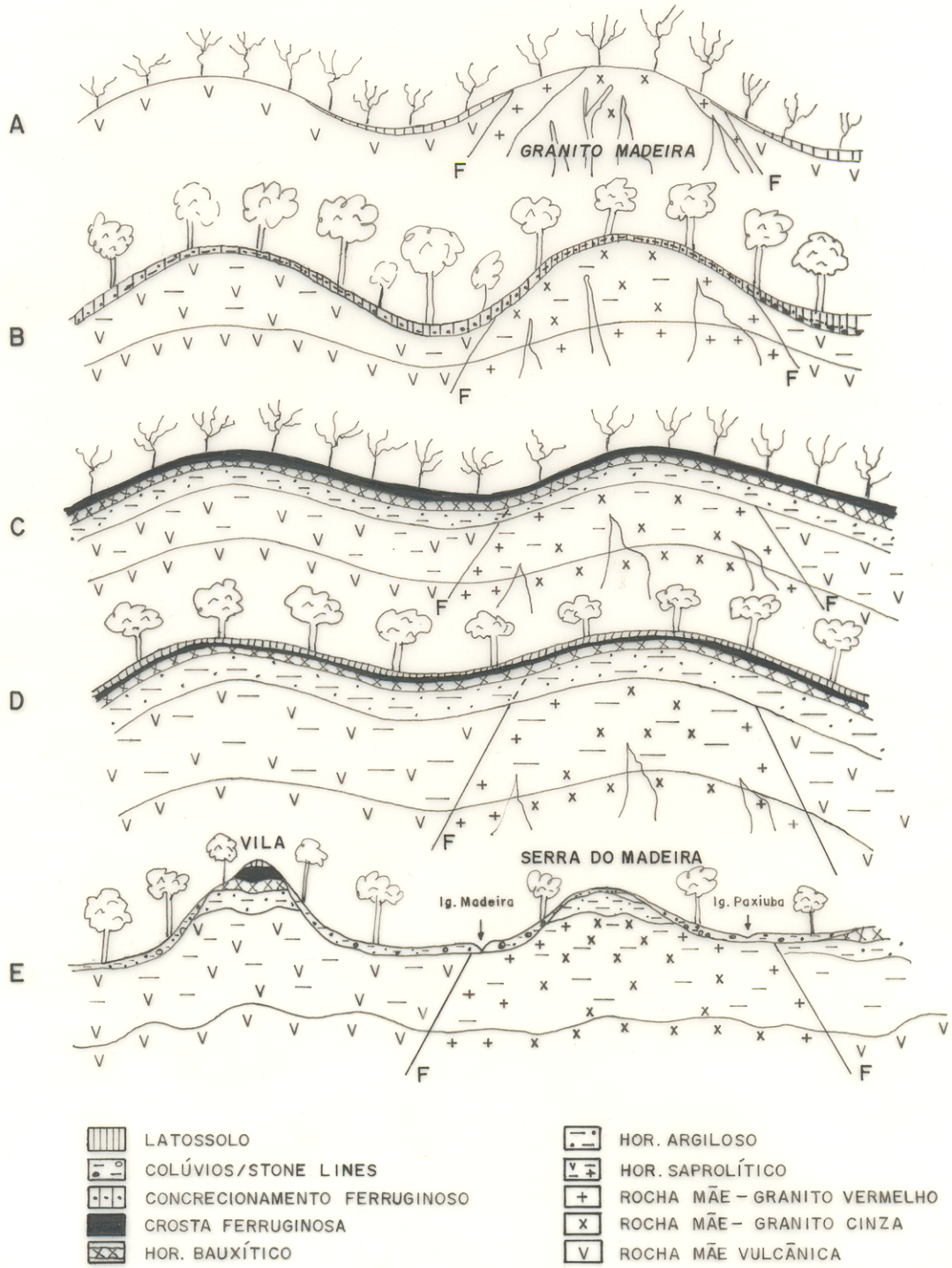


FIGURA 60 — Evolução esquemática do perfil laterítico da Serra do Madeira.

Amazônia, podendo, por correlação, ser estimada a mesma idade para o da Serra do Madeira.

A história do Terciário e Quaternário envolve vários estágios de transgressão e regressão do nível do mar (Krook, 1979 e Frakes, 1979 in Truckenbrodt et al., 1982) que resultaram em várias fases de intemperismo químico e físico, que levaram tanto à formação como à destruição ou cancelamento dos perfis lateríticos, fazendo com que sua evolução geológica fosse bastante complexa.

Um novo período de intemperismo químico, ilustrado pela figura 60 D, provavelmente no Mioceno Médio, associado a movimentos epirogenéticos positivos, levaram à decomposição do perfil em sua porção superior (crosta ferruginosa e horizonte bauxítico), com formação de latossolo e saprólito. Esses latossolos poderiam corresponder as hoje denominadas Argilas de Belterra. Posteriormente sob condições climáticas mais secas e vegetação aberta, do Mioceno Superior ao Plioceno, é favorecido o reentalhamento do relevo pela drenagem promovendo a destruição parcial do perfil laterítico. Nesse estágio, formam-se os paleoaluviões descritos por Daoud & Antonietto (1985) e Daoud (1988) no Pitinga. Esse aluviões podem ser correlacionáveis aos aluviões estudados por Payolla et al., (1984) em Rondônia, de idade Pleistocênica Inferior (glacial Illinoisiano).

Durante o Pleistoceno Inferior a Médio, afloravam rochas primárias, latossolos fósseis, exposições de saprólitos , crosta e bauxitas e paleoaluviões. Sobre estes materiais iniciou-se nova fase de lateritização, que corresponde hoje aos lateritos imaturos. Nesta, as bauxitas pré-existentes foram parcialmente destruídas principalmente através de ferrificação.

No Pleistoceno Superior (figura 60E) sob condições climáticas semi-áridas, os perfis lateríticos imaturos foram

parcialmente endurecidos, e também junto com os demais, parcialmente erodidos, levando à formação dos depósitos aluvionares e linhas de pedras, obliterando perfis lateríticos maturos e acentuando o relevo de platôs. Esses aluviões estariam correlacionados a sequência II de Payolla et al, (1984) de idade Pleistocênica Superior (período glacial Wisconciniano).

No Recente, relacionado à transgressão Flandriana (Petri e Fúlfaro, 1983), instala-se nova fase climática equivalente a atual, com o intemperismo químico retomando com as mesmas características do Pleistoceno Inferior, formando novamente latossolos tipo Argila de Belterra.

4.2. Evolução Mineralógica

Tentar explicar como se processa a dissolução e a neoformação dos minerais é de suma importância para a compreensão da gênese dos perfis de alteração intempérica e formação de jazidas minerais aluvionares decorrentes desse processo.

A partir dos primeiros estágios do intemperismo ao longo das fraturas da rocha mãe, tem-se o início do processo de decomposição e neoformação de minerais, onde os cátions e ânions liberados dos minerais primários podem ser lixiviados e/ou retidos. Cada horizonte de um perfil laterítico tem sua mineralogia própria, compatível com as condições hidrodinâmicas, de pH , Eh e atividade química. O estudo de como se processa a passagem entre cada horizonte, possibilita a compreensão da totalidade do processo atuante.

Os minerais identificados e a sua abundância ao longo dos perfis da Serra do Madeira mostram que a evolução do seu perfil é de natureza normal e tipicamente laterítica, equivalendo aos demais da região Amazônica como se pode verificar nos trabalhos de Norton (1973), Grubb (1979), Costa (1984 e 1990), Kotschoubey & Lemos (1985).

A evolução mineralógica do perfil laterítico da Serra do Madeira está ilustrada na figura 61. A partir desta, as seguintes observações podem ser feitas para as transformações mineralógicas estudadas:

Evolução do quartzo - pelo fato de a rocha mãe do perfil laterítico da Serra do Madeira ser constituída por cristais de quartzo grosseiros e subédricos, a sua corrosão e conseqüente dissolução é lenta, comportando-se parcialmente como resistato. Na crosta ferruginosa, onde os efeitos da corrosão são mais intensos, os cristais apresentam suas fraturas e fissuras preenchidas por hidróxidos de ferro.

Evolução dos K-feldspatos e albita - a evolução desses minerais se dá através de um estágio de argilização (argilas 2:1 e 1:1), formando os horizontes saprolítico (ilita, haloisita e caolinita) e argiloso (caolinita). As argilas 2:1 evoluem para caolinita e esta para gibbsita por dessilicificação, formando o horizonte bauxítico. Uma regressão na evolução do perfil, devido a um clima mais úmido, como descrito na evolução geológica do perfil da Serra do Madeira (ocorridos no Mioceno, Pleistoceno e Recente), causa a ressilicificação da gibbsita, formando novamente caolinita no latossolo.

Vários pesquisadores têm estudado como ocorre essa evolução em função do equilíbrio químico e quais os minerais neoformados.

Segundo Garrels & Howard, (1958) e Petrovic, (1976), quando cristais pulverizados de K-feldspatos são expostos a soluções aquosas pobres em íons alcalinos, alumina e sílica, dois processos são observados. Inicialmente, ocorre difusão dos íons alcalinos da superfície do feldspato, devido a diferença no potencial químico dos elementos em cada fase, e a sorção de íons hidrogênio da solução, neutralizando as cargas. Essa troca iônica é seguida por uma lenta dissolução do feldspato, na qual os íons

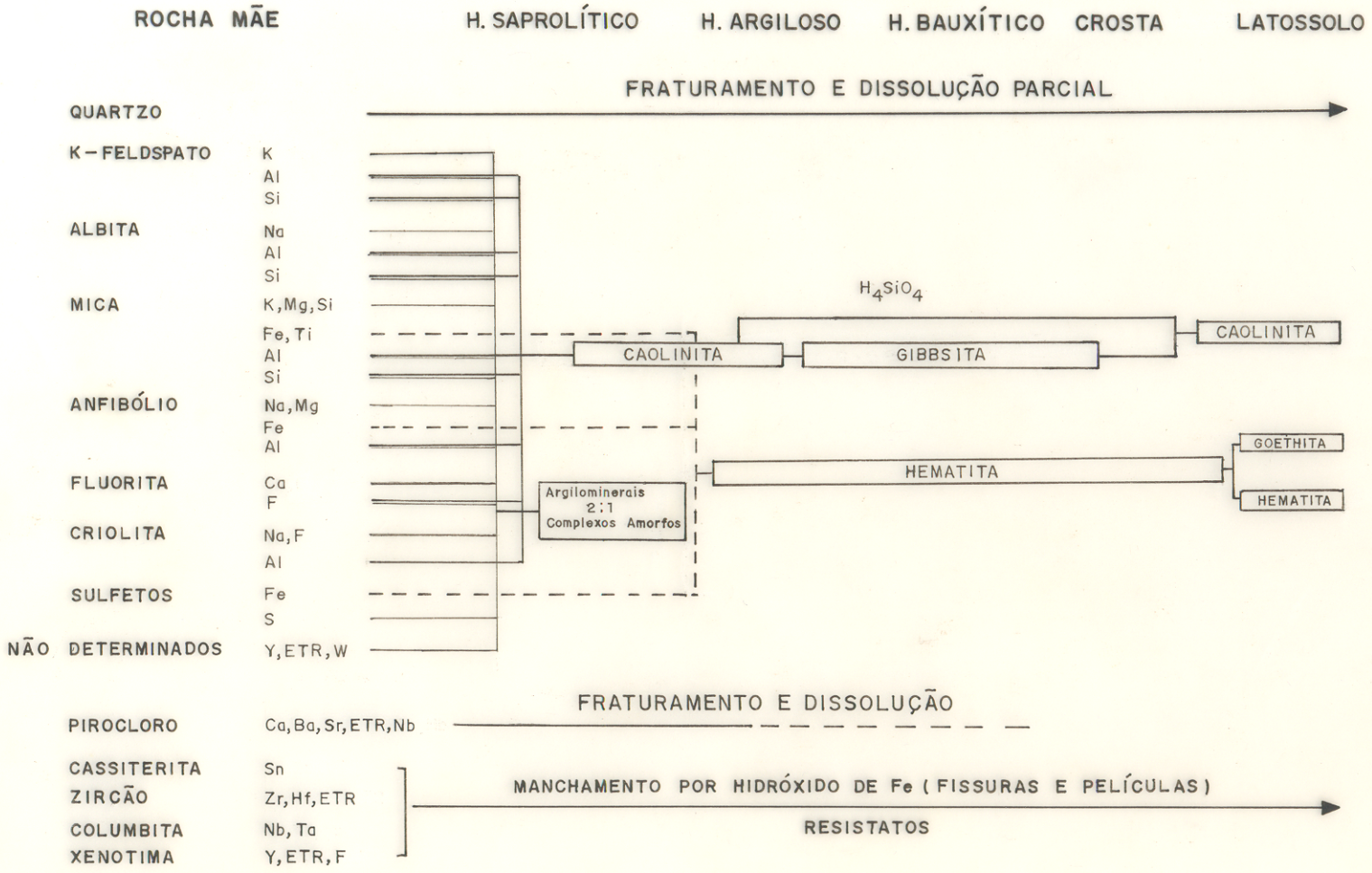


FIGURA 61 – Evolução esquemática da mineralogia do perfil laterítico da Serra do Madeira.

que formam a estrutura cristalina também são solubilizados, ocasionando o colapso da estrutura. A sílica liberada forma ácido silícico.

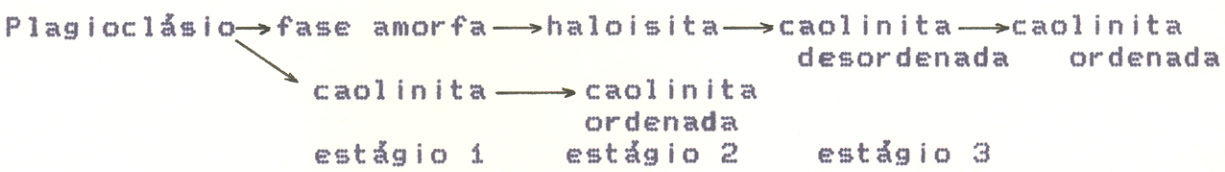
Para Reesman & Keller (1968), a razão da liberação da sílica é variável em função do teor de anortita dos plagioclásios, isto é, quanto mais albita na estrutura mais rápida a formação de ácido silícico. O alumínio não é completamente conservado na superfície dos feldspatos, sendo parcialmente liberado para as soluções na forma de complexos iônicos $Al2(OH)2^{+}$ em pH de 3 a 6,7 ou $Al(OH)4^{-}$ em pH acima de 6,7.

Busenberg & Clemency (1976) e Busenberg (1978) mostram que o intemperismo artificial dos plagioclásios, por terem a razão molecular Si/Al aproximadamente igual a 1, é seguido pela formação de haloisita microcristalina instável e alumino-silicatos amorfos que evoluem para uma fase termodinamicamente estável de caolinita. Tanto a haloisita como a caolinita podem se formar a partir do intemperismo de silicatos, juntas ou independentes, de acordo com as condições fisiogeográficas (clima, topografia, grau de lixiviação) e as condições geoquímicas.

Parnham (1969), estudando perfis intempéricos sobre rochas graníticas, encontrou haloisita na porção inferior do perfil, próximo a rocha sã, e haloisita e caolinita 0,30 m acima, caracterizando a predominância da caolinita na porção superior do perfil e haloisita na base do mesmo. Quando o feldspato reage com as soluções diluídas, a concentração de Al e Si aumenta com o tempo, aumentando consequentemente o pH. Quando as soluções migram em profundidade a sua concentração e o pH aumentam, causando sua supersaturação em caolinita até que a solução alcança o equilíbrio da haloisita, precipitando-a.

La Iglesia & Galan (1975) estudando a transformação

haloisita - caolinita sugerem os seguintes estágios para a formação de caolinita a partir de plagioclásios:



Se o Al liberado formar complexos rapidamente sob influência da sílica em solução, a caolinita cristaliza (estágio 1). Se o Al não se complexa, ele formará uma fase amorfa na presença de sílica, que pode evoluir para haloisita ou caolinita (estágio 2) de acordo com a predisposição cristalina e influência da nucleação. Essa última transformação será mais intensa com a nova lixiviação de sílica podendo formar gibbsita. No último estágio, a estrutura pode ser reordenada passando por um estágio intermediário de caolinita desordenada.

A evolução dos K-feldspatos forma ilita, por ter relação Si/Al próxima a 2 (Busenberg & Clemency, 1976 e Busenberg, 1978). A identificação desses dois minerais (ilita e haloisita) na Serra do Madeira, através da difração de raios-x não foi possível tanto na amostra total quanto na fração granulométrica < 62 μm , visto que a haloisita, por ser uma fase instável, rapidamente se transforma para caolinita. Na rocha total, ocorrem picos indicativos de ilita/mica, contudo os mesmos não ocorrem nas frações granulométricas < 62μm (fração argila), indicando a presença de mica e não de ilita.

Com a evolução do processo intempérico, ocorre dissolução da caolinita, colocando em solução o alumínio e a sílica segundo a reação:

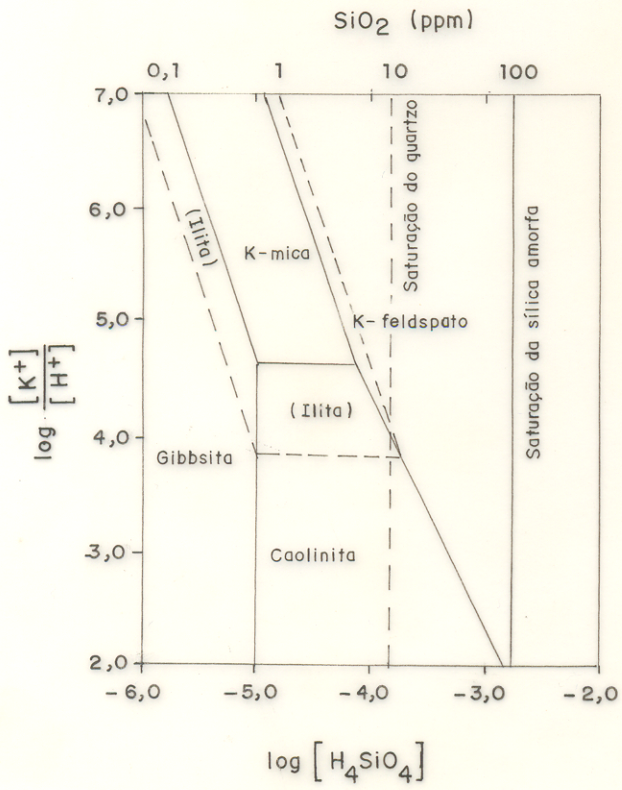
$$Al_2Si_2O_5(OH)_4 + 6H = 2H_4SiO_4 + 2Al + 3H_2O$$

Gardner (1970) estudando o modelo químico para a origem da gibbsita a partir da caolinita conclui que a gibbsita não

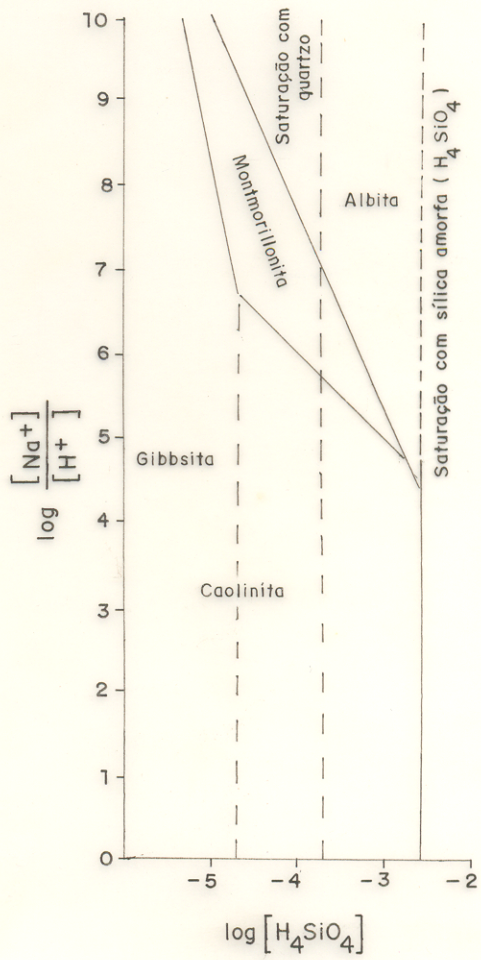
precipita a partir da dissolução da caolinita, enquanto o quartzo estiver presente. Isso explica o porque da gibbsita se formar mais lentamente em rochas ricas em quartzo ou em regiões frias onde o pH das soluções é muito baixo, devido ao lento decaimento da matéria orgânica. Ainda segundo este autor, para soluções com concentração inicial de Si menor que 10-4,6 moles por litro, em pH entre 4 e 8, a gibbsita se forma a partir da dissolução da caolinita, ao passo que para soluções com concentração inicial de Si maior que 10-4,6 moles por litro, a caolinita se dissolve sem deixar resíduo, isto é, não forma gibbsita.

Na Serra do Madeira, tem-se gibbsita na base do horizonte saprolítico, contradizendo aparentemente as afirmações acima, mas Gardner (1970) observa que a persistência de pequenas quantidades de quartzo é atribuída ao tamanho grosseiro dos grãos de quartzo da rocha mãe e ao revestimento deste por minerais de Fe e Al . O pH das soluções, no saprólito, varia de 4,23 a 6,67 e no argiloso de 4,25 a 5,90, permitindo portanto a precipitação de gibbsita e a lixiviação do quartzo concomitantemente, em ambos os horizontes.

Helgeson (1971 e 1972) sugere que a difusão do K, Al e Si nos feldspatos, ocorre inicialmente através de um nível gibbsítico. Nos estágios iniciais da reação, a troca de K^+ por H^+ nos feldspatos, gera um aumento de alumínio na solução até alcançar a saturação em gibbsita, ocasionando sua precipitação e a consequente diminuição da concentração de Al na solução. Concomitantemente a precipitação de gibbsita, a solução intersticial se enriquece em SiO_2 e Na^+ ou K^+ até alcançar o campo de estabilidade da caolinita, precipitando caolinita na interface gibbsita-feldspato (figura 62). Neste caso, haveria formação de gibbsita diretamente a partir de feldspatos, independente da formação de gibbsita a partir da dessilicificação



Sistema $K_2O - Al_2O_3 - SiO_2 - H_2O$.



Sistema $Na_2O - Al_2O_3 - SiO_2 - H_2O$.

Figura 62 - Diagramas de estabilidade, Yariv (1979).

da caolinita. Esse modelo proposto estaria de acordo com a presença de gibbsita no saprólito, onde os valores de sílica são muito altos em função das elevadas proporções de quartzo na rocha mãe. Esse processo, mais a possibilidade de cortex de Al e Fe no quartzo, explicariam a presença de gibbsita na base do saprólito

Evolução das micas e anfibólio - O intemperismo da biotita, lepidolita e riebeckita ocasiona a formação de uma auréola avermelhada de hidróxido de ferro de cor castanha, envolvendo o cristal e ao longo dos planos de clivagem e fratura, aumentando sua fragilidade e provocando sua descoloração. Quimicamente o intemperismo se processa, inicialmente, pela troca iônica desses cátions por H+ ao longo das clivagens, dissolução incongruente de sua estrutura, com formação de uma película superficial de Fe(OH)3 que alarga-se, preservando a forma do antigo cristal (box-work). O intemperismo dos anfibólios, sem Ca e Mg na estrutura, gera material ferruginoso de composição goethítica (Toledo Groke et al., 1985), e os álcalis evoluem para caolinita e gibbsita em completa transição entre eles (Velbel, 1989).

O intemperismo da riebeckita gera hidróxido de ferro, liberando Na e a lepidolita gera caolinita com liberação de Li, Fe e Na. A biotita por ter K, Mg, Fe, Al, Ti e F na sua estrutura tem uma evolução mais complexa, passando por estágios intermediários de mica-vermiculita e vermiculita e esmectita na base do horizonte saprolítico, e finalmente evoluindo para caolinita e gibbsita nos estágios mais avançados de lateritização (Toledo-Groke et al., 1985).

Evolução dos oxi-hidróxidos de ferro - A porção ferruginosa do perfil (horizonte concrecionário) é constituida basicamente por hematita com traços de goethita aluminosa no latossolo. Sua evolução se dá a partir da destruição dos anfibólios, mica e sulfetos formando agregados de hidróxidos de

Fe. Esses agregados amorfos chamados de ferridrita (Fischer & Schwertmann (1975), Schwertmann & Murad (1979) e Taylor (1987)) formam hematita por desidratação e goethita via dissolução e reprecipitação de Fe+3

A formação de hematita ou goethita, segundo esses autores, depende da cinética de reação que governa a razão de dissolução versus precipitação do Fe. Desse modo, a ferridrita age tanto como fonte para hematita como para goethita.

Para Gastuche et al. (1964) e Schwertmann & Murad (1979) a formação de hematita em detrimento da goethita, é favorecida pela rápida precipitação de Fe3+ em presença de 5% de Al. Outro fator que favorece a precipitação de hematita é a presença de altas concentrações de matéria orgânica e/ou silicatos (Milnes et al., 1985).

Para Kampf & Schwertmann (1983) se o ambiente for mais seco forma-se hematita preferencialmente, se o ambiente for úmido, com variação nas concentrações de CO2, forma-se goethita. Como as condições de laboratório não reproduzem as condições da natureza como umidade, temperatura, matéria orgânica e pH e principalmente o tempo geológico, torna-se difícil afirmar qual das teorias se enquadra para explicar as fases de evolução dos oxi-hidróxidos de Fe do perfil da Serra do Madeira. Portanto o mais aceito é que na fase inicial de mosqueamento, forma-se goethita abaixo do lençol freático que evolui para hematita por desidratação (Tardy & Nahon, 1985). A goethita normalmente se forma nos perfis jovens, sendo preservada na base das formações bauxíticas antigas e a hematita ocorre no topo desses perfis, associada a boehmita e diásporo.

Evolução da fluorita e criolita - por terem estrutura cristaloquímica instável em condições de intemperismo químico, são rapidamente destruidos. O F é parcialmente retido na

estrutura da caolinita (Thomas et al. 1977) e/ou forma complexos com o Al (Sanjuan & Michard, 1987).

Evolução do pirocloro - O pirocloro aparentemente não se comporta como resistato, pois não foi identificado nos concentrados de minerais pesados dos aluviões. A baixa dureza de seus cristais, nas amostras estudadas, indica sua tendência ao fraturamento e provável dissolução durante o processo laterítico. A possibilidade da evolução do pirocloro gerar columbita não foi observada no perfil laterítico, caso ocorra deve estar relacionada a evolução da rocha mãe.

Evolução dos minerais resistatos - A cassiterita, zircão, columbita, xenotima e torita, os principais minerais resistatos identificados na Serra do Madeira, sofrem manchamento por hidróxido de ferro, que forma uma auréola avermelhada em torno dos grãos, mascarando suas propriedades físicas e têm suas fissuras preenchidas por hidróxidos de ferro.

4-3 Evolução Geoquímica

O estudo geoquímico auxiliado pelo mineralógico e o geológico mostra que os perfis estudados da Serra do Madeira, são claramente de origem laterítica, envolvendo os estágios de monossialitização, alitização e ferralitização da classificação de Chesworth (1979) e Pedro & Melfi (1983), tendo sofrido posteriormente novos eventos lateríticos (evolução policíclica).

Os estágios de sua evolução estão definidos na figura 63 ressaltando o comportamento dos três principais óxidos (SiO_2, Al_2O_3 e Fe_2O_3) a partir da rocha mãe. Esse comportamento mostra uma evolução em direção aos oxi-hidróxidos de Fe e Al em oposição à sílica. Esta tendência representa a distribuição destes elementos no perfil laterítico, da base para o topo. A ampla distribuição do horizonte coluvionar caracteriza muito bem a forte influência dos demais horizontes na sua formação.

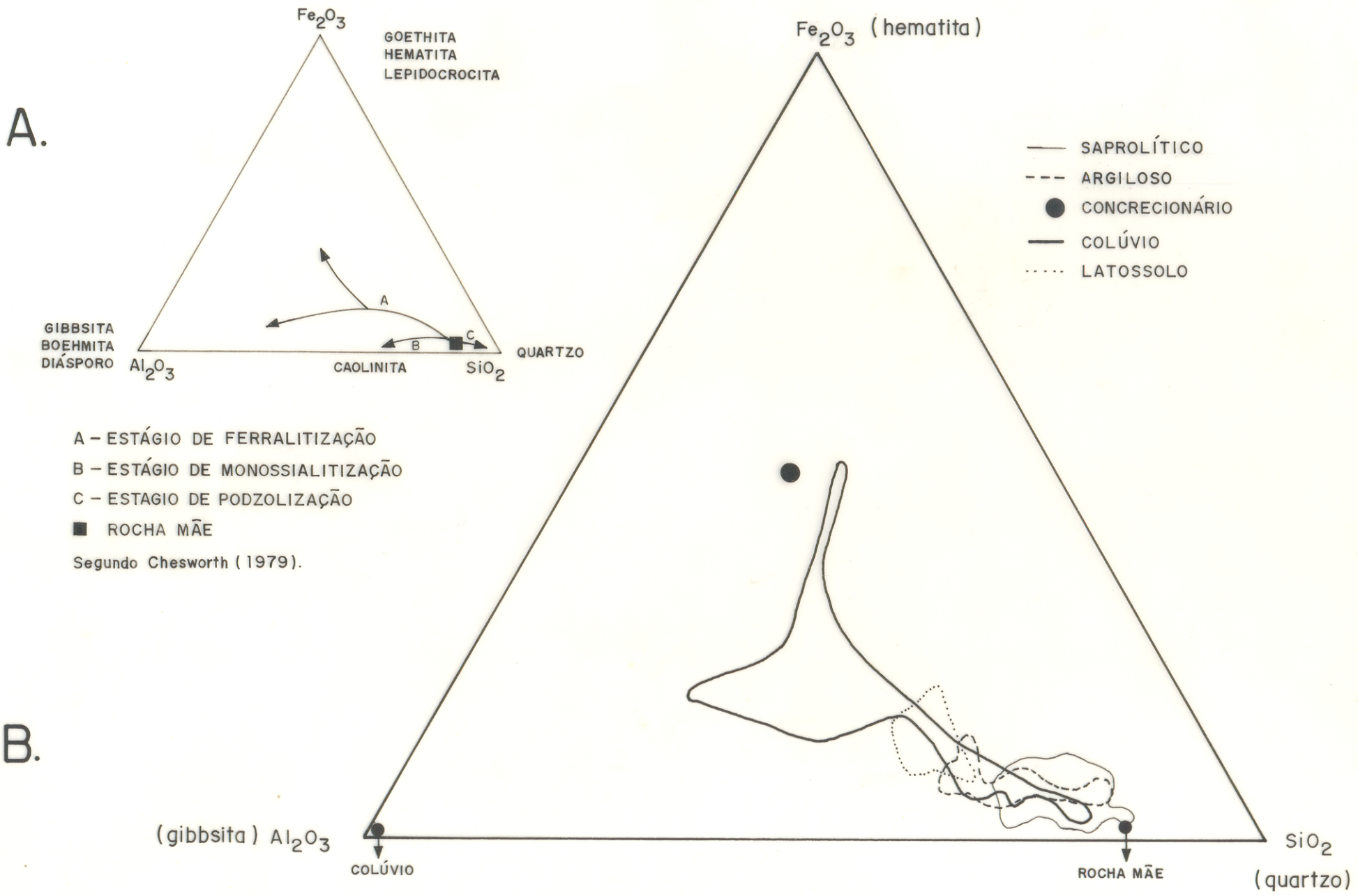


FIGURA 63 – Diagrama de evolução laterítica do perfil da Serra do Madeira.

O enriquecimento em sílica do latossolo mostra a retomada do intemperismo químico, com superposição da fase de caolinização. Por serem estas fases empobrecidas em SiO2, características dos estágios mais evoluídos do perfil laterítico, o enriquecimento em sílica do latossolo demonstra o seu aporte externo. A possibilidade do latossolo ter gênese independente do restante do perfil é improvável, pois apresenta teores de elementos traços compatíveis com os horizontes sotopostos.

Observações de campo, principalmente do horizonte concrecionário, mostram que as fissuras e fraturas dos relíctos endurecidos estão preenchidas por material argiloso amarelado, de composição semelhante ao latossolo. Caracteriza-se portanto que este é fruto do intemperismo sobre estas concreções, em condições de clima atual, levando à destruição da crosta ferruginosa e do horizonte bauxítico.

O estudo da evolução geoquímica do perfil da Serra do Madeira consistiu de duas etapas, o balanço geoquímico em função do cálculo isovolumétrico e isoquímico e o estudo das associações químicas por horizontes.

4.3.1. Balanço Geoquímico

O balanço geoquímico permitiu determinar o comportamento dos elementos ao longo do perfil, em relação à rocha mãe, definindo aqueles que são lixiviados, os que são enriquecidos absolutamente e os que permanecem imóveis.

Para o perfil laterítico da Serra do Madeira, essa metodologia é indispensável, dada a falta de conhecimento detalhado sobre a cristaloquímica dos minerais já identificados e poderá permitir a identificação de novos minerais. O balanço geoquímico consiste em transformar as análises químicas em números, que expressem evoluções isovolumétricas e isoquímicas, segundo o princípio de Millot & Bonifas (1955). Para isso, faz-se

necessário a determinação de densidade dos diferentes horizontes para o cálculo isovolumétrico ou, identificar um ou mais elementos quimicamente imóveis para o cálculo isoquímico, a partir da rocha mãe até o topo do perfil. O cálculo isovolumétrico (anexo 5, tabela 1) somente é válido quando o volume original da rocha mãe permanece inalterado. Essa condição é satisfeita nos horizontes saprolítico e parcialmente no argiloso onde a estrutura original da rocha mãe está preservada.

Para o cálculo isoquímico foram utilizados os elementos químicos encontrados sob forma de resistatos Sn (cassiterita), Zr (zircão) e Nb (columbita e pirocloro, embora este último seja instável), além do Al2O3, que se mostra de baixa mobilidade. O cálculo isoquímico (anexo 5 tabelas 2 a 5) é usado com vantagem nos horizontes superiores onde o volume não mais se mantém constante.

A rocha mãe considerada para cada perfil, foi quando possível, aquela do substrato do perfil correspondente ou então, a média das análises químicas da rocha mãe de vários perfis, para aqueles em que não foi possível alcançar a rocha mãe correspondente.

Guarda-se as devidas ressalvas para este raciocínio, tendo em vista o caráter zonado da rocha, conforme observado por Horbe et al. (1991).

O MgO foi desconsiderado devido ao grande número de amostras abaixo do limite de detecção e o W por falta de resultados químicos da rocha mãe. O TiO2 e PF têm pouca representatividade em relação aos demais elementos, por falta de maior número de dados da rocha mãe.

Valores do fator de enriquecimento (FE) maiores que 1,10 indicam enriquecimento, ou seja, concentração do elemento em dado horizonte em relação à rocha mãe e valores inferiores a 0,9

indicam empobrecimento ou lixiviação do elemento. Valores entre 0,9 a 1,10, considerando uma variação de 10%, indicam imobilidade.

Comparando-se os dados obtidos no cálculo isovolumétrico com o isoquímico (anexo 5 e figuras 64 a 78) verifica-se que os horizontes saprolítico e, em parte, o argiloso são realmente isovolumétricos. Nos cálculos isoquímicos (Al203, Sn, Zr e Nb), o Al203 e o Zr são os que apresentam o comportamento mais homogêneo dos elementos considerados imóveis. A similaridade entre os cálculos isovolumétricos e o isozircônio indica que o Zr é também o mais imóvel e/ou de distribuição mais homogênea na rocha pré-laterítica.

O balanço geoquímico (figuras 64 a 78) mostra um grupo de elementos lixiviados, ao longo do perfil (SiO2, álcalis, MnO, F, Rb, Y, P, Pb, Ga, U e ETR) e outros enriquecidos (Fe203, TiO2, P.F.,Sn, Zr, Nb, HF, Ta e Th) a partir da rocha mãe. Praticamente, quase todos esses elementos, nos horizontes saprolítico e parte do argiloso, tem comportamento constante, descrevendo curvas quase verticais. Nos demais horizontes todos os elementos, relativamente aos horizontes superiores se enriquecem, com exceção do F e SiO2, indicando que o F está associado a caolinita e que estes horizontes são tipicamente de eluviação. A sequência de mobilidade do perfil da Serra do Madeira em função do balanço geoquímico é:

SAPRÓLITO

Elementos lixiviados:

FE 0,001 a 0,3 - Na>K>Ca>Fe=Sm=Eu>Nd=Dy>Gd

0,300 a 0,7 - Ho>U>La>Er>Y>P>Rb>Yb=Si>Lu

0,700 a 0,9 - Mn>F>Ce>Pb>Ga

Elementos imóveis:

0,900 a 1,1 - Al

Elementos enriquecidos:

1,100 a 1,3 - Ta>Zr>Nb

1,300 a 6,0 - Ti>Hf>Th>Fe=PF>Sn

ARGILOSO

Elementos lixiviados:

FE 0,001 a 0,3 - Na>K>Rb>Nd>Sm>Eu=La>Gd=F>Fe=Ca>Dy>Ho>U

0,300 a 0,7 - Ce>Er>Pb>Y=P>Si>Mn>Yb>Lu

0,700 a 0,9 - ----

Elementos imóveis :

0,900 a 1,1 - Ga>Al

Elementos enriquecidos:

1,100 a 1,3 - ----

1,300 a 6,0 - Nb>Zr>Ta>Hf>Sn>Th>Ti>PF>Fe

COLÚVIO

Elementos lixiviados:

FE 0,001 a 0,3 - Na>K>Rb>Ca>Nd=Sm=U>La=Gd>Eu>Fe>Dy>Pb>F

0,300 a 0,7 - Ho>Si>Er>Ce>Y>P>Yb>Lu

0,700 a 0,9 - Ga

Elementos imóveis:

0,900 a 1,1 - Al

Elementos enriquecidos:

1,100 a 1,3 - Ta>Nb

1,300 a 6,0 - Hf>Zr>Th>Sn>PF>Fe

LATOSSOLO

Elementos lixiviados:

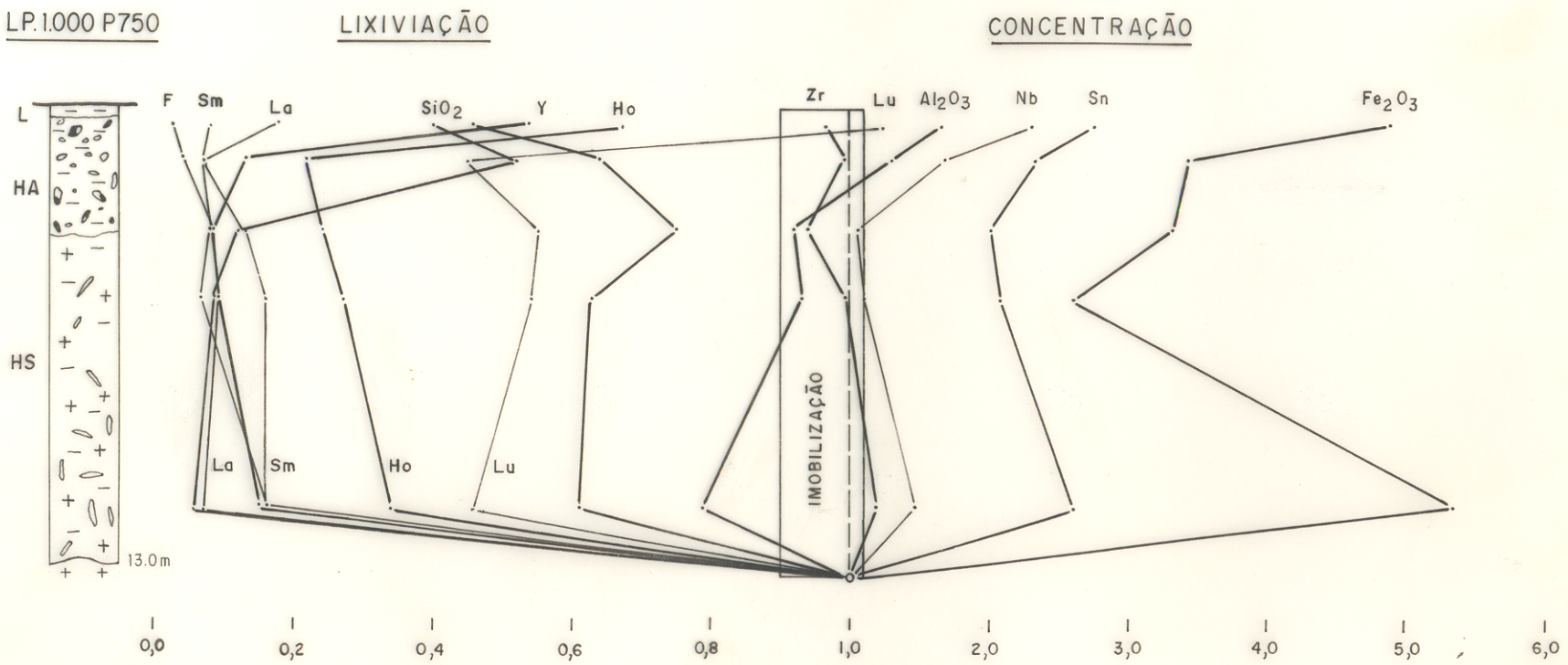
FE 0,001 a 0,3 - K>Na>Rb>Ca=F>U>Fe>Nd>Sm>Pb>La

0,300 a 0,7 - Si>Eu>Gd>P>Y>Mn>Zr>Ga

0,700 a 0,9 - Ce>Hf

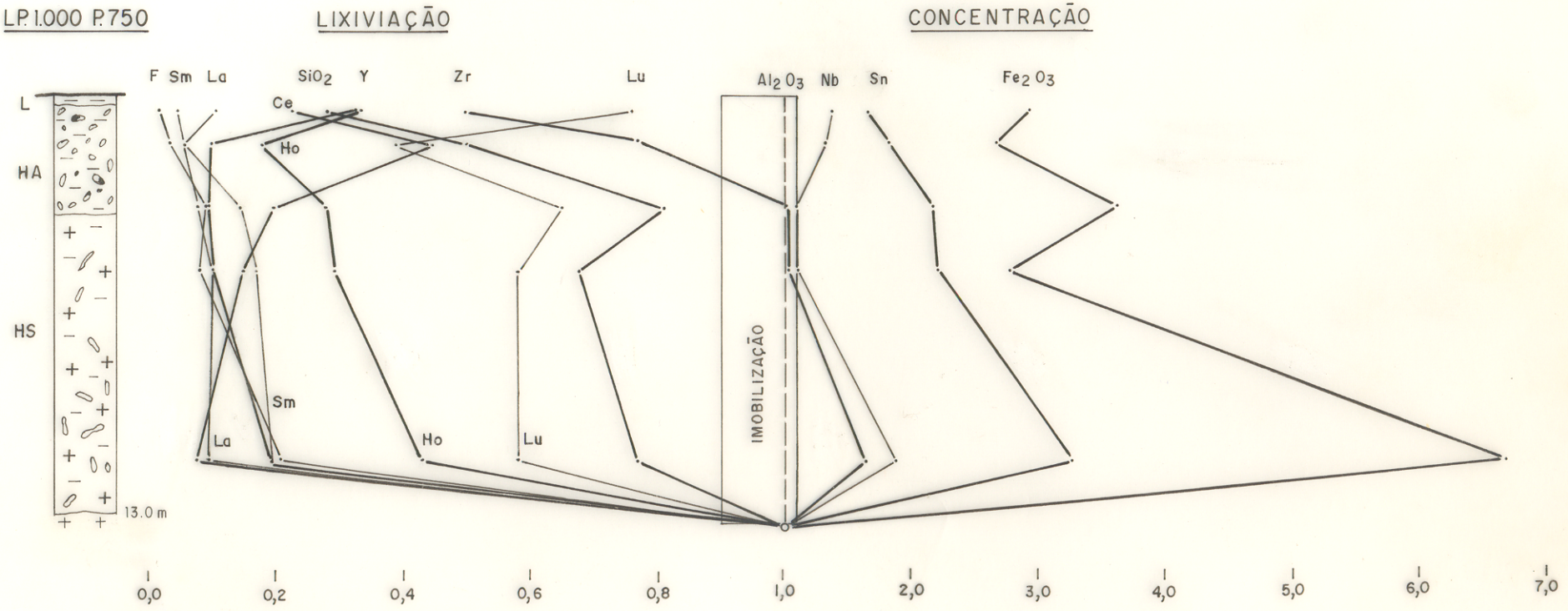
Elementos imóveis:

0,900 a 1,1 - Dy>Al



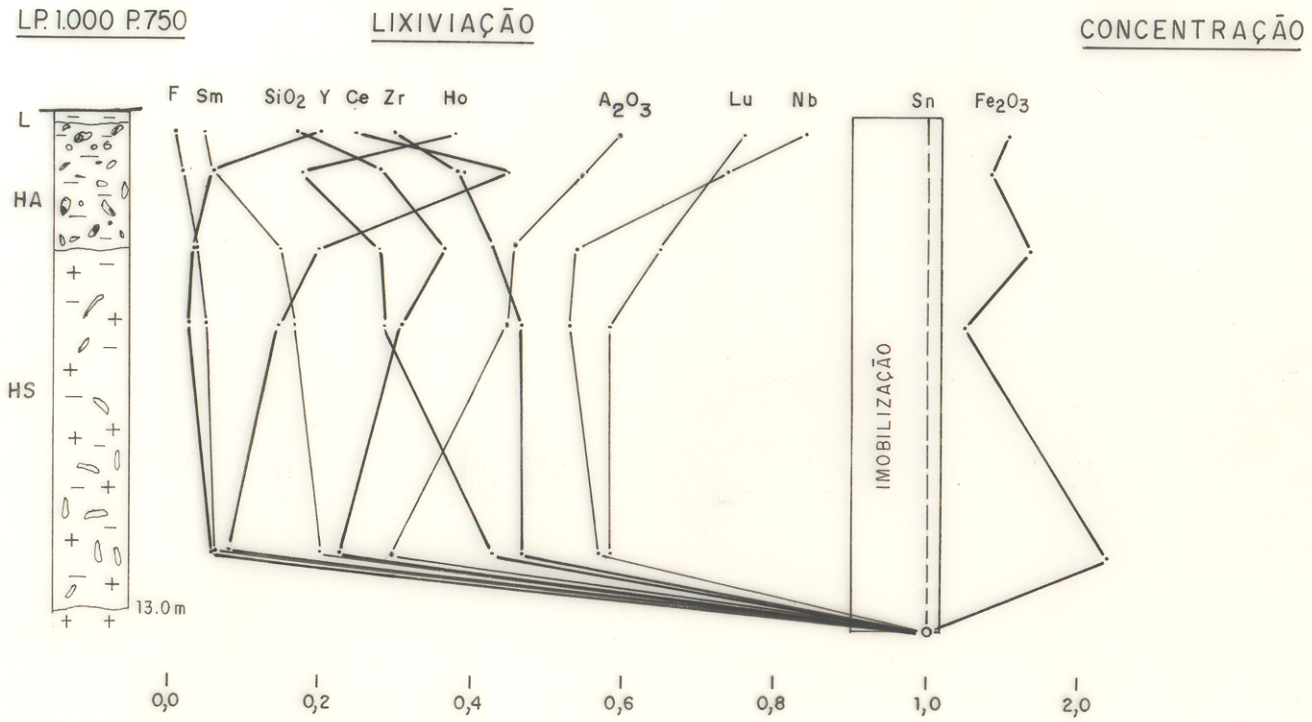
FATOR ISOVOLUMÉTRICO = [CONC(Rx) / CONC(HORIZ)] x [D(H) / D(Rx)]

