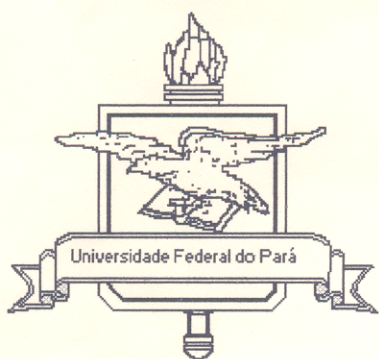




Universidade Federal do Pará
Centro de Geociências
Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**ESTUDOS MINERALÓGICOS, GEOQUÍMICOS E FÍSICOS DE CAULINS EM SÃO
GABRIEL DA CACHOEIRA-AM, MANAUS-ITACOATIARA-AM E BR-010/RIO
CAPIM-PA(AMAZÔNIA).**

TESE APRESENTADA POR

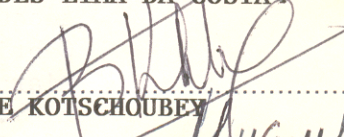
ELIAS LEÃO MORAES

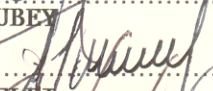
Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em
Ciências na Área de GEOQUIMICA

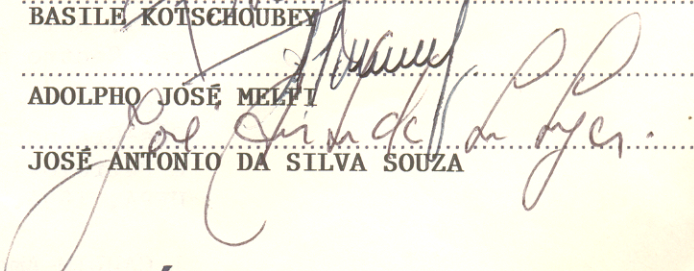
Data de Aprovação 01 / 07 / 1994

Comitê de Tese:


MARCONDES LIMA DA COSTA
(Orientador)


BASILE KOTSCHUBEY


ADOLPHO JOSÉ MELI


JOSÉ ANTONIO DA SILVA SOUZA

BELÉM

AGRADECIMENTOS

Ao prof. Dr. Marcondes Lima da Costa, pela ajuda na coleta de material e orientação deste trabalho.

Ao prof. José Antônio da Silva Souza, pela orientação no capítulo referente a aplicação tecnológica.

A prof^a. Sandra Lia Corrêa de Almeida e ao geólogo Paulo Roberto Paes e Silva, pela ajuda na coleta de material.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela bolsa de mestrado.

Ao PADCT/FINEP, pelo suporte financeiro.

Ao Centro de Geociências - UFPa. por toda infraestrutura disponível.

E a todos os colegas e técnicos do Centro de Geociências que de alguma forma colaboraram com este trabalho.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	1
RESUMO.....	1
ABSTRACT.....	3
1 INTRODUÇÃO.....	6
1.1 OBJETIVOS.....	9
1.2 LOCALIZAÇÃO.....	10
1.3 ASPECTOS GEOLÓGICOS REGIONAIS.....	12
1.3.1 Área de São Gabriel da Cachoeira.....	12
1.3.2 Área de Manaus-Itacoatiara.....	12
1.3.3 Área da BR-010/Rio Capim.....	13
2 MATERIAIS E MÉTODOS	15
2.1 TRABALHOS DE CAMPO E AMOSTRAGEM.....	15
2.2 PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS.....	16
3 DESCRIÇÃO DOS PERFIS CAULÍNICOS.....	19
3.1 ÁREA DE SÃO GABRIEL DA CACHOEIRA.....	19
3.2 ÁREA DE MANAUS-ITACOATIARA.....	21
3.3 ÁREA DA BR-010/RIO CAPIM.....	23
4 COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA.....	26
4.1 ÁREA DE SÃO GABRIEL DA CACHOEIRA.....	26
4.1.1 Análise por difração de raios-x e microscopia ótica.....	26
4.1.2 Análise por espectrometria no infravermelho (IV).....	32
4.1.3 Minerais pesados.....	34

4.2	ÁREA DE MANAUS-ITAGOATIARA.....	38
4.2.1	Análise por difração de raios-x e microscopia ótica.....	38
4.2.2	Análise por espectrometria no infravermelho (IV).....	43
4.2.3	Minerais pesados	46
4.3	ÁREA DA BR-010/RIO CAPIM.....	49
4.3.1	Análise por difração de raios-x e microscopia ótica.....	49
4.3.2	Análise por espectrometria no infravermelho (IV).....	54
4.3.3	Minerais pesados.....	57
5	GEOQUÍMICA.....	60
5.1	CAULIM DE SÃO GABRIEL DA GACHOEIRA.....	60
5.1.1	Composição química.....	60
5.1.2	Elementos traços.....	60
5.1.2.1	Elementos terras raras.....	62
5.1.3	Análise química por microsonda eletrônica.....	64
5.2	CAULIM DE MANAUS-ITAGOATIARA.....	67
5.2.1	Composição química.....	67
5.2.2	Elementos traços.....	67
5.2.2.1	Elementos terras raras.....	69
5.2.3	Análise química por microsonda eletrônica.....	71
5.3	CAULIM DA BR-010/RIO CAPIM.....	74
5.3.1	Composição química.....	74
5.3.2	Elementos traços.....	77
5.3.2.1	Elementos terras raras.....	77
5.3.3	Análise química por microsonda eletrônica.....	79

6 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA.....	82
6.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA.....	82
6.2 PROPRIEDADES FÍSICAS.....	82
6.2.1 Granulometria.....	82
6.2.2 Análise térmica diferencial.....	91
6.2.3 Cristalinidade.....	91
6.2.4 Viscosidade.....	94
6.3 DISCUSSÕES.....	94
7 DISCUSSÕES GERAIS.....	97
7.1 COMPARAÇÃO GEOLÓGICA.....	97
7.2 COMPARAÇÃO MINERALÓGICA.....	99
7.3 COMPARAÇÃO GEOQUÍMICA.....	103
8 CONCLUSÕES.....	121
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	124

RESUMO

O caulim é um produto mineral de ampla distribuição mundial, e ocorre geralmente, sob a forma de depósitos de pequeno a médio porte. Apenas 4 países EUA, CEE (ex-URSS), Inglaterra e Brasil são privilegiados com depósitos gigantes. As reservas mundiais de caulim, são estimadas em cerca de 12 bilhões de toneladas. No Brasil as reservas de caulim são da ordem de 1,2 bilhão de toneladas, sendo que cerca de 90% das reservas nacionais conhecidas distribuem-se em apenas dois distritos Amazônicos (Bacia do Rio Capim, no Estado do Pará e baixo curso do Rio Jari, mais precisamente no Morro do Felipe e arredores, no Estado do Amapá).

Os caulins de São Gabriel da Cachoeira e de Manaus-Itacoatiara são constituídos essencialmente por caolinita criptocristalina, quartzo de granulação grosseira a fina e muscovita, que pode ser encontrada ainda intacta ou parcialmente alterada. O caulim da BR-010/Rio Capim é composto principalmente, de caolinita criptocristalina, o quartzo de granulação fina ocorre como mineral subordinado. Este caulim contém ainda quantidades modestas de fosfato de alumínio, que não foi detectado nos caulins de Manaus-Itacoatiara e São Gabriel da Cachoeira.

Em termos químicos os teores de SiO_2 são mais elevados nos caulins de São Gabriel da Cachoeira e Manaus-Itacoatiara que no caulim da BR-010/Rio Capim, devido o maior conteúdo de quartzo. Em contrapartida Al_2O_3 está mais concentrado no caulim

da BR-010/Rio Capim do que nos outros dois setores, mais ricos em quartzo. Portanto os caulins da BR-010/Rio Capim são mais ricos em caolinita e pobres em quartzo. Os teores dos demais elementos principais mostram-se muito semelhantes nesses diferentes caulins, com exceção de TiO_2 que apresenta maior teor no caulim da BR-010/Rio Capim e de K_2O mais elevado no caulim de São Gabriel da Cachoeira, devido à presença de maior quantidade de muscovita nesse depósito.