FIGURA 64: Fator de enriquecimento isovolumétrico



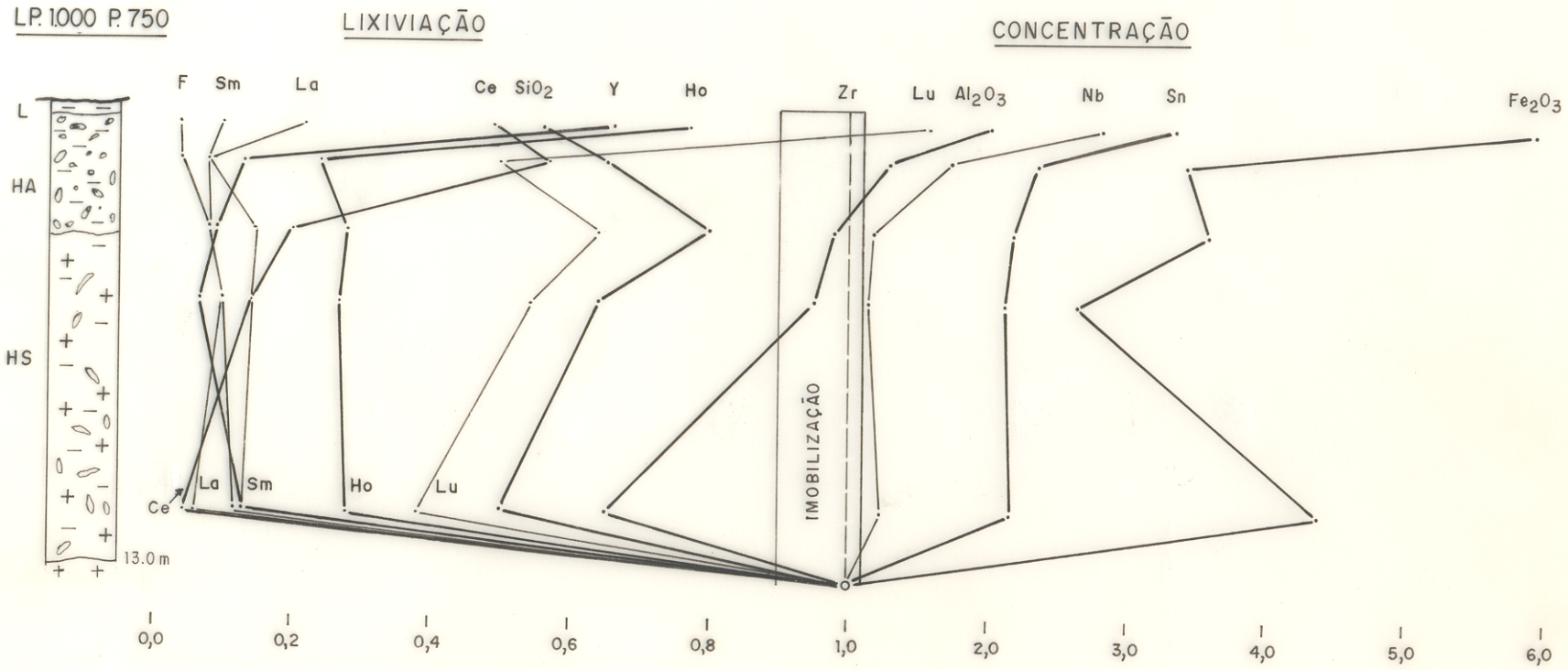
FATOR ISOQUÍMICO = $[CONC(Rx\text{-}Al_2O_3) / CONC(HORIZ\text{-}Al_2O_3)] \times [CONC(HORIZ) / CONC(Rx)]$

FIGURA 65: Fator de enriquecimento isoalumínio



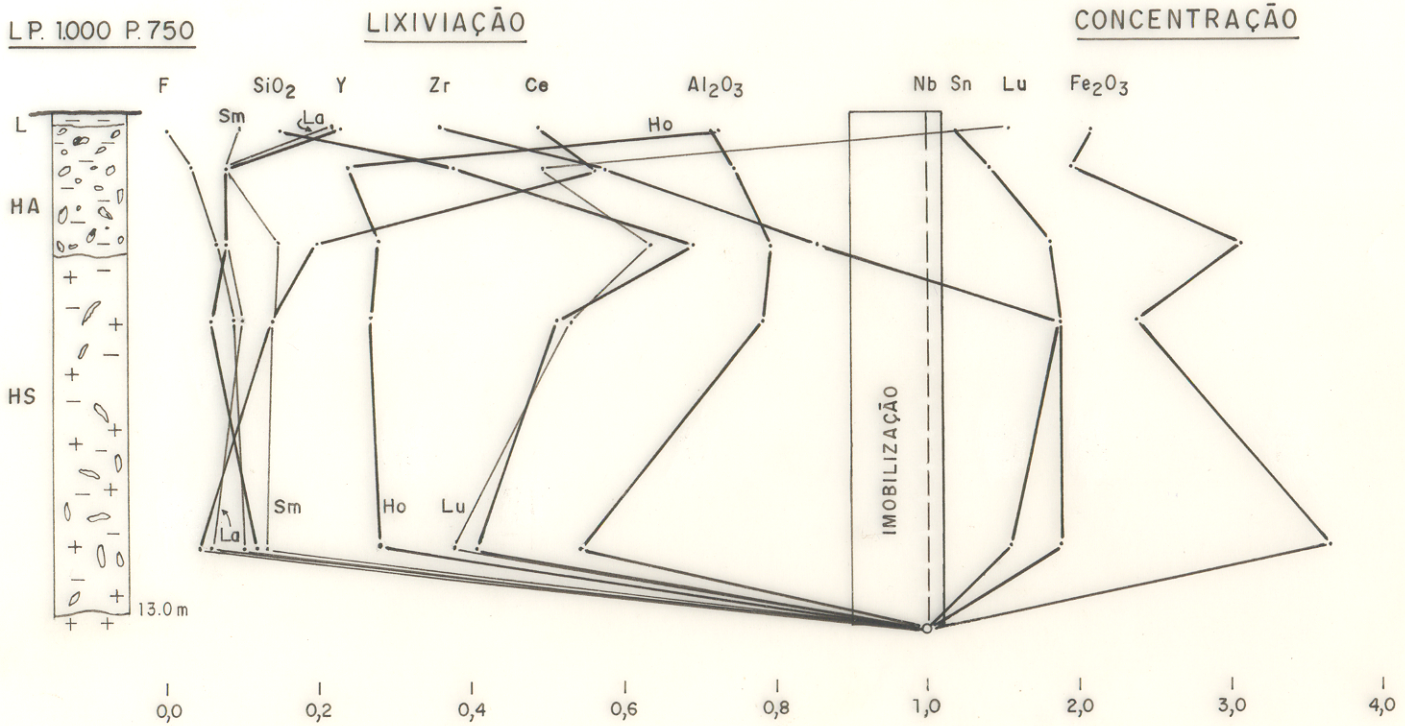
FATOR ISOQUÍMICO = [CONC(Rx-Sn) / CONC(HORIZ-Sn)] x [CONC(HORIZ)/CONC(Rx)]

FIGURA 66: Fator de enriquecimento isoestanho



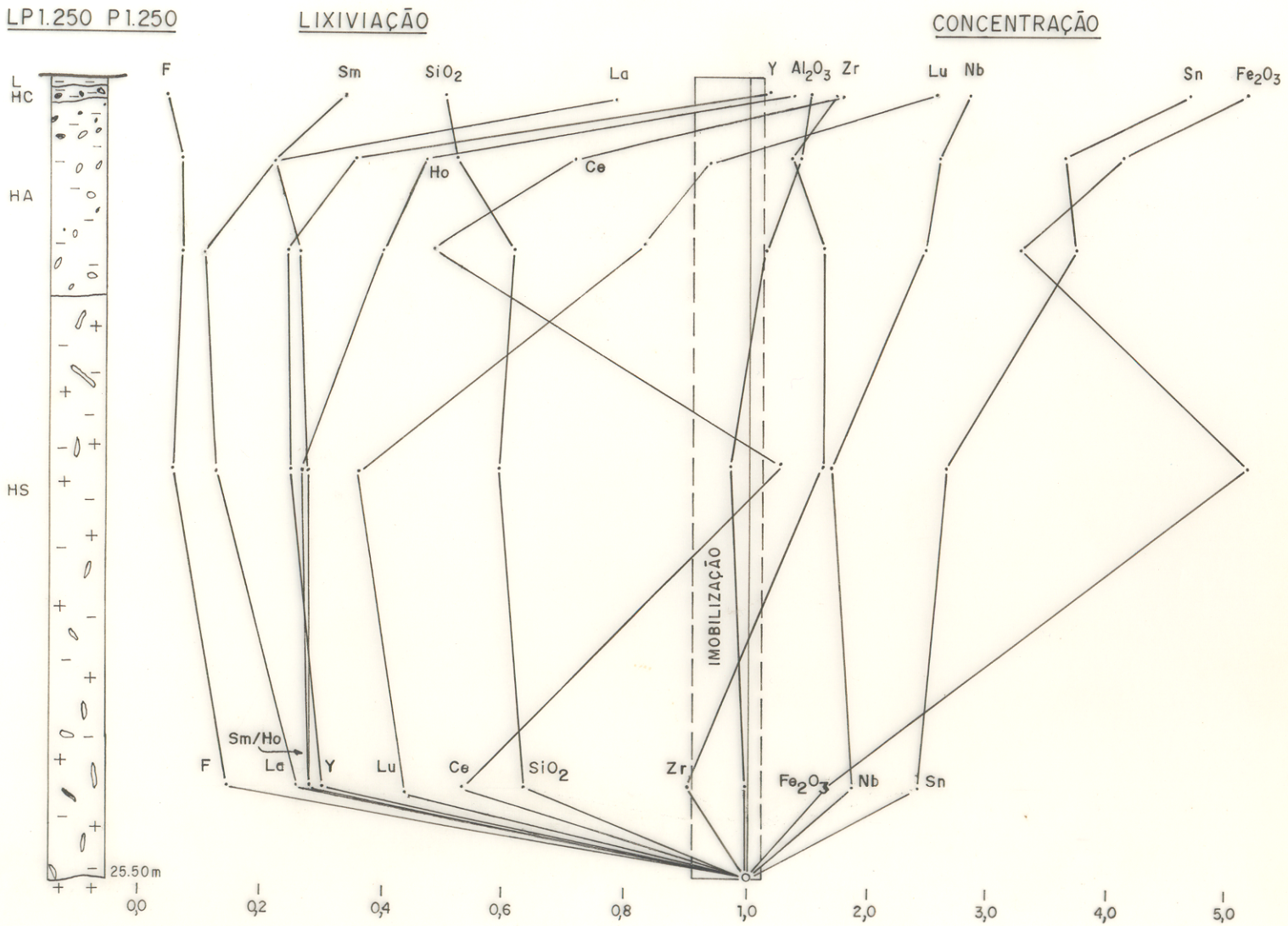
FATOR ISOQUÍMICO = [CONC (Rx – Zr) / CONC (HORIZ – Zr)] x [CONC(HORIZ) / CONC (Rx)]

FIGURA 67: Fator de enriquecimento isozircônio



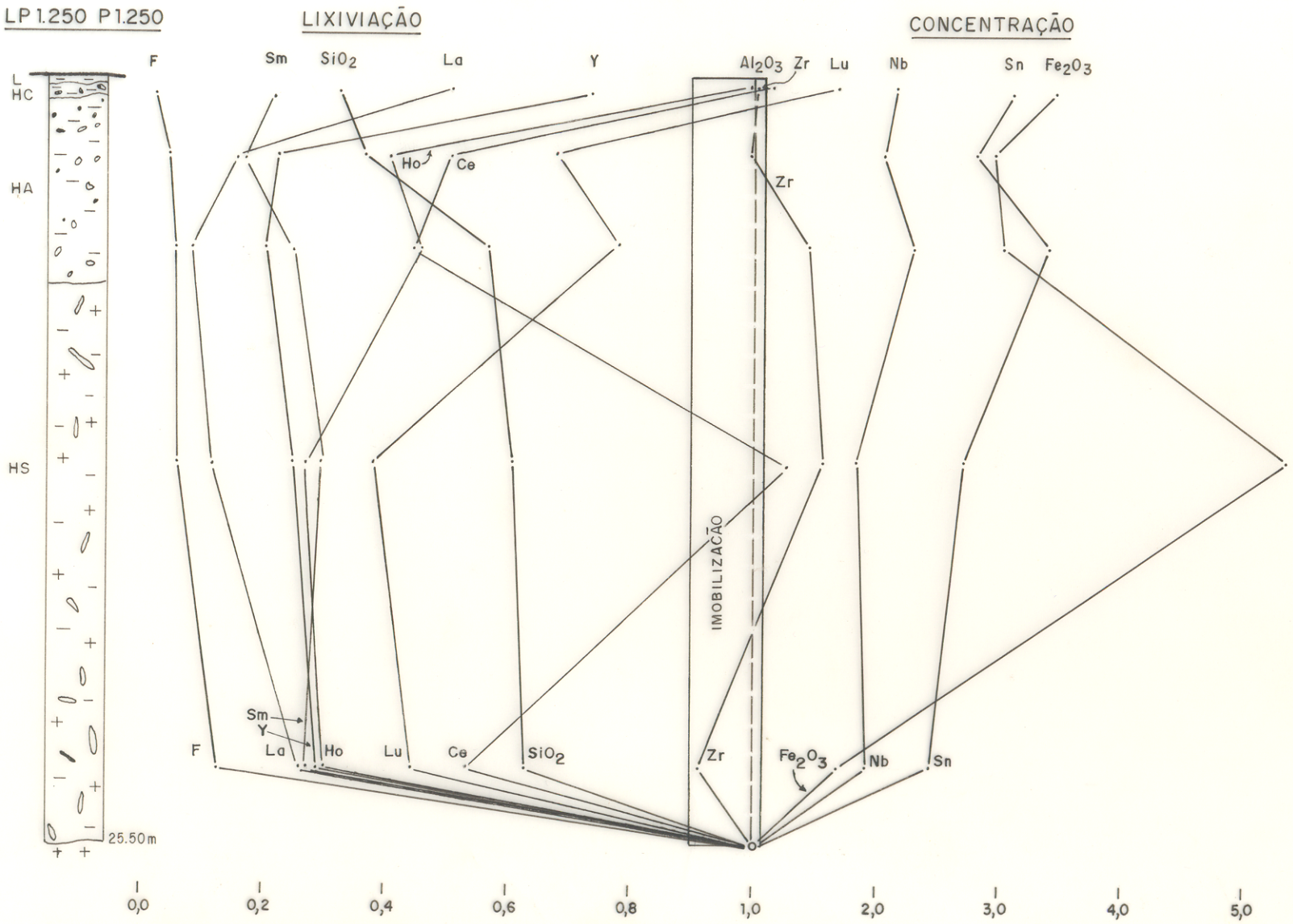
FATOR ISOQUÍMICO = [CONC (Rx - Nb) / CONC (HORIZ - Nb)] x [CONC (HORIZ) / CONC (Rx)]

FIGURA 68: Fator de enriquecimento isonióbio



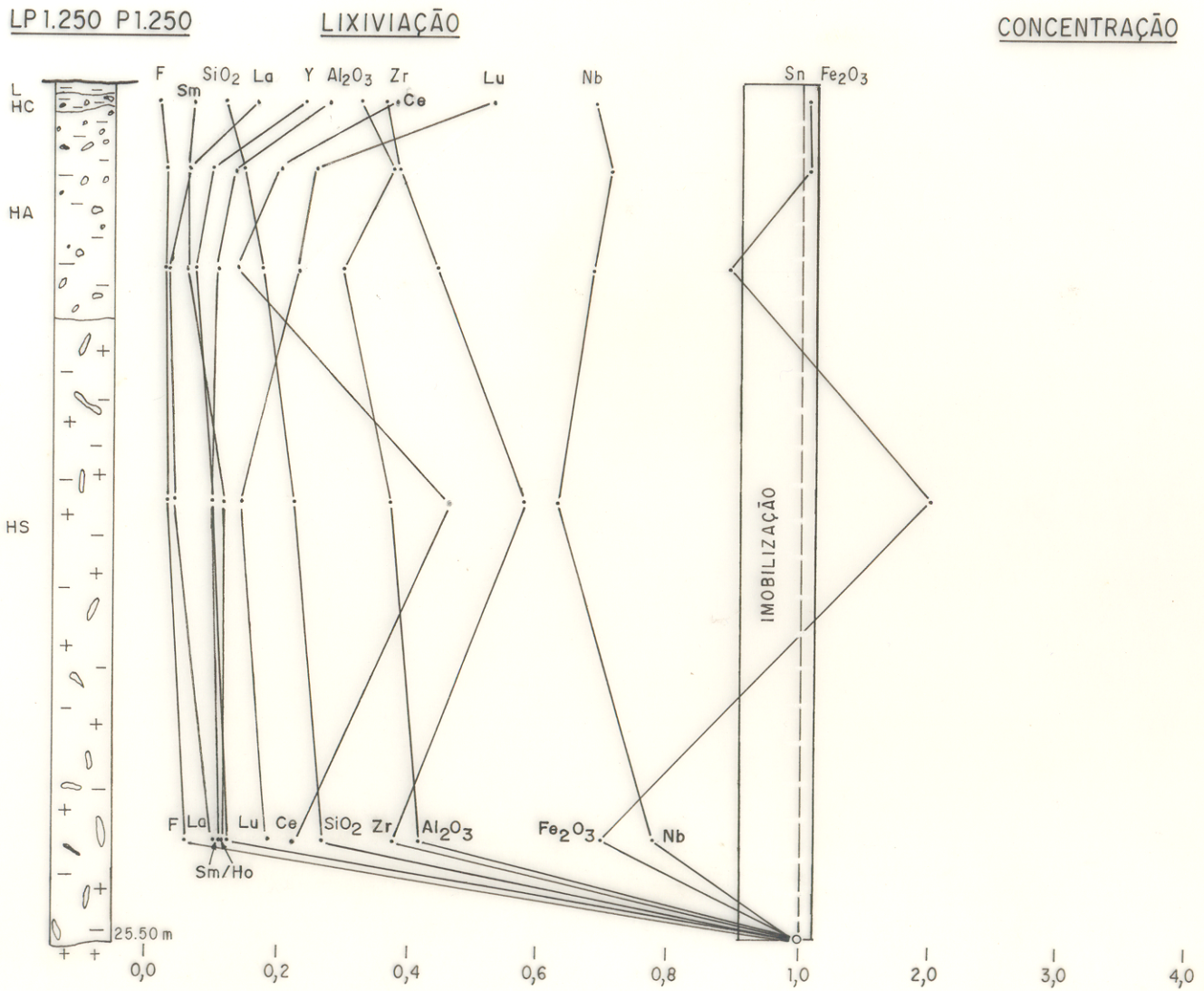
FATOR ISOVOLUMÉTRICO = [CONC (Rx)/CONC(HORIZ)] x [D(H)/D(Rx)]

FIGURA 69: Fator de enriquecimento isovolumétrico



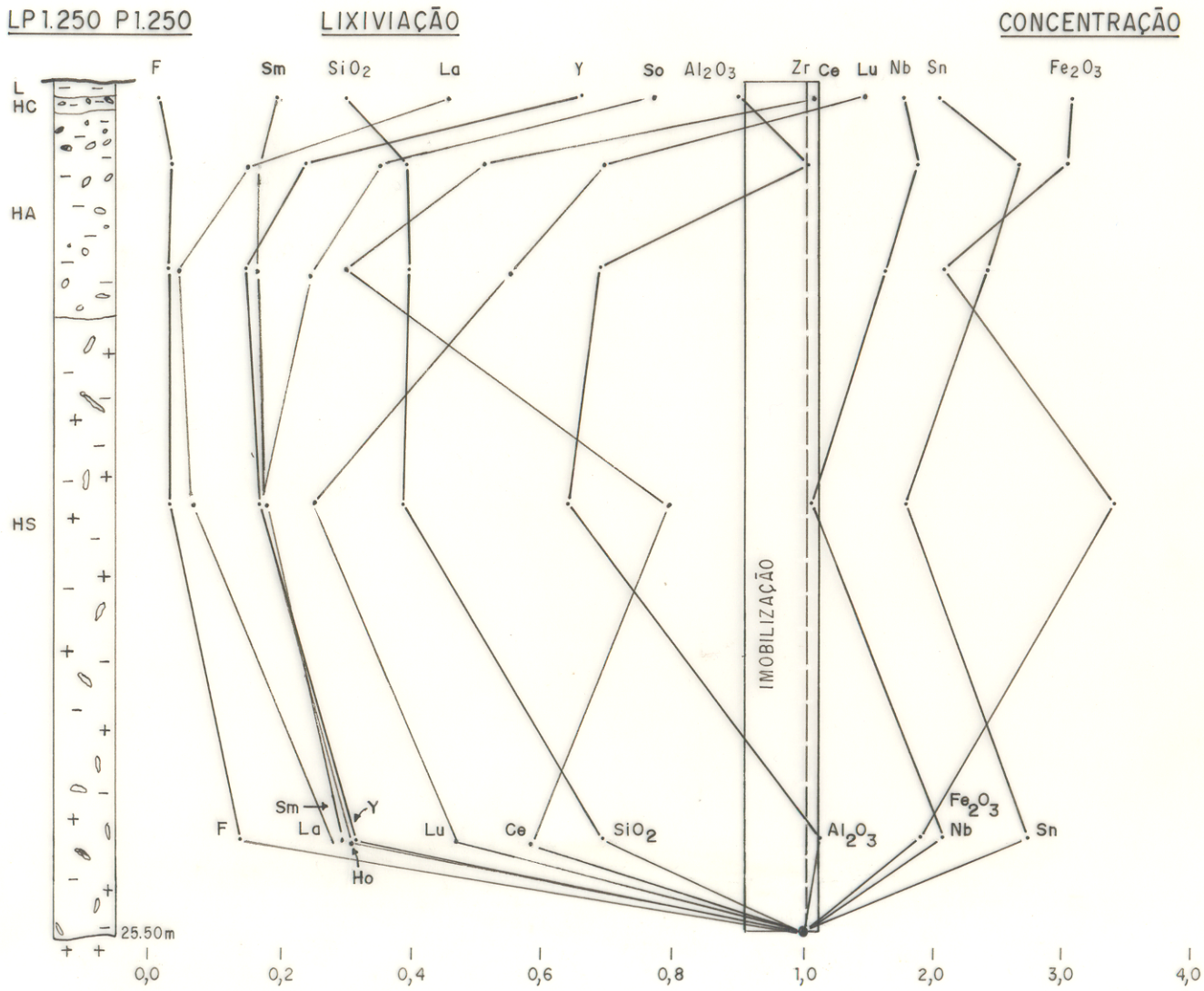
FATOR ISOQUÍMICO = [CONC (Rx - Al_2O_3) / CONC (HORIZ Al_2O_3)] x [CONC (HORIZ) / CONC (Rx)]

FIGURA 70: Fator de enriquecimento isoaluminio



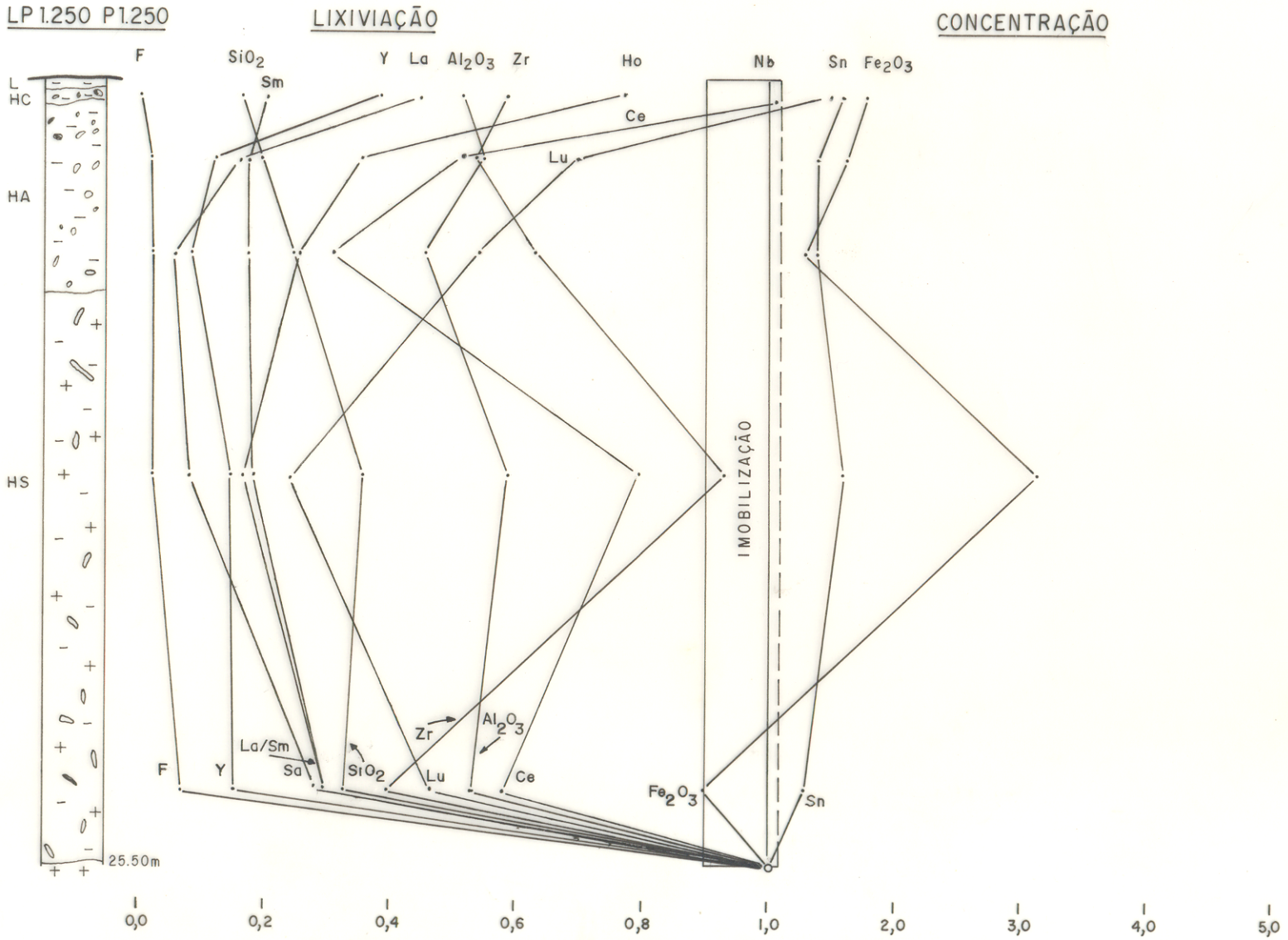
FATOR ISOQUÍMICO = [CONC (R x Sn) / CONC (HORIZ Sn)] x [CONC (HORIZ) / CONC (Rx)]

FIGURA 71: Fator de enriquecimento isoestanho



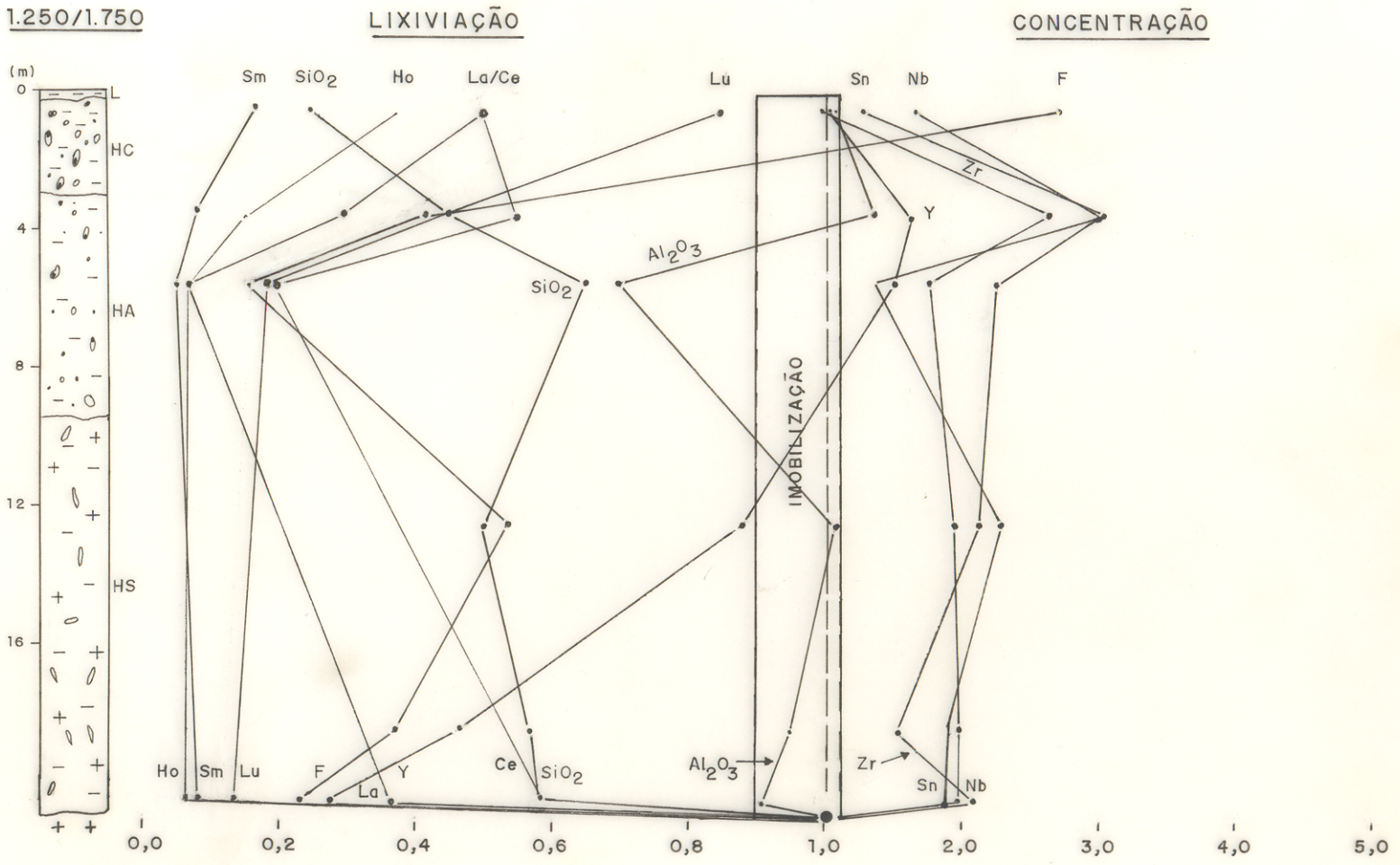
FATOR ISOQUÍMICO = [CONC(Rx Zr) / CONC(HORIZ Zr)] x [CONC(HORIZ) / CONC(Rx)]

FIGURA 72: Fator de enriquecimento isozircônio



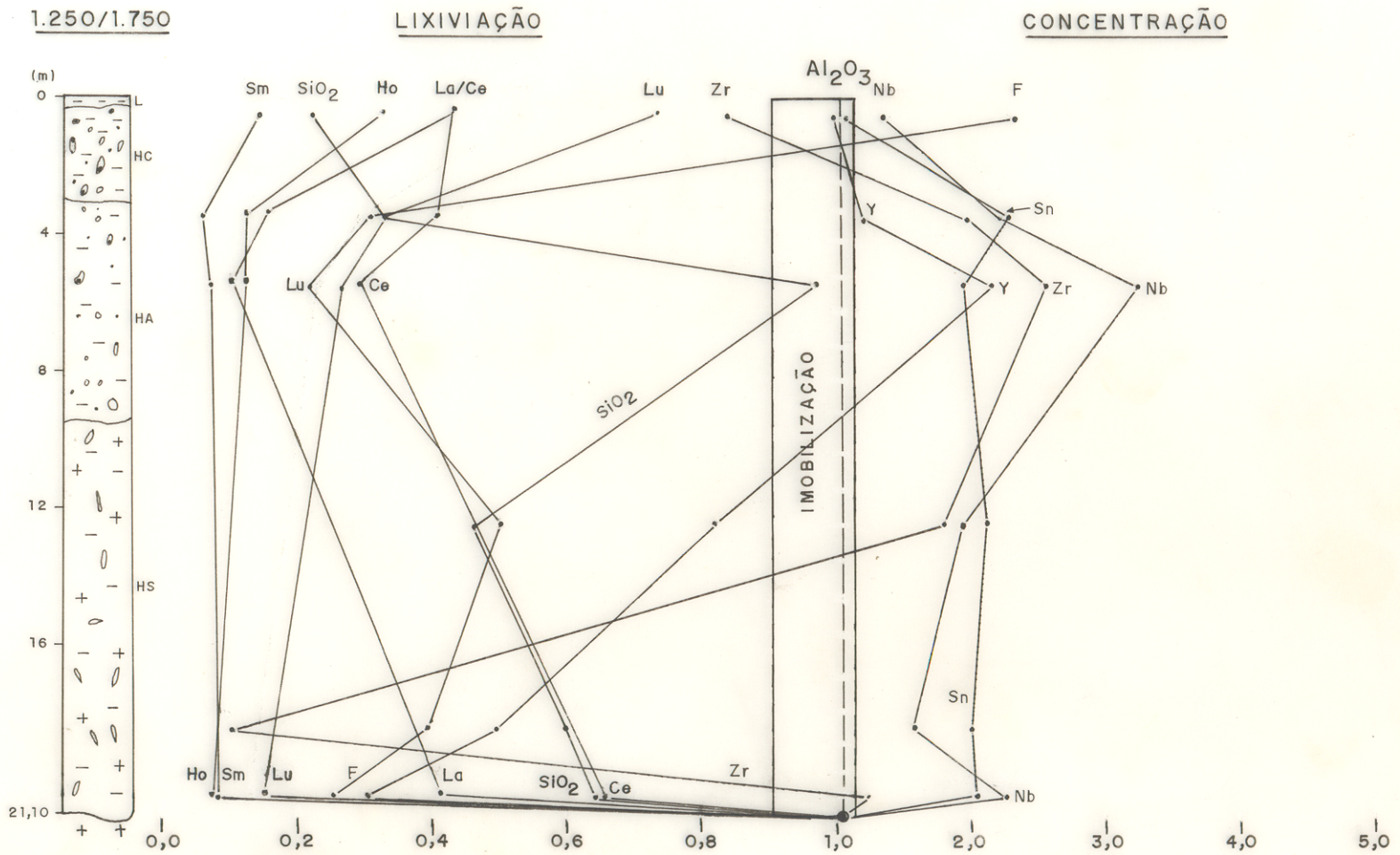
FATOR ISOQUÍMICO = [CONC (Rx Nb) / CONC (HORIZ Nb)] x [CONC (HORIZ) / CONC (Rx)]

FIGURA 73: Fator de enriquecimento isoniobio



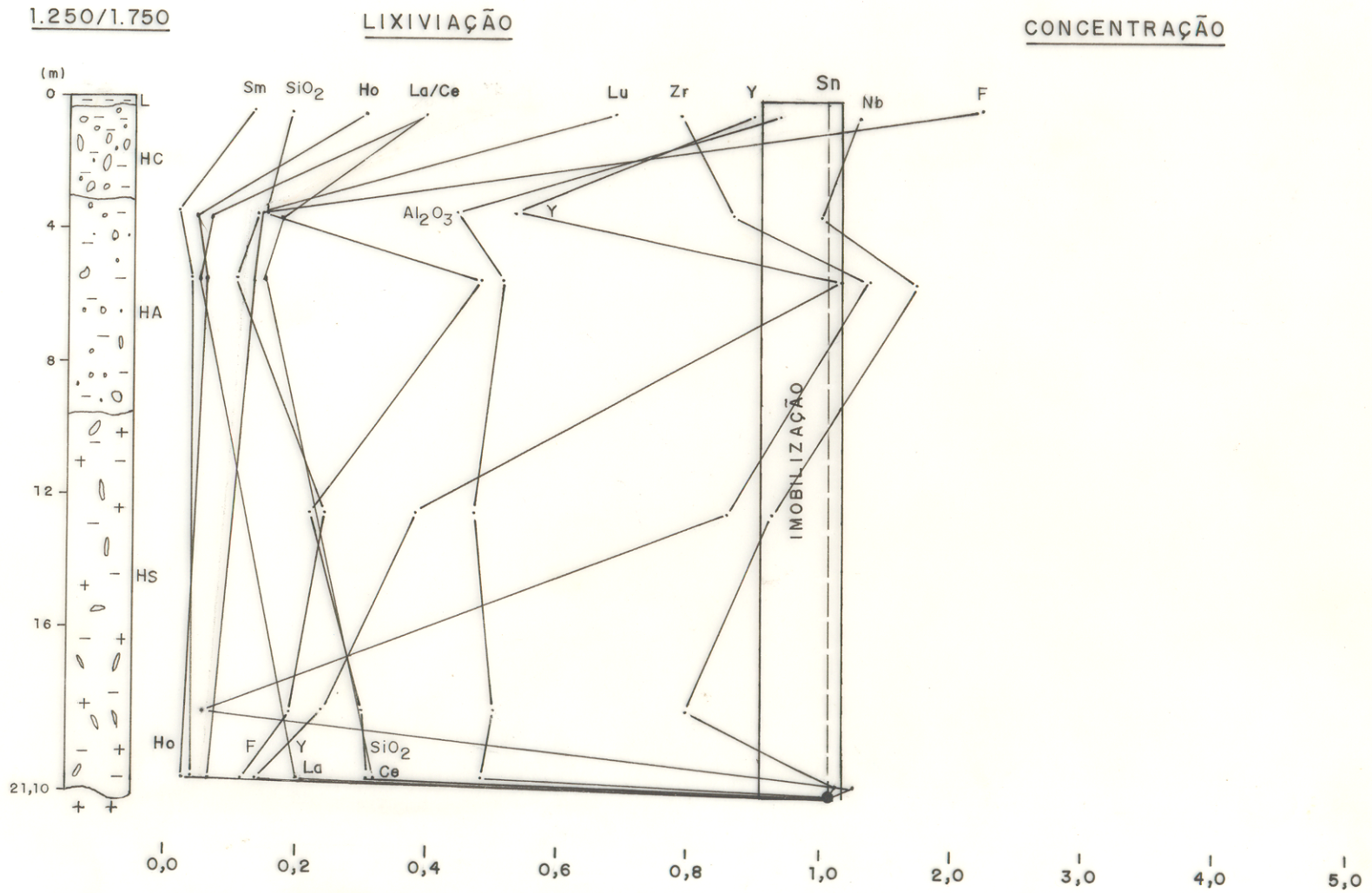
FATOR ISOVOLUMÉTRICO = [CONC (Rx) / CONC (HORIZ)] x [D (H) / D (Rx)]

FIGURA 74 : Fator de enriquecimento isovolumétrico



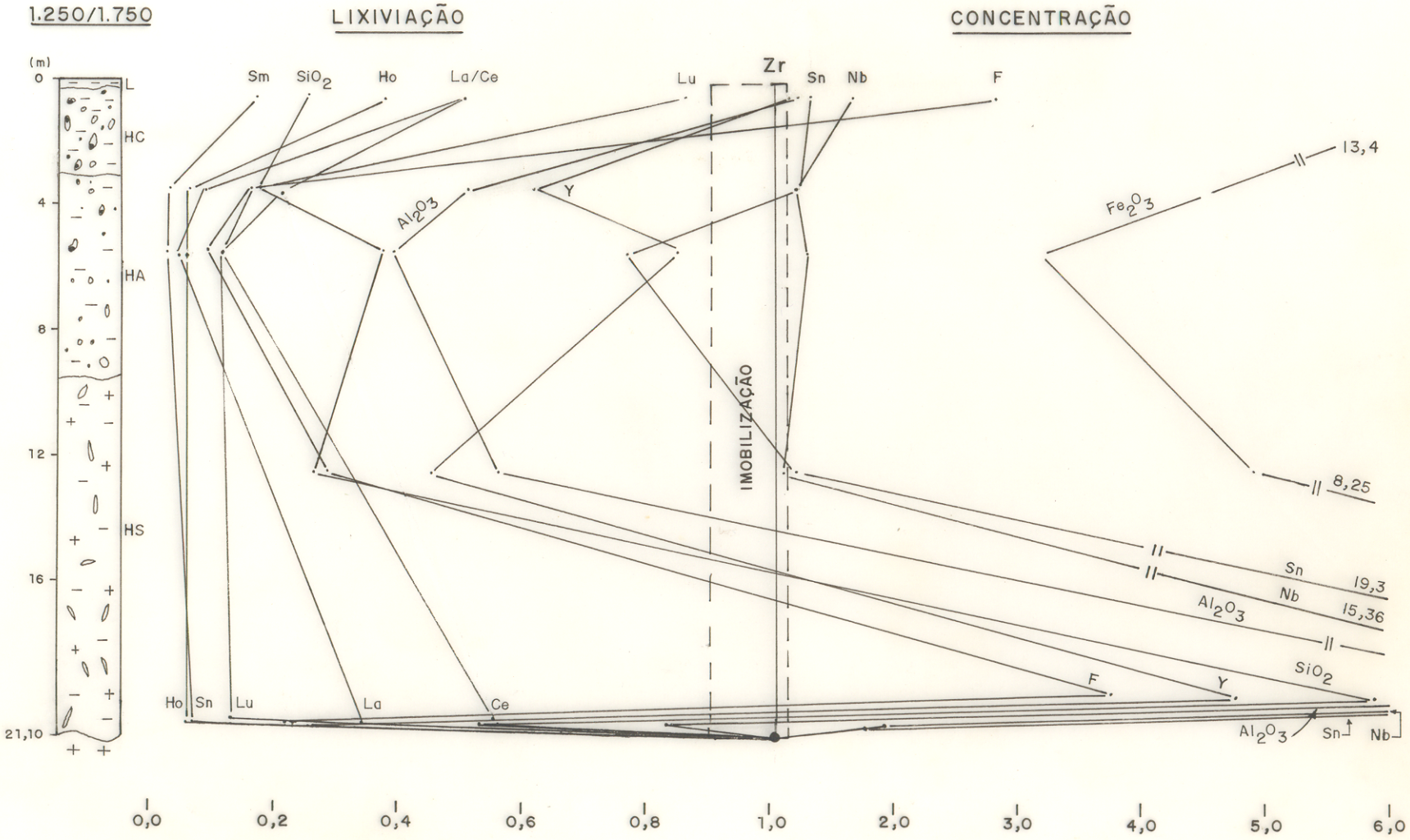
FATOR ISOQUÍMICO = [CONC(Rx Nb)/CONC(HORIZ Al_2O_3)] x [CONC(HORIZ)/CONC(Rx)]

FIGURA 75 : Fator de enriquecimento isoalumínio



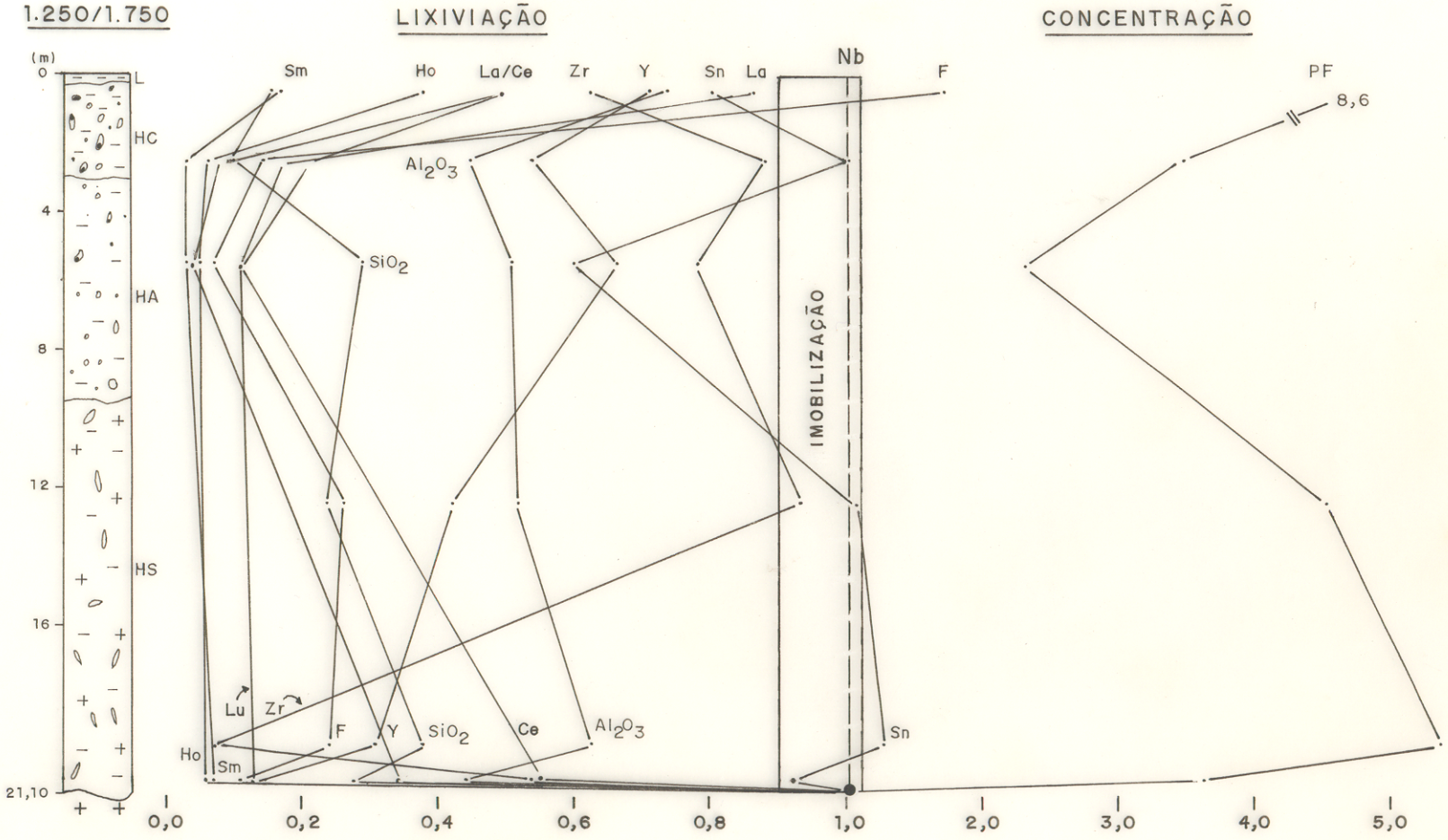
FATOR ISOQUÍMICO = {CONC (Rx Nb) / CONC (HORIZ Sn)} x {CONC (HORIZ) / CONC (Rx)}

FIGURA 76 : Fator de enriquecimento isoestanho



FATOR ISOQUÍMICO = [CONC (Rx Nb) / CONC (HORIZ Zr)] x [CONC (HORIZ) / CONC (Rx)]

FIGURA 77 : Fator de enriquecimento isozircônio



FATOR ISOQUÍMICO = [CONC (Rx Nb) / CONC (HORIZ Nb)] x [CONC (HORIZ) / CONC (Rx)]

FIGURA 78 : Fator de enriquecimento isonióbio

Elementos enriquecidos:

1,100 a 1,3 - Ho>Nb

1,300 a 6,0 - Er>Ta>Lu>Yb>Th>Sn>Fe

A sequência de mobilidade dos álcalis no perfil intempérico da Serra do Madeira é Na2O>K2O>CaO, incomum quando comparada com outros corpos graníticos. Segundo Tardy (1966) e Willians et al., (1986) a sequência normal de lixiviação para rochas graníticas é CaO>NaO>MgO>K2O com posições intercambiáveis entre os três primeiros e os dois últimos. A sequência da Serra do Madeira reflete perfeitamente o rápido intemperismo dos minerais essênciais da rocha mãe, onde predominam albita (An=0), quartzo e K-feldspato. A lixiviação moderada do Ca em relação aos demais álcalis, deve-se à presença deste elemento também na estrutura do pirocloro. A modificação na sequência de lixiviação no latossolo (K2O>Na2O>CaO) deve-se à influência da matéria orgânica que incorpora elementos que são sorvidos no ciclo vegetativo da floresta.

O SiO2 é representado principalmente pelo quartzo e feldspato. O rápido decréscimo do fator de enriquecimento da rocha mãe para o saprólito, se deve a lixiviação da SiO2 proveniente da destruição dos felspatos. A partir deste horizonte, a lixiviação é moderada devido à estabilidade do quartzo, provocada pela sua granulometria grosseira.

O Fe tem comportamento típico de elemento móvel na parte inferior do perfil e imóvel na parte superior, onde logicamente se enriquece. Com a destruição dos minerais máficos e sulfetos de ferro pelo processo laterítico, o Fe é liberado como Fe2+ complexado, móvel. É imobilizado em ambiente oxidante (zona de flutuação do lençol freático) por oxidação para Fe3+, insolúvel, precipitando na forma de hidróxido e acumulando-se absolutamente. Fatores de enriquecimento do Fe2O3, de até 23

vezes, mostram clara contribuição externa através do lençol freático. Origem semelhante tem os altos fatores da PF. O F é lixiviado, mas em menor intensidade que os álcalis, por ser parcialmente retido na estrutura da caolinita, substituindo o OH- (Thomas, et al., 1977), e/ou formar complexos com o alumínio AlF3.3H2O (Sanjuan e Michard, 1987). Este fato pode ser observado nas análises granulométricas, onde os teores mais elevados estão na fração argila.

O Ga mostra um comportamento imóvel, equiparável ao Al.

O Y e P são intensamente lixiviados no início do intemperismo (saprólito), mantendo fatores idênticos e constantes no restante do perfil. Esse comportamento é devido à presença de dois minerais portadores de Y e P, um instável ao intemperismo e portanto passível de decomposição, liberando esses elementos, que na ausência de nova barreira geoquímica, são lixiviados, o que promove o decréscimo abrupto do fator de enriquecimento. Um segundo mineral, a xenotima, imóvel ao intemperismo, mantém o fator de enriquecimento constante (0,4). O mineral instável ainda não foi identificado mas o balanço geoquímico do Y, a constância de teores elevados (na ordem de 1%) na base do horizonte saprolítico e a correlação de Y e W neste horizonte permitem deduzir a existência de uma ou mais fases com Y, W, Rb, F e ETR.

Os ETR são lixiviados no perfil laterítico com taxas diferenciadas formando quatro grupos bem distintos:

1 - Ce

2 - La, Nd, Sm, Eu e Gd

3 - Dy, Ho e Er

4 - Yb e Lu.

Todos os ETR são lixiviados da rocha mãe para o horizonte argiloso, o segundo grupo mais intensamente que o

terceiro e este mais que o quarto. O Ce apresenta comportamento isolado em relação aos demais grupos com fatores próximos a imobilidade no horizonte saprolítico e no latossolo. Os fatores de enriquecimento mais elevados do Ce em relação aos demais ETR, refletem as anomalias positivas desse elemento ao longo de todo o perfil. Essas anomalias são típicas dos perfis lateríticos. Esse comportamento indica que os ETR não estão relacionados somente aos minerais resistatos, xenotima e zircão, clássicos portadores de ETR, mas também a um terceiro mineral instável ao intemperismo, provavelmente o mesmo mineral portador de Y, e que controla parcialmente a distribuição dos mesmos na rocha mãe.

O Dy, Ho, Er e Yb e Lu têm fatores de concentração superiores a 0,9 no latossolo (anexo 5). Isto provavelmente esta relacionado a uma zona mais enriquecida em minerais resistatos, pois o fator de concentração dos ETRP neste horizonte é semelhante aos fatores de concentraçao dos elementos formadores destes minerais.

Os elementos Sn, Zr, Nb, Hf, Ta e Th têm fatores de enriquecimento, variando de 1 a 6 (anexo 4). O Sn é o elemento que apresenta maior variação (de 2 a 6). Os fatores mais elevados para Sn, estão no saprólito e não no horizonte concrecionário como seria normal na evolução de um perfil laterítico portador de minerais pesados, mostrando sua heterogeneidade de distribuição na rocha pré-laterítica. Fatores variando entre 1 e 4 para os demais elementos, mostram que a sua variação no perfil pré-laterítico é menos heterogênea.

Em função da alta estabilidade de minerais como cassiterita, zircão e columbita (resistatos), frente à lateritização, seus constituintes químicos principais podem ser usados para o balanço geoquímico. Os fatores obtidos (anexo 5) para balanço isoestanho, isozircônio e isonióbio mostram que

estes elementos têm comportamento diferenciado em cada cálculo.

No balanço isoestanho, os elementos Zr, Nb, Ta e Hf apresentam fatores menores que 1 típicos de elementos lixiviados. O Al que é praticamente imóvel no balanço isovolumétrico e isoalumínio, também tem fator menor que um. No isonióbio, os fatores anormais são os da SiO2, Al2O3 e Fe2O3 (valores muito elevados) no saprólito, não compatíveis com o comportameto dos mesmos. O balanço isozircônio é o que apresenta fatores mais próximos dos balanços isovolumétrico e isoalumínio.

Essa variação de comportamento em função do elemento usado no balanço geoquímico é interpretado como reflexo da composição das rochas pré-laterítica, decorrente de zoneamentos verticais e horizontais da rocha mãe. O zircônio parece o elemento mais indicado para os cálculos.

Alguns elementos químicos como Fe, F, Sn, Zr, Nb e Y apresentam para determinados horizontes dos perfis 500/875, 1250/1750 (figura 75), 1600/1000, 1750/375 (anexo 4) fatores de enriquecimento (isoalumínio) anormais. Essa anormalidade é causada por heterogêneidade de distribuição desse elementos na rocha mãe. No perfil 1250/1750, o teor de Fe2O3 na rocha mãe é 0,10% definindo fatores acima de 40 em todo o perfil para esse elemento, motivo pelo qual este elemento não consta nas figuras 74 a 78.

Fato semelhante ocorre no perfil 500/875 (anexo 4) com teores de F (0,02%), Sn (0,006%) e Zr (0,59%) na rocha mãe provocando a elevação anormal dos fatores de enriquecimento. No perfil 1500/1500, no intervalo de profundidade de 5,50m, o teor de Sn é 0,008% o que provoca uma redução no seu fator de concentração para 0,09, idem para o Zr nos intervalos de 0,5m; 5,50m; 8,50m e 12,5m de profundidade com fatores 0,69; 0,56; 0,05 e 0,59 respectivamente.

Os perfis 1600/1000 e 1750/375 apresentam fatores de

concentração totalmente anormais para F, Sn, Zr, Nb e Y. Aparentemente, não há relação entre a rocha mãe e o perfil. O perfil 1600/1000 tem teores muito baixos de F, Sn, Zr e Nb na rocha mãe, acarretando fatores acima de 1,0 para F, de 0,31 a 59 para Sn, de 0,09 a 0,9 para Zr e de 0,05 a 0,73 para Nb, em desacordo com os fatores desses elementos nos demais perfis. Conclui-se que a composição da rocha que deu origem a esse perfil não é semelhante a considerada neste cálculo.

No perfil 1750/375, ocorre o inverso, do perfil acima descrito, mas de consequência similar. Os teores do perfil são muito baixos em relação à rocha mãe e os fatores para Sn, Zr e Nb estão abaixo de um. Somente os horizontes próximos ao topo do perfil, o colúvio e o topo do argiloso mostram fatores compatíveis com o comportamento desses elementos nos demais perfis, indicando que para este o topo do perfil é provavelmente alóctone.

Os fatores para o colúvio destoam um pouco do conjunto, principalmente nos elementos lixiviados, por ser formado a partir de material proveniente do desmantelamento dos demais horizontes, representando mistura de material.

4.3.1.1. Conclusões

Os dados do balanço geoquímico permitem concluir, que o perfil laterítico da Serra do Madeira, desenvolveu-se isovolumetricamente apenas nos horizontes saprolítico e argiloso, fato confirmado pelo balanço isoalumínio. O balanço também mostra claramente, que o perfil se desenvolveu a partir de rocha mãe com distribuição heterogênea de seus minerais de minério, especialmente cassiterita, xenotima e columbita. O zircão é o que apresenta distribuição menos heterogênea.

A evolução do perfil se dá com lixiviação intensa dos

álcalis, Fe, F, Pb, U e ETRL-Ce. Lixiviação moderada de Si, Mn, Y, Ga, P, Ce e ETRP. Contínuo enriquecimento relativo de Sn, Zr, Nb, Hf, Ta e Th. Enriquecimento absoluto de Fe, Ti e PF e comportamento praticamente imóvel do Al. Fe e F são elementos móveis e imobilizados. No horizonte saprolítico, o Mn, Ce, Pb e Ga podem ser considerados imóveis e no latossolo somente o Ce além do Dy e Al.

A comprovação da baixa mobilidade do Al permite que este seja usado no cálculo do teor dos elementos na porção intemperizada, tendo por base o teor dos mesmos na rocha mãe e comprova os resultados de densidade para o perfil, com valor médio de 1,7 g/m3 para o horizonte saprolítico e argiloso e 1,9g/m3 para os horizontes de topo do perfil.

É primordial ressaltar a importância dos cálculos isoquímicos e isovolumétricos para a definição do comportamento dos elementos a partir da rocha mãe. Esse método, se adotado na fase inicial de pesquisa, auxilia o entendimento dos fenômenos atuantes na formação do perfil e principalmente, direciona o estudo mineralógico da jazida através de prévia definição do comportamento dos elementos ao longo do perfil.

4.3.2 Associações químicas

Neste capítulo, foram definidas as associações geoquímicas do perfil laterítico da Serra do Madeira, enfatizando a rocha mãe os horizontes saprolítico, argiloso e o conjunto concrecionário-colúvio-latossolo. As associações foram identificadas através de análises de agrupamento para cada um deste horizontes e a rocha mãe, e estão ilustradas na figura 79.

Uma interpretação mais completa de algumas associações, foi dificultada pela ausência de estudos mineralógicos de detalhe a nível de minerais traços, especialmente de suas composições químicas na rocha mãe e no perfil laterítico.

4.3.2.1 Rocha Mãe

Os elementos químicos na rocha mãe estão agrupados em dois grandes grupos (figura 79):

- SiO_2-P-Be-Y-K_2O-Rb-Nb-Pb-Li-ETR

Neste grupo, destaca-se a correlação K_2O-Rb, clássica, típica de minerais micáceos, no caso biotita. Os ETR formam uma associação única, podendo estar definindo a existência de um mineral próprio de ETR (bastnaesita) ou a dispersão desses elementos em vários minerais (zircão, xenotima, torita, pirocloro, além de bastnaesita). A correlação, menos significativa, dos ETR com Li, Pb e Nb podem estar indicando teores elevados desses elementos no pirocloro. Este grupo representa os minerais formadores da rocha, o quartzo e os micáceos.

- Al_2O_3-Sn-MgO-Ba-Ga-CaO-U-Th-Fe_2O_3-Ta-FeO-MnO-Zr-Na_2O-F

Neste grupo, destacam-se as associações CaO-U-Th representando o pirocloro, MnO-Zr para o zircão e Na_2O-F para a criolita. O grupo, como um todo, representa os feldspatos e anfibólios, além dos acessórios (cassiterita, zircão, torita, pirocloro, criolita e fluorita)

4.3.2.2 Horizonte saprolítico

Neste horizonte, os elementos químicos também formam dois grandes grupos que divergem parcialmente daqueles da rocha mãe:

- SiO_2-Ce-FeO-Na_2O-K_2O-Rb-(ETRL+Gd)-F-MgO-TiO_2-P

Neste grupo, persiste ainda a correlação K_2O-Rb indicativa dos minerais micáceos. Os ETR, deste grupo, são agora

representados apenas pelo La-Nd-Sm-Eu-Gd em decorrência da provável desestabilização de um ou mais minerais de ETR da rocha mãe. Isto é confirmado pelo balanço geoquímico, que mostra que esses elementos, neste horizonte, foram intensamente lixiviados. O Ce apresenta-se isolado dos outros ETR, indicando comportamento diferenciado. O Ce é lixiviado mais lentamente que os demais ETR neste horizonte. Outra correlação positiva significativa é TiO2-P, que se sobressai neste horizonte e deve representar a acumulação relativa residual de anatásio e xenotima. Este grupo, como um todo, representa o quartzo, as micas e os acessórios (xenotima e anatásio).

- Al2O3-PF-Fe2O3-CaO-Sn-Nb-Ta-MnO-Pb-Zr-Hf-(ETRP-Gd)-Ga-Y-W

Neste grupo, destaca-se a correlação Al2O3-PF, representando principalmente, a caolinita e secundariamente a gibbsita. A subassociação Al2O3-PF-Fe2O3, representa o manchamente da caolinita pelos hidróxidos de ferro. As correlações Nb-Ta e Zr-Hf não delineadas na rocha mãe, se sobresaem classicamente neste horizonte, representando a columbita e o zircão respectivamente. A subassociação Sn-Nb-Ta mostra que a columbita-tantalita e a cassiterita estão geneticamente relacionadas entre si. A associação maior (Zr-Hf)-(Dy-Ho-Er-Yb-Lu) representa a presença dos ETRP(exceto Gd) na estrutura do zircão (Fujimaki, 1986 e Henderson, 1984). A forte correlação positiva Y-W sugere o acúmulo residual destes elementos em minerais independentes e resistatos (xenotima, cassiterita respectivamente). O surgimento desta correlação no saprólito, é fruto da destruição de um mineral primário de ítrio já neste horizonte, conforme atestou o balanço geoquímico. O grupo, como um todo, representa o domínio dos argilo-minerais (caolinita, haloisita), gibbsita, hematita e os acessórios

(columbita-tantalita, cassiterita, zircão e xenotima).

4.3.2.3 Horizonte argiloso

No horizonte argiloso, as associações obtidas com base no dendrograma (figura 79), experimenta nova modificação em relação ao horizonte saprolítico, certamente devido a quase total lixiviação dos elementos móveis e o maior acúmulo dos imóveis.

É marcante a modificação na associação dos elementos.Os que se associavam com SiO2, passam agora a terem seu comportamento relacionado ao Al2O3, com exceção do MgO, K2O, Na2O, Rb, Sm e Gd, que mantém-se fiéis a SiO2 e a PF, CaO e MnO permanecem com a Al2O3. Tem-se dois grandes grupos:

-SiO2-Fe2O3-MgO-K2O-Rb-Na2O-Pb-(ETRP+Sm)-Sn-Nb-Ta-Zr-Hf-Y-W-Ga

A associação K2O-Rb ainda persiste neste horizonte como minerais micáceos. A associação maior Sn-(Nb-Ta)-(Zr-Hf) também persiste neste horizonte, representando os minerais pesados (cassiterita, columbita e zircão) que têm o mesmo comportamento no perfil, tendendo a se enriquecer por igual.

A correlação Y-W persiste neste horizonte com coeficiente de correlação ainda mais significativo. Com relação aos ETR (Dy-Ho-Er-Yb-Lu), observa-se também a sua passagem para o grupo da SiO2, acrescidos do Sm e Gd. Provavelmente, essa nova reorganização dos ETR e dos demais elementos representa o acúmulo maior dos resistatos (zircão, xenotima e torita) e a estabilização dos teores de caolinita e quartzo.

-Al2O3-PF-F-FeO-TiO2-P-(ETRL-Sm)-CaO-MnO

Neste grupo, a associação Al2O3-PF persiste, com aumento do seu coeficiente de correlação, como caolinita e gibbsita. A correlação do F com Al2O3-PF, sugere a sua presença na caolinita. A associação TiO2-P, também persiste neste

horizonte, com fator de correlação ainda maior (r=0,76) do que o saprólito.

A associação La-Nd-Sm-Eu-Gd, relacionada ao grupo da SiO2 no saprólito, neste horizonte está parcialmente modificada, relacionada ao Al2O3, isto é, houve a saída do Sm e Gd e entrada do Ce, ficando assim estabelecida: La-Nd-Eu-Ce. Provavelmente esta associação marca o início da formação da cerianita, descrita por Braun et al., (1990) em perfis lateríticos com forte anomalia positiva de Ce.

O grupo, como um todo, representa os minerais micáceos, caolinita, gibbsita, cerianita, xenotima e anatásio.

4.3.2.4 Horizonte de Topo (concrecionário, colúvio e latossolo)

Nestes horizontes em conjunto, também têm-se dois grandes grupos ainda sob a influência da SiO2 e Al2O3.

-SiO2-K2O-Rb-Pb-MnO-Zr-Hf-Y-P-Sn-Nb-Ta-Ga-W-F-FeO-MgO

Neste grupo,persistem as associações principais já observadas no horizonte argiloso, são elas: Zr-Hf para zircão, Sn-(Nb-Ta) para cassiterita e columbita. A correlação K2O-Rb também persiste neste horizonte, apesar dos teores próximos ao limite de detecção para os dois elementos. No saprólito e argiloso o Y se correlacionava com o W enquanto neste horizonte o Y passa a se correlacionar com o P (figura 79) confirmando a tendência de enriquecimento para o topo dos minerais resistatos, no caso a xenotima, formando suas associações próprias como ocorre com o Zr-Hf e Nb-Ta. Este grupo representa o quartzo, zircão, xenotima, columbita e cassiterita.

-Al2O3-La-Nd-Sm-Gd-Dy-Ho-Er-Yb-Lu-Eu-CaO-Ce-TiO2-PF-Fe2O3-Na2O

Aqui os ETR, exceto o Ce, passam novamente a serem

controlados pelo Al2O3, formando uma única associação maior. Este isolamento do Ce caracteriza a presença de um mineral próprio, provavelmente cerianita. Esse reagrupamento dos ETR pode sugerir também a dispersão dos ETR em vários minerais (zircão, xenotima, torita e cerianita), como já observado na rocha mãe, e até mesmo em outro mineral neoformado, que contivesse Er, Yb e Lu, que tem fatores de enriquecimento maiores que dos elementos formadores de minerais resistatos. A presença de Ce isolado das demais correlações, de modo semelhante a sua ocorrência no horizonte argiloso, e a modificação das associações entre os ETR, caracteriza mobilidades diferente para esses elementos, como pode ser constatado pelo balanço geoquímico. Esse tipo de comportamento é atípico, considerando-se a presença de ETR somente em minerais resistatos. O TiO2 e P que se correlacionavam entre si nos horizontes saprolítico e argiloso neste, o TiO2 se correlaciona a PF.

Este grupo representa a caolinita, neoformações de ETR e hematita.

5 - CONCLUSÕES

O processo laterítico, Terciário, policíclico, superposto à rocha mãe permitiu a formação de uma jazida laterítica autóctone com altas concentrações em Sn, Zr, Nb, Y e ETR, na ordem de uma a seis vezes (em média 2 vezes) em relação à rocha que lhe deu origem. A grande variação nos fatores de concentração destes elementos é em parte devida a uma distribuição heterogênea na rocha pré-laterítica, como também a mobilidade/imobilidade localizada de alguns deles (Y e ETR). O seu truncamento por processos erosivos associados à fase final de sua evolução, no Terciário Superior e Quaternário, ocasionou a formacão de extensos depósitos alóctones aluvionares nas drenagens circunvizinhas a Serra. A formação dessas jazidas aluvionares, promoveu a reconcentração dos minerais pesados na ordem de cinco vezes em relação à porção laterítica, devido à intensa dispersão dos finos, durante a deposição de minério aluvionar as expensas do laterítico, facilitando a lavra.

Do mesmo modo, a intensa caolinização sofrida pela rocha mãe, durante a lateritização que formou um espesso pacote de material de fácil desagregação, levando ao domínio das frações finas (D e C), torna o processo de lavra mais rápido e simples, substituindo a fase intermediária de britagem e simplificando a explotação do minério. Contudo, a alta quantidade de quartzo, de granulometria grosseira (A e B), principalmente no horizonte saprolítico, torna o material altamente abrasivo.

Os elementos formadores dos minerais de minério, foram pelo processo laterítico, concentrados nas frações C e D para o Y, ETR e Nb, enquanto o Sn e Zr estão concentrados nas frações B e C.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, J.F.V.; MONTALVÃO, R.M.G. DE; LIMA, M.J.C. DE; FERNANDES, P.E.C.A.; CUNHA, F.M.B. DA; FERNANDES, C.A.C. & BASEI, M.A.S. 1976. Geologia da Folha SA-21 Santarém. In: BRASIL/MME, DNPM. Projeto RADAM. Rio de Janeiro, Deto. Nac. Prod. Min. V.10, p 17-31.

BAKER, J.H. 1985. Rare earth and other trace elements mobility accompanying albitization in a Proterozoic granite, W. Bergslagen Sweden. Mineralogical Magazine, 49:107-115

BARDOSSY, G.Y. 1983. A comparison of the main lateritic bauxite regions of our globe. In: INTERN. SEM. ON LATERITISATION PROCESSES,2, São Paulo, 1983. Proceedeings... p.15-51.

BRAUN, J. J.; PAGEL, M,; MULLER J. P.; BILONG, A. M. & GUILLET, B. 1990. Cerium anomalies in lateritic profiles. Geochimica et Cosmochimica Acta, 54:781-795

BUSEMBERG, E. 1978. The products of the interaction of feldspars with aqueous solutions at 25° C. Geochimica et Cosmochimica Acta, 42:1679-1686.

BUSENBERG, E.E. & CLEMENCY, C.V. 1976. The Dissolution kinetics of feldspars at 25 C and 1 atm C02 partial pressure. Geochimica et Cosmochimica Acta, 40:41-49.

BUTTY, D.L. & CHAPALLAZ, C.A. 1984. Bauxite genesis In: JACOB JR., L. ed. Bauxites. New York, Society of Mining Engineers, p. 111-151.

CARVALHO FILHO, N.B.; HORBE, A.C.; HORBE, M.A. & SOUZA, P.C.B. 1984. A natureza dos depósitos de cassiterita no Setor Madeira, região do Pitinga, AM, Brasil. In: SIMP. AMAZ., 2, Manaus, 1984. Anais... Manaus, SBG/NN.p. 459-466.

CHESTWORTH, W. 1979. The major element geochemistry and the

mineralogical evolution of granitic rocks during weathering Origin and distributions of the elements. Physics and density of the earth, 2:305-313.

COSTA, M.L. DA 1984. A dinâmica da formação de lateritas: O exemplo do NE do Pará e do NW do Maranhão. In: CONG. BRAS. GEOL.,33, Rio de Janeiro, 1984. Anais...Rio de Janeiro, SBG, p.4823-4837.

COSTA, M.L. 1990. Lateritos e lateritização In: CONG. BRAS. GEOL, 36, Natal, 1990. Anais... Natal, SBG/NE. V.1, p.404-421.

COSTA, M.L. DA; HORBE, M. A.; TEIXEIRA, J. T. E COSTA, W. A. M. 1988. A região laterítica-bauxítica do Pitinga (AM) In: CONG. BRAS. GEOL., 35, Belém, 1988. Anais...Belém, SBG.V.1, p.256-270

DAOUD, W. el K. 1988. Granitos estaníferos de Pitinga, Amazonas: Contexto Geológico e Depósitos Minerais Associados. Brasília, 194p. (Dissertação de Mestrado da UNB-DG).

DAOUD, W. el K. & ANTONIETTO Jr., A. 1985. Geologia do Granito Estanífero Água Boa, Pitinga, AM, In: SIMP. GEOL. AMAZ., 2, Belém, 1985. Anais...Belém, SBG/NN. V.3, p.17-33.

DAOUD, W. el K. & VEIGA, A.T.C. 1986. Geologia dos aluviões estaníferos da Mina Pitinga-AM In: CONG. BRAS. GEOL., 34, Goiânia, 1986. Anais...Goiânia, SBG. V.5, p. 2048-2062.

DENNEN, W.H. & NORTON H.A. 1977. Geology and geochemistry of bauxite deposits in the lower Amazon Basin. Economic Geology, 72:82-89.

FISCHER, W.R.E. & SCHWERTMANN, V. 1975. The formation of hematite from amorphous iron (III) hydroxide. Clays and Clay Mineral, 23:33-37.

FUJIMAKI, H. 1986. Partition coefficients of Hf, Zr and REE between zircon, apatite and liquid. Contrib. Mineral Petrol., 94:42-45.

GARDNER, L.R. 1970. A chemical model for the origin of gibbsite from kaolinite. The American Mineralogist, 55:1380-1389.

GARRELS, S. & HOWARD, P. 1958. Reactions of feldspar and mica with water at low temperature and pressure. Clay and clay minerals, 6:68-88

GASTUCHE, M.C.; BRUGGENWERT, T. & MONTLAND, M.M. 1964. Cristallization of mixed iron and aluminum gels. Soil Sci., 98:281-289.

GRUBB, P.L.C. 1979. Genesis of bauxite deposits in the lower Amazon basin and Guianas coastal plain. Econ. Geol.,74:735-750.

HELGESON, H.C. 1971. Kinetics of mass transfer among silicates and aqueous solutions. Geochimica et Cosmochimica Acta, 35:421-469.

HELGESON, H.C. 1972. Kinetics of mass tranfer among silicates and aqueous solutions. Letter to the editor. Geochimica et Cosmochimica Acta, 36:1067-1070.

HENDERSON, P. 1984. General geochemical properties and abundances of the rare earth elements. In: HENDERSON, P. ed. Rare Earth Element Geochemistry. Amsterdan, Elsevier. p. 1-32.

HORBE, M.A.; HORBE, A.C.; COSTI, H.T. & TEIXEIRA, T.T. (1991) Geochemical caracteristics of cryolite-tin-bearing granites from the Pitinga Mine, Northwestern Brazil. A review. Jour. Geochem. Explor. (no prelo).

HORBE, M.A.; HORBE, A.C.; TEIXEIRA, J.T.E. & COSTI, H.T. 1985. Granito Madeira: Petrologia, Petroquímica e Mineralizações. In: SIMP. GEOL. AMAZ. 2, Belém, 1985. Anais... Belém,SBG. V. 3, p.284-320.

HUANG, W.H. & KELLER, W.D. 1972. Geochemical mechanics for the dissolutions, transport and deposition of aluminium in the zone of weathering. Clays and Clay Minerals, 20:69-74.

KAMPF, N. & SCHWERTMANN, V. 1983. Geothite and hematite

in a clinosequence in southern Brazil and their application in classification of kaolinitic soils. Geoderma, 29:27-39.

KOTSCHOUBEY, B. 1984. Bauxitas do baixo Nhamundá, região do baixo Amazonas - Natureza e gênese. In: CONG. BRAS. GEOL., 33, Rio de Janeiro, 1984. Anais...Rio de Janeiro, SBG. p. 3926-3940.

KOTSCHOUBEY, B. & LEMOS, V.P. 1985. Considerações sobre a origem e a gênese das bauxitas da Serra dos Carajás. In: SIMP. GEOL. AMAZ., 3, Belém, 1985. Anais...Belém, SBG/NN. p. 48-61.

KRONBERG, B.I.; NESBITT, H.W. & FYFE, W.S. 1985. Mobilities of alkalis,alkaline earth and halogens during weathering. In: INTERNATIONAL SEMINAR OF LATERITE, Tokio, 1985. Proceedings...p. 535-548.

LA IGLESIA, A, & GALAN, E. 1975. Halloysite-kaolinite transformation at roon temperature. Clays and Clay Minerals, 23:109-113.

LECOMTE, P. 1988. Stone line profiles: Importance in geochemical exploration. Jour. Geochemical Exploration, 30:35-61.

LELONG, F.; TARDY, Y.; GRANDING. G.; TRESCASES, J.J. & BOULANGÉ, B. 1976. Pedogenesis, chemical weathering and processes of formation of some supergene ore deposits. In: WOLF, K.H. ed. Handbook of stratbound and stratiform ore deposits. Amsterdam, Elsevier. V.3, p.35-48

LIN CHYI,L. 1986. Characteristics and genesis of zirconium and hafnium deposits. In: Mineral Parageneses. Athenas, Theophrastus Publishing & Proprietary. p. 387-403.

LOURENÇO, R.S. 1978. Geologia da folha SA.20 - Manaus. In: Brasil/MME, Projeto RADAM, Rio de Janeiro, DNPM.V.10.

MACAMBIRA, M.J.B.; TEIXEIRA, J.T.; DAOUD, W.el K. & COSTI, H.T. 1987. Geochemistry, mineralizations and age of tin bearing granites from Pitinga, northwestern Brasil. Revista

Brasileira de Geociências, 17:562-570.

MACKENZIE, D.E.; LANCE, P.B.& SHEN-SU, S. 1988. Origin of alkali-feldspar granite: an example from the Piomena Granite, northeastern Tasmania, Australia. Geochimica et Cosmochimica Acta, 52:2507-2524

MANDETTA, P.; VEIGA JR.,J.P.; OLIVEIRA, J.R. DE. 1974. Reconhecimento geológico e geoquímico ao longo do Rio Pitinga, afluente do Uatumã. Manaus, CPRM. (Relatório interno)

MENDES DA SILVA, M.C.P. 1988. Estudos de flotação da cassiterita, zirconita e xenotima do minério primário de Pitinga (AM). Rio de Janeiro, p. 235 (Dissetação de Mestrado da COPPE/UFRJ).

MILLOT, G. & BONIFAS, M. 1955. Transformation isovolumétriques dans les phénomènes de lateritisation et bauxitization. Bull. Serv. Carte Geol. Alsace-Lorraine, 8(1):3-20

MILNES, A.R.; BOURMAN, R.P. & FITZPATRICK, R.W. 1985. Petrology and mineralogy of laterites in southern and eastern Australia and south Africa. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON LATERITE, Tokio, 1985. Proceedings...p.163-178.

NAHON, D.B. 1986. Evolution of iron crust in tropical landscapes. In: COLMAN, S. M. & DETHIER, D.P. eds. Rates of chemical weathering of rocks and minerals. Orlando, Academic Press. p. 169-191.

NARDI, L.V.S. 1989. Geoquímica dos elementos terras raras nas rochas graníticas da região centro-sul do Brasil. In: FORMOSO, M.L.L.; NARDI, L.V.S.& HARTMANN, L.A.. eds. Geoquímica dos elementos terras raras no Brasil. Rio de Janeiro, CPRM/DNPM, SBGq. p.71-82.

NEWMAN, A.C.D. & BROWN, G. 1987. The chemical constitutions of Clays. In: NEWMANN, A.C.D. ed. Chemistry of Clays and Clay Mineral. New York, p. 1-128. (Mineralogical Society

Monograph, 6).

NORTON, S.A. 1973. Laterite and bauxite formation. Economic Geology, 68:353-361.

OLIVEIRA, J.J. 1988. O papel das concreções ferromanganesíferas na concentração de terras raras em solo derivado de rochas graníticas ácidas em ambiente semi-árido. In: CONG. BRAS. GEOL., 35, Belém, 1988. Anais... Belém, SBG/NN. V.4, p.1853-1861

OLIVEIRA, S.M.B. 1985. Gênese da bauxita de Lages-SC. Bol. IG-USP, Série científica, 16:46-81.

PARNHAM, W.E. 1969. Halloysite-rich tropical weathering product of Hong Kong, In: INTERNATIONAL CLAY CONF.,1969. p. 403-416.

PAYOLLA, B.L.; MUZZOLON,R.; DE PINTO, O.G. & BETTENCOURT, J.S. 1984. Estratigrafia preliminar e ambientes de deposição dos depósitos estaníferos secundários nos distritos de Cachoeirinha, Monte Negro e Oriente Novo, Estado de Rondônia, Brasil. In: SIMP. GEOL. AMAZ., 2, Manaus, 1984 Anais... Manaus, SBG. p.359-374.

PEDRO, G. & MELFI, A.I. 1983. The superficial alteration on tropical regions and lateritization phenomena. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON LATERITIZATION PROCESSES, 2, São Paulo, 1983. Proceedings...p. 3-13

PETRI, S. & FÚLFARO, V.J. 1983. Geologia do Brasil (Fanerozóico). São Paulo, Editora Universidade de São Paulo, p. 630.

PETROVIC, R. 1976. Rate control in dissolution of alkali-feldspars- I. Study of regional feldspar grains by x-ray photoelectron spectroscopy. Geochimica et Cosmochimica Acta, 40:537-548.

REESMANN, A.L. & KELLER, W.D. 1968. Aqueous solubility studies of high alumina clay minerals. Amer. Minerals, 53:929-942.

SANJUAN, B. & MICHARD, G. 1987. Aluminium hydroxide solubility

in aqueous solutions containning fluoride ion at 50° C. Geochimica et Cosmochimica Acta, 551:1823-1831.

SCHWERTMANN, V. & MURAD. E. 1979 Effect of pH on the formation of goethite and hematite from ferrihydrite. Clays and Clay Mineral, 31:277-284.

SIAL, A.N.; MARIANO, G. & FERREIRA, V.P. 1989. Sintese da geoquímica dos elementos terras raras em granitóides do nordeste e norte do Brasil. In: FORMOSO, M.L.L.; NARDI, L.V.S. & HARTMANN, L.A., ed. Geoquímica dos elementos terras raras no Brasil, Rio de Janeiro, CPRM/DNPM, SBGq. p. 83-98.

SOMBROECK. W.G. 1966. Amazon soils. A reconnaissance of the soils of the brazilian Amazon region. Wageningen, Holland, Centre Agri. Publ. Doc., 292p.

TARDY, Y. 1966. Mobilité relative des elements au cours des phenomenes d'alteration de quelques roches cristallines. Bull. Serv. Carte. Geol. Als Lorr., 19:255-270.

TARDY, Y. & NAHON, D. 1985. Geochemistry of laterites, stability of Al-goethite, Al-hematite, and Fe3+kaolinite in bauxite and ferricretes: An Approach to the mechanism of concretion formation. Am. Journal of Science, 285:865-903.

TAYLOR, R.M. 1987. Non-silicate oxides and hidroxides. In: NEWMAN, A.C.D. ed. Chemistry of clays and clay minerals. New York, Mineralogical Society, p 129-201.

TAYLOR, R.M. & SCHWERTMANN, U. 1974. Maghemite in soils and its origem. I. Properties and observations on soil maghemites. Clay Minerals, 10:289-298.

THOMAS JR., J.; GLASS, H.D.; WHITE, W.A. & TRANDEL, R.M. 1977. Fluoride Content of Clay Minerals and Argillaceous Earth Material. Clays and Clay Minerals, 25:278-284.

TOLEDO-GROKE, M.C.; PROST, D.; ILDEFONSE, PH; MELFI, A.J.; DELVIGNE, J. & PARISOT, J.C. 1985. Alteração dos minerais na zona supérgena da formação cuprífera do Salobo 3 (Serra dos

Carajás, Brasil), Rev. Bras. Geoc., 15:293-299.

TRUCKENBRODT, W., KOTSCHOUBEY, B. & GÕES, A.M. 1982. Considerações a respeito da idade das bauxitas na parte leste da região Amazônica. In: SIMP. GEOL. AMAZ.,I, Belém - PA, 1982. Anais...Belém,SBG. V.1, p. 201-209.

VEIGA JR., J.P.; NUNES, A.C.B.; SOUZA, E.C.D.E.; SANTOS, J.O.S.; AMARAL, J.E. DO; PESSOA, M.R.; SOUZA, SA DE S. 1979. Projeto sulfetos de Uatumã. Manaus, DNPM. pg. 325. (Relatório interno).

VELBEL, M.A. 1989. Weathering of hornblende to ferruginous products by a dissolution-reprecipitation mechanism: petrography and stoichiometry. Clay and Clay Minerals, 37:515-524.

WILLIAMS, A.G.; TERNAN, L. & KENT, M. 1986. Some observations on the chemical weathering of the Dartmoor Granite. Earth Surface Processes and Landforms, 11:557-574.

YARIV, S. & CROSS, H. 1979. Geochemistry of colloid systems. Berlin, Springer-Verlag, p. 450.

ANEXO 1

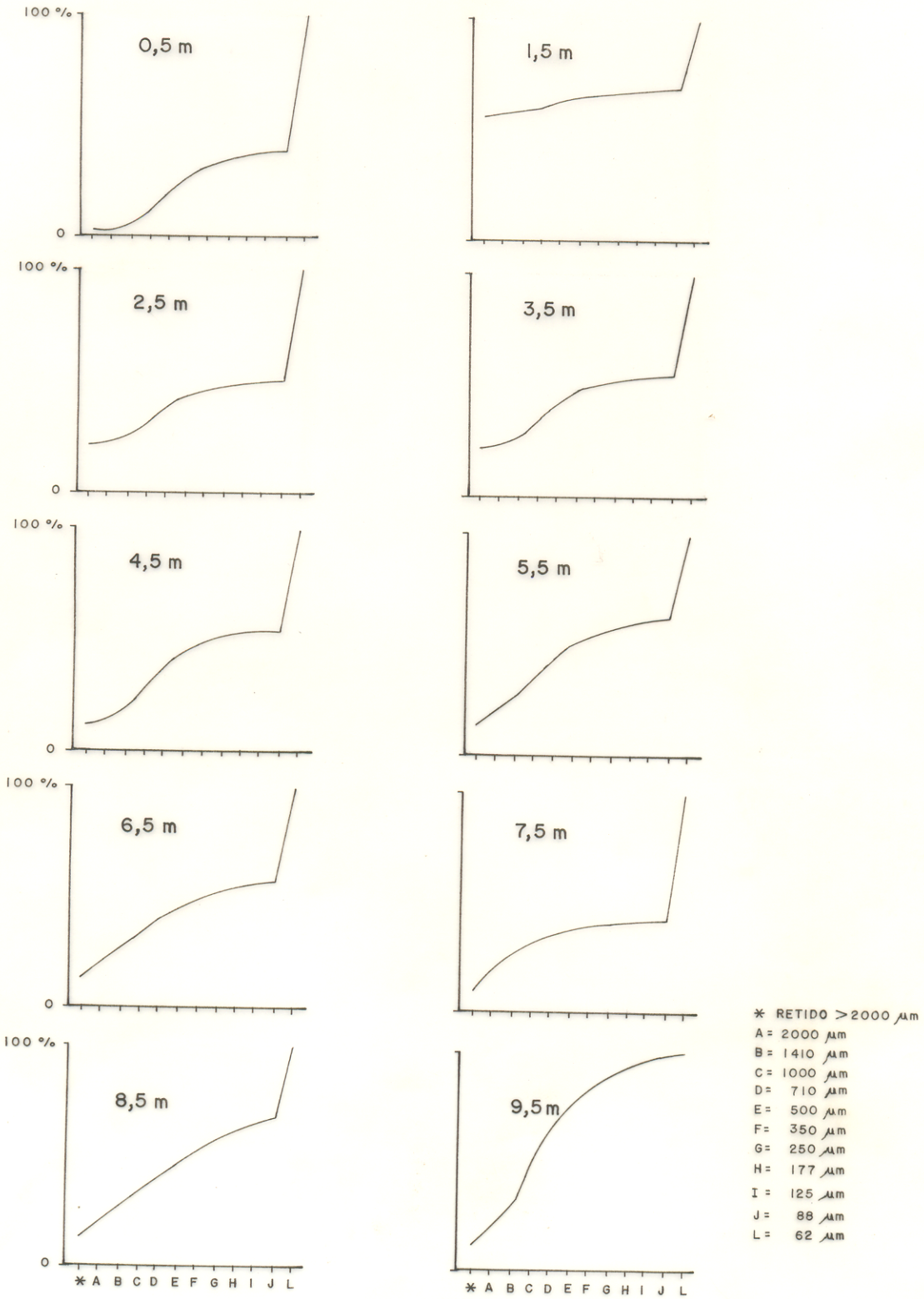


FIGURA 1 - Curvas acumulativas das frações granulométricas em diferentes profundidades da L-500 P-875.

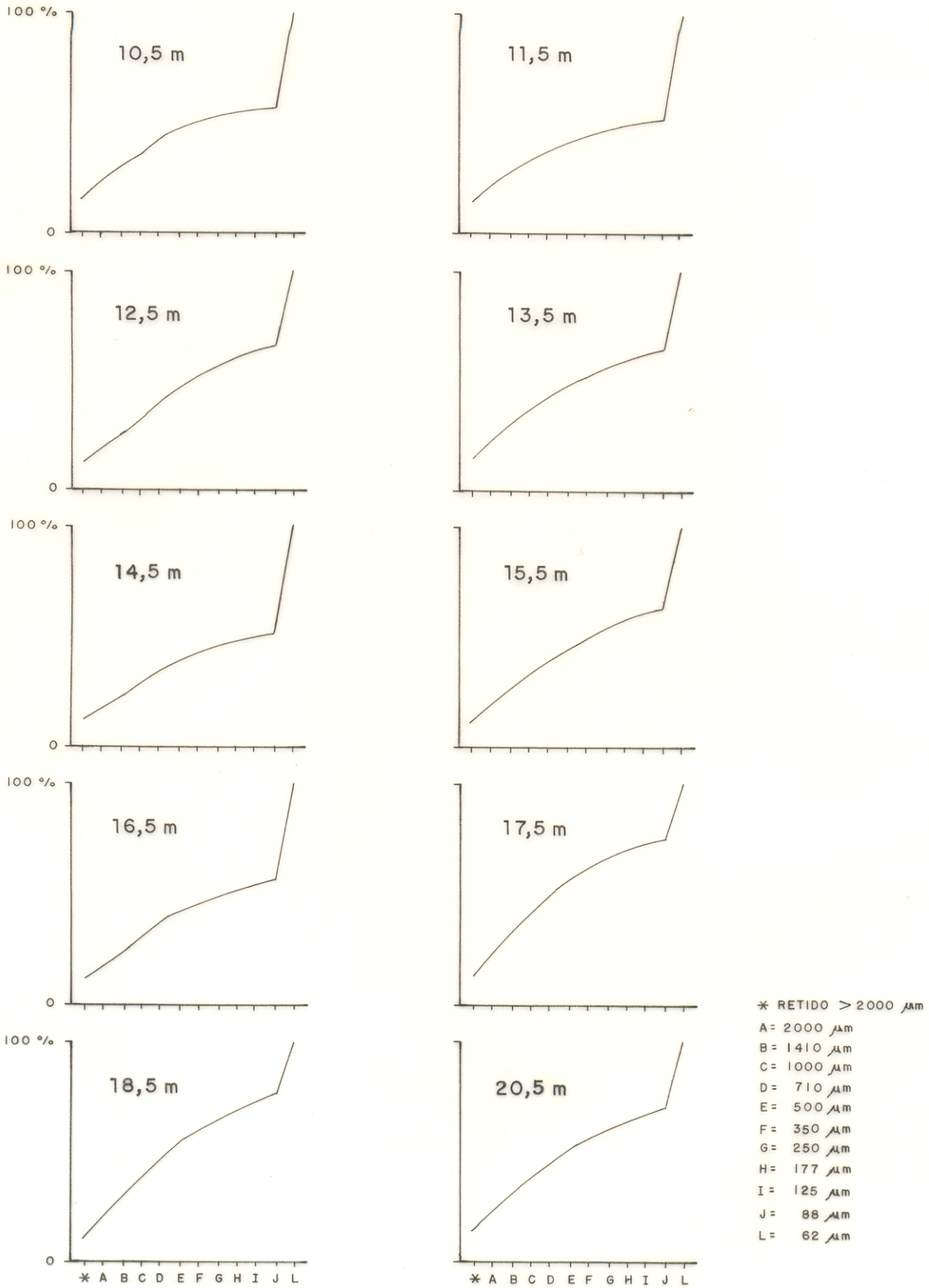


FIGURA 1a – Curvas acumulativas das frações granulométricas em diferentes profundidades da L-500 P-875.

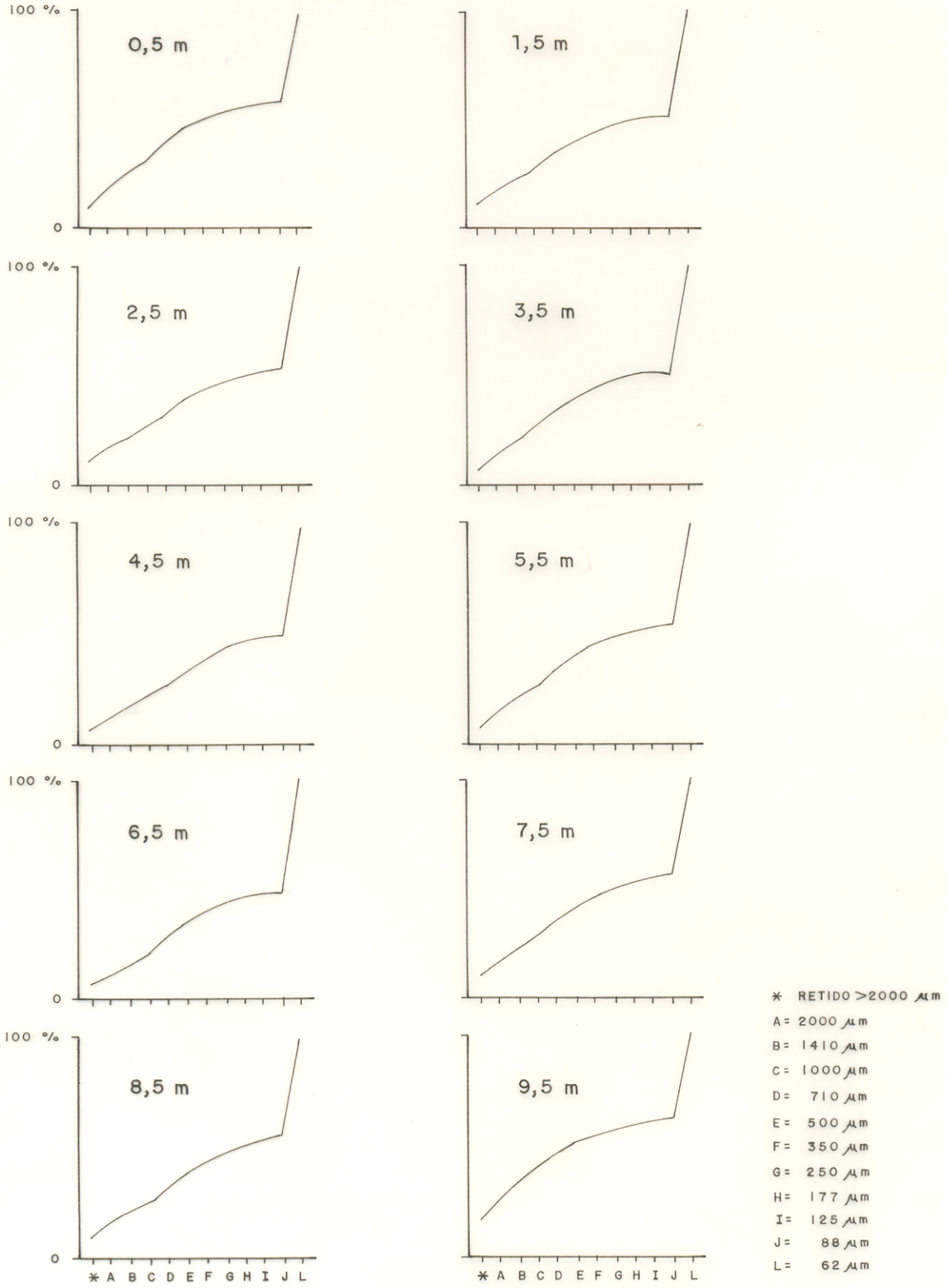


FIGURA 2 – Curvas acumulativas das frações granulométricas em diferentes profundidades da L-500 P-1.375.

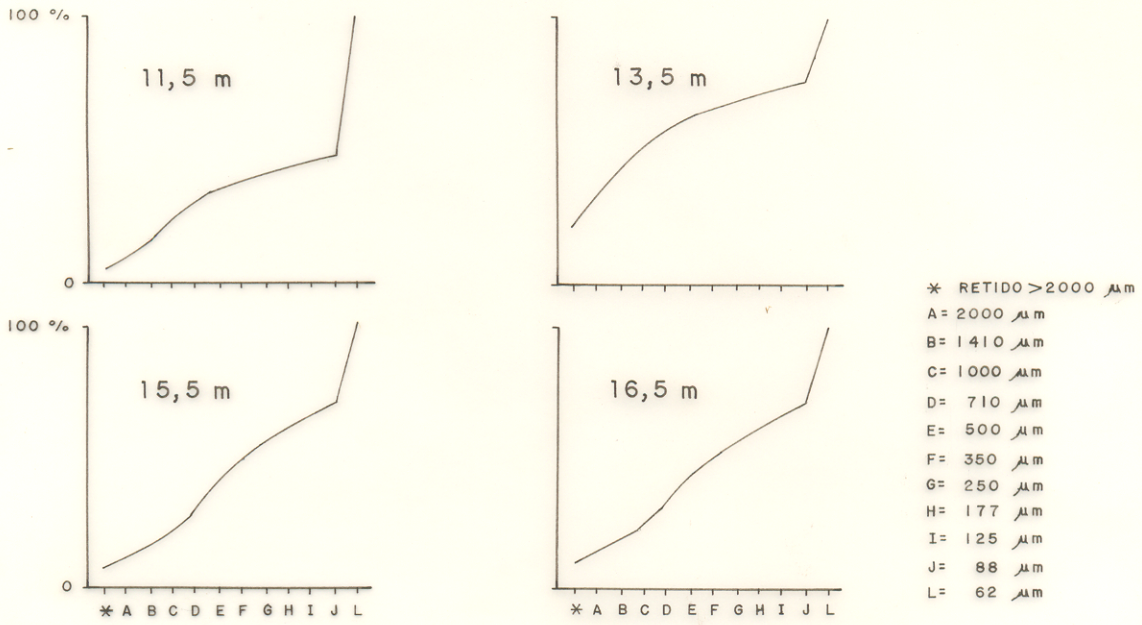


FIGURA 2a – Curvas acumulativas das frações granulométricas em diferentes profundidades da L-500 P-1.375.