Dentre os elementos traços analisados verifica-se que o Ba, Pb, V, Zr e Sr são os que apresentam maiores diferenças de teores de um setor para outro, enquanto que os demais elementos ocorrem em teores muito semelhantes nos três depósitos. Por outro lado os maiores teores de ETR foram detectados nos locais onde P_2O_5 encontra-se algo enriquecido como é o caso da BR-010/Rio Capim.

Os dados obtidos permitem concluir que o caulim de São Gabriel da Cachoeira se desenvolveu a partir do intemperismo laterítico "in situ" de rochas granito-gnáissicas, enquanto que o caulim de Manaus-Itacoatiara e o caulim da BR-010/Rio Capim se desenvolveram, da mesma forma, a partir de rochas sedimentares das Formações Alter do Chão e Itapecuru respectivamente.

Os estudos das propriedades físicas desses caulins indicam que o caulim de São Gabriel da Cachoeira apresenta maior teor de resíduos, maior viscosidade e menor grau de cristalinidade que os caulins de Manaus-Itacoatiara e BR-010/Rio Capim, que por sua vez apresentam viscosidade e grau de cristalinidade bastante semelhantes.

ABSTRACT

Kaolin is a mineral product which occurs all over the world, normally as small to medium-sized deposits. Only a small group of privileged countries, which comprises USA, CIS (ex-USSR), England, and Brazil, owns giant deposits. The world reserves are estimated at about 12 billions of tons. In Brazil, the reserves of kaolin range around 1.2 billion of tons in total. About 90% of the known national reserves are distributed in just two main districts in Amazon Region (hydrographic basin of Capim river, in Pará State, and Morro do Felipe, in Amapá State).

The kaolin from the São Gabriel da Cachoeira and Manaus/Itacoatiara areas are composed essentially by cryptocrystalline kaolinite, medium to coarse-grained quartz, as well as, muscovite. The latter can be found still unweathered or partially altered. The kaolin that occurs in the BR-010 road/Capim river area is composed by cryptocrystalline kaolinite and fine-grained quartz, which occurs in minor amounts. The deposits located in the above-mentioned area also present low aluminum-phosphate contents, what differs from those of the Manaus/Itacoatiara and São Gabriel da Cachoeira areas, where this compound was not detected.

In kaolin from the São Gabriel da Cachoeira and Manaus/Itacoatiara areas, it was detected higher SiO_2 contents due to the presence of quartz. In contrast, Al_2O_3 is more concentrated in kaolins from the BR-010 road/Capim river area

than it those from the other two deposits which are richer in quartz. Therefore, the kaolin from this area is richer in kaolinite and poorer in quartz. All the other major-elements contents are similar to those ones found in other deposits, except TiO_2 which presents a higher concentration in the kaolin deposits of the BR-010 road/Capim river area, and for K_2O contents which are also higher in the kaolin from São Gabriel da Cachoeira due to greater quantity of muscovite which occurs in that deposit.

It was also observed, among all the trace elements analysed, that Ba, Pb, V, Zr, and Sr are the elements that exhibit greater differences in values from one site to another in the studied kaolin deposits, whereas the other ones occur with very similar contents in the three researched areas. The REE's indicate that their highest contents have a direct link to places where P_2O_5 values are more prominent, as it was reported in the deposits of BR-010 road/Capim river area.

The geological, mineralogical, and geochemical data allowed us to conclude that the kaolin from São Gabriel da Cachoeira originated from lateritic-weathering process developed on granite-gnaissic rocks, whereas the kaolin deposit of the Manaus/Itacoatiara area, as well as the kaolin deposit of the BR-010 road/Capim river area, was generated by analogous process on sedimentary parent rocks belonging to Alter do Chão Formation and Itapecuru Formation, respectively.

The studies of the physical properties of these kaolins indicate that the kaolin from São Gabriel da Cachoeira has higher

residue contents, higher viscosity, and lower degree of cristallinity than those from the other deposits located in the Manaus/Itacoatiara, and BR-010 road/Capim river areas which, in turn, present physical properties such as viscosity and cristallinity very similar to each other.