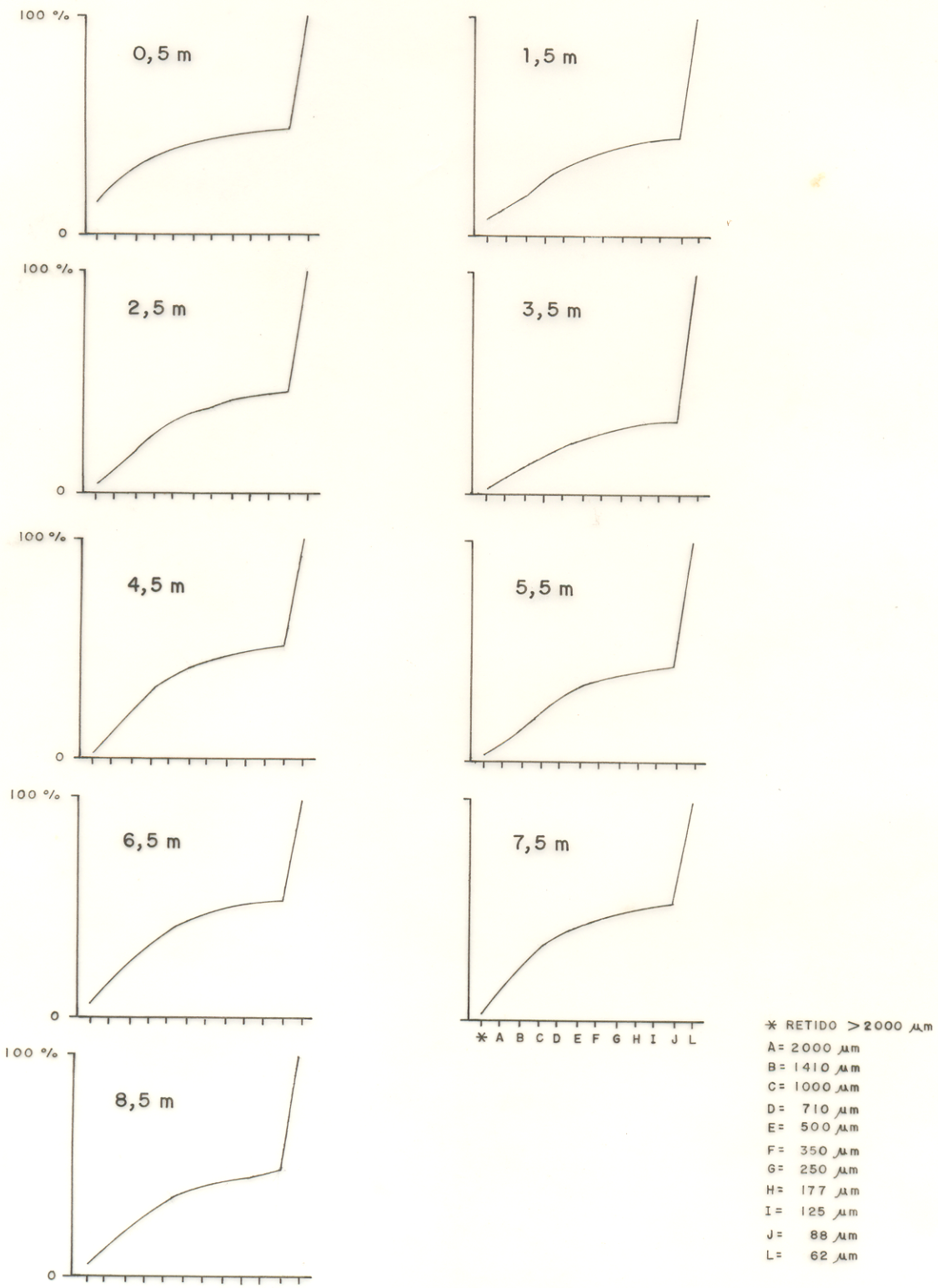


FIGURA 3 – Curvas acumulativas das frações granulométricas em diferentes profundidades da L – 750 P – 1.750.

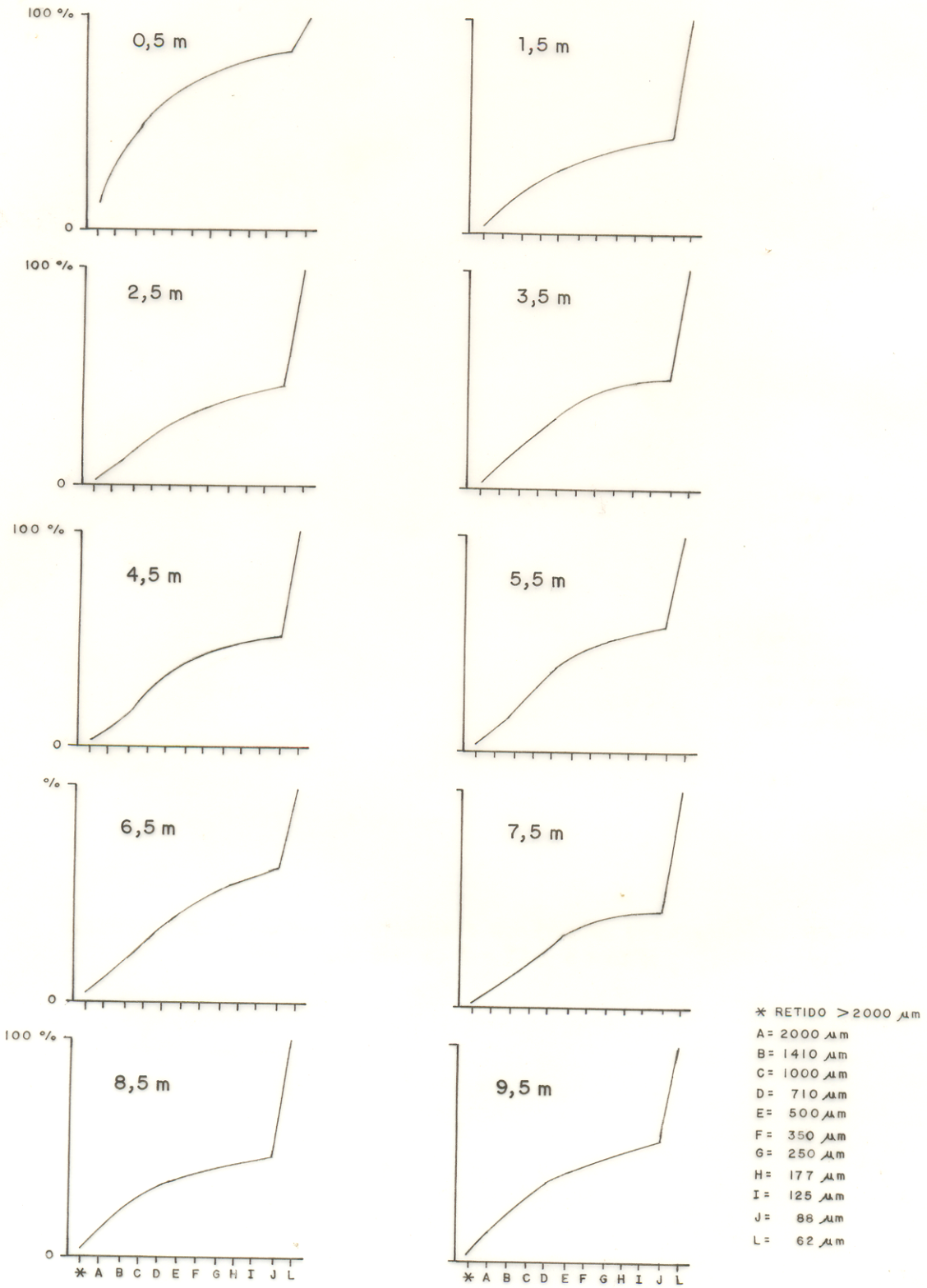


FIGURA 4 - Curvas acumulativas das frações granulométricas em diferentes profundidades da L-750 P-625.

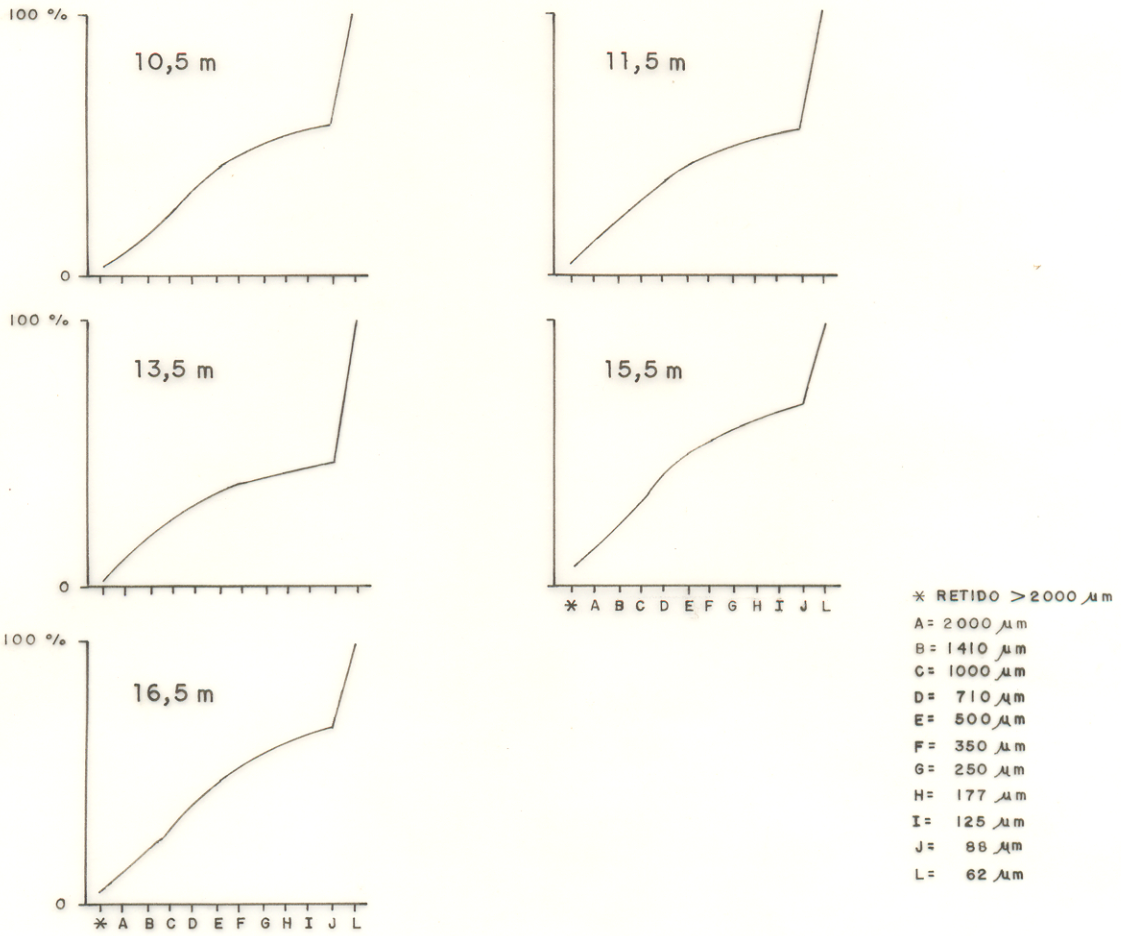


FIGURA 4a – Curvas acumulativas das frações granulométricas em diferentes profundidades da L - 750 P - 625.

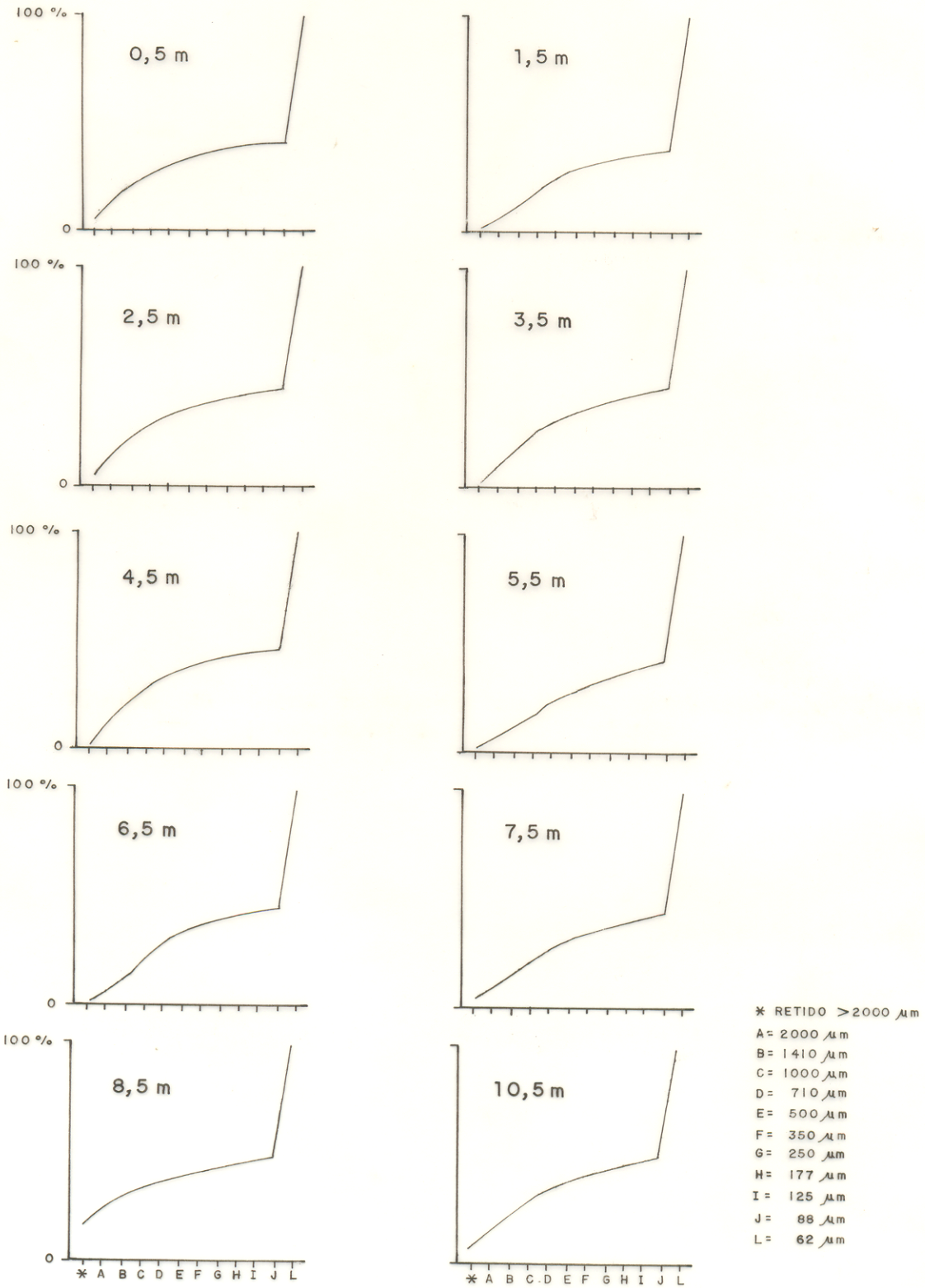


FIGURA 5 – Curvas acumulativas das frações granulométricas em diferentes profundidades da L-750 P-1.000.

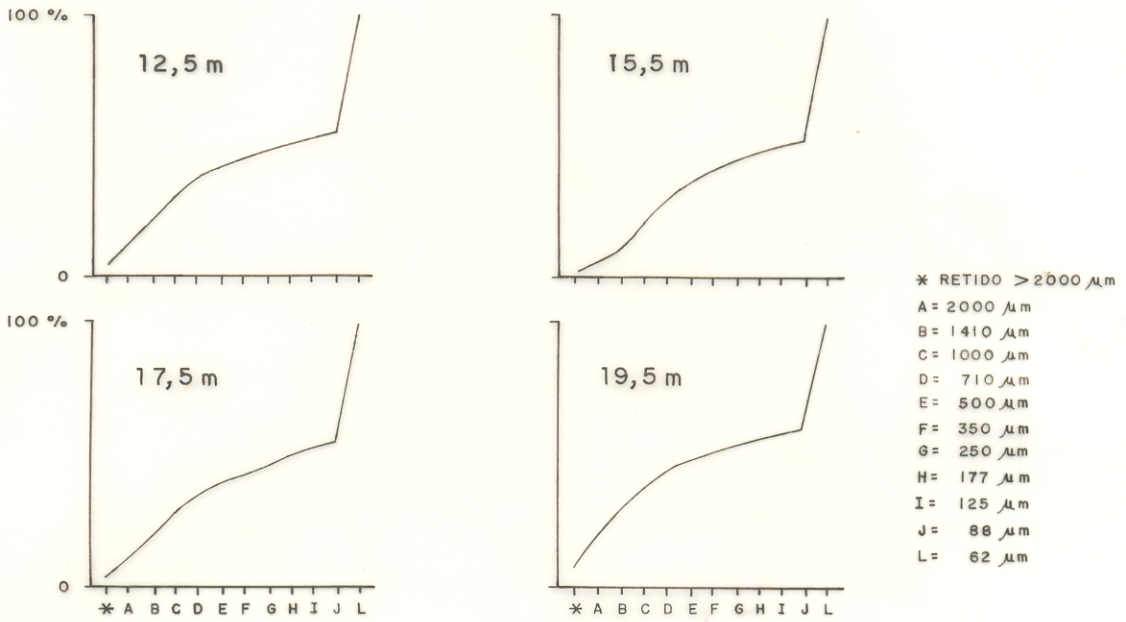


FIGURA 5a - Curvas acumulativas das frações granulométricas em diferentes profundidades da L - 750 P - 1.000.

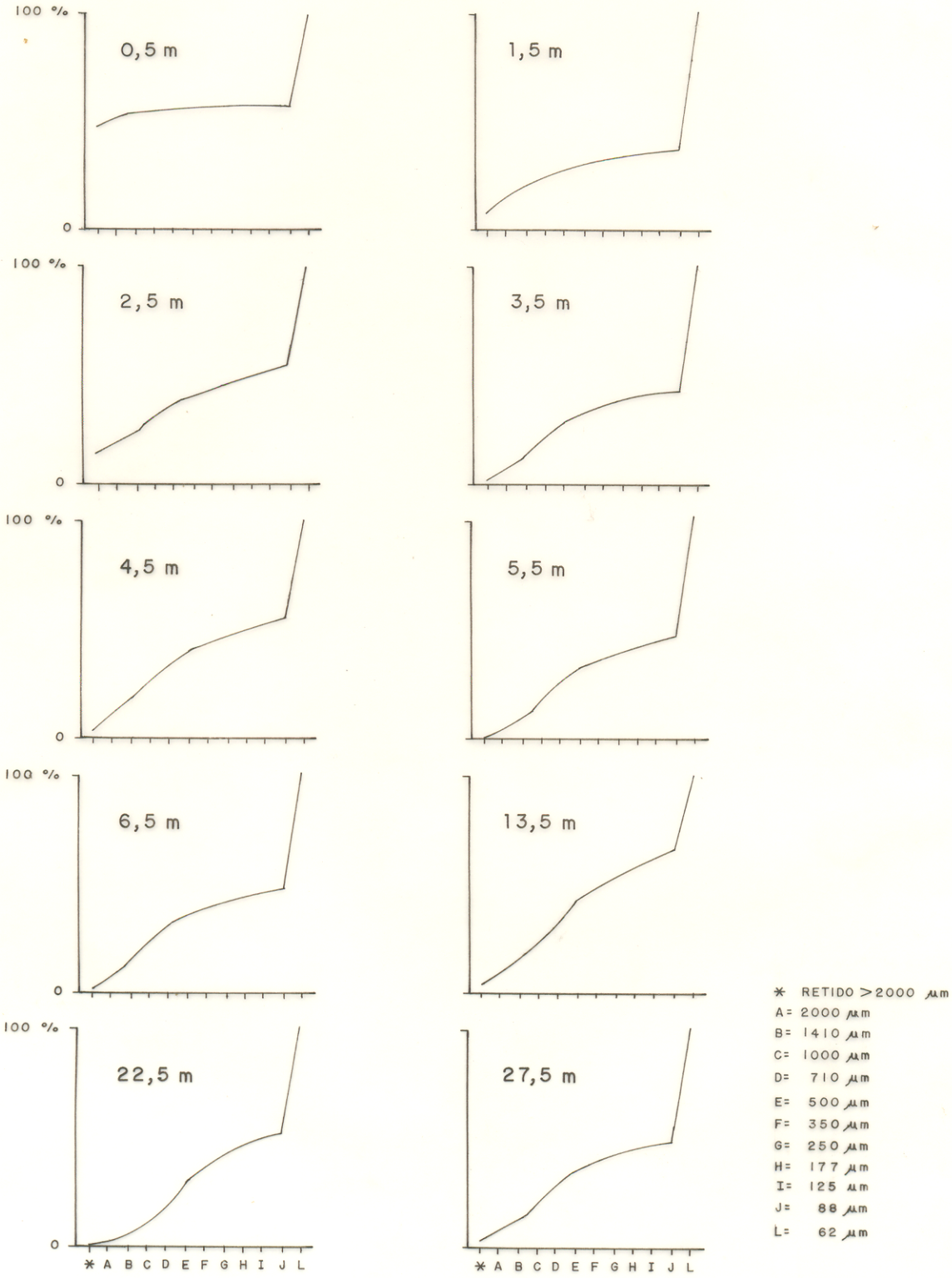


FIGURA 6 – Curvas acumulativas das frações granulométricas em diferentes profundidades da L – 750 P – 1.375.

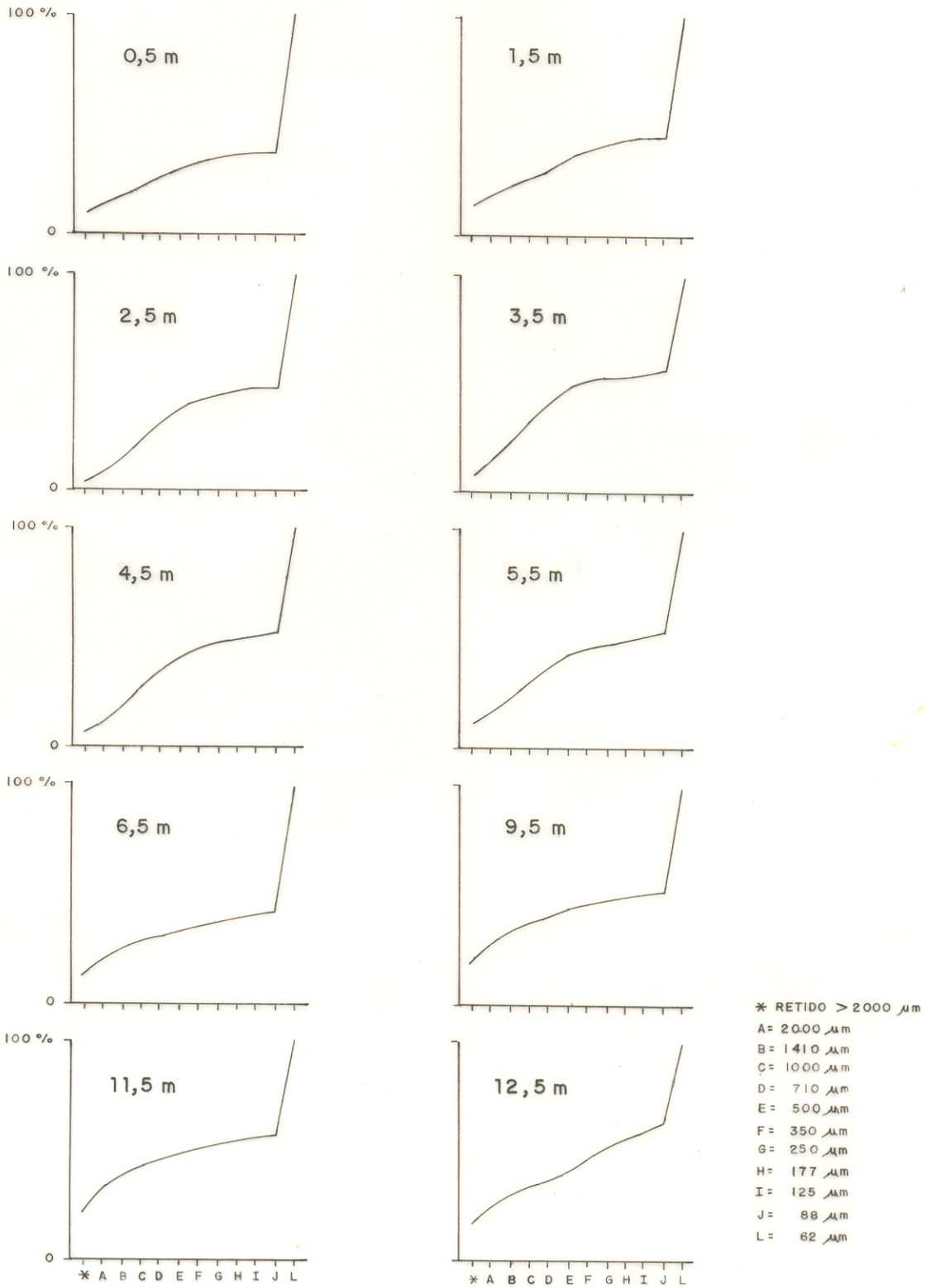


FIGURA 7 – Curvas acumulativas das frações granulométricas em diferentes profundidades da L – 1.000 P – 750.

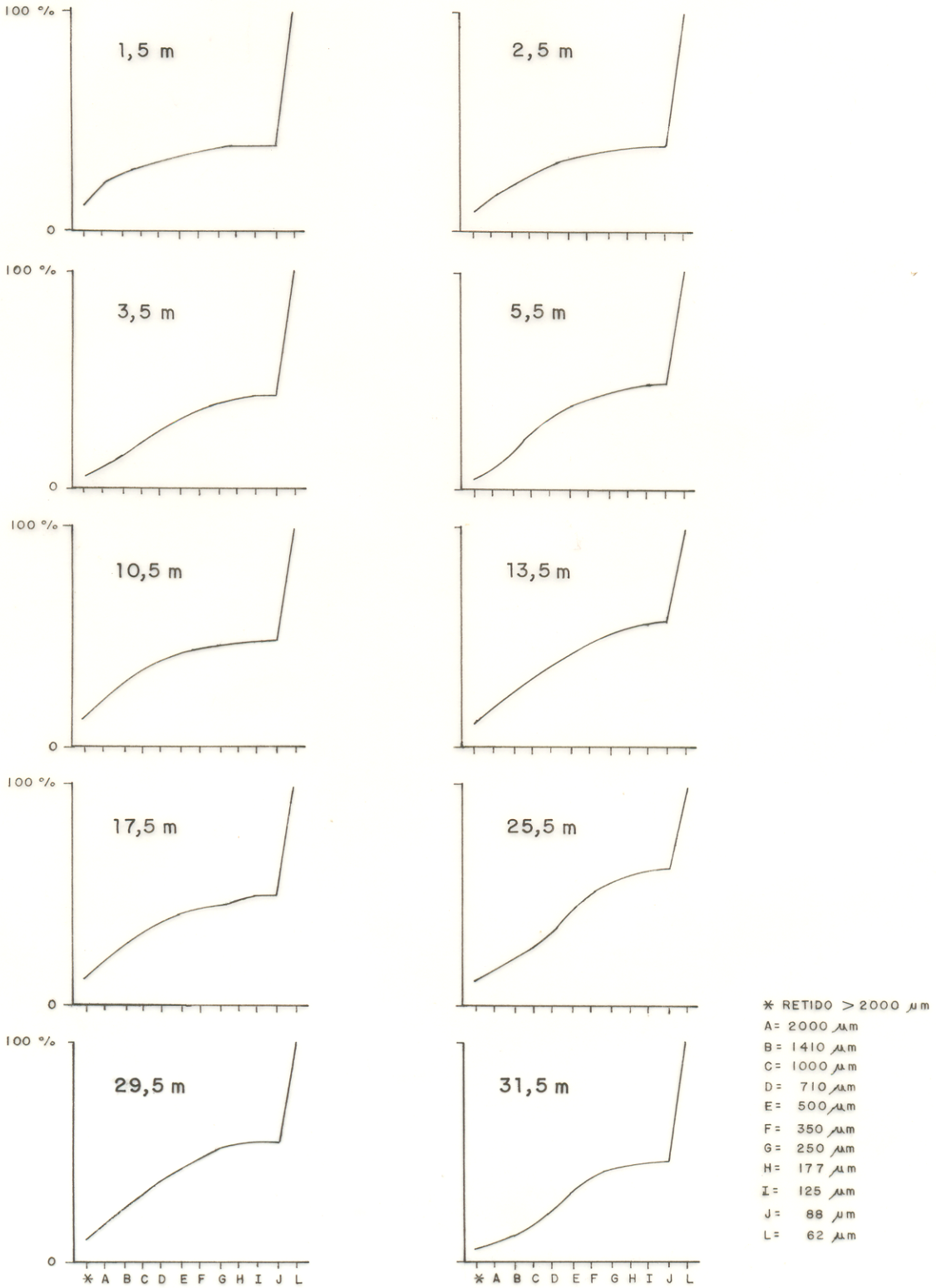


FIGURA 8 - Curvas acumulativas das frações granulométricas em diferentes profundidades da L-1.000 P-1125.

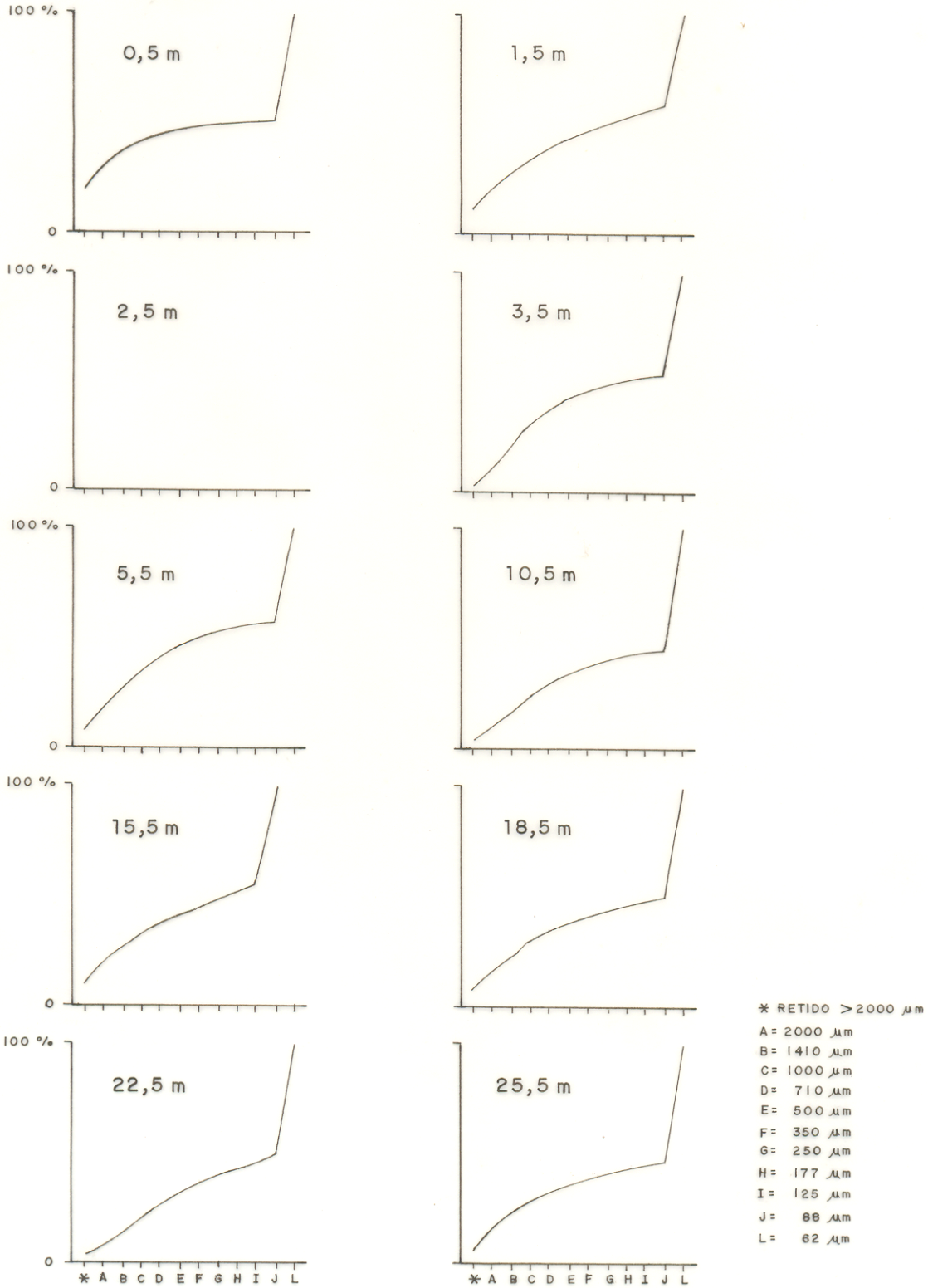


FIGURA 9 – Curvas acumulativas das frações granulométricas em diferentes profundidades da L – 1.250 P – 375.



FIGURA 10 – Curvas acumulativas das frações granulométricas em diferentes profundidades da L – 1.250 P – 1.000.

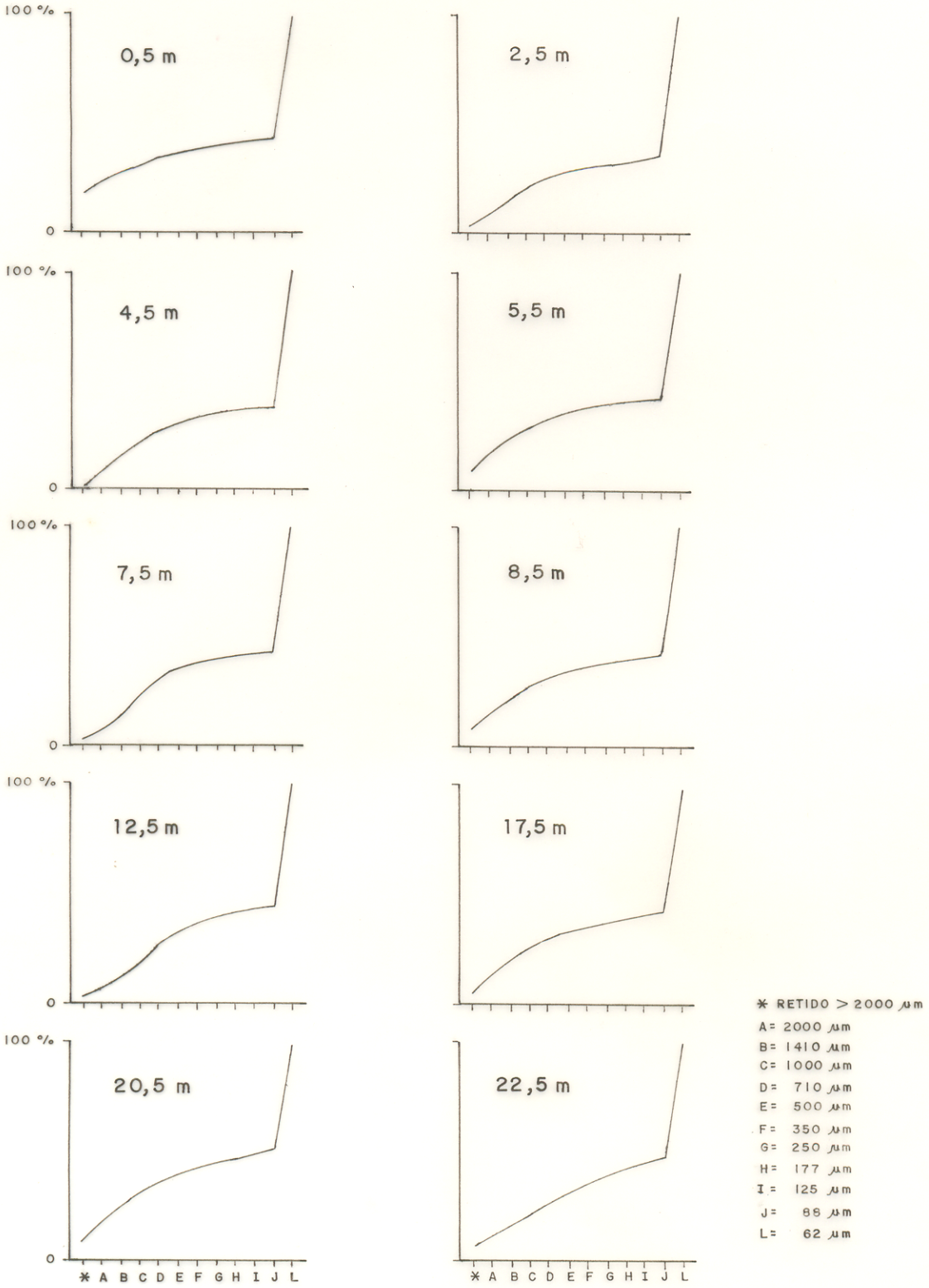


FIGURA 11 – Curvas acumulativas das fracões granulométricas em diferentes profundidades da L – 1.250 P – 1.250.

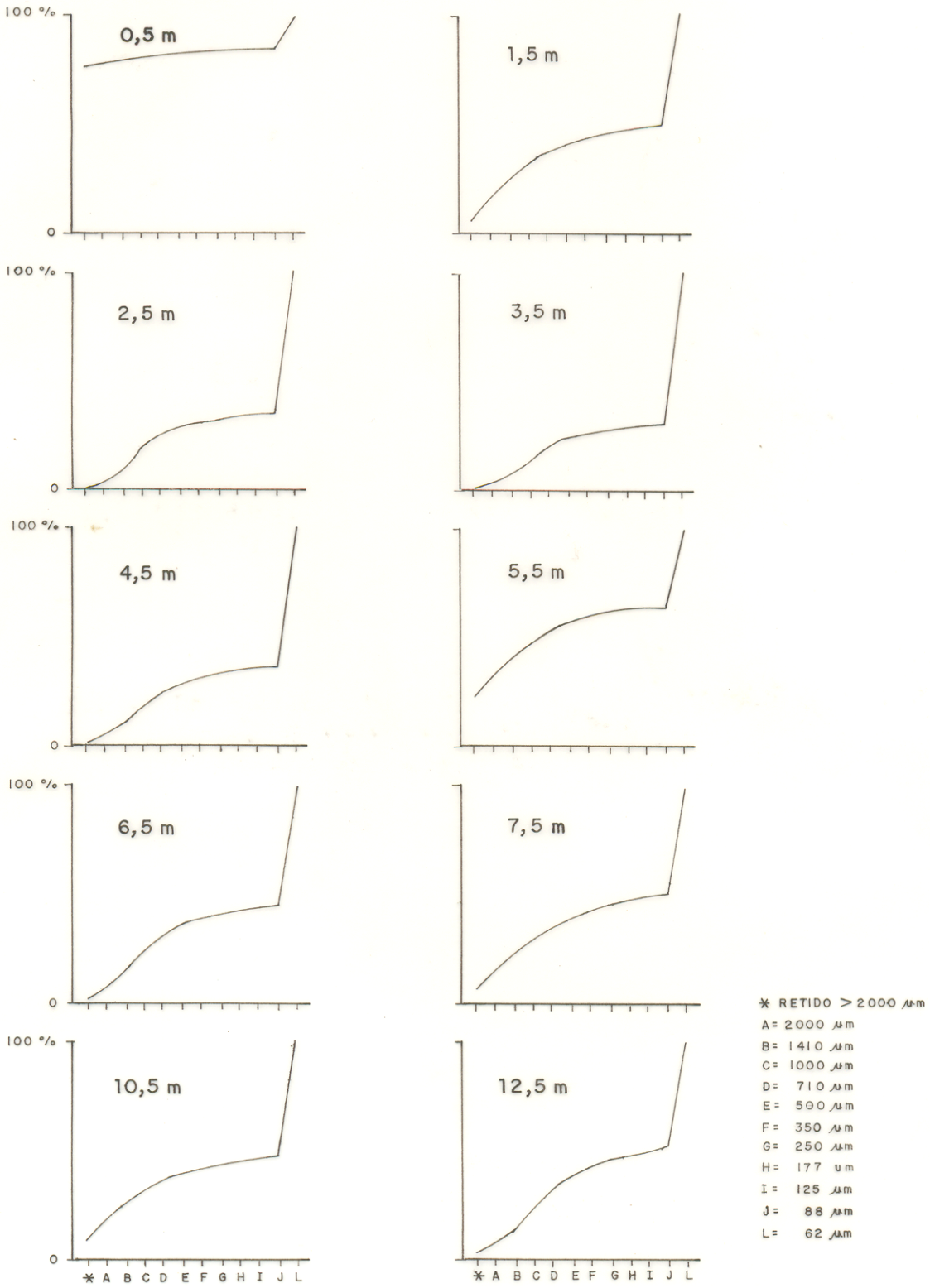


FIGURA 12 – Curvas acumulativas das frações granulométricas em diferentes profundidades da L-1.250 P-1.750.

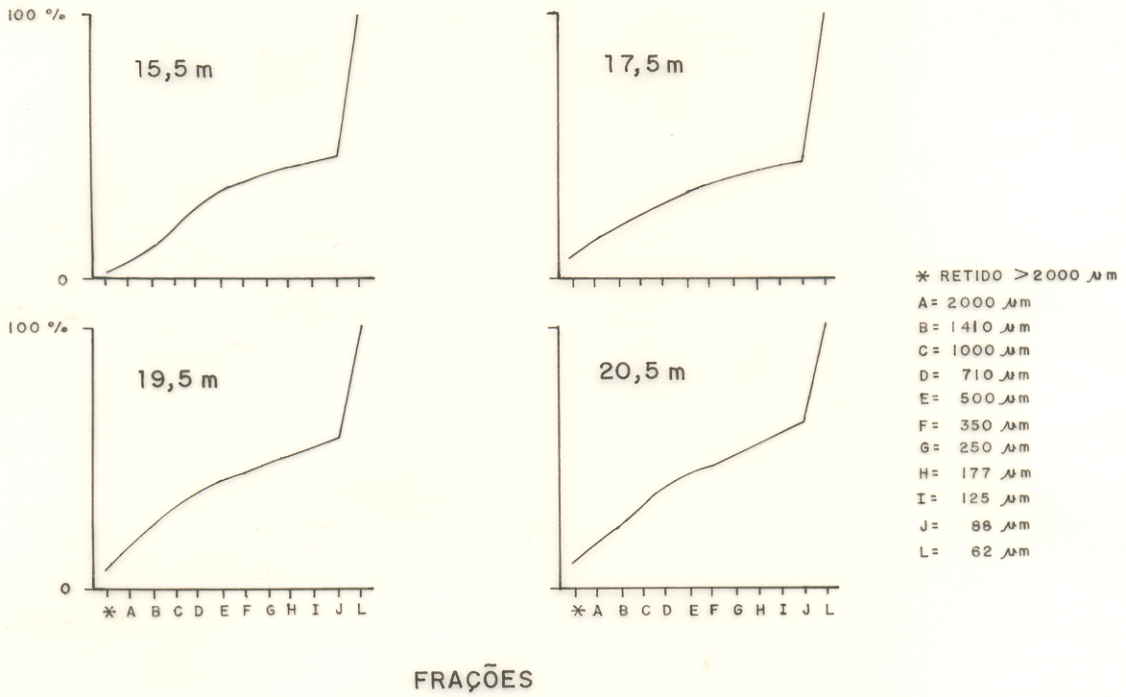


FIGURA 12a – Curvas acumulativas das frações granulométricas em diferentes profundidades da L – 1.250 P – 1.750.

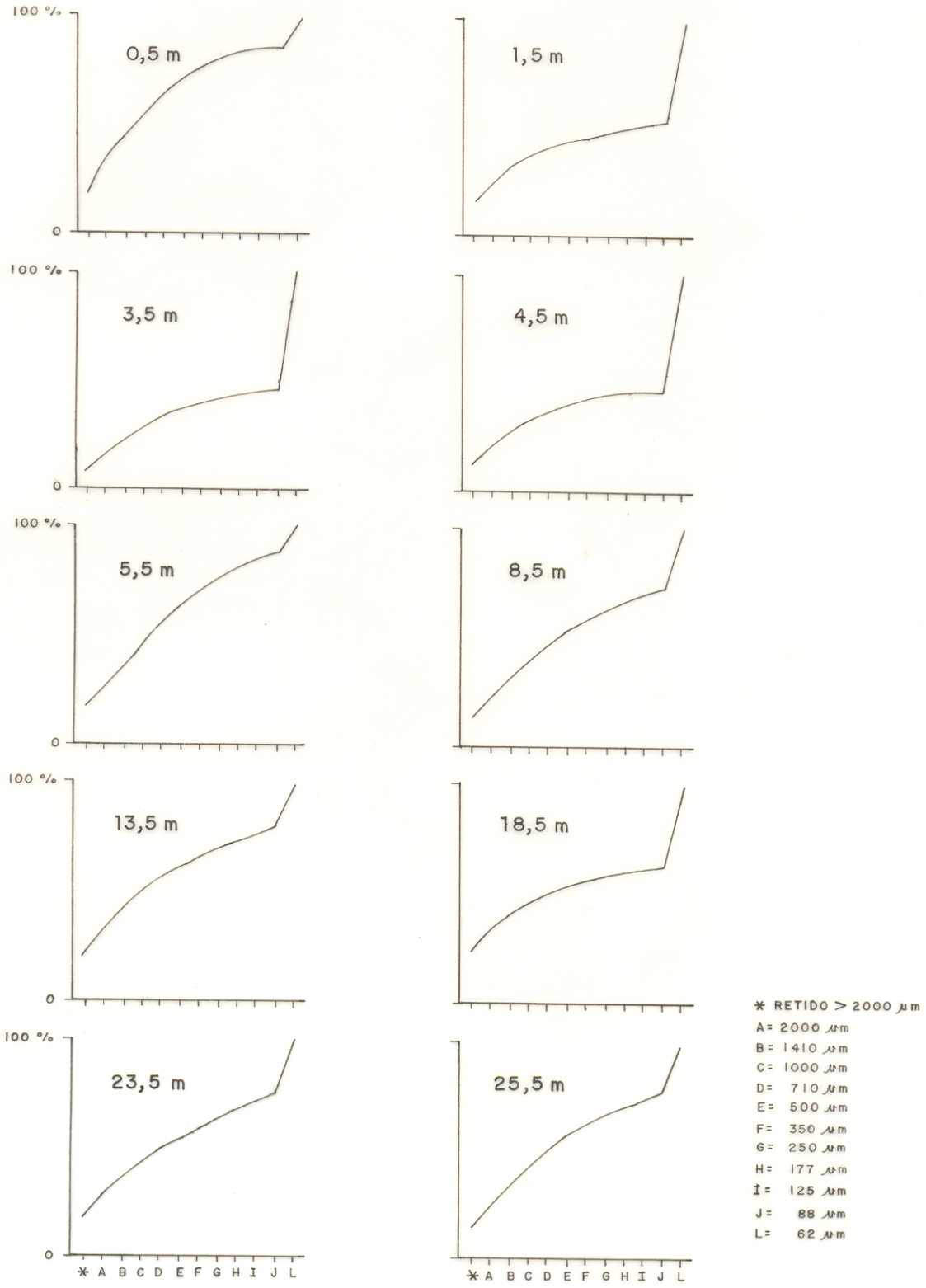


FIGURA 13 – Curvas acumulativas das frações granulométricas em diferentes profundidades da L – 1.500 P–625.

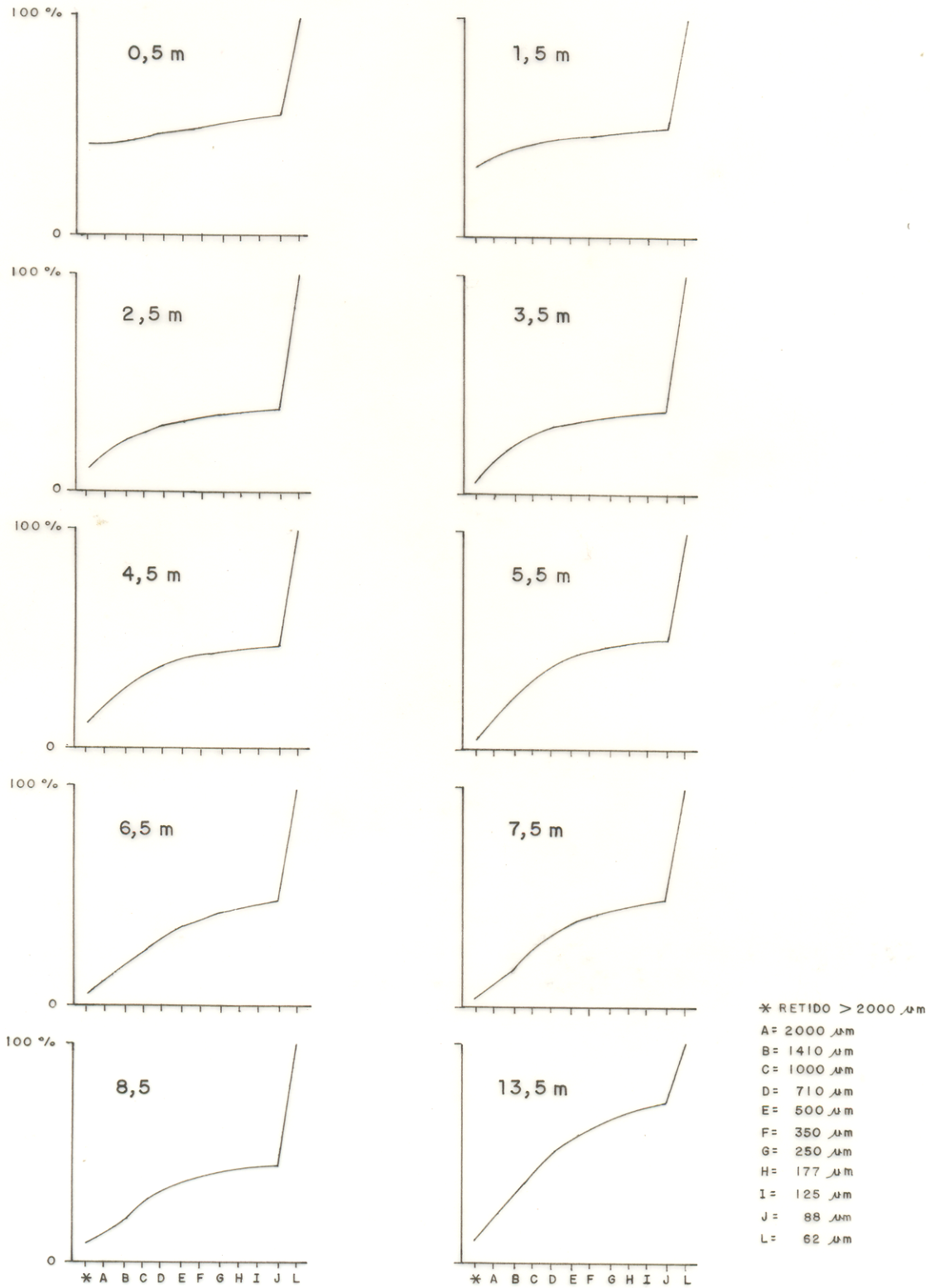


FIGURA 14 – Curvas acumulativas das frações granulométricas em diferentes profundidades da linha L – 1.500 P – 1.250.

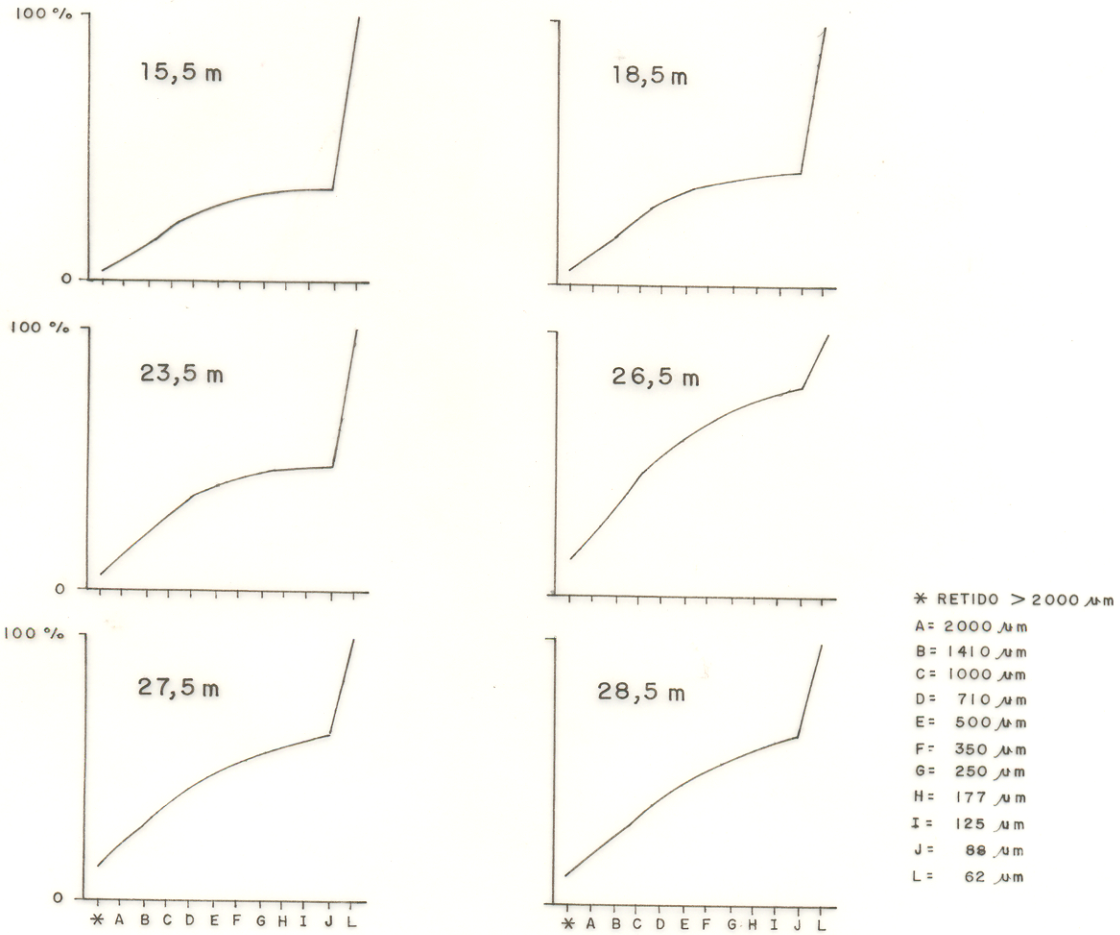


FIGURA 14a – Curvas acumulativas das frações granulométricas em diferentes profundidades da L-1.500 P-1.250.

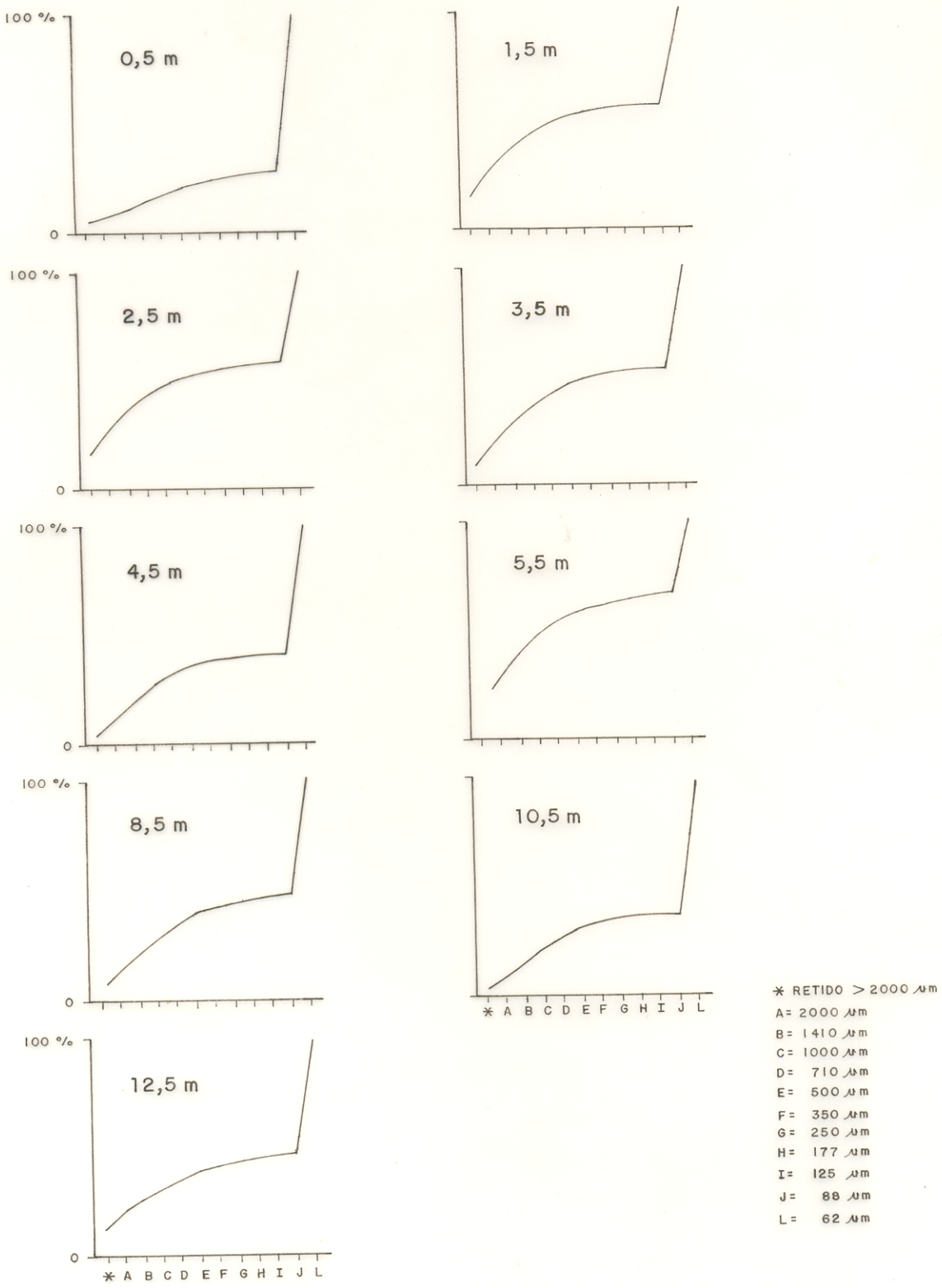


FIGURA 15 – Curvas acumulativas das frações granulométricas em diferentes profundidades da L – 1.500 P – 1.500.



FIGURA 16 — Curvas acumulativas das frações granulométricas em diferentes profundidades da L - 1.600 P - 1.000.

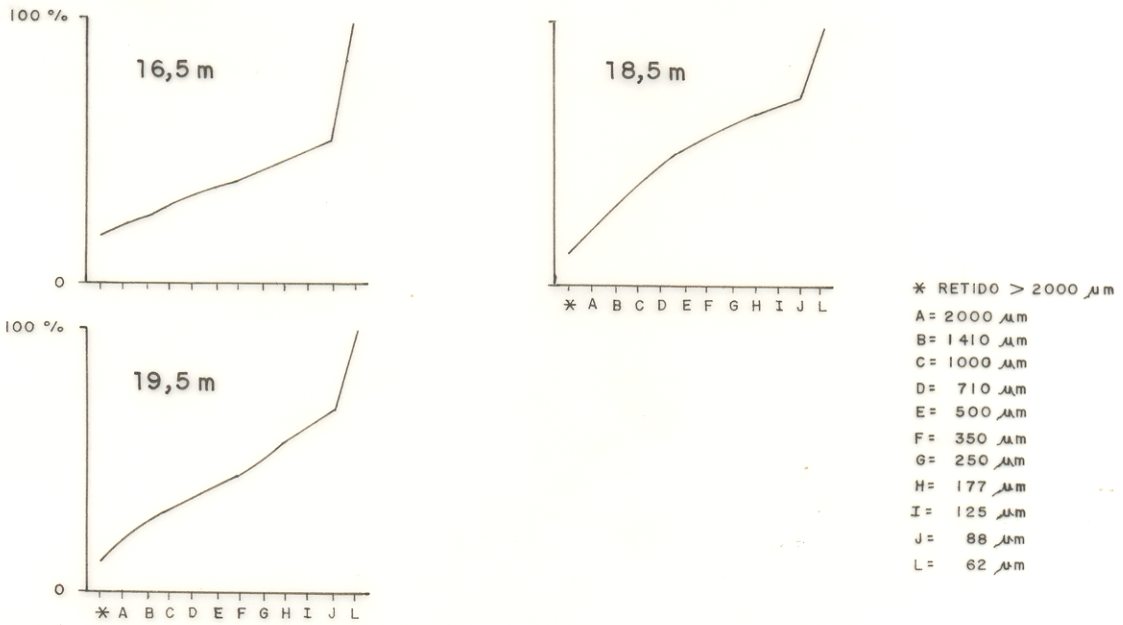


FIGURA 16a – Curvas acumulativas das frações granulométricas em diferentes profundidades da L – 1.600 P – 1.000.

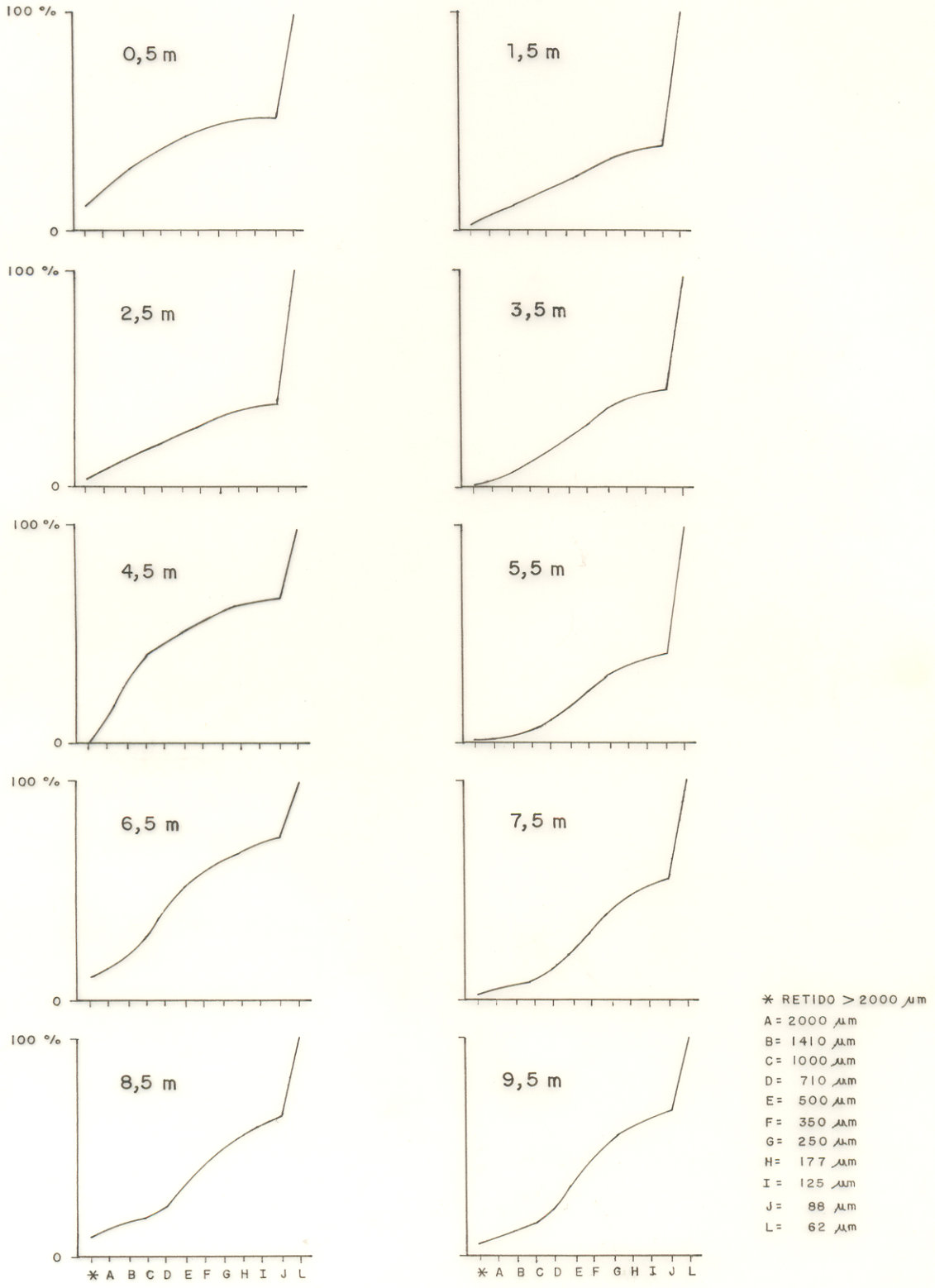


FIGURA 17 – Curvas acumulativas das frações granulométricas em diferentes profundidades da L – 1.750 P – 375.

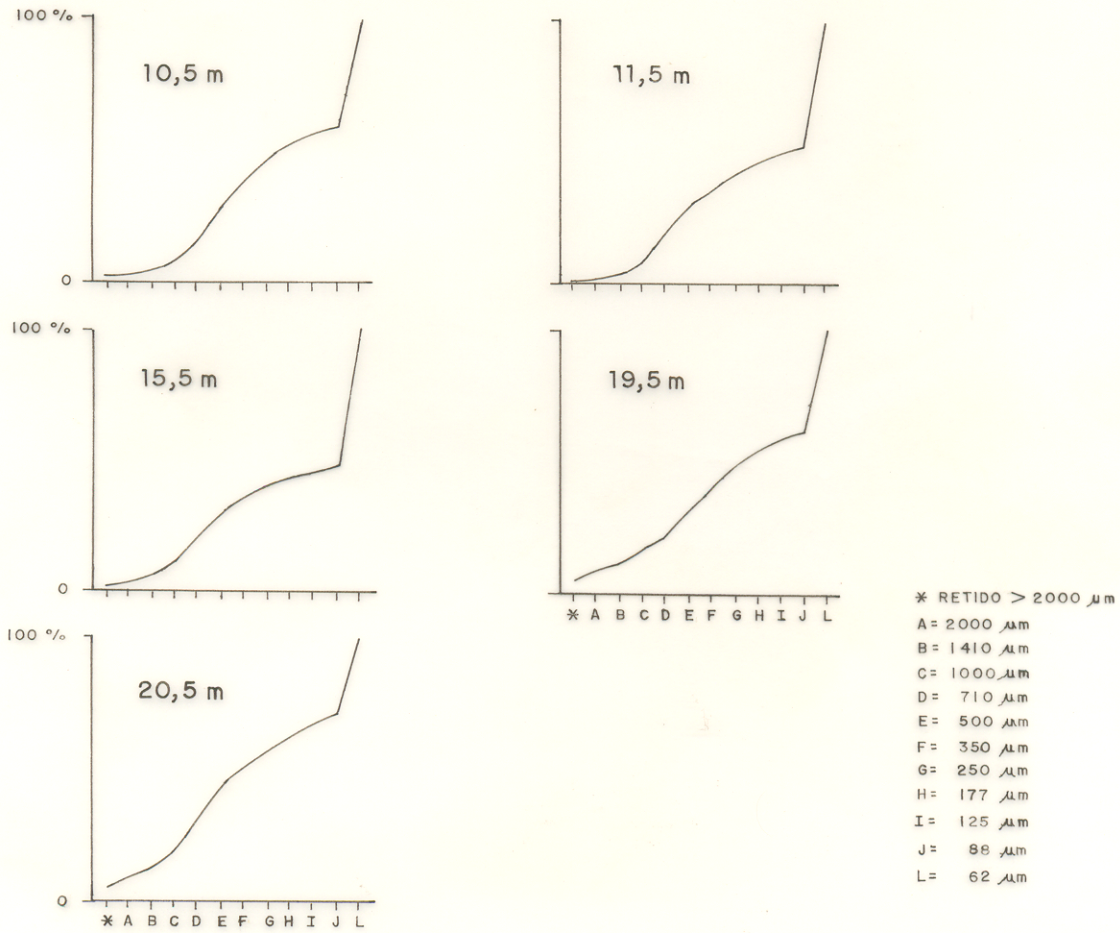


FIGURA 17a – Curvas acumulativas das frações granulométricas em diferentes profundidades da L – 1.750 P – 375.

ANEXO 2

TABELA 1: ANÁLISES QUÍMICAS DOS POÇOS DA SERRA DO MADEIRA - % em peso

POÇOS		SiO2	Al2O3	Fe2O3	FeO	CaO	MgO	Na2O	K2O	MnO	TiO2	PF
500/875												
	0.50	55.10	25.30	4.50	0.73	<0.05	0.03	0.03	0.02	<0.01	0.38	13.19
	2.50	45.02	26.50	13.00	0.59	0.06	<0.05	0.06	0.20	0.02	0.42	12.06
	7.50	63.10	21.10	2.90	0.88	0.07	<0.05	0.04	0.01	0.03	0.07	8.11
	15.50	68.00	18.00	3.30	0.88	0.05	<0.05	0.03	0.05	0.02	<0.05	7.51
	20.50	69.60	17.70	2.50	0.44	0.07	<0.05	0.04	0.16	0.02	<0.05	7.34
	rocha	74.80	13.70	0.59	1.00	0.00	0.13	3.00	3.00	0.02		
500/1375												
	0.50	69.50	17.80	20.50	0.44	0.06	0.09	0.05	1.70	0.02	0.07	6.00
	4.50	70.10	17.50	2.30	0.14	0.05	0.06	0.03	1.20	0.01	0.09	6.47
	7.50	72.50	15.60	2.40	0.44	0.05	0.10	0.03	1.02	0.03	<0.05	5.51
	11.50	65.20	20.10	3.80	0.59	0.14	<0.05	0.02	1.33	0.04	<0.05	8.96
	13.50	75.50	13.50	3.10	0.44	0.05	<0.05	0.05	0.20	0.03	<0.05	5.38
	16.50	70.60	17.50	1.40	0.44	<0.05	<0.05	0.04	1.50	<0.01	<0.05	6.52
	rocha	74.10	12.05	1.15	1.64	0.12	0.06	3.80	5.00	0.03		
750/375												
	0.50	45.40	23.90	16.20	0.29	0.07	<0.05	0.03	0.01	0.04	0.16	11.57
	2.50	58.90	23.10	5.50	0.29	0.05	<0.05	0.04	0.01	0.03	0.12	9.55
	4.50	62.70	20.80	5.40	0.29	0.05	<0.05	0.04	0.01	0.03	0.12	8.34
	6.50	61.10	21.20	5.70	0.44	0.05	<0.05	0.04	<0.01	0.04	0.11	8.66
	10.50	67.20	18.60	3.20	0.44	0.05	<0.05	0.04	<0.01	0.03	0.11	7.56
	17.50	58.50	23.70	5.70	0.29	0.10	<0.05	0.02	<0.01	0.04	0.09	9.21
	27.50	66.30	19.10	4.60	0.29	<0.05	<0.05	0.03	0.06	0.02	0.08	7.84
	rocha	68.28	12.52	1.05	1.39	1.28	<0.05	5.32	4.51	0.04		
750/625												
	0.50	54.20	23.70	8.40	0.29	0.06	0.02	0.04	0.03	0.02	0.11	10.58
	2.50	60.50	22.40	4.40	0.44	0.10	<0.05	0.05	0.07	0.02	0.06	9.33
	4.50	64.50	18.30	4.90	0.44	0.09	<0.05	0.05	0.20	0.02	0.08	7.50
	6.50	65.50	19.50	4.10	0.44	0.06	<0.05	0.03	0.01	<0.01	0.05	7.77
	8.50	63.70	20.60	3.40	0.59	0.11	<0.05	0.04	0.24	0.02	<0.05	8.35
	9.50	66.00	17.10	5.30	0.44	0.06	<0.05	0.04	0.31	0.03	0.07	7.19
	11.50	65.70	18.40	4.20	0.15	0.06	<0.05	0.06	0.23	0.20	0.06	7.90
	16.50	60.70	16.50	4.30	0.40	<0.05	<0.05	0.04	0.35	0.04	0.08	7.22
	rocha	68.28	12.52	1.05	1.39	1.28	0.04	5.32	4.51	0.04		
750/1000												
	0.50	41.00	29.10	11.10	0.73	0.08	0.03	0.04	0.02	0.03	0.20	14.71
	1.50	59.20	22.90	4.70	0.29	0.09	<0.05	0.04	0.12	0.03	0.05	9.56
	6.50	62.20	20.20	5.60	0.29	0.06	<0.05	0.04	0.02	0.03	<0.05	8.29
	12.50	68.10	16.00	3.50	0.44	0.10	<0.05	0.05	0.16	0.04	<0.05	6.58
	19.50	69.20	12.10	6.80	0.22	0.12	<0.05	0.06	0.37	0.25	<0.05	5.93
	rocha	68.28	12.52	1.05	1.39	1.28	0.04	5.32	4.51	0.04		
750/1750												
	0.50	57.80	21.20	7.00	0.29	0.07	<0.05	0.02	0.02	0.04	0.21	10.60

TABELA 1: ANÁLISES QUÍMICAS DOS POÇOS DA SERRA DO MADEIRA - % em peso

POÇOS		SiO2	Al2O3	Fe2O3	FeO	CaO	MgO	Na2O	K2O	MnO	TiO2	PF
	2.50	62.50	19.40	5.90	0.28	0.07	0.02	0.05	0.04	0.05	0.14	9.10
	3.50	57.90	24.10	5.30	0.44	0.06	<0.05	0.03	0.02	0.05	0.16	10.63
	5.50	71.10	15.10	4.20	0.14	0.05	0.02	0.01	0.04	0.04	0.05	6.72
	7.50	68.00	16.50	4.70	0.44	0.07	<0.05	0.04	0.03	0.05	<0.05	6.62
	rocha	68.28	12.52	1.05	1.39	1.28	0.04	5.32	4.51	0.04		
1000/750												
	0.50	44.40	29.20	7.20	0.44	0.06	<0.05	0.03	0.03	0.04	0.24	15.09
	1.50	60.30	22.00	4.90	0.15	0.05	<0.05	0.04	0.04	0.03	0.08	9.51
	3.50	69.70	15.80	4.80	0.29	0.05	<0.05	0.03	0.22	0.03	0.08	6.37
	5.50	66.70	18.00	4.20	0.15	0.05	<0.05	0.03	0.26	0.04	0.06	7.40
	11.50	63.90	15.30	8.60	0.59	0.06	<0.05	0.04	0.65	0.06	<0.05	6.79
	rocha	68.28	12.52	1.05	1.39	1.28	0.04	5.32	4.51	0.04		
1000/1125												
	0.50	26.40	26.20	29.60	0.44	0.05	<0.05	0.03	<0.01	0.02	0.28	13.86
	2.50	50.60	26.50	6.70	0.15	0.07	<0.05	0.01	<0.01	0.03	0.17	11.44
	5.50	57.10	24.70	3.90	0.15	0.09	<0.05	0.01	<0.01	0.04	<0.05	10.07
	10.50	66.30	18.40	3.40	0.29	0.06	<0.05	0.01	<0.01	0.05	0.05	7.56
	17.50	62.40	21.80	2.80	0.15	0.07	<0.05	0.02	0.01	0.03	<0.05	8.76
	25.50	67.10	16.90	4.50	0.29	0.05	<0.05	0.02	0.18	0.03	0.09	7.00
	29.50	63.20	20.90	3.80	0.29	0.05	<0.05	0.02	0.13	0.03	<0.05	8.53
	31.50	63.80	21.20	3.50	0.44	<0.05	<0.05	0.02	0.20	0.02	0.05	8.47
	rocha	71.30	12.80	0.42	1.60	0.08	0.10	4.00	4.20	0.04	0.05	1.46
1250/375												
	0.50	51.30	24.90	7.20	0.29	0.05	<0.05	0.02	0.01	0.03	0.23	11.73
	2.50	55.10	24.30	4.70	0.14	0.06	<0.05	0.01	0.01	0.03	0.08	11.53
	5.50	70.60	15.30	4.70	0.14	0.05	0.03	0.03	0.28	0.02	0.10	6.33
	10.50	51.30	23.10	10.50	0.52	0.05	<0.05	0.04	0.01	0.01	0.16	11.08
	15.50	65.10	20.20	3.50	0.44	0.05	<0.05	0.03	0.14	0.02	<0.05	8.18
	22.50	71.10	14.00	2.90	0.57	0.06	0.12	0.05	3.70	0.04	<0.05	3.38
	30.50	60.40	17.10	3.20	0.52	0.05	0.10	0.05	2.30	0.03	<0.05	5.29
	rocha	68.28	12.52	1.05	1.39	1.28	0.04	5.32	4.51	0.04		
1250/1000												
	0.50	50.60	24.90	5.60	0.73	0.08	<0.05	0.03	0.14	0.04	0.14	13.15
	2.50	58.40	22.10	4.50	0.44	0.10	<0.05	0.03	0.21	0.05	0.08	10.12
	3.50	56.10	23.30	5.20	0.44	0.11	<0.05	0.03	0.15	0.05	0.07	10.66
	5.50	65.70	17.10	1.70	0.44	0.10	<0.05	0.07	2.00	0.06	0.07	7.18
	8.50	66.50	17.01	1.50	0.88	0.05	<0.05	0.17	5.80	0.03	<0.05	5.16
	rocha	68.28	12.52	1.05	1.39	1.28	0.04	5.32	4.51	0.04		
1250/1250												
	0.50	47.20	26.10	7.60	0.29	0.07	<0.05	0.02	<0.01	0.06	0.25	13.67
	2.50	52.20	25.80	6.10	0.37	0.08	<0.05	0.06	<0.01	0.03	0.11	10.71
	5.50	62.40	20.10	5.10	0.29	0.10	<0.05	0.04	<0.01	0.04	0.06	7.81

TABELA 1: ANÁLISES QUÍMICAS DOS POÇOS DA SERRA DO MADEIRA - % em peso

POÇOS		SiO2	Al2O3	Fe2O3	FeO	CaO	MgO	Na2O	K2O	MnO	TiO2	PF
	12.50	61.10	18.50	8.30	0.29	0.06	0.15	0.03	0.05	0.03	<0.05	6.97
	22.50	65.40	19.10	2.70	0.44	0.07	0.20	0.04	2.20	0.03	<0.05	6.15
	rocha	68.20	12.52	1.05	1.39	1.28	0.04	5.32	4.51	0.04		
1250/1750												
	0.50	25.10	20.20	39.90	0.29	0.06	<0.05	0.03	0.01	0.03	0.42	11.28
	3.50	50.20	25.30	7.50	0.29	0.10	<0.05	0.02	0.01	0.04	0.21	10.67
	5.50	71.80	13.00	5.80	0.29	0.05	<0.05	0.02	0.02	0.04	0.07	5.27
	12.50	57.50	21.00	7.80	0.28	0.08	0.02	0.04	0.11	0.03	0.11	3.84
	19.50	65.20	18.20	5.90	0.28	0.07	0.03	0.01	0.12	0.01	0.07	7.47
	20.50	66.10	17.50	5.70	0.44	0.07	<0.05	0.03	0.15	0.02	0.07	6.94
	rocha	74.20	12.50	0.10	2.70	0.10	0.10	3.30	5.10	0.03	0.05	0.60
1500/625												
	0.50	58.90	20.60	5.10	0.73	0.05	<0.05	0.03	0.02	0.06	0.05	10.59
	3.50	63.00	20.60	4.30	0.44	0.05	<0.05	0.03	0.15	0.03	0.07	8.39
	5.50	61.10	22.10	3.80	0.44	0.05	<0.05	0.02	0.25	0.02	<0.05	9.05
	8.50	64.20	18.70	5.90	0.44	<0.05	<0.05	0.03	0.09	0.05	<0.05	7.44
	13.50	67.40	16.70	4.60	0.52	<0.05	<0.05	0.03	0.17	0.04	<0.05	7.00
	18.50	58.20	24.10	5.10	0.15	<0.05	<0.05	0.02	0.14	0.04	0.05	9.61
	25.50	66.70	17.40	4.10	0.44	0.06	<0.05	0.03	0.32	0.03	0.05	7.29
	rocha	68.20	12.52	1.05	1.39	1.28	0.04	5.32	4.51	0.04		
1500/1250												
	0.50	25.60	30.30	17.70	1.20	0.08	<0.05	0.02	0.01	0.03	0.83	21.33
	1.50	17.80	39.60	13.50	0.44	0.81	<0.05	0.01	<0.01	0.04	0.34	22.18
	2.50	30.10	37.10	10.00	0.29	0.10	<0.05	0.03	0.01	0.03	0.49	18.41
	4.50	58.20	21.10	5.70	0.29	0.11	<0.05	0.02	<0.01	0.04	0.37	9.72
	5.50	57.70	20.10	7.20	0.29	0.12	<0.05	0.02	0.02	0.05	0.32	9.36
	8.50	52.50	23.00	9.00	0.44	0.08	<0.05	0.02	0.01	0.05	0.28	9.82
	13.50	59.10	22.80	5.60	0.29	0.06	<0.05	0.03	<0.01	0.03	<0.05	8.90
	23.50	63.10	18.60	6.60	0.44	0.08	<0.05	0.03	<0.01	0.03	<0.05	7.66
	28.50	64.30	18.50	4.30	0.88	0.05	<0.05	0.04	1.00	0.07	<0.05	7.66
	rocha	68.20	12.52	1.05	1.39	1.28	0.04	5.32	4.51	0.04		
1500/1500												
	0.50	34.60	32.60	9.70	0.44	0.07	<0.05	0.03	0.01	0.05	0.78	17.67
	2.50	67.00	16.10	2.90	0.88	<0.05	<0.05	0.02	0.01	0.02	0.21	7.15
	3.50	59.60	21.60	4.40	0.29	0.05	<0.05	0.03	<0.01	0.02	0.19	10.37
	5.50	77.20	13.20	2.20	0.29	<0.05	<0.05	0.02	0.03	<0.01	0.05	5.82
	8.50	55.40	24.50	7.90	0.15	<0.05	<0.05	0.02	0.03	<0.01	0.06	10.93
	12.50	61.40	24.80	1.60	0.29	0.06	<0.05	0.02	0.04	0.02	<0.05	9.57
	rocha	66.90	12.40	0.82	1.50	3.60		7.30	5.00	0.06		
1600/1000												
	0.50	53.60	24.60	6.60	0.44	<0.05	<0.05	0.02	0.02	0.03	0.87	12.64
	2.50	20.40	25.80	39.60	0.29	<0.05	<0.05	0.12	0.02	0.01	0.70	12.78

TABELA 1: ANÁLISES QUÍMICAS DOS POÇOS DA SERRA DO MADEIRA - % em peso

POÇOS		SiO2	Al2O3	Fe2O3	FeO	CaO	MgO	Na2O	K2O	MnO	TiO2	PF
	5.50	51.10	27.80	5.60	0.59	0.08	*0.05	0.01	0.00	0.02	0.81	13.17
	7.50	63.50	20.00	5.30	0.28	*0.05	0.03	0.01	1.20	0.01	0.09	6.47
	8.50	65.50	20.10	3.90	0.44	*0.05	*0.05	0.02	0.09	*0.01	0.90	8.55
	13.50	61.00	20.30	6.90	0.08	0.06	0.05	0.02	0.22	0.03	1.00	9.22
	16.50	64.20	21.10	4.40	0.28	*0.05	0.05	0.01	0.09	*0.01	0.57	8.83
	19.50	57.70	16.50	2.20	0.44	0.08	0.05	0.54	4.60	0.03	0.05	5.10
	rocha	74.80	13.70	0.59	1.00	0.00	0.13	3.00	3.00	0.02		
1750/375												
	0.50	52.80	21.20	7.90	0.44	0.08	*0.05	0.01	0.04	0.08	0.42	11.40
	2.50	53.10	24.70	8.80	0.37	0.05	*0.05	0.02	0.04	*0.01	0.79	11.62
	5.50	62.00	20.10	7.40	0.44	0.05	*0.05	0.02	0.09	*0.01	0.90	8.64
	8.50	53.50	25.50	6.50	0.59	0.12	*0.05	0.03	0.16	0.01	0.83	12.42
	11.50	65.10	19.90	5.10	0.29	*0.05	0.05	0.03	0.14	*0.01	0.76	8.38
	15.50	61.50	21.80	5.90	0.15	*0.05	*0.05	*0.01	0.09	*0.01	0.69	9.12
	20.50	63.60	21.50	3.90	0.37	*0.05	0.16	0.04	0.10	0.01	0.70	9.41
	rocha	76.30	11.40	0.40	0.90	0.63	0.05	3.70	5.40	0.00	0.10	

* teor abaixo do limite de detecção

TABELA 2: ANÁLISES QUÍMICAS DOS POÇOS DA SERRA DO MADEIRA - % em peso e ppm

POÇOS	F	Sn	Zr	Nb	Y	Pb	Ga	Hf	Ta	Rb	P	Th	W	U
500/875														
0.50	0.057	0.180	0.230	490	52	17	48	200	62	<10	76	1050	59	6
2.50	0.048	0.036	0.160	760	96	84	76	180	24	<10	79	970	50	11
7.50	0.250	0.490	1.400	4000	58	680	122	930	290	<10	<50	1660	73	41
15.50	0.020	0.400	0.910	2310	54	122	94	750	110	<10	<50	910	62	57
20.50	0.024	0.470	1.000	1530	54	144	84	900	140	130	50	1310	75	220
rocha	0.020	0.006	0.590	580	78	230	48	0	91	1350	200	255		117
500/1375														
0.50	0.190	0.220	0.890	1050	46	240	67	260	120	1670	<50	570	54	76
4.50	0.062	0.070	1.200	1190	350	300	75		59	1280	<50	500	66	28
7.50	0.130	0.062	1.100	1330	58	180	72	410	97	1050	<50	600	57	96
11.50	0.130	0.100	0.500	1840	37	82	88	200	130	460	<50	900	71	72
13.50	0.060	0.160	0.710	1090	53	64	58	450	110	720	<50	1780	74	125
16.50	0.840	0.140	0.970	730	80	178	94	750	51	1540	50	310	72	120
rocha	0.080	0.012	0.510	1130	282	1440	63	200	170	3550	250	381		113
750/375														
0.50	0.140	0.280	0.740	1680	64	217	84	520	140	<10	74	1300	12	21
2.50	0.061	0.300	1.100	1410	90	520	126	750	130	<10	<50	1570	89	78
4.50	0.160	0.160	1.100	1680	80	540	106	700	140	<10	<50	1660	100	93
6.50	0.130	0.220	1.100	1380	80	450	96	720	120	<10	52	1490	110	120
10.50	0.190	0.250	1.400	1750	96	580	106	900	120	<10	<50	1210	98	210
17.50	0.200	0.200	1.100	1130	90	480	98	580	78	<10	<50	900	70	110
27.50	0.250	0.170	0.720	1290	118	240	105	560	85	210	50	860	84	130
rocha	2.680	0.110	0.640	1172	277	693	66	200	94	5753	119	347		107
750/625														
0.50	0.190	0.460	0.960	2800	42	435	77	330	240	54	52	810	53	69
2.50	0.250	0.400	0.940	2590	38	660	124	540	160	410	<50	600	48	140
4.50	0.290	0.700	1.600	1650	37	980	84	655	160	910	<50	560	43	300
6.50	0.290	0.220	1.100	1230	38	660	94	750	81	910	<50	290	57	160
8.50	0.500	0.570	0.980	1640	56	710	101	750	99	1140	<50	410	40	230
9.50	0.460	0.310	1.400	2770	46	730	80	610	120	1330	<50	580	58	310
11.50	0.370	0.300	1.000	1860	42	2600	96	720	98	1040	<50	480	56	200
16.50	0.360	0.170	0.880	1070	46	680	86	540	85	1440	<50	760	87	290
rocha	2.680	0.110	0.640	1172	277	693	66	200	94	5753	119	347		487
750/1000														
0.50	0.190	0.690	1.000	3050	48	470	120	410	340	<10	85	1460	59	49
1.50	0.190	0.500	1.100	3030	47	420	98	750	260	140	<50	1910	64	72
6.50	0.240	0.540	1.300	3520	33	520	92	680	220	160	<50	780	73	74
12.50	0.300	0.590	1.600	4100	76	520	101	800	200	850	<50	2350	50	84
19.50	0.320	0.800	1.600	3060	152	3800	126	1340	150	2100	<50	1260	77	170
rocha	2.680	0.110	0.640	1172	277	693	66	200	94	5753	119	347		487
750/1750														
0.50	0.037	0.310	1.000	2470	126	52	62	320	240	<10	82	1710	97	76

TABELA 2: ANÁLISES QUÍMICAS DOS POÇOS DA SERRA DO MADEIRA - % em peso e ppm

POÇOS		F	Sn	Zr	Nb	Y	Pb	Ga	Hf	Ta	Rb	P	Th	W	U
	2.50	0.050	0.230	0.080	3010	220	80	110		220	<10	75	2460	140	100
	3.50	0.051	0.400	0.980	3350	98	72	106	520	240	<10	<50	2230	110	81
	5.50	0.054	0.300	1.200	2380	130	110	104		220	16	<50	1620	98	75
	7.50	0.045	0.490	1.200	1910	104	192	100	880	190	26	<50	1410	79	110
	rocha	2.680	0.110	0.640	1172	277	693	66	200	94	5753	119	347		487
1000/750															
	0.50	0.130	0.425	0.740	3800	210	242	112	270	400	66	84	1560	110	73
	1.50	0.160	0.350	0.870	2760	50	367		400	260	120	<50	1320	64	50
	3.50	0.280	0.300	0.820	1740	32	565		290	160	1540	<50	1260	75	122
	5.50	0.390	0.350	0.770	2000	30	847		490	200	1850	<50	850	35	136
	11.50	0.620	0.440	1.200	2660	70	405		560	250	3770	<50	1540	80	105
	rocha	2.680	0.110	0.640	1172	277	693	66	200	94	5753	119	347		487
1000/1125															
	0.50	0.110	0.385	0.960	2590	78	316	96	320	180	<10	120	1200	58	56
	2.50	0.220	0.430	1.300	3270	48	753		380	300	<15	<50	1440	74	95
	5.50	0.250	0.710	0.830	4500	28	1148		540	410	<15	<50	1420	83	250
	10.50	0.170	0.530	0.860	4220	63	433		420	390	<15	<50	4310	88	150
	17.50	0.170	0.500	1.100	2030	43	687		370	240	40	<50	860	66	150
	25.50	0.260	0.380	1.400	1800	23	546		370	180	1020	<50	900	67	180
	29.50	0.220	0.420	1.100	2760	40	715		410	220	810	<50	1580	98	102
	31.50	0.300	0.240	0.590	1620	17	405		260	130	1490	<50	920	51	156
	rocha	1.770	0.128	0.410	940	1000	1000		200	55	6600	160	237		96
1250/375															
	0.50	0.062	0.315	1.300	3150	240	226	106	410	290	<10	100	1610	110	150
	2.50	0.100	0.390	1.600	2910	122	720	84	1050	170	<10	61	1380	100	290
	5.50	0.100	0.110	1.400	1610	210	200	98		120	320	50	620	53	93
	10.50	0.072	0.260	1.500	3080	138	880	93	1030	200	<10	83	1430	89	260
	15.50	0.160	0.190	1.200	1020	88	800	76	770	43	550	<50	670	59	180
	22.50	0.450	0.260	1.500	1880	176	172	72	1200	170	5800	70	1000	82	150
	30.50	0.378	0.180	1.500	1400	78	330	65	800	86	2040	<50	530	65	160
	rocha	2.680	0.110	0.640	1172	277	693	66	200	94	5753	119	347		487
1250/1000															
	0.50	0.180	0.720	1.200	4670	230	460	100	600	400	740	130	2070	130	99
	2.50	0.250	0.650	1.400	3370	280	900	80	1200	290	950	110	2070	170	180
	3.50	0.210	0.600	1.400	4500	144	1510	118	640	10	710	68	2340	120	128
	5.50	0.390	0.590	1.200	2280	72	460	50	830	200	4900	<50	1090	79	120
	8.50	0.240	0.220	0.370	2250	190	900	64	570	90	12000	<50	830	64	130
	rocha	2.680	0.110	0.640	1172	277	693	66	200	94	5753	119	347		487
1250/1250															
	0.50	0.150	0.720	1.500	4700	430	242	104	320	400	<10	120	2800	120	93
	2.50	0.270	0.580	1.300	4410	132	930	98	1320	310	10	<50	1850	48	125
	5.50	0.260	0.600	1.500	4340	94	1040	94	1720	350	<10	<50	1520	48	132

TABELA 2: ANÁLISES QUÍMICAS DOS POÇOS DA SERRA DO MADEIRA - % em peso e ppm

POCOS		F	Sn	Zr	Nb	Y	Pb	Ga	Hf	Ta	Rb	P	Th	W	U
	12.50	0.220	0.440	1.500	2940	102	690	94	1380	210	1150	50	1810	55	87
	22.50	0.530	0.410	0.890	3360	122	600	80	750	260	4600	51	2070	75	138
	rocha	2.680	0.110	0.640	1172	277	693	66	200	94	5753	119	347		487
1250/1750															
	0.50	0.450	0.334	0.720	2400	650	178	124	200	130	*10	250	1780	92	39
	3.50	0.076	0.880	2.100	4970	1020	570	100	2050	400	*10	140	3960	280	89
	5.50	0.027	0.390	1.400	3710	940	330	80	1660	300	*10	190	2780	250	64
	12.50	0.100	0.680	1.600	3570	570	820	116		300	110	120	1610	200	200
	19.50	0.068	0.560	0.080	2550	300	1420	98		200	190	75	520	120	260
	20.50	0.042	0.560	0.890	3500	176	1600	69	940	230	340	*50	720	95	34
	rocha	0.120	0.192	0.530	1100	420	1220	66	*200	210	46	270	123		141
1500/625															
	0.50	0.110	0.290	1.630	2660	120	526	86	690	210	10	78	1200	20	240
	3.50	0.150	0.240	1.400	2310	128	260	60	720	180	290	*50	1330	130	110
	5.50	0.260	0.290	1.300	2690	82	1020	80	680	140	1130	*50	1200	66	300
	8.50	0.150	0.220	1.600	2490	96	980	88	960	140	290	*50	1450	78	250
	13.50	0.250	0.290	1.600	2710	18	1340	82	410	140	630	*50	1200	27	230
	18.50	0.250	0.200	1.200	1710	104	886	73	820	110	520	*50	1330	110	280
	25.50	0.310	0.270	1.700	2270	108	1160	79	940	140	1300	*50	980	96	350
	rocha	2.680	0.110	0.640	1172	277	693	66	200	94	5753	119	347		487
1500/1250															
	0.50	0.052	0.465	0.890	2450	370	98	120	400	200	*10	210	2150	83	29
	1.50	0.058	0.170	1.000	1820	162	158	78	1120	130	*10	150	2070	130	100
	2.50	0.058	0.650	1.200	2410	194	200	96	1120	210	*10	130	2780	92	35
	4.50	0.063	0.930	1.600	3500	172	270	76	1230	270	*10	130	2510	160	81
	5.50	0.086	0.960	1.800	3860	230	350	94	1660	290	*10	140	2940	150	110
	8.50	0.088	0.660	1.800	4840	290	980	88	1490	310	*10	100	2870	150	140
	13.50	0.063	0.500	1.200	2800	70	760	88	980	190	*10	*50	1950	96	140
	23.50	0.160	0.540	1.100	3180	200	1080	100	1600	170	*10	57	2220	140	150
	28.50	0.760	0.330	0.820	1450	70	138	70	920	150	5000	*50	1340	50	55
	rocha	2.680	0.110	0.640	1172	277	693	66	200	94	5753	117	347		487
1500/1500															
	0.50	0.950	0.490	1.300	3320	280	212	120	360	270	*10	160	2220	100	84
	2.50	0.750	0.210	1.000	1510	290	128	84	1320	180	*10	110	1390	130	14
	3.50	0.072	0.240	1.800	1600	240	144	94	1640	200	*10	110	2150	130	53
	5.50	0.130	0.008	0.420	560	77	52	60	640	64	*10	61	3300	39	15
	8.50	0.180	0.460	0.076	500	74	100	92	298	91	*10	*50	5100	15	31
	12.50	0.240	0.370	0.840	2000	102	100	70	840	170	52	*50	670	75	53
	rocha	2.100	0.086	0.710	1040	162	770	73	670	89	7500	55	1200		830
1600/1000															
	0.50	0.035	0.037	0.168	490	176	108	42	*200	21	*10	120	920	61	5
	2.50	0.041	0.059	0.110	330	77	158	72	*200	*15	*10	140	690	8	5

TABELA 2: ANÁLISES QUÍMICAS DOS POÇOS DA SERRA DO MADEIRA - % em peso e ppm

POÇOS		F	Sn	Zr	Nb	Y	Pb	Ga	Hf	Ta	Rb	P	Th	W	U
	5.50	0.950	0.004	0.150	82	34	76	39	*200	*15	26	100	230	10	7
	7.50	0.062	0.005	0.120	40	42	130	50		*15	50	130	290	*15	*15
	8.50	0.100	0.024	0.110	116	62	102	41	300	*15	34	74	270	5	6
	13.50	0.130	0.007	0.140	124	300	570	32	*200	*15	360	300	660	79	9
	16.50	0.220	0.007	0.080	200	310	130	64		*15	150	67	460	52	22
	19.50	0.220	0.460	0.640	510	470	830	47	340	160	1500	130	5600	220	125
	rocha	0.020	0.006	0.590	580	78	230	48		91	1350	200	255		117
1750/375															
	0.50	0.070	0.500	1.780	3150	620	389	85	750	280	*10	370	10500	48	210
	2.50	0.054	0.052	0.220	460	350	79	60	490	44	*10	190	1480	130	13
	5.50	0.068	0.001	0.160	250	620	114	58	360	44	*10	210	1090	150	12
	8.50	0.032	0.003	0.009	100	144	250	43	250	*15	36	270	610	27	11
	11.50	0.058	0.003	0.009	90	67	510	39	*200	*15	44	290	210	5	11
	15.50	0.070	0.003	0.050	60	62	75		*200	*15	47		100	20	11
	20.50	0.062	0.004	0.060	74	146	134	43	*200	*15	78	190	74	12	13
	rocha	0.490	0.004	0.030	620	270	170	23			1440				