1 INTRODUÇÃO

O caulim é um produto mineral de distribuição mundial ocorrendo, geralmente, sob a forma de depósitos de pequeno ou médio porte. Os depósitos gigantes são privilégios de apenas 4 países: EUA, CEI (ex URSS), Inglaterra e Brasil. Destacam-se ainda no cenário mundial com depósitos de menor porte, Alemanha, Austrália, Coreia do Sul, França, Espanha, Indonésia, China e Malásia (MURRAY, 1986; MARUO & BRAGA, 1987; MARUO 1988 e 1989;).

As reservas mundiais de caulim são da ordem de 12 bilhões de toneladas, distribuídas principalmente entre os EUA (29,3%), a CEI (18,2%), a Inglaterra (15,1%) e o Brasil (10,7%).

A produção mundial de caulim em 1987 atingiu 2,4 milhões de toneladas, com liderança destacada dos EUA (8,0 milhões de toneladas ou 35,75% do total), e significativa participação da Inglaterra e da CEI (ex URSS), com cerca de 3 milhões de toneladas cada uma. O Brasil ocupou o quinto lugar com 661.000 toneladas produzidas ou seja 2,95% da produção mundial.

Do total mundial produzido naquele ano, cerca da metade destinou-se à indústria do papel, sendo que dentro desse setor, cerca de 6,5 milhões de toneladas tiveram aplicação como material de recobrimento (coating) e 4,5 milhões como material de preenchimento (filler). A outra metade destinou-se à indústria da borracha, dos materiais plásticos, à produção de tintas, cimento, materiais cerâmicos, etc. (MARUO, 1989; O'CONNELL et al., 1989).

No Brasil as reservas de caulim, computando-se apenas as medidas e indicadas, são da ordem de 1,3 bilhão de toneladas.

Acredita-se, no entanto, que o potencial real seja bem maior, sendo possível que as reservas totais brasileiras excedam 2,0 bilhões de toneladas. Cerca de 90% das reservas nacionais conhecidas distribuem-se em apenas dois distritos Amazônicos (Bacia do Rio Capim, no Estado do Pará e Morro do Felipe e arredores, no Estado do Amapá). Na Amazônia os principais depósitos estão situados no Estado do Pará (Bacia do Rio Capim) e no Estado do Amapá (Morro do Felipe) (HURST & BÓSIDO, 1975; COURA et al., 1986; COSTA, 1990a e 1991). Reservas adicionais localizam-se nos Estados de São Paulo, Espírito Santo, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Minas Gerais, Paraíba, Paraná, Rio Grande do Norte, Piauí e Ceará (MARUO, 1988 e 1989).

Um outro distrito caulínico com potencialidade para produzir caulim tipo coating (ALCANTARA, 1988; MARUO, 1989) está sendo avaliado atualmente pela Mineração Horil no município de Itacoatiara, Estado do Amazonas. Próximo à cidade de São Gabriel da Cachoeira (AM), ocorrem no topo de cortes de estradas expressivas exposições de rochas caulínicas (COSTA, 1991; COSTA & MORAES, 1992).

Quanto a origem, os depósitos de caulim podem ser divididos em: lateríticos, sedimentares e hidrotermais (PATTERSON & MURRAY, 1984; MURRAY, 1986; BRISTOW, 1987).

Os depósitos lateríticos são os que apresentam maior expressão em termos de tamanho, e se formaram por alteração intempérica "in situ" de rochas pré-existentes, sob condições climáticas tropicais ou equivalentes (KESLER, 1956; PATTERSON & MURRAY, 1984; BRISTOW, 1987; COSTA, 1991). Exemplos desse tipo

de depósitos podem ser encontrados no Brasil (Morro do Felipe), Inglaterra (Cornwall), EUA (Carolina do Norte) e Austrália (Kingaroy).