* teor abaixo do limite de detecção

TABELA 3: ANÁLISES QUÍMICAS DOS POÇOS DA SERRA DO RANGEIRA - ppm

POÇOS		La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Yb	Lu	La/Yb	Ce/Yb
500/875														
	0.50													
	2.50	18.84	119.90	15.90	5.40	0.85	10.00	9.60	2.17	6.62	10.37	4.18	1.23	2.99
	7.50	4.00	23.26	3.82	2.64	0.12	3.47	15.43	4.35	20.55	48.39	6.17	0.06	0.12
	15.50	23.77	113.30	23.15	6.24	0.19	4.60	11.76	3.02	12.07	25.78	3.48	0.62	1.14
	20.50	19.52	66.34	18.64	5.92	0.22	5.21	17.91	4.77	21.75	52.26	6.21	0.25	0.33
	rocha	38.12	58.83	36.18	10.70	0.38	8.18	19.60	4.50	16.85	28.84	3.78	0.89	0.53
500/1375														
	0.50													
	4.50													
	7.50	9.27	61.90	9.68	3.17	0.11	3.88	17.75	5.64	27.85	65.65	8.33	0.10	0.24
	11.50	13.44	58.88	13.15	2.60	0.09	3.80	13.28	3.58	16.64	33.92	4.17	0.27	0.45
	13.00	13.49	161.50	16.21	3.70	0.14	6.60	23.77	5.70	24.66	50.21	6.09	0.18	0.83
	16.50	47.04	122.60	44.76	12.72	0.41	9.60	22.88	5.99	25.44	52.47	7.04	0.63	0.60
	rocha	10.62	14.10	13.45	9.35	0.31	9.83	29.89	6.22	22.66	35.06	4.38	0.20	0.10
750/375														
	0.50	22.31	394.10	23.95	13.80	0.88	29.80	228.70	67.48	306.70	538.00	57.56	0.03	0.19
	2.50	10.15	71.17	14.06	5.76	0.23	6.36	26.87	7.70	35.83	76.65	9.62	0.09	0.24
	4.50	11.53	101.00	17.64	5.50	0.28	9.06	28.99	8.41	38.65	86.04	10.60	0.09	0.30
	6.50	10.36	66.13	15.26	4.20	0.25	6.40	17.35	5.41	25.11	54.48	6.27	0.13	0.31
	10.50	23.14	66.05	18.81	5.50	0.28	10.00	30.23	9.50	42.92	96.96	12.20	0.16	0.18
	17.50	12.05	41.87	12.32	5.60	0.44	10.69	18.79	5.78	27.55	56.35	8.28	0.14	0.17
	27.50	12.08	42.26	14.71	5.36	0.22	6.21	27.60	8.44	39.81	82.04	10.18	0.10	0.13
	rocha	43.78	161.89	68.46	26.90	1.09	28.39	72.29	15.77	51.82	62.16	7.58	0.48	0.67
750/625														
	0.50													
	2.50	3.94	135.70	7.71	2.80	0.17	6.60	15.03	3.47	13.88	27.27	3.30	0.10	1.29
	4.50	20.53	75.02	20.77	6.70	0.33	11.80	48.16	10.46	45.53	88.62	10.28	0.16	0.22
	6.50	7.86	35.61	7.70	3.20	0.36	6.50	8.66	2.18	8.49	14.86	2.81	0.36	0.62
	8.50	69.31	48.11	11.00	4.20	0.19	6.00	16.16	4.05	16.68	34.34	4.17	1.36	0.30
	9.50	47.69	121.30	29.10	34.00	0.92	46.10	55.10	20.10	59.78	66.87	14.15	0.48	0.47
	11.50	5.13	127.40	11.10	4.20	0.15	6.40	13.00	3.85	18.73	32.02	3.74	0.11	1.03
	16.50	11.91	303.70	20.80	7.13	0.34	10.80	28.99	8.25	36.41	74.30	9.27	0.11	1.06
	rocha	43.78	161.87	68.46	26.90	1.09	28.39	72.29	15.77	51.82	62.16	7.58	0.48	0.67
750/1000														
	0.50													
	1.50	7.02	148.70	9.80	3.70	0.16	6.40	18.43	4.53	19.26	41.24	4.97	0.11	0.93
	6.50	6.19	73.51	9.80	3.10	0.17	5.10	12.00	3.22	13.40	29.12	3.50	0.14	0.65
	12.50	20.26	60.21	15.20	5.30	0.21	6.60	15.00	4.03	17.76	37.65	4.69	0.36	0.41
	19.50	21.78	103.40	22.72	7.20	0.33	14.00	42.69	11.07	48.11	98.14	9.76	0.17	0.32
	rocha	43.78	161.89	68.46	26.90	1.09	28.39	72.29	15.77	51.82	62.16	7.58	0.48	0.67
750/1750														
	0.50	16.63	132.10	13.18	5.50	0.31	7.36	44.03	11.13	51.98	104.10	14.62	0.11	0.33

TABELA 3: ANÁLISES QUÍMICAS DOS POÇOS DA SERRA DO MADEIRA - ppm

POÇOS		La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Yb	Lu	La/Yb	Ce/Yb
	2.50													
	3.50	7.40	11.40	8.25	3.70	0.19	6.80	23.00	8.57	39.63	90.45	11.11	0.06	0.03
	5.50													
	7.50	20.60	75.72	17.53	5.40	0.21	8.00	21.10	7.70	37.31	86.34	10.69	0.16	0.23
	rocha	43.78	161.89	68.46	26.90	1.09	28.39	72.29	15.77	51.82	62.16	7.58	0.48	0.67
1000/750														
	0.50	11.00	92.59	8.68	3.10	0.20	7.52	46.00	14.07	62.20	103.50	13.45	0.07	0.23
	1.50	4.71	126.50	5.14	2.93	0.12	3.74	18.43	5.10	22.91	42.37	5.13	0.08	0.77
	3.50	4.70	40.78	8.76	5.03	0.18	5.97	23.14	5.63	23.99	46.63	6.20	0.07	0.23
	5.50	6.75	33.98	10.92	6.52	0.21	7.57	27.53	6.51	26.64	50.36	6.24	0.09	0.17
	11.50	4.71	15.68	11.03	6.61	0.29	13.00	34.20	8.31	31.12	46.47	5.40	0.07	0.09
	rocha	43.78	161.89	68.46	26.90	1.09	28.39	72.29	15.77	51.82	62.16	7.58	0.48	0.67
1000/1125														
	0.50	26.88	80.94	15.64	4.51	0.29	5.43	24.82	5.83	26.52	50.93	7.37	0.36	0.41
	2.50	4.80	34.20	5.27	2.76	0.16	4.97	16.45	4.77	22.65	49.67	6.60	0.07	0.18
	5.50	4.40	24.67	4.26	2.68	0.11	3.41	13.24	3.26	13.75	28.59	3.58	0.10	0.22
	10.50	2.83	19.45	6.51	3.64	0.20	8.04	29.26	6.72	25.84	45.92	5.72	0.04	0.11
	17.50	3.57	23.99	5.55	3.44	0.13	4.26	16.50	4.04	18.06	37.18	4.66	0.06	0.17
	25.50	3.62	25.75	7.08	3.20	0.15	5.72	18.00	5.18	23.97	52.30	6.83	0.05	0.13
	29.50	5.98	28.67	8.14	4.51	0.17	5.08	18.56	4.50	19.53	36.92	4.89	0.10	0.19
	31.50	6.37	16.43	5.30	1.90	0.07	2.80	8.00	2.17	9.49	18.95	2.37	0.23	0.22
	rocha	144.80	441.40	402.40	186.10	6.70	199.70	551.10	101.80	308.80	313.30	30.11	0.31	0.36
1250/375														
	0.50	15.20	95.61	12.63	4.90	0.23	7.48	52.64	13.99	66.74	130.40	18.34	0.08	0.19
	2.50	12.32	86.47	13.86	5.30	0.24	10.00	48.00	14.76	74.47	130.30	17.18	0.05	0.14
	5.50													
	10.50	10.34	91.36	12.00	4.20	0.22	7.70	29.45	9.29	45.28	99.88	12.22	0.07	0.24
	15.50	3.20	31.11	6.04	2.50	0.10	4.30	17.80	5.83	28.21	58.73	7.61	0.04	0.14
	22.50	10.93	56.61	22.14	9.10	0.38	14.50	38.80	10.65	45.75	82.83	10.02	0.09	0.18
	30.50	10.61	230.20	13.42	4.50	0.22	6.20	17.85	5.31	25.56	54.99	6.75	0.13	1.00
	rocha	43.78	161.89	68.46	26.90	1.09	28.39	72.29	15.77	51.82	62.16	7.58	0.48	0.67
1250/1000														
	0.50	27.86	129.00	19.76	8.13	0.48	15.10	62.10	21.69	96.49	154.40	19.17	0.12	0.22
	2.50	7.66	73.14	13.10	5.52	0.26	8.30	29.75	6.88	28.04	47.07	5.54	0.11	0.39
	3.50	8.74	90.24	11.88	5.40	0.24	9.60	31.30	7.22	28.82	48.82	5.27	0.12	0.48
	5.50	10.01	89.51	16.46	7.50	0.28	13.60	28.50	6.41	22.23	33.15	3.39	0.20	0.70
	8.50	208.70	76.79	230.50	70.20	2.41	65.50	81.50	15.25	41.16	40.95	3.98	3.44	0.49
	rocha	43.78	161.89	68.46	26.90	1.09	28.39	72.29	15.77	51.82	62.16	7.58	0.48	0.67
1250/1250														
	0.50	20.98	106.00	11.59	4.67	0.33	9.20	76.37	19.56	88.59	170.50	22.75	0.08	0.16
	2.50	6.45	46.39	6.85	3.50	0.16	5.95	28.96	7.79	35.62	78.86	9.15	0.06	0.15
	5.50	2.77	32.82	4.89	4.00	0.15	4.63	24.28	6.53	30.88	68.76	8.21	0.03	0.12

TABELA 3: ANÁLISES QUÍMICAS DOS POÇOS DA SERRA DO MAOETRA - ppm

POÇOS		La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Yb	Lu	La/Yb	Ce/Yb
	12.50	3.55	80.69	5.02	1.32	0.13	5.25	18.75	4.47	16.94	31.72	3.63	0.08	0.65
	22.50	7.81	35.22	6.53	1.15	0.14	7.30	18.27	4.53	19.51	39.90	4.32	0.13	0.23
	rocha	19.89	43.54	24.09	10.04	0.31	11.08	42.74	11.00	42.72	57.44	6.56	0.23	0.19
1250/1750														
	0.50	27.32	73.25	20.07	8.13	0.45	15.84	106.00	26.53	114.10	183.20	24.06	0.10	0.10
	3.50	12.15	87.77	9.60	4.00	0.20	6.09	41.11	12.14	56.92	125.40	13.77	0.07	0.18
	5.50	4.01	32.15	4.22	2.64	0.09	3.89	24.33	6.49	27.55	50.58	5.83	0.05	0.16
	12.50													
	19.50													
	20.50	22.90	98.50	15.25	4.10	0.13	4.43	20.56	5.22	21.93	39.43	4.38	0.39	0.65
	rocha	39.94	107.60	55.17	35.40	1.11	48.41	222.10	51.52	188.40	215.20	28.55	0.13	0.13
1500/625														
	0.50	8.21	63.65	9.10	3.84	0.22	4.59	28.84	8.55	37.94	68.50	7.99	0.08	0.24
	3.50	9.56	120.30	15.63	5.80	0.21	9.10	26.00	7.69	35.96	73.69	8.29	0.09	0.42
	5.50	2.72	27.04	5.02	1.71	0.09	3.50	11.80	4.15	21.03	46.95	5.83	0.04	0.15
	8.50	9.18	68.73	13.38	5.00	0.17	8.60	20.10	6.02	32.88	71.22	8.40	0.09	0.25
	13.50	7.23	50.87	10.62	3.20	0.13	6.00	23.74	7.58	36.96	76.61	9.75	0.06	0.17
	18.50	8.54	76.06	12.83	4.40	0.17	7.70	22.10	7.16	33.65	67.74	8.96	0.09	0.29
	25.50	9.23	46.37	9.93	3.70	0.13	5.80	18.80	6.30	31.39	62.90	7.65	0.10	0.19
	rocha	43.78	161.89	68.46	26.90	1.09	28.39	72.29	15.77	51.82	62.16	7.58	0.48	0.67
1500/1250														
	0.50	21.69	89.08	11.42	4.79	0.37	9.50	52.20	17.81	76.22	126.20	16.55	0.12	0.18
	1.50	16.54	705.10	10.79	3.49	0.21	8.32	24.31	8.91	42.20	105.00	13.42	0.11	1.74
	2.50	35.03	243.10	28.15	7.10	0.38	9.00	25.00	6.37	27.95	57.78	6.72	0.41	1.09
	4.50	17.54	93.45	14.43	4.08	0.28	5.06	23.70	7.37	33.75	70.62	8.18	0.17	0.34
	5.50	12.21	72.83	10.54	3.60	0.17	8.70	31.75	9.91	46.65	99.07	12.33	0.08	0.19
	8.50	11.14	93.21	10.73	4.20	0.27	9.80	34.77	9.82	44.31	84.61	9.84	0.09	0.29
	13.50	3.76	38.10	6.25	3.60	0.16	8.50	28.50	7.69	35.12	73.87	8.63	0.03	0.13
	23.50	1.03	104.20	0.80	0.48	0.12	1.19	3.18	0.82	3.54	6.43	0.77	0.11	4.19
	28.50	5.43	26.61	8.70	3.60	0.19	5.70	15.22	3.90	16.28	32.00	3.80	0.11	0.17
	rocha	43.78	161.89	68.46	26.90	1.09	28.39	72.29	15.77	51.82	62.16	7.58	0.48	0.67
1500/1500														
	0.50	26.60	128.40	17.39	6.78	0.48	11.55	76.80	19.32	81.62	133.00	17.73	0.13	0.25
	2.50	5.94	32.04	5.17	2.19	0.17	4.10	9.73	2.93	13.15	28.15	3.85	0.14	0.30
	3.50	9.66	58.85	8.93	3.04	0.18	4.19	19.27	5.68	26.10	59.86	7.93	0.11	0.25
	5.50	2.60	16.06	3.48	1.50	0.06	3.30	8.50	2.67	10.35	19.16	2.18	0.09	0.22
	8.50	4.94	20.15	4.15	1.50	0.07	3.20	8.00	2.24	8.25	13.57	1.36	0.25	0.38
	12.50	3.59	27.69	5.50	2.00	0.09	3.90	15.87	4.52	20.98	44.02	5.24	0.06	0.16
	rocha	25.56	43.90	31.71	15.92	0.51	14.53	34.39	7.86	29.22	49.81	6.02	0.35	0.23
1600/1000														
	0.50													
	2.50	9.20	51.34	4.47	0.83	0.09	1.39	2.59	0.68	2.86	5.55	0.76	1.12	2.39

TABELA 3: ANÁLISES QUÍMICAS DOS POÇOS DA SERRA DO MADEIRA - ppm

POÇOS		La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Yb	Lu	La/Yb	Ce/Yb
	5.50													
	7.50													
	8.50	14.68	143.80	9.60	2.44	0.26	3.24	3.40	0.94	2.34	3.18	0.56	3.12	11.76
	13.50													
	16.50													
	19.50													
	rocha													
1750/375														
	0.10	12.26	173.30	20.00	7.80	0.33	9.90	49.00	15.15	70.58	144.90	16.25	0.06	0.31
	2.50	15.04	230.90	9.24	3.37	0.19	5.32	14.63	4.16	17.18	32.91	3.63	0.31	1.82
	5.50	16.26	217.30	11.93	4.10	0.32	9.30	24.79	6.76	26.88	43.35	4.79	0.25	1.30
	8.50	86.20	226.90	33.81	5.77	0.44	3.54	6.97	1.33	4.82	7.57	0.81	7.69	7.76
	11.50	73.92	59.20	21.75	3.60	0.35	3.11	3.87	1.11	2.93	4.33	0.62	11.52	3.54
	15.50	12.28	27.32	9.71	2.21	0.24	1.97	2.83	0.74	3.05	6.64	0.94	1.25	1.46
	20.50	128.90	257.00	105.80	18.67	1.10	11.08	15.44	3.57	12.85	18.60	1.96	4.68	3.58
	rocha													

Tabela 4: análises químicas por fração granulométrica dos poços da Serra do Madeira em %

POÇO	prof-m	fração	SiO2	Al2O3	Fe2O3	FeO	CaO	MgO	Na2O	K2O	MnO	TiO2	PF
LP 500/875	0,5	A	78.60	11.50	1.30	2.10	*0.05	*0.05	0.02	0.01	0.01	*0.05	5.46
		B	94.60	2.60	*0.10	1.30	*0.05	*0.05	0.02	*0.01	0.01	*0.05	1.19
		C	79.30	11.40	1.40	1.00	*0.05	*0.05	0.01	*0.01	0.02	0.13	5.27
		D	32.10	41.40	6.90	0.59	0.06	*0.05	0.03	0.04	0.01	0.59	17.52
		T	55.10	25.30	4.50	0.73	*0.05	0.03	0.03	0.02	*0.01	0.38	13.19
	2,5	A	74.50	14.90	0.82	1.60	*0.05	*0.05	0.02	0.01	0.01	*0.05	7.49
		B	93.90	3.10	*0.10	0.88	0.07	*0.05	0.02	0.02	*0.01	*0.05	1.45
		C	85.80	6.60	0.39	2.70	*0.05	*0.05	0.02	*0.01	0.03	*0.05	3.02
		D	32.50	41.60	6.70	0.59	*0.05	*0.05	0.03	0.01	0.01	0.56	17.33
		T	45.20	26.50	13.80	0.59	0.06	*0.05	0.06	0.02	0.02	0.42	12.56
	7,5	A	96.50	1.40	*0.10	1.20	*0.05	*0.05	0.06	0.01	*0.01	*0.05	0.55
		B	90.20	1.20	*0.10	1.30	0.06	*0.05	0.06	*0.01	0.01	*0.05	0.51
		C	65.70	2.80	5.10	0.88	0.57	*0.05	0.02	*0.01	0.31	*0.05	1.27
		D	42.50	36.90	5.20	0.44	*0.05	*0.05	0.02	0.01	0.02	0.05	13.84
		T	63.10	21.10	2.90	0.88	0.07	*0.05	0.04	0.01	0.03	0.07	8.11
	15,5	A	93.50	3.30	0.10	1.00	*0.05	*0.05	0.06	0.03	0.01	*0.05	1.28
		B	89.50	3.60	0.39	1.00	0.07	*0.07	0.04	0.02	0.02	*0.05	1.65
		C	72.30	11.80	2.70	1.30	0.15	*0.05	0.01	0.02	0.13	*0.05	5.18
		D	41.50	35.60	6.20	0.44	*0.05	*0.05	0.05	0.06	0.03	*0.05	14.98
		T	68.00	18.00	3.30	0.88	0.05	*0.05	0.03	0.05	0.02	*0.05	7.51
	20,5	A	87.10	7.70	*0.10	1.20	*0.05	*0.05	0.05	0.07	0.02	*0.05	3.07
		B	80.00	9.60	0.69	1.00	0.1	*0.05	0.03	0.07	0.03	*0.05	3.90
		C	65.20	18.10	1.60	1.20	0.11	*0.05	0.02	0.11	0.09	*0.05	7.51
		D	44.30	35.80	4.10	0.59	*0.05	*0.05	0.02	0.32	0.03	*0.05	13.90
		T	69.60	17.70	2.50	0.44	0.07	*0.05	0.04	0.16	0.02	*0.05	7.34
LP 750/1000	0,5	A	96.20	1.30	0.18	1.10	*0.05	*0.05	0.03	0.01	0.15	*0.05	0.64
		B	91.20	1.20	0.36	1.30	0.06	*0.05	0.03	0.16	0.19	*0.05	0.74
		C	81.80	1.50	1.10	1.60	0.23	*0.05	0.06	0.01	*0.10	*0.05	1.03
		D	36.10	38.00	8.20	0.59	*0.05	*0.05	0.03	0.05	0.03	0.13	15.73
		T	41.00	28.10	11.10	0.73	0.08	0.03	0.04	0.02	0.03	0.20	14.71
	1,5	A	96.90	1.10	0.17	1.20	*0.05	*0.05	0.03	0.02	0.02	*0.05	0.30
		B	93.60	0.73	*0.10	1.30	*0.05	*0.05	0.02	0.02	0.26	*0.05	0.37
		C	76.10	2.20	3.10	1.80	0.27	*0.05	0.09	0.03	0.02	*0.05	1.26
		D	41.40	35.80	6.70	0.44	*0.05	*0.05	0.04	0.15	0.02	*0.05	14.17
		T	59.20	22.80	4.70	0.29	0.09	*0.05	0.04	0.12	0.03	0.05	9.56
	6,5	A	97.10	0.93	*0.10	1.50	*0.05	*0.05	0.06	0.01	*0.10	*0.05	0.22
		B	96.00	0.67	0.12	0.88	*0.05	*0.05	0.09	0.07	0.06	*0.05	0.35
		C	77.60	1.90	4.60	1.90	0.28	*0.05	0.00	0.02	0.01	*0.05	1.22
		D	42.20	35.10	7.10	0.44	*0.05	*0.05	0.02	0.05	0.02	*0.05	13.89
		T	62.20	20.20	5.60	0.29	0.06	*0.05	0.04	0.02	0.03	*0.05	8.29
	12,5	A	97.30	0.79	*0.10	1.00	*0.05	*0.05	0.02	*0.10	0.20	*0.05	0.22

Tabela 4: análises químicas por fração granulometrica dos poços da Serra do Madeira em %

POCO	prof-m	fração	SiO2	Al2O3	Fe2O3	FeO	CaO	MgO	Na2O	K2O	MnO	TiO2	PF
		B	92.70	0.72	0.22	0.88	0.07	<0.05	0.10	0.03	<0.10	<0.05	0.34
		C	79.30	1.30	0.82	1.60	0.28	<0.05	0.07	0.02	<0.10	<0.05	0.70
		D	45.20	32.80	6.80	0.44	0.07	<0.05	0.02	0.28	0.03	<0.05	12.76
		T	68.10	16.80	3.50	0.44	0.10	<0.05	0.05	0.16	0.04	<0.05	6.58
	19,5	A	95.70	1.30	0.78	0.74	<0.05	<0.05	0.06	0.06	0.29	<0.05	0.60
		B	90.40	1.30	1.30	0.88	0.07	<0.05	0.03	0.53	0.61	<0.05	0.83
		C	70.90	4.10	4.60	1.50	0.36	<0.05	0.06	0.02	<0.10	<0.05	2.46
		D	41.70	30.20	12.60	0.74	0.14	<0.05	0.02	0.04	0.02	<0.05	13.04
		T	69.20	12.10	6.80	0.22	0.12	<0.05	0.06	0.37	0.25	<0.05	5.93
LP1250/1250	0,5	A	82.40	7.30	4.40	1.30	0.05	<0.05	0.04	0.01	0.01	<0.05	3.28
		B	80.00	4.50	3.40	0.88	0.10	<0.05	0.03	<0.01	0.02	<0.05	2.22
		C	61.50	6.30	7.90	1.90	0.40	<0.05	0.03	0.01	0.24	0.07	3.30
		D	24.60	44.90	11.30	0.44	0.06	<0.05	0.04	<0.01	0.04	0.41	15.65
		T	47.20	26.10	7.60	0.29	0.07	<0.05	0.02	<0.01	0.06	0.25	13.67
	2,5	A	93.40	2.30	1.10	1.20	<0.06	<0.05	0.04	<0.01	0.01	<0.05	0.90
		B	84.40	2.00	3.10	1.00	0.12	<0.05	0.03	<0.01	0.02	<0.05	0.93
		C	62.00	4.70	10.00	2.60	0.42	<0.05	0.02	<0.01	0.21	0.07	1.54
		D	36.70	38.90	7.40	0.44	0.05	<0.05	0.02	<0.01	0.02	0.10	15.25
		T	52.20	25.80	6.40	0.37	0.08	<0.05	0.06	<0.01	0.03	0.11	10.91
	5,5	A	97.80	0.35	0.22	0.88	<0.05	<0.05	0.08	0.02	<0.01	<0.05	0.12
		B	86.40	0.57	3.10	1.30	0.08	<0.05	0.05	<0.01	0.02	<0.05	0.29
		C	64.60	1.00	11.20	2.40	0.46	<0.05	0.06	<0.01	0.22	<0.05	
		D	42.50	35.50	6.20	0.44	<0.05	<0.05	0.02	0.02	0.03	<0.05	13.60
		T	62.40	20.10	5.10	0.29	0.10	<0.05	0.04	<0.01	0.04	0.06	7.81
	12,5	A	97.40	0.24	<0.10	1.30	0.19	<0.05	0.06	0.02	0.01	<0.05	0.01
		B	93.50	<0.10	<0.10	1.00	0.06	<0.05	0.04	0.01	0.02	<0.05	0.14
		C	85.30	0.55	3.30	1.90	0.19	<0.05	0.02	0.02	0.12	<0.05	0.31
		D	40.30	32.20	12.40	0.74	<0.05	<0.05	0.02	1.40	0.01	<0.05	11.78
		T	61.60	18.50	8.30	0.29	0.06	0.15	0.03	0.85	0.03	<0.05	6.97
	22,5	A	95.90	0.97	1.50	0.52	<0.05	<0.05	0.12	0.15	<0.01	<0.05	0.57
		B	90.70	0.72	0.46	1.30	0.08	<0.05	0.06	0.12	0.01	<0.05	0.37
		C	90.10	1.40	0.13	1.50	0.13	<0.05	0.02	0.60	0.05	<0.05	0.63
		D	47.70	32.80	2.90	0.59	0.06	<0.05	0.03	3.50	0.02	<0.05	9.91
		T	65.40	19.10	2.70	0.44	0.07	0.28	0.04	2.20	0.03	<0.05	6.15
LP1250/1750	0,5	A	82.80	4.60	4.50	2.40	0.10	<0.05	0.03	0.01	0.06	<0.05	2.25
		B	85.70	2.10	2.00	1.20	0.21	<0.05	0.02	<0.01	0.02	<0.05	1.24
		C	67.90	4.20	3.80	0.88	0.42	<0.05	0.01	<0.01	0.20	0.12	2.66
		D	15.10	45.20	12.10	1.30	0.05	<0.05	0.03	<0.01	0.03	0.77	22.94
		T	25.10	20.20	39.90	0.29	0.06	<0.05	0.03	<0.01	0.03	0.42	11.28
	3,5	A	93.80	0.94	2.20	2.80	<0,05	<0.05	0.03	<0.01	0.02	<0.05	0.07
		B	91.80	0.43	<0.10	1.50	0.08	<0.05	0.02	<0.01	0.02	<0.05	0.25

Tabela 4: análises químicas por fração granulometrica dos poços da Serra do Madeira em %

POÇO	prof-m	fração	SiO2	Al2O3	Fe2O3	FeO	CaO	MgO	Na2O	K2O	MnO	TiO2	PF
		C	63.30	0.54	4.90	2.60	0.51	<0.05	0.02	<0.01	0.25	0.06	0.54
		D	34.10	38.20	9.30	0.44	0.05	<0.05	0.02	0.01	0.03	0.22	15.66
		T	50.20	25.30	7.50	0.29	0.10	<0.05	0.02	0.01	0.04	0.21	10.67
	5,5	A	93.50	0.51	0.26	1.30	0.06	<0.05	0.02	<0.01	0.04	<0.05	0.27
		B	91.80	0.48	1.10	0.88	0.07	<0.05	0.02	<0.01	0.03	<0.05	0.27
		C	66.00	1.50	16.30	2.40	0.29	<0.05	0.01	<0.01	0.14	0.14	0.70
		D	37.00	37.00	9.00	0.44	0.05	<0.05	0.02	0.05	0.02	0.07	14.72
		T	71.00	13.00	5.00	0.29	0.05	<0.05	0.02	0.02	0.04	0.07	5.27
	12,5	A	96.60	0.48	0.27	2.10	<0.05	<0.05	0.04	0.01	0.02	<0.05	0.00
		B	94.70	0.42	0.19	1.00	0.11	<0.05	0.02	<0.01	0.01	<0.05	0.00
		C	73.30	1.40	7.40	2.20	0.41	<0.05	0.01	<0.01	0.07	0.09	0.32
		D	36.70	35.90	10.00	0.44	<0.05	<0.05	0.03	0.23	0.02	0.12	13.32
		T	57.50	21.00	7.00	0.28	0.08	0.02	0.04	0.11	0.03	0.11	8.84
	19,5	A	94.10	3.00	0.32	1.00	0.05	<0.05	0.04	0.03	0.01	<0.05	1.38
		B	85.10	4.30	0.92	0.88	0.16	<0.05	0.03	0.02	0.01	<0.05	2.16
		C	58.30	17.60	5.60	1.00	0.17	<0.05	0.01	0.04	0.08	0.05	8.99
		D	36.60	40.80	8.60	0.44	<0.05	<0.05	0.03	0.16	0.01	0.05	17.89
		T	65.20	18.20	5.90	0.28	0.07	0.03	0.01	0.12	0.01	0.07	7.47
	20,5	A	95.50	1.40	0.76	1.30	<0.05	<0.05	0.04	0.02	0.01	<0.05	0.55
		B	88.50	2.90	1.20	0.88	0.15	<0.05	0.02	<0.01	0.02	<0.05	1.32
		C	63.50	15.60	6.20	0.88	0.19	<0.05	0.01	0.06	0.07	0.05	6.74
		D	43.60	33.40	7.60	0.44	0.06	<0.05	0.02	0.29	0.01	<0.05	13.03
		T	66.10	17.50	5.70	0.44	0.07	<0.05	0.03	0.15	0.02	0.07	6.94
LP1600/1000	0,5	A	60.10	20.50	6.40	1.50	<0.05	<0.05	0.02	0.02	0.02	0.52	10.36
		B	63.10	19.90	3.20	2.60	<0.05	<0.05	0.02	0.02	0.02	0.52	9.67
		C	67.80	17.40	4.10	0.88	<0.05	<0.05	0.02	0.03	0.04	0.92	7.93
		D	34.10	37.80	9.60	0.44	<0.05	<0.05	0.04	0.42	0.38	0.92	15.63
		T	53.60	24.60	6.60	0.44	0.05	<0.05	0.02	0.02	0.03	0.87	12.64
	2,5	A	60.70	16.70	11.10	1.40	<0.05	<0.05	0.02	0.02	0.02	0.25	9.46
		B	76.80	9.80	4.50	2.20	<0.05	<0.05	0.02	0.02	0.02	0.18	5.28
		C	67.90	16.60	4.80	1.00	<0.05	<0.05	0.02	0.02	0.04	0.88	7.85
		D	34.00	37.80	9.60	0.44	<0.05	<0.05	0.02	0.04	0.02	0.90	16.40
		T	20.40	25.80	39.60	0.29	<0.05	<0.05	0.12	0.02	0.01	0.70	12.78
	5,5	A	39.70	34.10	5.90	1.90	<0.05	<0.05	0.01	0.07	<0.01	0.12	17.63
		B	78.50	9.50	3.20	1.30	<0.05	<0.05	0.01	0.03	0.01	0.45	6.67
		C	89.70	4.50	1.10	1.30	<0.05	<0.05	<0.01	0.01	0.05	0.55	2.24
		D	36.70	35.00	12.10	0.44	<0.05	<0.05	0.02	0.13	0.02	1.30	13.60
		T	51.10	27.80	5.60	0.59	0.08	<0.05	0.01	0.08	0.02	0.81	13.17
	7,5	A	44.90	31.80	5.00	1.30	<0.05	<0.05	0.01	0.05	0.01	0.20	16.15
		B	76.80	12.90	1.80	1.50	<0.05	<0.05	0.01	0.02	0.01	0.12	6.49
		C	85.70	7.00	1.10	1.50	<0.05	<0.05	0.01	0.01	0.07	0.86	3.51

Tabela 4: análises químicas por fração granulometrica dos poços da Serra do Madeira em %

POCO	prof-m	fração	SiO2	Al2O3	Fe2O3	FeO	CaO	MgO	Na2O	K2O	MnO	TiO2	PF
		D	36.30	36.30	9.20	0.44	0.05	0.05	0.03	0.15	0.01	0.98	16.00
		T	63.50	20.00	5.60	0.28	*0.05	0.03	0.01	1.20	0.01	0.09	6.47
	8,5	A											
		B	94.10	2.80	*0.10	1.30	*0.05	*0.05	0.02	0.02	0.01	0.06	1.35
		C	89.30	5.60	0.49	1.00	*0.05	*0.05	0.01	*0.10	0.04	0.63	2.39
		D	40.70	35.60	7.10	0.44	*0.05	*0.05	0.02	0.16	*0.10	1.30	14.22
		T	65.50	20.10	3.90	0.44	*0.05	*0.05	0.02	0.09	*0.10	0.90	8.55
	13,5	A	51.30	24.20	9.20	1.00	*0.05	0.05	0.01	0.20	0.02	1.30	11.96
		B	75.70	13.40	4.10	1.20	*0.05	*0.05	0.03	0.09	0.01	0.05	4.71
		C	83.10	8.10	2.60	1.00	*0.05	*0.05	0.01	0.07	0.04	0.95	3.61
		D	38.40	32.80	12.90	0.44	*0.05	*0.05	0.02	0.35	0.02	1.20	12.97
		T	61.00	20.30	6.90	0.88	0.06	*0.05	0.02	0.22	0.03	1.00	9.22
	16,5	A	59.50	13.90	14.70	0.88	0.06	0.07	0.01	0.05	0.01	*0.05	7.46
		B	60.20	13.10	14.90	0.74	0.05	0.07	0.02	0.06	0.04	0.05	7.02
		C	52.90	15.80	17.40	0.59	0.05	0.08	0.01	0.09	0.02	0.16	8.32
		D	37.30	30.10	16.60	0.44	*0.05	*0.05	0.02	0.05	*0.10	0.09	13.22
		T	64.20	21.10	4.40	0.28	*0.05	0.05	0.01	0.09	*0.01	0.58	8.83
	19,5	A	87.10	4.70	0.86	0.88	0.06	*0.05	0.22	2.40	0.02	*0.05	1.13
		B	78.50	5.70	1.60	1.00	0.12	*0.05	0.17	2.70	0.04	*0.05	1.61
		C	61.70	16.10	1.50	0.88	0.22	*0.05	0.19	11.60	0.05	*0.05	2.70
		D	49.10	31.50	3.50	0.44	0.08	*0.05	0.70	2.00	0.01	*0.05	11.66
		T	67.70	16.50	2.20	0.44	0.08	0.05	0.54	4.60	0.03	*0.05	5.10
LP1750/375	0,5	A	78.20	11.30	2.00	1.30	*0.05	*0.05	0.03	0.03	*0.01	*0.05	5.96
		B	88.40	5.90	0.56	1.30	*0.05	*0.05	0.03	0.02	0.01	*0.05	2.96
		C	91.00	3.80	1.20	1.30	0.05	*0.05	0.02	0.02	0.01	0.22	1.89
		D	34.80	36.70	10.30	0.59	*0.05	*0.05	0.02	0.04	0.02	1.20	15.24
		T	52.80	21.20	7.90	0.44	0.08	*0.10	0.01	0.04	0.08	0.42	11.40
	2,5	A	78.90	11.90	0.96	1.30	*0.05	*0.05	0.03	0.04	*0.01	*0.05	6.32
		B	88.20	5.80	0.42	1.60	*0.05	*0.05	0.04	0.03	*0.01	*0.05	3.06
		C	90.10	3.80	1.80	1.50	*0.05	*0.05	0.03	0.01	0.01	0.24	1.89
		D	34.40	36.90	9.80	0.59	*0.05	*0.05	0.02	0.04	0.02	1.20	16.16
		T	53.10	24.70	8.80	0.37	0.05	*0.05	0.02	0.04	*0.01	0.79	11.62
	5,5	A	87.10	2.00	5.80	2.80	*0.05	*0.05	0.04	0.02	0.02	0.19	1.37
		B	93.10	1.20	2.20	2.40	*0.05	*0.05	0.03	*0.01	0.01	0.07	0.71
		C	93.30	1.90	2.10	0.88	*0.05	*0.05	0.03	*0.01	0.01	0.24	0.94
		D	38.60	34.30	10.80	0.44	*0.05	*0.05	0.03	0.12	0.01	1.30	13.77
		T	62.00	20.10	7.40	0.44	0.05	*0.05	0.02	0.09	*0.01	0.90	8.64
	8,5	A	45.60	34.50	0.69	1.00	*0.05	*0.05	0.03	0.04	*0.01	*0.05	17.68
		B	64.00	21.80	1.20	1.20	*0.05	*0.05	0.03	0.04	0.01	0.24	11.19
		C	83.50	8.00	2.35	1.20	*0.05	*0.05	0.04	0.02	0.02	0.46	4.07
		D	31.50	38.10	12.30	0.88	*0.05	*0.05	0.02	0.27	0.03	1.50	14.57

Tabela 4: análises químicas por fração granulometrica dos poços da Serra do Madeira em %

POÇO	prof-m	fração	SiO2	Al2O3	Fe2O3	FeO	CaO	MgO	Na2O	K2O	MnO	TiO2	PF
		T	53.50	25.50	6.50	0.59	0.12	*0.05	0.03	0.16	0.01	0.83	12.42
	11,5	A											
		B	92.60	3.70	0.57	1.20	*0.05	*0.05	0.03	0.02	*0.01	0.12	1.53
		C	80.40	10.60	2.60	1.00	*0.05	*0.05	0.03	0.03	0.01	0.66	4.45
		D	40.50	35.30	8.10	0.44	*0.05	*0.05	0.02	0.23	0.01	1.10	13.84
		T	65.10	19.90	5.10	0.29	*0.05	0.05	0.03	0.14	*0.01	0.76	8.38
	15,5	A	88.20	2.60	3.90	0.29	*0.05	*0.05	0.03	0.02	0.02	0.08	1.79
		B	95.70	1.40	0.56	1.30	*0.05	*0.05	0.02	*0.01	*0.01	0.05	0.76
		C	80.00	6.30	1.50	0.88	*0.05	*0.05	0.03	*0.01	*0.01	0.38	2.76
		D	40.90	33.80	9.30	0.44	*0.05	*0.05	0.02	0.15	*0.01	1.00	13.64
		T	61.50	21.80	5.90	0.15	*0.05	*0.05	*0.10	0.09	*0.01	0.69	9.12
	20,5	A	78.00	9.60	1.80	0.74	*0.05	0.10	0.03	0.17	*0.01	0.54	8.68
		B	83.30	10.50	1.50	1.00	*0.05	0.08	0.03	0.06	*0.01	0.52	4.64
		C	70.00	17.60	2.30	0.88	*0.05	0.07	0.02	0.04	0.02	0.65	7.81
		D	44.60	33.60	5.70	0.44	*0.05	*0.05	0.02	0.11	0.03	0.91	13.97
		T	63.60	21.50	3.90	0.37	*0.05	0.16	0.04	0.10	0.01	0.70	9.41

* teores abaixo do limite de detecção

Tabela 5: análises químicas por fração granulometrica dos poços da Serra do Madeira em % e ppm

POCO	prof-m	fração	F	Sn	Zr	Nb	Y	Pb	Ga	Hf	Ta	Rb	P	Th	W	U
LP 500/875	0,5	A	0.026	0.120	0.260	128	23	13	25	220						4
		B	0.012	0.092	0.056	72	11	12	*5	*200	*15	*10	*50	260	13	5
		C	0.023	0.170	0.470	760	100	23	34	370	81	*10	59	1410	34	16
		D	0.065	0.028	0.150	680	220	26	82	250	82	*10	100	1560	61	16
		T	0.057	0.180	0.230	490	52	17	48	*200	62	*10	76	1050	59	6
	2,5	A	0.025	0.140	0.009	*20	*10	*10	29	*200	*15	*10	*50	820	15	5
		B	0.012	0.032	0.025	34	*10	*10	*5	*200	*15	*10	*50	110	30	3
		C	0.015	0.220	0.380	520	116	102	23	300	92	*10	*50	2110	52	18
		D	0.077	0.035	0.120	700	198	27	84	*200	42	*10	84	1500	76	14
		T	0.048	0.036	0.160	760	96	84	76	180	21	*10	79	970	50	11
	7,5	A	0.033	0.026	0.068	118	*10	43	20	*200	33	35	*50	470	27	4
		B	0.037	0.670	3.700	220	70	68	26	2200	75	*10	98	3090	120	35
		C	0.076	6.200	6.500	3100	200	2740	50	3625	3800	*10	280	5100	270	410
		D	0.560	0.086	0.078	1880	52	430	144	200	220	*10	*50	1220	41	17
		T	0.250	0.490	1.400	4000	58	380	122	930	290	*10	*50	1660	73	41
	15,5	A	0.008	0.030	0.024	210	*10	14	16	*200	18	26	*50	97	38	8
		B	0.010	0.730	1.800	220	40	36	26	710	27	10	66	640	49	78
		C	0.017	1.400	2.300	8600	116	68	56	1295	820	*10	81	1340	160	130
		D	0.065	0.120	0.140	1920	84	192	126	200	150	13	*50	1760	46	57
		T	0.020	0.400	0.910	2310	54	122	94	750	110	*10	*50	910	62	57
	20,5	A	0.015	0.350	0.220	460	10	74	47	*200	100	61	*50	500	38	93
		B	0.024	0.830	2.100	1000	108	72	50	1440	160	47	55	1000	98	170
		C	0.026	0.940	2.300	6200	188	182	96	1640	690	56	77	2070	150	350
		D	0.055	0.057	0.140	1760	94	350	128	*200	170	330	*50	2070	53	250
		T	0.024	0.470	1.000	1530	54	144	84	900	140	130	50	1310	75	220
LP 750/1000	0,5	A	0.023	0.070	0.051	105	*10	34	9	*200	*15	32	*50	560	12	9
		B	0.018	0.590	2.500	220	51	77	12	1070	61	*10	59	1500	67	64
		C	0.028	2.400	4.800	13000	116	1200	18	1375	1560	*10	170	3840	200	540
		D	0.160	0.070	0.130	1860	41	280	122	260	270	78	58	1700		2
		T	0.190	0.690	1.000	3850	48	470	120	410	340	*10	85	1460	59	49
	1,5	A	0.021	0.030	0.016	20	*10	118	7	*200	*15	58	*50	120	3	4
		B	0.020	0.070	2.200	99	30	38	*5	848	40	*10	57	2420	71	39
		C	0.037	3.100	5.300	22000	210	1760	34	1180	2720	*10	190	770	220	620
		D	0.290	0.090	0.098	1740	31	310	196	250	240	230	*50	1420	21	64
		T	0.190	0.500	1.100	3030	47	420	98	750	260	140	*50	1910	64	72
	6,5	A	0.023	0.013	0.025	62	10	42	*5	*200	*15	50	*50	320	3	8
		B	0.021	0.097	1.200	55	14	32	*5	300	*15	25	*50	330	31	13
		C	0.031	3.000	3.600	1800	190	290	57	2000	2300	*10	120	2460	170	750
		D	0.360	0.076	0.065	1520	53	280	124	300	180	230	*50	830	28	53
		T	0.240	0.540	1.300	3520	33	520	92	680	220	160	*50	780	73	74
	12,5	A	0.028	0.011	0.029	88	*10	32	*5	*200	*15	110	*50	120	10	6

Tabela 5: análises químicas por fração granulometrica dos poços da Serra do Madeira em % e ppm

POÇO	prof-m	fração	F	Sn	Zr	Nb	Y	Pb	Ga	Hf	Ta	Rb	P	Th	W	U
		B	0.025	0.550	2.400	220	60	76	*5	1340	80	40	68	4700	73	85
		C	0.160	3.100	5.500	17000	194	1220	22	2500	2020	360	250	8800	260	500
		D	0.420	0.150	0.096	2700	120	380	167	220	230	1440	*50	1910	69	85
		T	0.300	0.590	1.600	4100	76	520	101	800	200	850	*50	2350	58	84
	19,5	A	0.075	0.090	0.063	175	20	420	8	*200	40	390	*50	930	40	37
		B	0.073	0.670	1.600	390	84	1520	22	1240	82	360	72	2840	74	77
		C	0.440	4.200	4.600	18000	280	3600	57	1825	1750	1080	240	2090	270	780
		D	0.480	0.130	0.081	1200	120	2500	174	*200	100	2250	*50	1170	41	320
		T	0.320	0.800	1.600	3060	152	3800	126	1340	150	2100	*50	1260	77	170
LP1250/1250	0,5	A	0.070	0.130	0.140	400	42	80	35	*200	30	19	70	2440	44	15
		B	0.077	0.840	5.000	280	340	124	39	1620	110	26	190	2030	180	55
		C	0.066	4.500	6.300	18000	1200	2360	78	3000			870			
		D	0.150	0.150	0.350	5500	180	455	180	*200	300	*10	120	3080	100	53
		T	0.150	0.720	1.500	4700	430	242	104	320	400	*10	120	2800	120	93
	2,5	A	0.035	0.040	0.280	240	23	150	28	220	15	12	*50	1190	30	10
		B	0.040	1.100	4.500	410	160	560	26	2200	120	17	110	2700	140	93
		C	0.081	4.400	4.700	29000	500	7900	95	1900	1960	*10	260	4570	250	780
		D	0.300	0.060	0.090	1440	82	260	124	300	130	17	*50	1510	38	20
		T	0.270	0.580	1.300	4410	132	930	98	1320	310	10	*50	1850	48	125
	5,5	A	0.029	0.020	0.050	82	10	80	*5	*200	*15	48	*50	330	12	6
		B	0.037	0.610	4.800	300	148	290	18	2000	93	27	130	3060	120	55
		C	0.045	5.200	5.900	21000	300	5500	67	3000	1320	17	200	3120	190	470
		D	0.390	0.080	0.090	3300	34	740	130	200	210	54	*50	1190	33	81
		T	0.260	0.600	1.500	4340	94	1040	94	1720	350	*10	*50	1520	48	132
	12,5	A	0.015	0.120	0.030	68	*10	26	*5	*200	*15	55	*50	200	* 3	5
		B	0.019	0.470	2.800	144	54	124	*5	1100	56	46	61	2160	110	70
		C	0.029	1.900	1.900	11000	185	1790	12	1240	1000	38	100	8100	120	390
		D	0.240	0.060	0.050	1240	48	300	116	*200	64	1800	*50	1300	20	24
		T	0.220	0.440	1.500	2940	102	690	94	1380	210	1150	50	1810	55	87
	22,5	A	0.081	0.030	0.070	166	16	56	29	*200	35	440	*50	950	1400	18
		B	0.110	0.750	3.400	210	72	92	18	1300	47	490	120	1480	120	82
		C	0.430	1.300	1.800	1180	118	1060	14	340	550	3100	92	2800	120	490
		D	0.790	0.050	0.070	3200	90	540	92	*200	190	6000	52	2000	42	610
		T	0.530	0.410	0.890	3360	122	600	80	750	260	4600	51	2070	75	138
LP1250/1750	0,5	A	0.022	0.780	0.910	630	340	330	39	505	68	*10	160	3160	140	19
		B	0.011	2.100	2.800	630	340	86	20	1200	110	*10	370	4920	290	55
		C	0.020	4.400	7.300	14000	780	590	28	1560	910	*10	1030	12000	630	180
		D	0.046	0.130	0.500	4500	420	290	150	550	190	*10	260	3690	140	56
		T	0.045	0.334	0.720	2400	650	178	124	200	130	*10	250	1780	92	39
	3,5	A	0.004	0.010	0.090	240	12	24	21	*200	*15	24	*50	430	87	2
		B	0.008	0.780	3.000	240	340	88	*5	1120	49	*10	390	2290	420	40

Tabela 5: análises químicas por fracao granulometrica dos poços da Serra do Madeira em % e ppm

POÇO	prof-m	fração	F	Sn	Zr	Nb	Y	Pb	Ga	Hf	Ta	Rb	P	Th	W	U
		C	0.026	5.400	10.5	16000	2040	1300	22	6800	1060	*10	2840	12000	1060	280
		D	0.110	0.090	0.37	4300	380	470	152	460	270	*10	110	3270	150	93
		T	0.076	0.880	2.100	4970	1020	510	100	2050	400	*10	140	3960	280	89
	5,5	A	0.008	0.570	2.000	980	192	420	12	900	240	20	240	610	200	71
		B	0.003	0.620	2.700	740	240	200	11	1820	140	16	310	1590	270	32
		C	0.016	2.500	3.500	12000	1860	780	36	4275	650	*10	2360	8500	710	120
		D	0.070	0.070	0.130	4900	540	490	140	290	240	68	120	3080	200	85
		T	0.027	0.390	1.400	3710	940	330	80	1660	300	*10	190	2780	250	64
	12,5	A	0.004	0.040	0.030	10	10	20	17	*200	*15	39	*50	190	20	2
		B	0.003	1.100	1.300	66	66	24	6	440	*15	20	74	350	67	9
		C	0.010	4.400	5.900	570	570	960	29	4450	460	*10	370	1280	250	160
		D	0.093	0.070	0.260	540	540	820	176	320	380	500	160	2830	190	400
		T	0.100	0.680	1.600	3570	570	820	116		300	110	120	1610	200	200
	19,5	A	0.009	0.090	0.020	10	10	59	22	*200	*15	68	*50	120	18	12
		B	0.005	1.500	2.900	168	168	106	19	1590	70	24	160	630	160	70
		C	0.012	1.800	2.500	270	270	1540	65	1060	610	110	210	1040	180	590
		D	0.052	0.050	0.120	240	240	1060	128	250	310	340	61	1110	140	580
		T	0.068	0.560	0.080	2550	300	1420	98		200	190	75	520	120	260
	20,5	A	0.009	0.060	0.010	*10	*10	124	27	*200	17	66	*50	190	*3	21
		B	0.013	1.500	2.000	108	108	540	19	1020	120	30	120	630	100	190
		C	0.044	1.500	1.900	250	250	2170	67	1560	550	130	79	1020	170	590
		D	0.092	0.040	0.100	145	145	1390	146	200	230	650	*50	930	79	470
		T	0.042	0.560	0.890	176	176	1600	69	940	280	340	*50	720	95	34
LP1600/1000	0,5	A	0.040	0.017	0.080	220	112	84	62	*200	21	*10	110	1060	37	7
		B	0.054	0.053	0.310	300	106	80	56	400	28	*10	120	1160	31	8
		C	0.040	0.058	0.190	410	108	88	45	220	30	*10	130	1190	46	10
		D	0.070	0.023	0.140	400	164	130	70	240	27	*10	150	1050	46	9
		T	0.035	0.037	0.168	490	176	108	42	*200	21	*10	120	920	5	61
	2,5	A	0.030	0.100	0.077	196	98	88	57	*200	*15	*10	96	770	35	4
		B	0.026	0.096	0.580	112	84	40	26	440	31	*10	83	1070	30	8
		C	0.040	0.054	0.160	370	108	90	49	*200	59	*10	120	1350	34	8
		D	0.064	0.021	0.150	400	186	112	70	290	58	*10	130	1150	58	9
		T	0.041	0.059	0.110	330	77	158	72	*200	*15	*10	140	690	8	5
	5,5	A	0.120	0.0060	0.030	*20	78	48	62	*200	*15	*10	120	340	3	12
		B	0.053	0.0050	0.061	28	54	34	28	*200	*15	*10	53	490	7	5
		C	0.018	0.0086	0.022	45	72	41	11	*200	*15	*10	*50	440	7	*1
		D	0.110	0.0055	0.150	152	178	118	58	*200	*15	37	170	560	20	9
		T	0.950	0.0040	0.150	82	34	76	39	*200	*15	26	100	230	10	7
	7,5	A	0.034	0.0007	0.051	20	37	48	52	*200	*15	30	71	390	3	5
		B	0.020	0.0005	0.026	*20	*20	45	24	*200	*15	19	*50	200	22	1
		C	0.020	0.0048	0.020	80	39	62	19	*200	*15	*10	59	220	26	4

Tabela 5: análises químicas por fracao granulometrica dos poços da Serra do Madeira em % e ppm

POÇO	prof-m	fração	F	Sn	Zr	Nb	Y	Pb	Ga	Hf	Ta	Rb	P	Th	W	U
		D	0.089	0.0048	0.140	88	128	240	55	*200	*15	86	180	504	11	7
		T	0.062	0.0050	0.120	40	42	130	50		*15	50	130	290	*15	*15
	8,5	A		0.0008	0.022	*20	12	28	28	*200						1
		B	0.012	0.0005	0.008	*20	*10	23	*5	*200	*15	*10	*50	210	7	1
		C	0.032	0.0025	0.017	26	13	50	19	*200	*15	*10	*50	190	3	4
		D	0.160	0.0042	0.150	124	104	136	54	200	*15	88	130	520	*3	6
		T	0.100	0.0024	0.110	116	62	102	41	300	*15	34	74	270	5	6
	13,5	A	0.100	0.0066	0.160	164	440	480	66	*200	*15	350	360	610	88	13
		B	0.085	0.0024	0.058	44	184	240	33	*200	*15	180	200	910	63	7
		C	0.051	0.0055	0.077	70	250	300	26	*200	*15	130	190	880	63	3
		D	0.190	0.0084	0.130	148	340	720	62	220	*15	550	470	1030	86	9
		T	0.130	0.0070	0.140	124	300	570	32	*200	*15	360	300	660	79	9
	16,5	A	0.200	0.0084	0.160	88	570	370	88	*200	300	*10	190	22000	91	350
		B	0.200	0.0090	0.170	110	660	490	94	*200	360	*10	260	25000	120	470
		C	0.190	0.0180	0.170	180	1130	320	100	*200	450	35	400	31000	190	570
		D	0.230	0.0120	0.100	144	460	200	108	220	190	47	140	13000	85	370
		T	0.220	0.0070	0.080	200	310	130	64		*15	150	67	460	52	22
	19,5	A	0.065	0.4200	0.470	700	270	420	26	580	170	2290	170	4400	130	230
		B	0.140	1.1000	3.200	1480	760	720	36	2300	350	2580	300	14000	330	550
		C	0.160	0.6100	0.660	3200	660	920	68	780	340	8500	270	10000	210	850
		D	0.280	0.0460	0.035	350	420	680	73	*200	140	3000	62	3960	180	450
		T	0.220	0.4600	0.640	510	470	830	47	340	160	4500	130	5600	220	125
LP1750/375	0,5	A	0.042	0.0038	0.180	80	116	40	30	200	*15	*10	75	2100	48	14
		B	0.023	0.0430	0.380	160	150	37	14	*200	27	*10	140	910	93	15
		C	0.013	0.0690	0.100	144	104	52	9	*200	39	*10	140	1360	85	21
		D	0.063	0.0620	0.190	1040	540	120	100	*200	72	15	230	2440	130	16
		T	0.070	0.5800	1.780	3150	620	389	85	750	280	*10	370	10500	48	210
	2,5	A	0.042	0.0013	0.016	40	72	26	21	*200	*15	*10	*50	480	25	6
		B	0.032	0.0420	0.180	88	110	32	12	212	*15	*10	84	630	42	12
		C	0.009	0.0610	0.150	146	240	60	*5	*200	*15	*10	140	1220	110	13
		D	0.065	0.0400	0.190	720	390	100	84	320	110	15	230	2430	120	16
		T	0.054	0.0520	0.220	460	350	79	60	490	44	*10	190	1480	130	13
	5,5	A	0.012	0.0040	0.027	50	440	88	30	*200	*15	*10	380	620	200	5
		B	0.009	0.0062	0.066	71	240	61	8	*200	*15	*10	130	690	62	6
		C	0.009	0.0044	0.086	62	190	37	*5	*200	*15	*10	140	1690	72	10
		D	0.091	0.0140	0.120	270	610	124	66	230	*15	15	220	1210	150	10
		T	0.068	0.0100	0.160	250	620	114	58	360	44	*10	210	1090	150	12
	8,5	A	0.033	*0.0005	0.016	*20	*10	56	45	*200	*15	*10	72	*15	17	12
		B	0.018	*0.0005	0.017	*20	12	88	33	*200	*15	*10	95	*15	*3	6
		C	0.010	0.0016	0.032	60	98	92	15	*200	*15	*10	110	330	29	3
		D	0.042	0.0086	0.120	156	240	620	85	200	15	82	430	910	31	19

Tabela 5: análises químicas por fração granulometrica dos poços da Serra do Madeira em % e ppm

POÇO	prof-m	fração	F	Sn	Zr	Nb	Y	Pb	Ga	Hf	Ta	Rb	P	Th	W	U
		T	0.032	0.0031	0.094	100	144	250	43	250	*15	36	270	610	27	11
	11,5	A		0.0064	0.038	37	*10	20	*5	*200						12
		B	0.015	*0.0005	0.008	*20	*10	98	*5	*200	*15	*10	78	*15	*3	2
		C	0.028	0.0020	0.034	51	21	140	22	*200	*15	*10	110	*15	*3	5
		D	0.082	0.0085	0.085	150	85	1190	78	*200	*15	77	470	480	38	18
		T	0.058	0.0030	0.089	90	67	510	39	*200	*15	44	290	210	5	11
	15,5	A	0.023	0.0050	0.011	*20	15	32	31	*200	*15	*10	61	82	19	15
		B	0.010	*0.0005	0.005	*20	*10	15	*5	*200	*15	*10	*50	*15	*3	3
		C	0.020	0.0027	0.017	45	37	21	16	*200	*15	*10	53	*15	11	7
		D	0.110	0.0065	0.100	92	178	81	48	*200	*15	81	97	160	34	13
		T	0.078	0.0030	0.050	60	2	75		*200	*15	47		20		11
	20,5	A	0.046	0.0027	0.028	39	126	96	45	*200	*15	76	150	*15	37	3
		B	0.034	0.0018	0.044	44	108	80	30	*200	*15	44	190	*15	22	9
		C	0.045	0.0031	0.040	50	120	120	49	*200	*15	90	180	*15	28	8
		D	0.089	0.0063	0.100	79	220	230	47	*200	21	74	280	150	57	34
		T	0.062	0.0042	0.060	74	146	134	43	*200	*15	78	190	74	12	13

* teores abaixo do limite de detecção

Tabela 6: análises químicas por fração granulometrica dos poços da Serra do Madeira em ppm

POÇO	prof-m	fração	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Yb	Lu
LP 500/875	0,5	A	2.80	16.14	7.38	6.72	0.48	7.89	32.70	8.87	34.70	67.58	7.41
		B	4.71	23.69	3.06	0.80	0.03	0.89	2.15	0.63	2.46	5.05	0.63
		C	9.05	82.56	7.31	2.16	0.08	2.69	9.58	2.70	11.66	24.64	2.96
		D	16.04	263.40	11.33	2.97	0.16	4.26	12.19	3.02	12.18	22.00	2.51
		T											
	2,5	A	7.09	35.64	4.80	1.02	0.05	0.83	1.30	0.43	1.54	3.70	0.51
		B	4.28	16.73	2.62	0.49	0.02	0.40	1.00	0.22	1.08	2.34	0.28
		C	11.06	50.16	7.63	2.16	0.09	2.39	8.47	2.42	10.40	22.97	2.72
		D	15.78	295.70	11.03	2.69	0.15	4.44	12.57	3.12	12.72	23.05	2.74
		T	18.84	119.90	15.90	5.40	0.81	10.00	9.60	2.17	6.62	10.37	4.18
	7,5	A	0.49	1.90	0.28	0.15	0.01	0.40	1.13	0.26	0.94	1.72	0.22
		B	3.05	15.73	6.23	6.72	0.28	7.71	38.27	10.34	46.83	104.70	11.99
		C	6.14	95.20	13.32	12.00	0.54	14.27	73.17	19.99	89.20	203.30	22.03
		D	3.34	15.11	1.80	0.50	0.03	0.85	2.71	0.82	2.71	4.83	0.49
		T	4.00	23.26	3.82	2.64	0.12	3.47	15.43	4.35	20.55	48.39	6.17
	15,5	A	8.21	23.98	6.36	1.20	0.04	0.56	1.11	0.17	0.74	1.50	0.17
		B	14.29	60.70	14.97	5.60	0.25	4.87	21.32	6.72	32.23	77.53	9.53
		C	3.53	55.04	3.15	2.32	0.09	2.59	16.47	5.56	27.79	64.78	7.91
		D	39.35	279.40	35.56	9.36	0.25	5.02	8.74	1.89	6.12	10.99	1.17
		T	23.77	113.30	23.15	6.24	0.19	4.60	11.76	3.02	12.07	25.78	3.48
	20,5	A	9.29	29.34	8.09	2.28	0.08	1.90	4.68	1.16	4.35	8.23	0.97
		B	11.84	38.62	12.31	5.60	0.20	5.55	23.35	6.90	33.02	77.43	9.40
		C	12.66	45.80	13.24	8.72	0.35	9.98	26.09	7.15	30.40	74.10	9.26
		D	22.48	119.50	20.39	5.00	0.21	4.86	9.80	2.36	8.36	14.50	1.48
		T	19.52	66.34	18.64	5.92	0.22	5.21	17.91	4.77	21.75	52.26	6.21
LP 750/1000	0,5	A	3.03	11.76	1.58	0.49	0.02	0.64	2.32	0.49	1.87	3.15	0.37
		B	3.00	20.72	7.18	4.00	0.16	4.95	19.49	5.25	22.84	45.27	5.15
		C	33.90	234.90	34.96	20.10	0.74	21.08	80.30	20.50	87.04	186.60	21.16
		D	6.10	123.50	5.67	2.25	0.09	2.65	6.00	1.52	5.72	9.06	1.03
		T											
	1,5	A	0.79	5.63	0.79	0.58	0.03	0.75	1.60	0.48	1.39	2.16	0.28
		B	7.39	52.22	10.55	8.59	0.28	9.26	43.56	12.30	56.59	129.00	15.41
		C	26.27	363.50	34.68	22.10	0.75	23.62	77.92	17.76	68.63	140.20	15.15
		D	4.13	92.39	2.69	1.12	0.05	1.80	3.71	0.75	2.37	3.51	0.41
		T	7.02	148.70	9.80	3.70	0.16	6.40	18.43	4.53	19.26	41.24	4.97
	6,5	A	1.98	7.53	1.55	0.45	0.04	0.61	1.56	0.31	1.01	1.63	0.19
		B	1.50	13.74	2.00	1.65	0.09	1.97	8.65	2.77	13.04	33.01	4.16
		C	14.74	117.50	22.65	15.20	1.62	17.39	37.73	11.09	35.21	72.57	9.09
		D	4.60	85.70	3.73	1.57	0.07	1.96	4.95	1.15	3.47	3.80	0.41
		T	6.19	73.51	9.80	3.10	0.17	5.10	12.00	3.22	13.40	29.12	3.50
	12,5	A	1.29	5.00	0.55	0.24	0.01	0.40	0.87	0.22	0.73	1.20	0.16

Tabela 6: análises químicas por fração granulometrica dos poços da Serra do Madeira em ppm

POÇO	prof-m	fração	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Yb	Lu
		B	8.70	21.95	5.80	0.88	0.08	0.75	1.17	0.25	0.80	1.33	0.17
		C	43.47	176.60	52.33	24.80	0.80	23.72	96.49	22.85	92.14	170.00	17.22
		D	17.34	83.71	15.78	5.45	0.15	4.33	12.23	2.66	9.25	13.02	1.36
		T	20.26	60.21	15.20	5.30	0.21	6.60	15.00	4.03	17.76	37.65	4.69
	19,5	A	64.57	26.00	3.03	2.24	0.14	2.94	12.08	3.94	16.00	34.13	4.01
		B	5.03	31.70	6.82	5.52	0.25	8.36	39.84	11.12	46.23	87.42	9.69
		C	71.35	309.00	71.46	26.30	0.91	24.43	112.40	28.66	130.50	257.70	27.42
		D	25.49	216.30	26.85	9.52	0.33	7.98	21.68	4.46	15.31	21.82	2.17
		T	21.78	108.40	22.72	7.20	0.33	14.00	42.69	11.07	48.11	88.14	9.76
LP1250/1250	0,5	A	5.92	517.80	3.10	1.60	0.10	3.40	5.44	1.69	5.31	9.78	1.24
		B	5.00	190.00	10.20	5.50	0.35	9.74	58.99	18.21	94.90	252.10	30.31
		C	13.63	317.80	20.16	19.36	0.83	32.86	238.20	68.91	339.70	701.90	82.50
		D	10.98	121.70	7.69	2.74	0.17	2.84	9.63	2.46	10.09	18.88	2.13
		T	20.98	106.00	11.59	4.67	0.33	9.20	76.37	19.56	88.59	170.50	22.75
	2,5	A	46.20	12.79	3.31	0.75	0.04	0.89	4.09	1.18	5.46	11.82	1.47
		B	56.43	29.57	11.20	5.70	0.57	12.20	45.85	15.69	76.88	208.00	26.47
		C	16.45	130.90	26.30	16.20	1.91	38.50	96.29	26.83	116.00	265.30	30.81
		D	4.20	30.78	3.08	1.20	0.06	1.46	5.56	1.29	5.08	8.59	0.95
		T	6.45	46.39	6.85	3.50	0.16	5.95	28.96	7.79	35.62	78.86	9.15
	5,5	A	1.99	4.47	1.13	0.37	0.03	0.49	1.81	0.40	1.61	2.99	0.36
		B	5.19	27.30	11.90	6.10	0.33	9.70	47.92	14.37	67.45	167.40	20.11
		C	5.65	89.71	16.30	13.68	0.49	15.98	67.56	15.98	65.98	122.40	13.24
		D	2.51	28.89	3.10	1.60	0.07	2.61	6.57	1.69	6.13	9.94	1.17
		T	2.77	32.02	4.89	4.00	0.15	4.63	24.28	6.53	30.88	68.76	8.21
	12,5	A	3.42	18.24	1.93	0.27	0.06	0.47	1.37	0.34	1.38	2.57	0.30
		B	4.82	50.30	6.10	3.10	0.17	5.51	25.25	7.35	32.13	63.59	7.46
		C	12.52	170.90	20.49	16.00	0.62	19.46	66.03	15.72	61.57	124.80	15.69
		D	3.69	84.22	2.71	1.36	0.07	2.37	8.57	2.00	7.10	9.65	1.07
		T	3.55	80.69	5.02	4.32	0.13	5.25	18.75	4.47	16.94	31.92	3.63
	22,5	A	2.63	5.16	2.10	0.90	0.04	1.50	6.54	1.55	6.20	11.01	1.23
		B	2.99	14.40	9.50	5.10	0.29	6.90	34.91	12.37	61.42	167.10	20.25
		C	2.47	35.00	5.95	3.71	0.19	6.60	24.70	7.18	31.84	75.64	8.71
		D	6.24	23.58	4.50	1.81	0.07	2.05	10.25	2.42	9.65	15.88	1.57
		T	7.81	35.22	6.53	4.15	0.14	7.30	18.27	4.53	19.51	39.90	4.32
LP1250/1750	0,5	A	1.00	2.20	2.00	3.10	0.10	9.10	38.62	12.37	55.44	101.90	11.25
		B	5.46	136.40	7.56	8.00	0.41	23.10	169.60	51.97	258.10	486.90	53.04
		C	19.62	116.90	25.20	21.00	1.05	55.20	398.70	122.70	574.20	977.50	111.60
		D	30.22	120.80	22.58	8.16	0.45	13.24	70.85	19.68	83.63	140.80	14.18
		T	27.32	73.25	20.07	8.13	0.45	15.84	106.00	26.53	114.10	183.20	24.06
	3,5	A	55.96	207.00	33.38	8.40	0.33	10.42	58.16	17.18	83.22	180.10	21.84
		B	8.34	20.02	8.10	9.00	0.55	29.20	238.30	77.92	368.50	674.20	71.94

Tabela 6: análises químicas por fração granulometrica dos poços da Serra do Madeira em ppm

POÇO	prof-m	fração	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Yb	Lu
		C	15.89	171.70	17.15	11.10	0.54	27.30	192.70	59.34	292.40	613.80	70.26
		O	15.53	103.20	11.91	5.92	0.27	10.17	66.69	18.56	79.57	129.70	12.86
		T	12.15	87.77	9.60	4.00	0.20	6.09	41.11	12.14	56.92	125.40	13.77
	5,5	A	2.36	9.78	5.10	4.80	0.52	16.10	116.20	34.77	163.40	198.90	33.19
		B	1.50	16.83	1.79	1.60	0.07	2.74	21.60	7.10	35.98	80.01	9.52
		C	20.17	81.18	22.10	35.36	1.49	83.30	696.70	212.40	969.40	1.60	165.90
		D	8.36	65.45	9.00	3.60	0.14	9.40	36.48	8.85	31.48	36.78	3.39
		T	4.01	32.15	4.22	2.64	0.09	3.89	24.33	6.49	27.55	50.58	5.83
	12,5	A	2.25	5.88	2.45	1.05	0.01	0.56	0.86	0.25	0.71	1.25	0.20
		B	1.84	5.71	1.50	1.45	0.06	3.70	18.40	7.08	35.51	89.53	11.43
		C	21.09	82.55	18.20	6.50	0.46	16.10	107.00	35.29	182.70	430.20	53.60
		D	91.00	326.30	56.48	14.00	0.50	15.87	91.76	21.19	77.62	89.62	7.42
		T											
	19,5	A	8.50	26.18	5.48	0.82	0.04	0.92	1.27	0.38	1.16	1.89	0.27
		B	8.69	30.03	6.46	2.96	0.24	5.12	34.27	12.02	62.49	153.80	18.96
		C	48.06	187.40	58.88	28.64	0.80	26.55	115.50	28.36	124.10	239.10	27.37
		O	41.44	154.90	23.56	7.02	0.20	5.62	24.32	5.75	19.76	23.23	2.05
		T											
	20,5	A	12.57	44.29	8.58	1.04	0.05	1.00	1.44	0.37	1.24	1.99	0.27
		B	17.57	62.10	11.71	4.40	0.21	5.18	29.21	10.39	50.31	122.50	15.19
		C	29.13	140.10	20.90	6.72	0.25	8.02	40.65	11.90	54.38	120.10	14.07
		O	36.65	146.00	23.61	5.60	0.19	7.10	21.22	4.99	16.44	20.02	1.79
		T	22.90	98.50	15.25	4.10	0.13	4.43	20.56	5.22	21.93	39.43	4.38
LP1600/1000	0,5	A	14.65	88.00	7.57	1.92	0.17	2.31	5.06	1.30	4.71	7.60	0.90
		B	13.78	87.54	6.68	1.36	0.19	1.70	5.06	1.40	6.22	13.10	1.53
		C	12.12	80.90	5.81	1.37	0.13	1.63	3.94	1.00	4.23	8.35	1.00
		D	25.47	168.40	11.41	2.16	0.32	2.82	5.78	1.50	5.66	9.77	1.16
		T											
	2,5	A											
		B	5.98	33.55	3.16	1.12	0.10	1.74	7.76	2.37	11.78	28.85	3.55
		C	18.63	49.17	26.35	13.20	0.43	15.26	64.48	17.18	70.41	100.80	10.95
		D	28.56	199.40	12.86	2.56	0.35	2.98	6.12	1.49	5.87	10.40	1.19
		T	9.20	51.34	4.47	0.83	0.09	1.39	2.59	0.68	2.86	5.55	0.76
	5,5	A	3.18	23.00	2.11	0.37	0.05	0.64	1.39	0.27	1.26	2.28	0.27
		B	52.01	121.00	40.14	8.40	0.62	9.33	36.72	9.75	41.82	86.43	9.36
		C	3.75	35.78	2.42	0.50	0.08	0.78	1.93	0.50	1.99	3.88	0.44
		D	22.64	400.70	11.18	2.48	0.52	4.53	6.47	1.58	5.94	10.06	1.24
		T											
	7,5	A	6.13	35.80	4.13	1.36	0.21	1.79	3.71	0.86	2.80	4.04	0.48
		B	10.72	39.25	5.79	0.96	0.13	1.09	1.73	0.38	1.35	2.35	0.40
		C	4.45	24.25	2.89	0.57	0.07	0.85	1.54	0.39	1.30	2.34	0.29

Tabela 6: análises químicas por fração granulometrica dos poços da Serra do Madeira em ppm

POCO	prof-m	fração	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Yb	Lu
		D	31.91	361.40	14.92	3.12	0.54	4.61	6.55	1.41	4.88	7.97	0.97
		T											
	8,5	A											
		B	2.98	16.02	6.99	5.84	0.20	7.64	32.05	8.63	36.52	72.54	8.45
		C	5.71	17.98	3.36	0.36	0.07	0.49	0.70	0.12	0.51	0.97	0.14
		D	24.92	262.70	11.24	2.14	0.47	3.06	3.80	0.90	3.23	5.63	0.71
		T	14.68	143.80	9.60	2.44	0.26	3.24	3.40	0.94	2.34	3.18	0.51
	13,5	A	31.69	79.41	23.78	4.96	0.33	5.05	19.91	5.35	21.93	39.37	4.21
		B	36.40	83.92	26.42	5.20	0.31	4.17	12.18	2.90	10.80	17.25	1.85
		C	41.75	115.20	31.61	5.76	0.37	4.36	9.91	2.45	8.74	14.06	1.52
		D	5.70	105.10	2.13	0.36	0.07	0.52	0.51	0.09	0.19	0.17	0.05
		T											
	16,5	A	9.39	34.00	19.66	14.60	0.83	21.87	109.00	24.20	82.74	105.40	9.02
		B	11.35	39.92	20.55	12.90	0.75	18.47	92.56	20.45	72.12	89.07	7.79
		C	16.87	62.13	31.51	20.16	1.17	29.61	149.40	32.76	115.00	150.40	12.52
		D	24.03	111.10	24.53	11.44	0.70	15.95	70.04	16.00	54.88	67.14	6.28
		T											
	19,5	A	23.97	49.34	28.31	15.83	0.55	17.30	71.49	17.42	59.78	70.33	7.23
		B	42.13	134.80	64.14	39.44	1.60	60.09	310.10	80.43	321.50	476.90	50.78
		C	55.08	136.60	70.66	36.80	1.54	53.47	243.60	58.44	212.40	247.40	24.07
		D	103.50	174.00	116.50	40.00	2.10	50.61	179.20	38.98	130.20	126.30	11.11
		T											
LP1750/375	0,5	A	5.96	53.09	4.91	1.60	0.11	2.26	9.88	2.79	11.78	23.08	2.58
		B	4.62	34.25	4.39	1.69	0.10	2.46	12.69	3.78	17.40	37.89	4.49
		C	10.07	45.66	7.80	2.16	0.14	2.91	12.79	3.55	15.93	31.75	3.55
		D	23.06	367.70	14.95	4.27	0.40	7.10	24.21	6.55	26.87	46.93	5.54
		T	12.26	173.30	20.08	7.80	0.33	9.90	49.00	15.15	70.58	144.90	16.25
	2,5	A	4.19	32.22	2.81	0.72	0.07	1.14	2.25	0.64	2.36	3.84	0.48
		B	4.48	27.19	3.68	1.22	0.07	1.72	7.77	2.32	10.64	23.48	2.82
		C	6.52	28.49	5.45	1.92	0.09	2.51	9.73	2.81	11.84	23.53	2.81
		D	25.40	379.70	15.74	4.34	0.42	7.01	24.11	6.23	26.57	47.45	5.22
		T	15.04	230.90	9.24	3.37	0.19	5.32	14.63	4.16	17.18	32.91	3.63
	5,5	A	10.44	40.34	8.95	3.01	0.14	4.10	19.00	5.73	25.82	50.51	5.53
		B	7.16	25.77	5.42	1.52	0.08	1.99	8.67	2.45	10.74	21.26	2.52
		C	9.88	31.24	7.18	4.16	0.16	5.52	11.17	3.72	12.15	20.48	2.53
		D	20.90	355.00	16.60	6.04	0.48	8.16	31.51	8.05	32.13	51.00	5.26
		T	16.26	217.30	11.93	4.10	0.32	9.30	24.79	6.76	26.88	43.35	4.79
	8,5	A	25.86	17.09	8.27	1.12	0.20	0.77	0.82	0.17	0.67	0.94	0.16
		B	24.29	19.86	11.22	1.84	0.21	1.26	2.16	0.52	1.68	2.11	0.27
		C	20.13	24.19	10.80	2.00	0.16	1.46	2.90	0.71	2.28	3.51	0.41
		D	210.50	601.70	79.47	13.50	0.98	9.23	13.14	2.88	9.58	15.03	1.77

Tabela 6: análises químicas por fração granulometrica dos poços da Serra do Madeira em ppm

POÇO	prof-m	fração	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Yb	Lu
		T	86.20	226.90	33.81	5.77	0.44	3.54	6.07	1.33	4.82	7.57	0.81
	11,5	A											
		B	8.21	11.32	3.27	0.57	0.03	0.69	0.81	0.19	0.60	0.87	0.14
		C	13.82	13.82	5.99	0.95	0.08	0.84	1.23	0.29	1.15	1.73	0.25
		D	139.20	99.25	39.75	6.08	0.62	3.70	5.80	1.15	3.82	5.99	0.72
		T	73.92	59.20	21.75	3.60	0.35	3.11	3.87	1.11	2.93	4.33	0.62
	15,5	A	3.03	4.69	2.24	0.32	0.03	0.45	0.91	0.18	0.71	1.49	0.17
		B	3.24	6.18	2.54	0.41	0.04	0.64	0.69	0.17	0.57	0.88	0.15
		C	6.59	13.78	5.11	0.98	0.09	0.99	1.56	0.32	1.17	1.91	0.24
		D	18.91	48.45	15.35	3.52	0.49	4.49	6.55	1.47	4.88	7.20	0.90
		T	12.28	27.32	9.71	2.21	0.24	1.97	2.83	0.74	3.05	6.64	0.94
	20,5	A	92.84	157.30	82.37	15.36	0.89	9.75	15.14	3.51	12.44	18.30	2.02
		B	89.20	160.70	72.43	15.93	0.69	7.59	9.21	2.18	7.75	11.27	1.31
		C	112.90	199.10	95.18	16.64	0.91	9.61	13.06	2.96	10.32	15.50	1.69
		D	187.60	432.70	150.60	1.76	17.82	23.48	5.66	19.72	29.13	3.29	
		T	128.90	257.00	105.80	18.67	1.10	11.08	15.44	3.57	12.85	18.60	1.96

ANEXO 3

TABELA 1: Análise mineralógica das frações granulometricas A e B em %

POÇO		Cassiterita	Zircão	Columbita	Xenotima	Hidroxidos	Lepidolita	Especularita
500/875								
0,5	A	9						
	B	11	50			91		
2,5	A	50				50		
	B	7	29	7		56		
7,5	A		20			80		
	B	11	22	3		64		
15,5	A*							
	B	9	85			2		5
20,5	A*							
	B	11	83			1	4	
750/1000								
0,5	A	1	2	1		96		
	B	12	64	1		23		
1,5	A*							
	B	2	80	1		17		
6,5	A*							
	B	9	55			33		3
12,5	A		21			79		
	B	5	74	1		19	1	
19,5	A		7	20		73		
	B	3	24	16		54	6	
1250/1250								
2,5	A	7	48	28				
	B	16	67	3	1	12	1	
5,5	A	12	48	14		26		
	B	8	70	10		11		
12,5	A	27	27			46		
	B	5	65	1		21	3	
22,5	A		3			85	13	
	B	5	56	1		24	14	
1250/1750								
0,5	A	2	4			94		
	B	28	55	2		15		
3,5	A				6	94		
	B	7	73	1	6	11		2
5,5	A	3	72			25		
	B	4	71	5	1	16		3
20,5	A*							
	B	10	66			24		

* numero de cristais insuficiente para analise visual

Fluxograma adotado para o cálculo mineralógico, onde a letra maiúscula entre parenteses, após o óxido maior, representa a proporção deste óxido no referido mineral. A letra T (total), quer dizer que todo o teor deste óxido é destinado a este mineral.

Entrada
resultados
an. química

Tem mica (M)?

M=K2O+Al2O3(M)+SiO2(M)
Si=SiO2(T)-SiO2(M)

Tem albita (A)?

A=Na2O+Al2O3(A)+SiO2(A)
Si1=Si-SiO2(A)

Tem gibbsita?

Quanto de quartzo (Q)?

K=Al2O3(K)+SiO2(K)
Q=SiO2-SiO2(K)-SiO2(M)-SiO2(A)

Si2=Si1- Q
K=SiO2(k)* Si2
G=Al2O3-Al2O3(k)

He=Fe2O3
Cas=Sn
Col=Nb
Xe=Y
Zr=Zr

minerais=100%

ANEXO 4

TABELA 1: CÁLCULO ISOVOLUMETRICO

LP/P	SiO2	Al2O3	Fe2O3	FeO	CaO	MgO	Na2O	K2O	MnO	TiO2	PF
1000/750											
0.50	0.46	1.63	4.80	0.22	0.033		0.004	0.005	0.70		
1.50	0.59	1.18	3.13	0.07	0.026		0.005	0.006	0.50		
3.50	0.68	0.85	3.06	0.14	0.026		0.004	0.033	0.50		
5.50	0.63	0.93	2.60	0.07	0.025		0.004	0.037	0.65		
11.50	0.61	0.79	5.32	0.28	0.030		0.005	0.094	0.98		
1250/1250											
0.50	0.48	1.46	5.07	0.15	0.038		0.003		1.05		
2.50	0.51	1.38	4.00	0.18	0.042		0.008		0.50		
5.50	0.61	1.08	3.25	0.14	0.052		0.005		0.67		
12.50	0.58	0.96	5.14	0.14	0.030	2.438	0.004	0.123	0.49		
22.50	0.62	0.99	1.67	0.21	0.036	4.550	0.005	0.317	0.49		
1250/1750											
0.50	0.25	1.18	291.27	0.08	0.438		0.007	0.001	0.73	6.13	13.72
3.50	0.45	1.36	50.25	0.07	0.670		0.004	0.001	0.89	2.81	11.91
5.50	0.65	0.70	38.86	0.07	0.335		0.004	0.003	0.89	0.94	5.88
12.50	0.50	1.09	50.70	0.07	0.520	0.130	0.008	0.014	0.65	1.43	9.58
19.50	0.57	0.95	38.35	0.07	0.455	0.195	0.002	0.015	0.22	0.91	8.09
20.50	0.58	0.91	37.05	0.11	0.455		0.006	0.019	0.43	0.91	7.52
1500/1250											
0.50	0.27	1.77	12.31	0.63	0.046		0.003	0.002	0.55		
1.50	0.21	2.31	9.39	0.23	0.462		0.001		0.73		
2.50	0.32	2.16	6.95	0.15	0.057		0.004	0.002	0.55		
4.50	0.57	1.13	3.64	0.14	0.058		0.003		0.67		
5.50	0.57	1.08	4.59	0.14	0.063		0.003	0.003	0.84		
8.50	0.50	1.19	5.57	0.21	0.041		0.002	0.001	0.81		
13.50	0.56	1.18	3.47	0.14	0.030		0.004		0.49		
23.50	0.60	0.97	4.09	0.21	0.041		0.004		0.49		
28.50	0.61	0.96	2.66	0.41	0.025		0.005	0.144	1.14		
1600/1000											
0.50	0.50	1.26	7.83	0.31				0.005	1.05		
2.50	0.19	1.28	45.64	0.20				0.005	0.34		
5.50	0.46	1.36	6.36	0.40				0.018	0.67		
7.50	0.55	0.95	6.17	0.18		0.150	0.002	0.260	0.33		
8.50	0.57	0.95	4.30	0.29				0.020	0.33		
13.50	0.53	0.96	7.60	0.57		0.250	0.004	0.048			
16.50	0.56	1.00	4.85	0.18		0.250	0.002	0.020	0.33		
19.50	0.59	0.78	2.42	0.29		0.250	0.117	0.997			
1750/375											
0.50	0.51	1.36	14.42	0.36	0.093		0.002	0.005		3.07	
2.50	0.47	1.45	14.74	0.28	0.053		0.004	0.005		5.29	
5.50	0.54	1.18	12.40	0.33	0.053		0.004	0.011		6.03	
8.50	0.47	1.50	10.89	0.44	0.130		0.005	0.020		5.56	
11.50	0.55	1.13	8.29	0.21		0.650	0.005	0.017		4.94	
15.50	0.52	1.24	9.59	0.11				0.011		4.48	
20.50	0.54	1.23	6.34	0.27		2.080	0.007	0.012		4.55	

TABELA 2: CÁLCULO ISOVOLUMETRICO

LP/P	F	Sn	Zr	Nb	Y	Pb	Ga	Hf	Ta	Rb	P	Th	U
1000/750													
0.50	0.03	2.71	0.81	2.27	0.53	0.24	1.19	0.95	2.98	0.008	0.49	3.15	0.10
1.50	0.04	2.14	0.91	1.58	0.12	0.35		1.34	1.85	0.014		2.55	0.07
3.50	0.07	1.83	0.86	0.99	0.08	0.55		0.97	1.14	0.179		2.43	0.17
5.50	0.09	2.08	0.99	1.11	0.07	0.79		1.59	1.38	0.210		1.59	0.18
11.50	0.15	2.61	1.22	1.48	0.16	0.38		1.82	1.73	0.426		2.88	0.14
1250/1250													
0.50	0.04	4.60	1.64	2.81	1.09	0.24	1.10	1.12	2.98		0.71	5.65	0.13
2.50	0.07	3.55	1.36	2.52	0.32	0.90	0.99	4.42	2.21	0.001		3.57	0.17
5.50	0.07	3.67	1.57	2.48	0.23	1.01	0.95	5.76	2.49			2.93	0.18
12.50	0.05	2.61	1.52	1.63	0.24	0.65	0.93	4.49	1.45	0.130	0.27	3.39	0.12
22.50	0.13	2.43	0.90	1.86	0.29	0.56	0.79	2.44	1.80	0.520	0.28	3.88	0.18
1250/1750													
0.50	2.74	1.27	0.99	1.59	1.13	0.11	1.37		0.45		0.68	10.56	0.20
3.50	0.42	3.07	2.65	3.03	1.63	0.31	1.02		1.28		0.35	21.57	0.42
5.50	0.15	1.36	1.77	2.26	1.50	0.18	0.81		0.96		0.47	15.14	0.30
12.50	0.54	2.30	1.96	2.11	0.88	0.44	1.14		0.93	1.554	0.29	8.51	0.92
19.50	0.37	1.90	0.10	1.51	0.46	0.76	0.97		0.62	2.685	0.18	2.75	1.20
20.50	0.23	1.90	1.09	2.07	0.27	0.85	0.68		0.87	4.804		3.80	0.16
1500/1250													
0.50	0.01	3.10	1.02	1.53	0.98	0.10	1.33	1.46	1.55		1.29	4.52	0.04
1.50	0.02	1.13	2.05	1.13	0.43	0.17	0.86	4.09	1.01		0.92	4.35	0.15
2.50	0.02	4.33	1.37	1.50	0.51	0.21	1.06	4.09	1.63		0.80	5.85	0.05
4.50	0.02	5.69	1.68	2.00	0.42	0.26	0.77	4.29	1.92		0.73	4.85	0.11
5.50	0.02	5.87	1.88	2.21	0.56	0.34	0.95	5.56	2.07		0.79	5.68	0.15
8.50	0.02	3.91	1.83	2.68	0.68	0.92	0.87	4.84	2.14			5.38	0.19
13.50	0.02	2.97	1.22	1.55	0.16	0.71	0.87	3.19	1.31		0.27	3.65	0.19
23.50	0.04	3.20	1.12	1.76	0.47	1.01	0.98	5.20	1.18			4.16	0.20
28.50	0.18	1.96	0.83	0.80	0.16	0.13	0.69	2.99	1.04	0.565	0.27	2.51	0.07
1600/1000													
0.50	1.23	4.85	0.20	0.59	1.58	0.33	0.61		0.16		0.42	2.53	0.03
2.50	1.39	6.27	0.13	0.39	0.67	0.47	1.02				0.48	1.84	0.03
5.50	31.83	0.42	0.17	0.09	0.29	0.22	0.54			0.013	0.34	0.60	0.04
7.50	2.02	0.51	0.13	0.04	0.35	0.37	0.68			0.024	0.42	0.74	
8.50	3.25	2.44	0.12	0.13	0.52	0.29	0.56			0.016	0.24	0.69	0.03
13.50	4.23	0.71	0.15	0.14	2.50	1.61	0.43			0.173	0.98	1.68	0.05
16.50	7.15	0.71	0.09	0.22	2.58	0.37	0.87			0.072	0.22	1.17	0.12 *
19.50	7.15	46.72	0.71	0.57	3.92	2.35	0.64		1.14	2.167	0.42	14.27	0.69
1750/375													
0.50	0.10	111.42	43.31	3.71	1.68	1.60	2.70						
2.50	0.07	9.17	4.91	0.50	0.87	0.30	1.75						
5.50	0.09	0.18	3.57	0.27	1.54	0.43	1.69						
8.50	0.04	0.55	0.21	0.11	0.36	0.94	1.25			0.017			
11.50	0.08	0.51	0.19	0.09	0.16	1.86	1.10			0.020			
15.50	0.10	0.51	1.00	0.06	0.15	0.27	0.00			0.021			
20.50	0.08	0.72	1.30	0.08	0.35	0.49	1.22			0.035			

TABELA 3: CÁLCULO ISOVOLUMETRICO

LP/P	prof.	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Yb	Lu
1000/750												
	0.50	0.18	0.40	0.09	0.08	0.13	0.19	0.45	0.62	0.84	1.17	1.24
	1.50	0.07	0.52	0.05	0.07	0.07	0.09	0.17	0.22	0.30	0.46	0.45
	3.50	0.07	0.17	0.09	0.13	0.11	0.14	0.21	0.24	0.31	0.50	0.55
	5.50	0.10	0.14	0.10	0.16	0.13	0.17	0.25	0.27	0.33	0.53	0.54
	11.50	0.07	0.06	0.10	0.16	0.17	0.30	0.31	0.34	0.39	0.49	0.46
1250/1250												
	0.50	0.77	1.78	0.35	0.34	0.78	0.61	1.30	1.30	1.51	2.09	2.54
	2.50	0.22	0.71	0.19	0.23	0.34	0.36	0.45	0.47	0.56	0.89	0.94
	5.50	0.09	0.49	0.14	0.27	0.31	0.28	0.38	0.40	0.48	0.78	0.84
	12.50	0.12	1.20	0.14	0.28	0.27	0.31	0.29	0.26	0.26	0.35	0.36
	22.50	0.26	0.53	0.18	0.27	0.28	0.43	0.28	0.27	0.30	0.44	0.43
1250/1750												
	0.50	0.50	0.50	0.27	0.17	0.30	0.24	0.35	0.38	0.44	0.62	0.85
	3.50	0.20	0.55	0.12	0.08	0.12	0.08	0.12	0.16	0.20	0.39	0.45
	5.50	0.07	0.20	0.05	0.05	0.05	0.05	0.07	0.08	0.10	0.16	0.19
	12.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	19.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	20.50	0.37	0.60	0.18	0.08	0.08	0.06	0.06	0.07	0.08	0.12	0.14
1500/1250												
	0.50	0.36	0.40	0.12	0.13	0.25	0.24	0.53	0.82	1.07	1.48	1.59
	1.50	0.28	3.18	0.12	0.09	0.14	0.21	0.25	0.37	0.59	1.23	1.29
	2.50	0.58	1.10	0.30	0.19	0.25	0.23	0.21	0.29	0.39	0.68	0.65
	4.50	0.27	0.39	0.14	0.10	0.17	0.12	0.22	0.31	0.44	0.76	0.72
	5.50	0.19	0.30	0.10	0.09	0.10	0.21	0.29	0.42	0.60	1.07	1.09
	8.50	0.17	0.37	0.10	0.10	0.16	0.22	0.31	0.40	0.56	0.88	0.84
	13.50	0.06	0.15	0.06	0.09	0.10	0.19	0.26	0.32	0.44	0.77	0.74
	23.50	0.02	0.42	0.01	0.01	0.07	0.03	0.03	0.03	0.04	0.07	0.07
	28.50	0.08	0.08	0.08	0.09	0.11	0.13	0.14	0.16	0.20	0.33	0.33

TABELA 4: CÁLCULO ISOALUMÍNIO

LP/P		SiO2	Al2O3	Fe2O3	FeO	CaO	MgO	Na2O	K2O	MnO	TiO2	PF
1000/750												
	0.50	0.28	1.00	2.94	0.14	0.020		0.002	0.003	0.43		
	1.50	0.50	1.00	2.66	0.06	0.022		0.004	0.005	0.43		
	3.50	0.81	1.00	3.62	0.17	0.031		0.004	0.039	0.59		
	5.50	0.68	1.00	2.78	0.08	0.027		0.004	0.040	0.70		
	11.50	0.77	1.00	6.70	0.35	0.038		0.006	0.118	1.23		
1250/1250												
	0.50	0.33	1.00	3.47	0.10	0.026		0.002		0.72		
	2.50	0.37	1.00	2.96	0.13	0.030		0.005		0.36		
	5.50	0.57	1.00	3.03	0.13	0.049		0.005		0.62		
	12.50	0.61	1.00	5.35	0.14	0.032	2.538	0.004	0.128	0.51		
	22.50	0.63	1.00	1.69	0.21	0.036	4.588	0.005	0.320	0.49		
1250/1750												
	0.50	0.21	1.00	246.91	0.07	0.371		0.006	0.001	0.62	5.20	11.63
	3.50	0.33	1.00	37.06	0.05	0.494		0.003	0.001	0.66	2.08	8.79
	5.50	0.93	1.00	55.77	0.10	0.481		0.006	0.004	1.28	1.35	8.45
	12.50	0.46	1.00	46.43	0.06	0.476	0.119	0.007	0.013	0.60	1.31	8.77
	19.50	0.60	1.00	40.52	0.07	0.481	0.206	0.002	0.016	0.23	0.96	8.55
	20.50	0.64	1.00	40.71	0.12	0.500		0.006	0.021	0.48	1.00	8.26
1500/1250												
	0.50	0.15	1.00	6.97	0.36	0.026		0.002	0.001	0.31		
	1.50	0.09	1.00	4.06	0.10	0.200		0.001		0.32		
	2.50	0.15	1.00	3.21	0.07	0.026		0.002	0.001	0.25		
	4.50	0.51	1.00	3.22	0.12	0.051		0.002		0.59		
	5.50	0.53	1.00	4.27	0.13	0.058		0.002	0.003	0.78		
	8.50	0.42	1.00	4.67	0.17	0.034		0.002	0.001	0.68		
	13.50	0.48	1.00	2.93	0.11	0.026		0.003		0.41		
	23.50	0.62	1.00	4.23	0.21	0.042		0.004		0.50		
	28.50	0.64	1.00	2.77	0.43	0.026		0.005	0.150	1.18		
1600/1000												
	0.50	0.40	1.00	6.23	0.25			0.004	0.004	0.84		
	2.50	0.14	1.00	35.64	0.15			0.021	0.004	0.27		
	5.50	0.34	1.00	4.68	0.29			0.002	0.013	0.49		
	7.50	0.58	1.00	6.50	0.19		0.158	0.002	0.274	0.34		
	8.50	0.60	1.00	4.51	0.30			0.005	0.020	0.34		
	13.50	0.55	1.00	7.89	0.59		0.260	0.004	0.049	1.01		
	16.50	0.56	1.00	4.84	0.18		0.250	0.002	0.020	0.32		
	19.50	0.75	1.00	3.10	0.37		0.319	0.149	1.273	1.25		
1750/375												
	0.50	0.37	1.00	10.62	0.26	0.068		0.001	0.004		2.26	
	2.50	0.32	1.00	10.15	0.19	0.037		0.002	0.003		3.65	
	5.50	0.46	1.00	10.49	0.28	0.045		0.003	0.009		5.10	
	8.50	0.31	1.00	7.26	0.29	0.085		0.004	0.013		3.71	
	11.50	0.49	1.00	7.30	0.18		0.573	0.005	0.015		4.35	
	15.50	0.42	1.00	7.71	0.09				0.009		3.61	
	20.50	0.44	1.00	5.17	0.22		1.697	0.006	0.010		3.71	

TABELA 5: CÁLCULO ISOALUMINIO

LP/P	F	Sn	Zr	Nb	Y	Pb	Ga	Hf	Ta	Rb	P	Th	U
1000/750													
0.50	0.02	1.66	0.50	1.39	0.33	0.15	0.73	0.58	1.82	0.005	0.30	1.93	0.06
1.50	0.03	1.82	0.77	1.34	0.10	0.30		1.14	1.57	0.012		2.16	0.06
3.50	0.08	2.17	1.02	1.18	0.09	0.65		1.45	1.35	0.212		2.88	0.20
5.50	0.10	2.22	1.05	1.19	0.08	0.85		1.70	1.48	0.225		1.70	0.19
11.50	0.19	3.29	1.53	1.86	0.21	0.48		2.29	2.18	0.536		3.63	0.18
1250/1250													
0.50	0.03	3.15	1.12	1.92	0.74	0.17	0.76	0.77	2.04		0.48	3.87	0.09
2.50	0.05	2.57	0.99	1.83	0.23	0.65	0.72	3.20	1.60	0.001		2.59	0.12
5.50	0.06	3.41	1.46	2.31	0.21	0.93	0.89	5.36	2.32			2.73	0.17
12.50	0.06	2.72	1.59	1.70	0.25	0.67	0.96	4.67	1.51	0.135	0.28	3.53	0.12
22.50	0.13	2.45	0.91	1.88	0.29	0.57	0.79	2.46	1.81	0.524	0.28	3.91	0.19
1250/1750													
0.50	2.32	1.08	0.84	1.35	0.96	0.09	1.16		0.38		0.57	8.96	0.17
3.50	0.31	2.26	1.96	2.23	1.20	0.23	0.75		0.94		0.26	15.91	0.31
5.50	0.22	1.95	2.54	3.24	2.15	0.26	1.17		1.37		0.68	21.73	0.44
12.50	0.50	2.11	1.80	1.93	0.81	0.40	1.05		0.85	1.423	0.26	7.79	0.84
19.50	0.39	2.00	0.10	1.59	0.49	0.80	1.02		0.65	2.837	0.19	0.00	0.00
20.50	0.25	2.08	1.20	2.27	0.30	0.94	0.75		0.95	5.280		4.18	0.17
1500/1250													
0.50	0.01	1.75	0.57	0.86	0.55	0.06	0.75	0.83	0.88		0.73	2.56	0.02
1.50	0.01	0.49	0.89	0.49	0.18	0.07	0.37	1.77	0.44		0.40	1.89	0.06
2.50	0.01	2.00	0.63	0.69	0.24	0.10	0.49	1.89	0.75		0.37	2.70	0.02
4.50	0.01	5.03	1.48	1.77	0.37	0.23	0.68	3.80	1.70		0.65	4.29	0.10
5.50	0.02	5.46	1.75	2.05	0.52	0.31	0.89	5.17	1.92		0.73	5.28	0.14
8.50	0.02	3.28	1.53	2.25	0.57	0.77	0.73	4.06	1.80		0.46	4.50	0.16
13.50	0.01	2.51	1.03	1.31	0.14	0.60	0.73	2.69	1.11			3.09	0.16
23.50	0.04	3.32	1.16	1.83	0.49	1.05	1.02	5.38	1.22		0.32	4.31	0.21
28.50	0.19	2.04	0.87	0.84	0.17	0.13	0.72	3.11	1.08	0.588		2.61	0.08
1600/1000													
0.50	0.97	3.22	0.16	0.47	1.26	0.26	0.49		0.13		0.33	2.01	0.02
2.50	1.09	4.90	0.10	0.30	0.52	0.36	0.80				0.37	1.44	0.02
5.50	23.41	0.31	0.13	0.07	0.21	0.16	0.40			0.009	0.25	0.44	0.03
7.50	2.12	0.54	0.14	0.05	0.37	0.39	0.71			0.025	0.45	0.78	
8.50	3.41	2.56	0.13	0.14	0.54	0.30	0.58			0.017	0.25	0.72	0.03
13.50	4.39	0.74	0.16	0.14	2.60	1.67	0.45			0.180	1.01	1.75	0.05
16.50	7.14	0.71	0.09	0.22	2.58	0.37	0.87			0.072	0.22	1.17	0.12
19.50	9.13	59.68	0.90	0.73	5.00	3.00	0.81		1.46	2.768	0.54	18.23	0.89
1750/375													
0.50	0.08	82.08	31.91	2.73	1.23	1.18	1.99						
2.50	0.05	6.32	3.38	0.34	0.60	0.20	1.20						
5.50	0.08	0.15	3.02	0.23	1.30	0.36	1.43						
8.50	0.03	0.36	0.14	0.07	0.24	0.63	0.84			0.011			
11.50	0.07	0.45	0.17	0.08	0.14	1.64	0.97			0.018			
15.50	0.08	0.41	0.87	0.05	0.12	0.22	0.00			0.017			
20.50	0.07	0.59	1.06	0.06	0.29	0.40	0.99			0.029			

TABELA 6: CÁLCULO ISOALUMINIO

LP/P	prof.	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Yb	Lu
1000/750												
	0.50	0.11	0.25	0.05	0.05	0.08	0.11	0.27	0.38	0.52	0.72	0.76
	1.50	0.06	0.45	0.04	0.06	0.06	0.08	0.15	0.18	0.25	0.39	0.39
	3.50	0.08	0.20	0.10	0.15	0.13	0.17	0.25	0.28	0.37	0.59	0.65
	5.50	0.11	0.15	0.11	0.17	0.13	0.19	0.27	0.29	0.36	0.57	0.58
	11.50	0.09	0.08	0.13	0.20	0.22	0.38	0.39	0.43	0.49	0.61	0.58
1250/1250												
	0.50	0.51	1.17	0.23	0.22	0.51	0.40	0.86	0.85	1.00	1.38	1.67
	2.50	0.16	0.52	0.14	0.17	0.25	0.26	0.33	0.35	0.41	0.65	0.68
	5.50	0.09	0.46	0.13	0.25	0.29	0.26	0.35	0.37	0.45	0.72	0.78
	12.50	0.12	1.26	0.14	0.29	0.29	0.32	0.30	0.28	0.27	0.37	0.38
	22.50	0.26	0.53	0.18	0.27	0.29	0.43	0.28	0.27	0.30	0.44	0.44
1250/1750												
	0.50	0.42	0.42	0.23	0.14	0.25	0.20	0.30	0.32	0.38	0.53	0.73
	3.50	0.15	0.40	0.09	0.06	0.09	0.06	0.09	0.12	0.15	0.29	0.33
	5.50	0.10	0.29	0.07	0.07	0.08	0.08	0.11	0.12	0.14	0.23	0.27
	12.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	19.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	20.50	0.41	0.65	0.20	0.08	0.08	0.06	0.07	0.07	0.08	0.13	0.15
1500/1250												
	0.50	0.20	0.23	0.07	0.07	0.14	0.14	0.30	0.46	0.60	0.83	0.90
	1.50	0.12	1.39	0.05	0.04	0.06	0.09	0.11	0.16	0.26	0.54	0.57
	2.50	0.27	0.51	0.14	0.09	0.12	0.11	0.10	0.14	0.18	0.32	0.30
	4.50	0.24	0.34	0.12	0.09	0.15	0.11	0.19	0.28	0.38	0.67	0.64
	5.50	0.17	0.28	0.10	0.08	0.10	0.19	0.27	0.39	0.56	0.99	1.01
	8.50	0.14	0.31	0.08	0.08	0.13	0.19	0.26	0.34	0.46	0.74	0.70
	13.50	0.05	0.13	0.05	0.07	0.08	0.16	0.22	0.27	0.37	0.65	0.63
	23.50	0.02	0.43	0.01	0.01	0.07	0.03	0.03	0.03	0.05	0.07	0.07
	28.50	0.08	0.09	0.09	0.09	0.12	0.14	0.14	0.17	0.21	0.35	0.34

TABELA 7: CÁLCULO ISOESTANHO

LP/P	prof.	SiO2	Al2O3	Fe2O3	FeO	CaO	MgO	Na2O	K2O	MnO	TiO2	PF
	0.50	0.17	0.60	1.77	0.08	0.012		0.0015	0.00172	0.26		
	1.50	0.28	0.55	1.46	0.03	0.012		0.0024	0.00278	0.23		
	3.50	0.37	0.46	1.67	0.08	0.014		0.0021	0.01782	0.27		
	5.50	0.31	0.45	1.25	0.03	0.012		0.0018	0.01805	0.31		
	11.50	0.23	0.30	2.04	0.11	0.012		0.0019	0.03590	0.37		
1250/1250												
	0.50	0.11	0.32	1.10	0.03	0.008		0.0006		0.23		
	2.50	0.14	0.39	1.15	0.05	0.012		0.0021		0.14		
	5.50	0.17	0.29	0.89	0.04	0.014		0.0014		0.18		
	12.50	0.22	0.37	1.97	0.05	0.012	0.934	0.0014	0.04695	0.19		
	22.50	0.26	0.41	0.69	0.08	0.015	1.871	0.0020	0.13040	0.20		
1250/1750												
	0.50	0.19	0.93	229.37	0.06	0.345		0.0052	0.00113	0.57	4.83	10.81
	3.50	0.15	0.44	16.36	0.02	0.218		0.0013	0.00043	0.29	0.92	3.88
	5.50	0.48	0.51	28.55	0.05	0.246		0.0030	0.00193	0.66	0.69	4.32
	12.50	0.22	0.47	22.02	0.03	0.226	0.056	0.0034	0.00609	0.28	0.62	4.16
	19.50	0.30	0.50	20.23	0.04	0.240	0.103	0.0010	0.00807	0.11	0.48	4.27
	20.50	0.31	0.48	19.54	0.06	0.240		0.0031	0.01008	0.23	0.48	3.97
1500/1250												
	0.50	0.09	0.57	3.97	0.20	0.015		0.0009	0.00052	0.18		
	1.50	0.19	2.04	8.29	0.20	0.408		0.0012		0.64		
	2.50	0.07	0.50	1.61	0.04	0.013		0.0010	0.00037	0.13		
	4.50	0.10	0.20	0.64	0.02	0.010		0.0004		0.12		
	5.50	0.10	0.18	0.78	0.02	0.011		0.0004	0.00051	0.14		
	8.50	0.13	0.31	1.42	0.05	0.010		0.0006	0.00037	0.21		
	13.50	0.19	0.40	1.17	0.05	0.010		0.0012		0.16		
	23.50	0.19	0.30	1.28	0.06	0.013		0.0011		0.15		
	28.50	0.31	0.49	1.36	0.21	0.013		0.0025	0.07000	0.58		
1600/1000												
	0.50	0.12	0.31	1.93	0.08			0.0012	0.00115	0.26		
	2.50	0.03	0.20	7.28	0.03			0.0043	0.00072	0.05		
	5.50	1.09	3.25	15.19	0.94			0.0053	0.04267	1.60		
	7.50	1.09	1.87	12.15	0.36		0.295	0.0043	0.51200	0.64		
	8.50	0.23	0.39	1.76	0.12			0.0018	0.00800			
	13.50	0.75	1.35	10.69	0.80		0.352	0.0061	0.06705	1.37		
	16.50	0.78	1.41	6.82	0.26		0.352	0.0030	0.02743			
	19.50	0.01	0.02	0.05	0.01		0.005	0.0025	0.02133	0.02		
1750/375												
	0.50	0.005	0.01	0.13	0.00	0.001		0.0000	0.00005		0.03	
	2.50	0.05	0.16	1.61	0.03	0.006		0.0004	0.00054		0.58	
	5.50	3.09	6.70	70.30	1.86	0.302		0.0205	0.06333		34.20	
	8.50	0.86	2.74	19.92	0.80	0.233		0.0099	0.03632		10.17	
	11.50	1.08	2.21	16.15	0.41		1.267	0.0103	0.03284		9.63	
	15.50	1.02	2.42	18.68	0.21				0.02111		8.74	
	20.50	0.75	1.71	8.82	0.37		2.895	0.0098	0.01675		6.33	

TABELA 8: CALCULO ISOESTANHO

LP/P	prof.	F	Sn	Zr	Nb	Y	Pb	Ga	Hf	Ta	Rb	P	Th	U
1000/750														
	0.50	0.01	1.00	0.30	0.84	0.20	0.09	0.44	0.35	1.10	0.0030		1.16	0.04
	1.50	0.02	1.00	0.43	0.74	0.06	0.17		0.63	0.87	0.0065	0.132	1.19	0.03
	3.50	0.04	1.00	0.47	0.54	0.04	0.30		0.53	0.62	0.0978	0.154	1.33	0.09
	5.50	0.05	1.00	0.47	0.53	0.03	0.38		0.77	0.67	0.1012	0.132	0.77	0.09
	11.50	0.06	1.00	0.47	0.57	0.06	0.15		0.70	0.66	0.1632	0.105	1.11	0.05
1250/1250														
	0.50	0.01	1.00	0.36	0.61	0.24	0.05	0.24	0.24	0.65		0.154	1.23	0.03
	2.50	0.02	1.00	0.38	0.71	0.09	0.25	0.28	1.25	0.62	0.0003		1.01	0.05
	5.50	0.02	1.00	0.43	0.68	0.06	0.27	0.26	1.57	0.68			0.80	0.05
	12.50	0.02	1.00	0.58	0.62	0.09	0.25	0.35	1.72	0.56	0.0498	0.105	1.30	0.04
	22.50	0.05	1.00	0.37	0.77	0.12	0.23	0.32	1.00	0.74	0.2137	0.115	1.59	0.08
1250/1750														
	0.50	2.16	1.00	0.78	1.25	0.89	0.08	1.08		0.36		0.532	8.32	0.16
	3.50	0.14	1.00	0.86	0.99	0.53	0.10	0.33		0.42		0.113	7.02	0.14
	5.50	0.11	1.00	1.30	1.66	1.10	0.13	0.60		0.70		0.346	11.13	0.22
	12.50	0.24	1.00	0.85	0.92	0.38	0.19	0.50		0.40	0.6752	0.125	3.70	0.40
	19.50	0.19	1.00	0.85	0.79	0.24	0.40	0.51		0.33	1.4161	0.095	1.45	0.63
	20.50	0.12	1.00	0.58	1.09	0.14	0.45	0.36		0.46	2.5342		2.01	0.08
1500/1250														
	0.50	0.00	1.00	0.33	0.49	0.31	0.03	0.43	0.47	0.50		0.416	1.46	0.01
	1.50	0.01	1.00	1.81	1.00	0.38	0.15	0.76	3.61	0.89		0.813	3.85	0.13
	2.50	0.00	1.00	0.32	0.35	0.12	0.05	0.25	0.94	0.38		0.184	1.35	0.01
	4.50	0.00	1.00	0.29	0.35	0.07	0.05	0.14	0.75	0.34		0.129	0.85	0.02
	5.50	0.00	1.00	0.32	0.38	0.09	0.06	0.16	0.95	0.35		0.134	0.97	0.03
	8.50	0.01	1.00	0.47	0.69	0.17	0.23	0.22	1.24	0.55		0.140	1.37	0.05
	13.50	0.01	1.00	0.41	0.52	0.06	0.24	0.29	1.07	0.44			1.23	0.06
	23.50	0.01	1.00	0.35	0.55	0.15	0.32	0.31	1.62	0.37		0.097	1.30	0.06
	28.50	0.09	1.00	0.43	0.41	0.08	0.07	0.35	1.53	0.53	0.2887		1.28	0.04
1600/1000														
	0.50	0.30	1.00	0.05	0.15	0.39	0.08	0.15		0.04		0.104	0.62	0.01
	2.50	0.22	1.00	0.02	0.06	0.11	0.07	0.16				0.076	0.29	0.00
	5.50	76.00	1.00	0.41	0.23	0.70	0.53	1.30			0.0308	0.800	1.44	0.10
	7.50	3.97	1.00	0.26	0.09	0.69	0.72	1.33			0.0474	0.832	1.46	
	8.50	1.33	1.00	0.05	0.05	0.21	0.12	0.23			0.0067	0.099	0.28	0.01
	13.50	5.94	1.00	0.22	0.20	3.52	2.27	0.61			0.2438	1.371	2.37	0.07
	16.50	10.06	1.00	0.12	0.32	3.63	0.52	1.22			0.1016	0.306	1.65	0.17
	19.50	0.15	1.00	0.02	0.01	0.08	0.05	0.01		0.02	0.0464	0.009	0.31	0.01
1750/375														
	0.50	0.00	1.00	0.39	0.03	0.02	0.01	0.02						
	2.50	0.01	1.00	0.54	0.05	0.09	0.03	0.19						
	5.50	0.53	1.00	20.27	1.53	8.73	2.43	9.58						
	8.50	0.08	1.00	0.38	0.20	0.65	1.72	2.29			0.0306			
	11.50	0.15	1.00	0.38	0.18	0.31	3.63	2.15			0.0387			
	15.50	0.20	1.00	2.11	0.12	0.29	0.53	0.00			0.0413			
	20.50	0.11	1.00	1.81	0.11	0.49	0.68	1.69			0.0490			

TABELA 9: CÁLCULO ISOESTANHO

LP/P	prof.	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Yb	Lu
1000/750												
	0.50	0.065	0.147	0.033	0.030	0.047	0.068	0.164	0.230	0.310	0.429	0.458
	1.50	0.034	0.245	0.024	0.034	0.034	0.041	0.081	0.101	0.136	0.213	0.212
	3.50	0.039	0.092	0.047	0.068	0.060	0.077	0.117	0.130	0.169	0.274	0.299
	5.50	0.048	0.066	0.050	0.076	0.060	0.083	0.119	0.129	0.161	0.254	0.258
	11.50	0.027	0.024	0.040	0.061	0.066	0.114	0.118	0.131	0.150	0.186	0.177
1250/1250												
	0.50	0.161	0.371	0.073	0.071	0.162	0.126	0.272	0.271	0.316	0.437	0.529
	2.50	0.061	0.201	0.054	0.066	0.096	0.102	0.128	0.134	0.158	0.251	0.264
	5.50	0.025	0.134	0.037	0.073	0.085	0.076	0.104	0.108	0.132	0.211	0.229
	12.50	0.044	0.462	0.052	0.107	0.105	0.118	0.109	0.101	0.099	0.134	0.138
	22.50	0.105	0.216	0.072	0.110	0.116	0.176	0.114	0.110	0.122	0.179	0.176
1250/1750												
	0.50	0.393	0.391	0.209	0.132	0.233	0.188	0.274	0.296	0.348	0.489	0.673
	3.50	0.066	0.178	0.038	0.025	0.039	0.027	0.040	0.051	0.066	0.127	0.146
	5.50	0.049	0.147	0.038	0.037	0.039	0.040	0.054	0.062	0.072	0.116	0.140
	12.50											
	19.50											
	20.50	0.197	0.314	0.095	0.040	0.040	0.031	0.032	0.035	0.040	0.063	0.073
1500/1250												
	0.50	0.117	0.130	0.039	0.042	0.080	0.079	0.170	0.266	0.347	0.479	0.515
	1.50	0.244	2.008	0.102	0.084	0.125	0.189	0.217	0.327	0.525	1.089	1.141
	2.50	0.135	0.253	0.069	0.045	0.059	0.053	0.049	0.068	0.091	0.157	0.149
	4.50	0.047	0.068	0.025	0.018	0.030	0.021	0.039	0.055	0.077	0.134	0.127
	5.50	0.032	0.051	0.018	0.015	0.018	0.035	0.050	0.072	0.103	0.182	0.186
	8.50	0.042	0.096	0.026	0.026	0.041	0.057	0.080	0.103	0.142	0.226	0.216
	13.50	0.019	0.052	0.020	0.029	0.032	0.066	0.086	0.107	0.149	0.260	0.250
	23.50	0.005	0.131	0.003	0.004	0.022	0.009	0.009	0.011	0.014	0.021	0.021
	28.50	0.041	0.042	0.042	0.044	0.058	0.067	0.070	0.082	0.104	0.171	0.166

TABELA 10: CÁLCULO ISOZIRCÔNIO

LP/P	SiO2	Al2O3	Fe2O3	FeO	CaO	MgO	Na2O	K2O	MnO	TiO2	PF
1000/750											
0.50	0.56	2.02	5.93	0.27	0.04		0.005	0.006	0.86		
1.50	0.65	1.29	3.43	0.08	0.03		0.006	0.007	0.55		
3.50	0.80	0.98	3.57	0.16	0.03		0.004	0.038	0.59		
5.50	0.64	0.95	2.64	0.07	0.03		0.004	0.038	0.66		
11.50	0.50	0.65	4.37	0.23	0.02		0.004	0.077	0.80		
1250/1250											
0.50	0.29	0.89	3.09	0.09	0.02		0.002		0.64		
2.50	0.38	1.01	3.00	0.13	0.03		0.006		0.37		
5.50	0.39	0.68	2.07	0.09	0.03		0.003		0.43		
12.50	0.38	0.63	3.37	0.09	0.02	1.60	0.002	0.030	0.32		
22.50	0.69	1.16	1.85	0.23	0.04	5.03	0.005	0.351	0.54		
1250/1750											
0.50	0.25	1.19	293.71	0.08	0.44		0.007	0.001	0.74	6.18	13.84
3.50	0.17	0.51	18.93	0.03	0.25		0.002	0.000	0.34	1.06	4.49
5.50	0.37	0.39	21.96	0.04	0.19		0.002	0.001	0.50	0.53	3.33
12.50	0.26	0.56	25.84	0.03	0.26	0.07	0.004	0.007	0.33	0.73	4.88
19.50	5.82	9.65	390.88	0.69	4.64	1.99	0.020	0.156	2.21	9.28	82.48
20.50	0.53	0.83	33.94	0.10	0.42		0.005	0.018	0.40	0.83	6.89
1500/1250											
0.50	0.27	1.74	12.12	0.62	0.04		0.003	0.002	0.54		
1.50	0.10	1.12	4.57	0.11	0.23		0.001		0.36		
2.50	0.24	1.58	5.08	0.11	0.04		0.003	0.001	0.40		
4.50	0.34	0.67	2.17	0.08	0.03		0.002		0.40		
5.50	0.30	0.57	2.44	0.07	0.03		0.001	0.002	0.44		
8.50	0.27	0.65	3.05	0.11	0.02		0.001	0.001	0.44		
13.50	0.46	0.97	2.84	0.11	0.02		0.003		0.40		
23.50	0.54	0.86	3.66	0.18	0.04		0.003		0.44		
28.50	0.73	1.15	3.20	0.49	0.03		0.006	0.173	1.37		
1600/1000											
0.50	2.52	6.31	39.29	1.55			0.023	0.023	5.27		
2.50	1.46	10.10	360.00	1.56			0.215	0.036	2.68		
5.50	2.69	7.98	37.33	2.32			0.013	0.105	3.93		
7.50	4.17	7.18	46.67	1.38		1.13	0.016	1.967	2.46		
8.50	4.70	7.87	35.45	2.36			0.036	0.161			
13.50	3.44	6.24	49.29	3.71		1.62	0.028	0.309	6.32		
16.50	6.33	11.36	55.00	2.87		2.84	0.025	0.221			
19.50	0.83	1.11	3.44	0.41		0.35	0.166	1.414	1.38		
1750/375											
0.50	0.01	0.03	0.33	0.01	0.00		0.000	0.000		0.07	
2.50	0.09	0.30	3.00	0.06	0.01		0.001	0.001		1.08	
5.50	0.15	0.33	3.47	0.09	0.01		0.001	0.003		1.69	
8.50	2.24	7.14	51.86	2.09	0.61		0.026	0.095		26.49	
11.50	2.88	5.88	42.98	1.09		3.37	0.027	0.087		25.62	
15.50	0.48	1.15	8.85	0.10			0.002	0.010		4.14	
20.50	0.42	0.94	4.88	0.21		1.60	0.005	0.009		3.50	

TABELA 11: CÁLCULO ISOZIRCÔNIO

LP/P	prof	F	Sn	Zr	Nb	Y	Pb	Ga	Hf	Ta	Rb	P	Th	U
1000/750														
	0.50	0.04	3.35	1.00	2.80	0.66	0.30	1.47	1.17	3.68	0.010	0.61	3.89	0.13
	1.50	0.04	2.35	1.00	1.73	0.13	0.39		1.47	2.03	0.015		2.80	0.08
	3.50	0.08	2.14	1.00	1.16	0.09	0.64		1.13	1.33	0.209		2.83	0.20
	5.50	0.10	2.11	1.00	1.13	0.07	0.81		1.62	1.40	0.213		1.62	0.18
	11.50	0.12	2.14	1.00	1.21	0.13	0.31		1.49	1.42	0.349		2.37	0.11
1250/1250														
	0.50	0.02	2.80	1.00	1.71	0.66	0.15	0.67	0.68	1.82		0.43	3.44	0.08
	2.50	0.05	2.61	1.00	1.85	0.23	0.66	0.73	3.25	1.62	0.001		2.62	0.13
	5.50	0.04	2.34	1.00	1.58	0.14	0.64	0.61	3.67	1.59			1.87	0.12
	12.50	0.04	1.71	1.00	1.07	0.16	0.42	0.61	2.94	0.95	0.085	0.18	2.23	0.08
	22.50	0.14	2.69	1.00	2.06	0.32	0.62	0.87	2.70	1.99	0.575	0.31	4.29	0.20
1250/1750														
	0.50	2.76	1.28	1.00	1.61	1.14	0.11	1.38		0.46		0.68	10.65	0.20
	3.50	0.16	1.16	1.00	1.14	0.61	0.12	0.38		0.48		0.13	8.13	0.16
	5.50	0.09	0.77	1.00	1.28	0.85	0.10	0.46		0.54		0.27	8.56	0.17
	12.50	0.28	1.17	1.00	1.08	0.45	0.22	0.58		0.47	0.792	0.15	4.34	0.47
	19.50	3.75	19.32	1.00	15.36	4.73	7.71	9.84		6.31	27.364	1.84	28.81	12.22
	20.50	0.21	1.74	1.00	1.09	0.25	0.78	0.62		0.79	4.402		3.49	0.14
1500/1250														
	0.50	0.01	3.05	1.00	1.50	0.96	0.10	1.31	1.44	1.53		1.27	4.46	0.04
	1.50	0.01	0.55	1.00	0.55	0.21	0.08	0.42	1.99	0.49		0.45	2.12	0.07
	2.50	0.01	3.16	1.00	1.10	0.37	0.15	0.78	2.99	1.19		0.58	4.27	0.04
	4.50	0.01	3.39	1.00	1.19	0.25	0.16	0.46	2.56	1.15		0.44	2.89	0.07
	5.50	0.01	3.11	1.00	1.17	0.30	0.18	0.51	2.95	1.10		0.42	3.01	0.08
	8.50	0.01	2.14	1.00	1.47	0.37	0.50	0.47	2.65	1.17		0.30	2.94	0.10
	13.50	0.01	2.43	1.00	1.27	0.13	0.58	0.71	2.61	1.08			3.00	0.15
	23.50	0.03	2.87	1.00	1.58	0.42	0.91	0.88	4.65	1.05		0.28	3.72	0.18
	28.50	0.22	2.35	1.00	0.97	0.20	0.16	0.83	3.59	1.25	0.678		3.01	0.09
1600/1000														
	0.50	6.15	20.30	1.00	2.97	7.92	1.65	3.07		0.81		2.11	12.67	0.15
	2.50	11.00	49.45	1.00	3.65	5.29	3.68	8.05				3.75	14.51	0.23
	5.50	186.83	2.46	1.00	0.56	1.71	1.30	3.20			0.076	1.97	3.55	0.24
	7.50	15.24	3.84	1.00	0.34	2.65	2.78	5.12			0.182	3.20	5.59	
	8.50	26.82	20.11	1.00	1.07	4.26	2.38	4.58			0.135	1.98	5.68	0.28
	13.50	27.39	4.61	1.00	0.90	16.21	10.44	2.81			1.124	6.32	10.91	0.32
	16.50	81.12	8.07	1.00	2.54	29.31	4.17	9.83			0.819	2.47	13.30	1.39
	19.50	10.14	66.26	1.00	0.81	5.55	3.33	0.90		1.62	3.073	0.60	20.25	0.98
1750/375														
	0.50	0.00	2.57	1.00	0.09	0.04	0.04	0.06						
	2.50	0.02	1.87	1.00	0.10	0.18	0.06	0.36						
	5.50	0.03	0.05	1.00	0.08	0.43	0.12	0.47						
	8.50	0.21	2.60	1.00	0.51	1.70	4.48	5.97						
	11.50	0.40	2.66	1.00	0.49	0.84	9.66	5.72						
	15.50	0.10	0.47	1.00	0.06	0.14	0.25	0.00						
	20.50	0.06	0.55	1.00	0.06	0.27	0.38	0.93						

TABELA 12: CÁLCULO ISOZIRCÔNIO

LP/P	prof.	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Yb	Lu
1000/750												
	0.50	0.217	0.495	0.110	0.100	0.159	0.229	0.550	0.772	1.038	1.440	1.535
	1.50	0.079	0.575	0.055	0.031	0.081	0.097	0.190	0.238	0.325	0.501	0.498
	3.50	0.084	0.197	0.100	0.146	0.129	0.164	0.250	0.279	0.361	0.585	0.638
	5.50	0.102	0.138	0.105	0.160	0.127	0.176	0.251	0.272	0.339	0.535	0.543
	11.50	0.057	0.052	0.086	0.131	0.142	0.244	0.252	0.281	0.320	0.399	0.380
1250/1250												
	0.50	0.450	1.039	0.205	0.198	0.454	0.354	0.762	0.759	0.885	1.224	1.482
	2.50	0.160	0.525	0.140	0.172	0.251	0.264	0.334	0.349	0.410	0.653	0.688
	5.50	0.059	0.314	0.087	0.170	0.200	0.178	0.242	0.253	0.308	0.494	0.535
	12.50	0.076	0.791	0.089	0.183	0.180	0.202	0.187	0.173	0.169	0.229	0.236
	22.50	0.282	0.582	0.195	0.297	0.313	0.474	0.307	0.296	0.328	0.483	0.474
1250/1750												
	0.50	0.504	0.501	0.268	0.169	0.298	0.241	0.351	0.379	0.446	0.627	0.862
	3.50	0.077	0.206	0.044	0.029	0.045	0.032	0.047	0.059	0.076	0.147	0.169
	5.50	0.038	0.113	0.029	0.028	0.030	0.030	0.041	0.048	0.055	0.089	0.107
	12.50											
	19.50											
	20.50	0.341	0.545	0.165	0.069	0.070	0.054	0.055	0.060	0.069	0.109	0.127
1500/1250												
	0.50	0.356	0.396	0.120	0.128	0.244	0.241	0.519	0.812	1.058	1.460	1.570
	1.50	0.134	1.549	0.056	0.046	0.069	0.104	0.120	0.181	0.290	0.601	0.629
	2.50	0.427	0.801	0.219	0.141	0.186	0.169	0.155	0.215	0.288	0.496	0.473
	4.50	0.160	0.231	0.084	0.061	0.101	0.071	0.131	0.187	0.261	0.454	0.432
	5.50	0.099	0.160	0.055	0.048	0.055	0.109	0.156	0.223	0.320	0.567	0.578
	8.50	0.090	0.205	0.056	0.056	0.088	0.123	0.172	0.221	0.304	0.484	0.462
	13.50	0.046	0.126	0.049	0.071	0.078	0.160	0.210	0.260	0.361	0.634	0.607
	23.50	0.014	0.374	0.007	0.010	0.062	0.024	0.026	0.030	0.040	0.060	0.059
	28.50	0.097	0.099	0.099	0.104	0.136	0.157	0.164	0.193	0.245	0.402	0.391

TABELA 13: CÁLCULO ISONIÓBIO

LP/P	SiO2	Al2O3	Fe2O3	FeO	CaO	MgO	Na2O	K2O	MnO	TiO2	PF
0.50	0.20	0.72	2.11	0.10	0.01		0.002	0.0021	0.31		
1.50	0.38	0.75	1.98	0.05	0.02		0.003	0.0038	0.32		
3.50	0.69	0.85	3.08	0.14	0.03		0.004	0.0329	0.51		
5.50	0.57	0.84	2.34	0.06	0.02		0.003	0.0338	0.59		
11.50	0.41	0.54	3.61	0.19	0.02		0.003	0.0635	0.66		
1250/1250											
0.50	0.17	0.52	1.80	0.05	0.01		0.001		0.37		
2.50	0.20	0.55	1.62	0.07	0.02		0.003		0.20		
5.50	0.25	0.43	1.31	0.06	0.02		0.002		0.27		
12.50	0.36	0.59	3.15	0.08	0.02	1.49	0.002	0.0751	0.30		
22.50	0.33	0.53	0.90	0.11	0.02	2.44	0.003	0.1702	0.26		
1250/1750											
0.50	0.16	0.74	182.87	0.05	0.27		0.004	0.0009	0.46	3.85	8.62
3.50	0.15	0.45	16.60	0.02	0.22		0.001	0.0004	0.30	0.93	3.94
5.50	0.29	0.31	17.20	0.03	0.15		0.002	0.0012	0.40	0.42	2.60
12.50	0.24	0.52	24.03	0.03	0.25	0.06	0.004	0.0066	0.31	0.68	4.54
19.50	0.38	0.63	25.45	0.04	0.30	0.13	0.001	0.0101	0.14	0.60	5.37
20.50	0.28	0.44	17.91	0.05	0.22		0.003	0.0092	0.21	0.44	3.64
1500/1250											
0.50	0.18	1.16	8.06	0.41	0.03		0.002	0.0011	0.36		
1.50	0.19	2.04	8.28	0.20	0.41		0.001		0.64		
2.50	0.21	1.44	4.63	0.10	0.04		0.003	0.0011	0.36		
4.50	0.29	0.56	1.82	0.07	0.03		0.001		0.33		
5.50	0.26	0.49	2.08	0.06	0.03		0.001	0.0013	0.38		
8.50	0.19	0.44	2.08	0.08	0.02		0.001	0.0005	0.30		
13.50	0.36	0.76	2.23	0.09	0.02		0.002		0.31		
23.50	0.34	0.55	2.32	0.12	0.02		0.002		0.28		
28.50	0.76	1.19	3.31	0.51	0.03		0.006	0.1792	1.41		
1600/1000											
0.50	0.85	2.13	13.24	0.52			0.008	0.0079	1.78		
2.50	0.48	3.31	117.97	0.51			0.070	0.0117	0.88		
5.50	4.83	14.35	67.14	4.17			0.024	0.1886	7.07		
7.50	12.31	21.17	137.63	4.06		3.35	0.048	5.8000	7.25		
8.50	4.38	7.34	33.85	2.20			0.033	0.1500			
13.50	3.81	6.93	54.70	4.12		1.80	0.031	0.3430	7.02		
16.50	2.49	4.47	21.63	0.81		1.12	0.010	0.0870			
19.50	1.03	1.37	4.24	0.50		0.44	0.205	1.7438	1.71		
1750/375											
0.50	0.00	0.37	3.89	0.10	0.03		0.005	0.0020		0.83	
2.50	0.94	2.92	29.65	0.55	0.11		0.007	0.0100		10.65	
5.50	2.02	4.37	45.88	1.21	0.20		0.013	0.0413		22.32	
8.50	4.35	13.87	100.75	4.06	1.18		0.050	0.1837		51.46	
11.50	5.88	12.03	87.83	2.22		6.89	0.056	0.1786		52.36	
15.50	8.33	19.76	152.42	1.72				0.1722		71.30	
20.50	6.98	15.80	81.69	3.44		26.81	0.091	0.1552		58.65	

TABELA 14: CÁLCULO ISONIÓBIO

LP/P	F	Sn	Zr	Nb	Y	Pb	Ga	Hf	Ta	Rb	P	Th	U
0.50	0.01	1.20	0.36	1.00	0.23	0.11	0.52	0.42	1.31	0.004	0.22	1.39	0.05
1.50	0.03	1.36	0.58	1.00	0.08	0.22		0.85	1.17	0.009		1.62	0.04
3.50	0.07	1.84	0.86	1.00	0.08	0.55		0.98	1.15	0.180		2.45	0.17
5.50	0.09	1.87	0.89	1.00	0.06	0.72		1.44	1.25	0.189		1.44	0.16
11.50	0.10	1.77	0.83	1.00	0.11	0.26		1.23	1.17	0.289		1.96	0.09
1250/1250													
0.50	0.01	1.64	0.58	1.00	0.39	0.09	0.39	0.40	1.06		0.25	2.01	0.05
2.50	0.03	1.41	0.54	1.00	0.13	0.36	0.39	1.75	0.88	0.000		1.42	0.07
5.50	0.03	1.48	0.63	1.00	0.09	0.41	0.38	2.32	1.01			1.18	0.07
12.50	0.03	1.60	0.93	1.00	0.15	0.40	0.57	2.75	0.89	0.000	0.17	2.00	0.07
22.50	0.07	1.30	0.49	1.00	0.15	0.30	0.42	1.31	0.96	0.279	0.15	2.00	0.10
1250/1750													
0.50	1.72	0.80	0.62	1.00	0.71	0.07	0.86		0.28		0.42	6.63	0.13
3.50	0.14	1.01	0.88	1.00	0.54	0.10	0.34		0.42		0.11	7.13	0.14
5.50	0.07	0.60	0.78	1.00	0.66	0.08	0.36		0.42		0.21	6.70	0.13
12.50	0.26	1.09	0.93	1.00	0.42	0.21	0.54		0.44	0.737	0.14	4.03	0.44
19.50	0.24	1.26	0.07	1.00	0.31	0.50	0.64		0.41	1.782	0.00	0.00	0.00
20.50	0.11	0.92	0.53	1.00	0.13	0.41	0.33		0.42	2.323		1.84	0.08
1500/1250													
0.50	0.01	2.03	0.67	1.00	0.64	0.07	0.87	0.96	1.02		0.84	2.96	0.03
1.50	0.01	1.00	1.01	1.00	0.38	0.15	0.76	3.61	0.89		0.81	3.84	0.13
2.50	0.01	2.88	0.91	1.00	0.34	0.14	0.71	2.72	1.09		0.53	3.90	0.03
4.50	0.01	2.84	0.84	1.00	0.21	0.13	0.39	2.14	0.96		0.37	2.42	0.06
5.50	0.01	2.66	0.85	1.00	0.25	0.15	0.43	2.52	0.94		0.36	2.57	0.07
8.50	0.01	1.46	0.68	1.00	0.25	0.34	0.32	1.80	0.80		0.20	2.00	0.07
13.50	0.01	1.91	0.78	1.00	0.11	0.46	0.56	2.05	0.85			2.35	0.12
23.50	0.02	1.82	0.63	1.00	0.27	0.57	0.56	2.95	0.67		0.18	2.36	0.11
28.50	0.23	2.43	1.04	1.00	0.20	0.16	0.86	3.72	1.29	0.702		3.12	0.09
1600/1000													
0.50	2.07	6.84	0.34	1.00	2.67	0.56	1.04		0.27		0.71	4.27	0.05
2.50	3.60	16.20	0.33	1.00	1.74	1.21	2.64				1.23	4.76	0.08
5.50	335.98	4.42	1.80	1.00	3.08	2.34	5.75			0.136	3.54	6.38	0.42
7.50	44.95	11.33	2.95	1.00	7.81	8.20	15.10			0.537	9.43	16.49	
8.50	25.00	18.75	0.93	1.00	3.97	2.22	4.27			0.126	1.85	5.29	0.26
13.50	30.40	5.12	1.11	1.00	17.99	11.59	3.12			1.247	7.02	12.11	0.36
16.50	31.90	3.17	0.39	1.00	11.53	1.64	3.87			3.242	0.97	5.23	0.55
19.50	12.51	81.74	1.23	1.00	6.85	4.10	1.11		2.00	3.791	0.74	24.98	1.22
1750/375													
0.50	0.03	30.04	11.67	1.00	0.45	0.43	0.73						
2.50	0.15	18.44	9.88	1.00	1.75	0.60	3.52						
5.50	0.34	0.65	13.23	1.00	5.69	1.59	6.25						
8.50	0.40	5.06	1.94	1.00	3.31	8.71	11.59			0.155			
11.50	0.82	5.44	2.04	1.00	1.71	19.74	11.68			0.210			
15.50	1.64	8.16	17.22	1.00	2.37	4.35	0.00			0.337			
20.50	1.06	9.26	16.76	1.00	4.53	6.31	15.66			0.454			

TABELA 15: CÁLCULO ISONIÓBIO

LP/P	prof.	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Yb	Lu
1000/750												
	0.50	0.217	0.495	0.110	0.100	0.159	0.229	0.550	0.772	1.038	1.440	1.535
	1.50	0.079	0.575	0.055	0.081	0.081	0.097	0.190	0.238	0.325	0.501	0.498
	3.50	0.084	0.197	0.100	0.146	0.129	0.164	0.250	0.279	0.361	0.585	0.638
	5.50	0.102	0.138	0.105	0.160	0.127	0.176	0.251	0.272	0.339	0.535	0.543
	11.50	0.057	0.052	0.006	0.131	0.142	0.244	0.252	0.281	0.320	0.399	0.380
1250/1250												
	0.50	0.450	1.039	0.205	0.198	0.454	0.354	0.762	0.759	0.885	1.224	1.482
	2.50	0.160	0.525	0.140	0.172	0.251	0.264	0.334	0.349	0.410	0.653	0.688
	5.50	0.059	0.314	0.087	0.170	0.200	0.178	0.242	0.253	0.308	0.494	0.535
	12.50	0.076	0.791	0.009	0.183	0.180	0.202	0.187	0.173	0.169	0.229	0.236
	22.50	0.282	0.582	0.195	0.297	0.313	0.474	0.307	0.296	0.328	0.483	0.474
1250/1750												
	0.50	0.504	0.501	0.268	0.169	0.298	0.241	0.351	0.379	0.446	0.627	0.862
	3.50	0.077	0.206	0.044	0.029	0.045	0.032	0.047	0.059	0.076	0.147	0.169
	5.50	0.038	0.113	0.029	0.028	0.030	0.030	0.041	0.048	0.055	0.089	0.107
	12.50											
	19.50											
	20.50	0.341	0.545	0.165	0.069	0.070	0.054	0.055	0.060	0.069	0.109	0.127
1500/1250												
	0.50	0.356	0.396	0.120	0.128	0.244	0.241	0.319	0.812	1.058	1.460	1.570
	1.50	0.134	1.549	0.056	0.046	0.069	0.104	0.120	0.181	0.290	0.601	0.629
	2.50	0.427	0.801	0.219	0.141	0.186	0.169	0.155	0.215	0.288	0.496	0.473
	4.50	0.160	0.231	0.004	0.061	0.101	0.071	0.131	0.187	0.261	0.454	0.432
	5.50	0.099	0.160	0.055	0.048	0.055	0.109	0.156	0.223	0.320	0.567	0.578
	8.50	0.090	0.205	0.056	0.056	0.008	0.123	0.172	0.221	0.304	0.484	0.462
	13.50	0.046	0.126	0.049	0.071	0.078	0.160	0.210	0.260	0.361	0.634	0.607
	23.50	0.014	0.374	0.007	0.010	0.062	0.024	0.026	0.030	0.040	0.060	0.059
	28.50	0.097	0.099	0.099	0.104	0.136	0.157	0.164	0.193	0.245	0.402	0.391

ANEXO 5

TABELA 1: Valores médios de mobilidade isovolumétrica por horizontes

ELEM	SAPROLITO	ARGILOSO	COLÚVIO	LATOSSOLO
SiO2	0,60	0,57	0,50	0,47
Al2O3	0.99	1,15	1,46	1,46
Fe2O3	5,38	9,79	23,00	7,18
FeO	0,20	0,17	0,27	0,18
CaO	0,16	0,17	0,11	0,04
Na2O	0,01	0,004	0,01	0,003
K2O	0,10	0,03	0,01	0,003
MnO	0,68	0,63	0,64	0,08
TiO2	2,19	3.82	4,43	--
PF	5,39	6,94	10,33	--
F	0,38 (0.77)*	0,09(1,66)*	0,38	(0,24)*
Sn	5,22	3,26	9,06	3,51
Zr	1.13	1,65	3,27	0,91
Nb	1.20	1,56	1,74	1,79
Y	0,40	0,47	0,63	0,70
Pb	0,67	0,45	0,36	0,30
Ga	0,85	1,02	1,16	1,01
Hf	2,24	2,78	2,01	1,33
Ta	1.11	1,85	1,59	2,42
Rb	0,44	0,06	0,04	0,01
P	0,39	0,47	0,72	0,51
Th	2,70	4,70	3,84	3,38
U	0,35	0,32	0,15	0,07
La	0,32	0,15	0,28	0,43
Ce	0,69	0,39	0,75	1,29
Nd	0,23	0,11	0,16	0,23
Sm	0,18	0,11	0,15	0,26
Eu	0,19	0,14	0,29	0,49
Gd	0,24	0,16	0,25	0,51
Dy	0,24	0,23	0,38	1,32
Ho	0,30	0,30	0,48	1,64
Er	0,38	0,41	0,61	2,17
Yb	0,57	0,71	0,88	3,11
Lu	0,58	0,73	0,98	3,03

* fator de concentração considerando o poço 1600/1000

TABELA 2: Valores médios de mobilidade isoalumínio por horizonte

ELEM	SAPROLITO	ARGILOSO	COLUVIO	LATOSSOLO
SiO2	0,62	0,53	0,38	0,32
Al2O3	1,00	1,00	1,00	1,00
Fe2O3	5,43	9,07	18,01	5,05
FeO	0,21	0,15	0,20	0,11
CaO	0,15	0,15	0,08	0,03
Na2O	0,01	0,004	0,004	0,003
K2O	0,12	0,03	0,01	0,002
MnO	0,78	0,59	0,46	0,57
TiO2	1,96	2,92	3,40	--
PF	5,43	6,16	8,14	--
F	0,44 (0,83)*	0,14 (1,25)*	0,30	0,03 (0,22)*
Sn	5,76	3,91	6,57	2,42
Zr	1,17	1,46	2,36	0,61
Nb	1,25	1,41	1,24	1,19
Y	0,42	0,44	0,46	0,50
Pb	0,72	0,38	0,26	0,21
Ga	0,87	0,92	0,83	0,68
Hf	2,34	2,43	1,36	0,90
Ta	1,14	1,65	1,13	1,58
Rb	0,44	0,06	0,03	0,01
P	0,43	0,44	0,50	0,35
Th	2,79	4,49	2,73	2,32
U	0,35	0,28	0,11	0,05
La	0,36	0,13	0,17	0,29
Ce	0,81	0,32	0,45	0,89
Nd	0,26	0,09	0,10	0,16
Sm	0,21	0,10	0,10	0,18
Eu	0,21	0,13	0,19	0,34
Gd	0,27	0,14	0,17	0,35
Dy	0,26	0,21	0,25	0,93
Ho	0,33	0,27	0,31	1,15
Er	0,41	0,37	0,40	1,53
Yb	0,62	0,64	0,58	2,20
Lu	0,63	0,66	0,64	2,13

* fator de concentração considerando o poço 1600/1000

TABELA 3: Valores médios de mobilidade isoestanho por horizonte

ELEM	SAPROLITO	ARGILOSO	COLUVIO	LATOSSOLO
SiO2	0,54	0,46	0,19	0,15
Al2O3	0,78	0,98	0,58	0.47
Fe2O3	3,88	8,54	14,57	2,50
FeO	0,15	0,22	0,09	0,07
CaO	0,06	0,08	0,07	0,01
Na2O	0,003	0,003	0,002	0,001
K2O	0,05	0,02	0,002	0,001
MnO	0,34	0,33	0,29	0,25
TiO2	3,14	7,96	2,24	--
PF	2,71	2,96	6,98	--
F	0,09 (0,43)*	0,06 (3,68)*	0,30	0,01 (0,07)*
Sn	1,00	1,00	1,00	1,00
Zr	0,69	1,56	0,51	0,28
Nb	0,60	0,71	0,64	0,54
Y	0,33	0,61	0,23	0,19
Pb	0,40	0,37	0,11	0,09
Ga	0,63	1,11	0,43	0,32
Hf	1,36	0,88	0,86	0,48
Ta	0,63	0,72	0,63	0,74
Rb	0,19	0,03	0,01	0,003
P	0,90	0,33	0,30	0,12
Th	1,66	2,06	1,74	1,03
U	0,16	0,20	0,07	0,02
La	0,16	0,05	0,12	0,14
Ce	0,29	0,13	0,38	0,49
Nd	0,12	0,04	0,07	0,08
Sm	0,11	0,04	0,06	0,10
Eu	0,11	0,05	0,11	0,18
Gd	0,16	0,05	0,10	0,20
Dy	0,16	0,08	0,15	0,56
Ho	0,20	0,10	0,19	0,73
Er	0,24	0,14	0,25	0,98
Yb	0,35	0,24	0,39	1,42
Lu	0,35	0,25	0,43	1,32

* fator de concentração considerando o poço 1600/1000

TABELA 4: Valores médios de mobilidade isozircônio por horizontes

ELEM	SAPROLITO	ARGILOSO	COLUVIO	LATOSSOLO
SiO2	1,05	0,59	0,88	0,87
Al2O3	1,85	1,37	2,13	2,47
Fe2O3	14,71	8,97	26,38	13,68
FeO	0,36	0,29	0,44	0,48
CaO	0,22	0,13	0,10	0,04
Na2O	0,01	0,004	0,004	0,01
K2O	0,17	0,03	0,02	0,01
MnO	0,79	0,63	1,25	1,62
TiO2	5,09	5,32	2,88	-.-
PF	13,32	3,43	8,95	-.-
F	0,41 (2,97)*	0,12 (9,01)*	0,99	0,03 (1,26)*
Sn	6,51	2,32	7,31	6,54
Zr	1,00	1,00	1,00	1,00
Nb	1,37	1,07	2,45	2,16
Y	1,29	0,38	1,00	1,91
Pb	1,12	0,54	0,32	0,56
Ga	1,57	1,06	1,84	1,50
Hf	1,95	1,90	1,46	1,35
Ta	1,18	1,29	2,24	2,48
Rb	0,98	0,06	0,03	0,01
P	1,14	0,49	0,95	0,83
Th	3,98	3,00	6,85	5,12
U	0,52	0,23	0,21	0,09
La	0,43	0,10	0,33	0,37
Ce	0,74	0,26	0,96	1,21
Nd	0,31	0,07	0,22	0,21
Sm	0,24	0,08	0,22	0,25
Eu	0,24	0,09	0,66	0,44
Gd	0,30	0,11	0,45	0,50
Dy	0,28	0,15	0,41	1,35
Ho	0,33	0,19	0,49	1,74
Er	0,39	0,26	0,58	2,35
Yb	0,54	0,46	0,79	3,38
Lu	0,54	0,47	1,02	3,19

* fator de concentração considerando o poço 1600/1000

TABELA 5: Valores médios de mobilidade isonióbio por horizonte

ELEM	SAPROLITO	ARGILOSO	COLUVIO	LATOSSOLO
SiO2	1,32	0,90	0,34	0,37
Al2O3	2,50	2,24	0,98	1,08
Fe2O3	14,38	15,72	14,51	6,23
FeO	0,52	0,55	0,20	0,20
CaO	0,14	0,16	0,07	0,02
Na2O	0,01	0,01	0,004	0,003
K2O	0,24	0,06	0,01	0,003
MnO	0,84	0,75	0,41	0,68
TiO2	26,33	14,46	2,24	——
PF	3,17	2,57	6,03	——
F	0,52(2,82)*	0,20(16,19)*	0,38	0,02 (0,43)*
Sn	5,47	3,47	4,70	2,68
Zr	1,66	2,01	1,29	0,51
Nb	1,00	1,00	1,00	1,00
Y	1,18	0,83	0,41	0,70
Pb	1,51	0,83	0,20	0,24
Ga	1,94	2,06	0,75	0,08
Hf	2,08	1,53	1,33	0,81
Ta	0,89	0,99	0,95	1,20
Rb	0,46	0,10	0,02	0,004
P	1,36	0,67	0,46	0,37
La	0,52	0,10	0,24	0,12
Ce	0,97	0,26	0,59	0,45
Nd	0,37	0,07	0,14	0,10
Sm	0,26	0,08	0,13	0,13
Eu	0,26	0,09	0,27	0,15
Gd	0,31	0,11	0,22	0,16
Dy	0,28	0,15	0,32	0,25
Ho	0,34	0,19	0,40	0,29
Er	0,41	0,26	0,51	0,38
Yb	0,56	0,46	0,72	0,62
Lu	0,56	0,47	0,82	0,64

* fator de concentração considerando o poço 1600/1000