Os depósitos sedimentares seguem em importância em termos de reservas, tendo-se originado da deposição de minerais de argila (principalmente caolinita) em associação com outros minerais na forma de sedimentos finos (quartzo, mica, etc.), em bacias sedimentares continentais, geralmente em ambiente flúvio-lacustre. Exemplos desse tipo de depósito podem ser encontrados nos EUA (Georgia e Carolina do Sul), Austrália (Gulong e Narrandera) e Brasil (São Simão) (KESLER, 1956; SANTOS, 1975; MURRAY, 1986; O'CONNELL et al., 1989).

Os depósitos hidrotermais são os de menor importância, e se formaram ao longo de falhas, juntas, em camadas de natureza piroclástica ou outras zonas que permitiram a migração de soluções quentes. Exemplos desses depósitos podem ser encontrados nos EUA, Inglaterra, Espanha, China, Turquia e Canadá (MURRAY, 1986; BRISTOW, 1987; SOMAN & SLUKIN, 1987; OZDEMIR & SEZER 1988).

Na Amazônia a origem dos depósitos de caulim, principalmente os do Morro do Felipe e do Rio Capim, os mais estudados, tem sido motivo de controvérsias.

Ao caulim do Morro do Felipe, SILVA & DUARTE (1983) e COURA et al. (1986) atribuem uma origem sedimentar, enquanto que MURRAY & PARTRIDGE (1981) admitem que esse caulim é produto de intemperismo intenso da Formação Barreiras.

Aos depósitos do Rio Capim, KREBS & ARANTES (1973), MONTEIRO (1977) e SILVA et al. (1983) atribuem uma origem

sedimentar e admitem que os mesmos fazem parte do pacote de sedimentos terciários da Formação Barreiras. Já HURST & BÓSIO (1975) admitem que esse caulim seja produto de intemperismo tropical "in situ" da Formação Barreiras.

Eisenlohr apud KELLER (1978) interpretou que tanto o caulim do Morro do Felipe como o do Rio Capim foram derivados da alteração residual, sob clima tropical, de rochas cristalinas silicáticas, em uma região que drenava para um grande lago da Bacia do Amazonas, durante o Terciário até o Pleistoceno.

1.1 OBJETIVOS

Pelo quadro exposto acima, além das conclusões controvertidas, poucos são os trabalhos mineralógicos e geoquímicos realizados até hoje sobre o caulim da Amazônia. Por esses motivos este trabalho tem como finalidade apresentar o estudo das características mineralógicas, químicas e físicas dos depósitos de caulim derivados de rochas sedimentares da Formação Alter do Chão, situados próximo às cidades de Manaus e Itacoatiara e do depósito de caulim derivado de rochas gnáissicas localizado nas proximidades da cidade de São Gabriel da Cachoeira (AM), e com isto estabelecer comparações entre essas diferentes ocorrências e entre elas e caulins do Rio Capim e da BR-010 (rodovia Belém-Brasília), procurando identificar a possível extensão desses materiais com a formação de lateritos na região.

Espera-se com isso contribuir de alguma forma para o melhor conhecimento desses tipos de depósitos na Amazônia.

1.2 LOCALIZAÇÃO

As áreas selecionadas para coleta do material que foi usado neste trabalho foram:

- Arredores da cidade de São Gabriel da Cachoeira e cortes de estrada ao longo da rodovia BR-307 (km 19, 23 e 44), no noroeste do Estado do Amazonas. A área é de difícil acesso, e utiliza-se normalmente a via aérea de Manaus até São Gabriel da Cachoeira e de lá automóveis e ônibus (Figura 1).

- Cortes de estrada ao longo da rodovia AM-010 (km 39, 51 e 54) que liga Manaus a Itacoatiara e da rodovia BR-174 (km 46) que liga Manaus a Boa Vista (Figura 1).

- Jazidas 61, 66 e 67 da AZPA (Azulejos do Pará), que se localizam próximo às margens da rodovia BR-010, entre as cidades de Mãe do Rio e Ipixuna e corte de estrada a 43 Km ao norte da cidade de Paragominas. Essas áreas são de fácil acesso através da rodovia BR-010 (Figura 1).

- Margens do Médio Rio Capim no município de São Domingos do Capim, próximo à área da CVRD/DOCEGEO, sendo que a coleta nesse local foi feita durante o período de seca do rio (Figura 1).

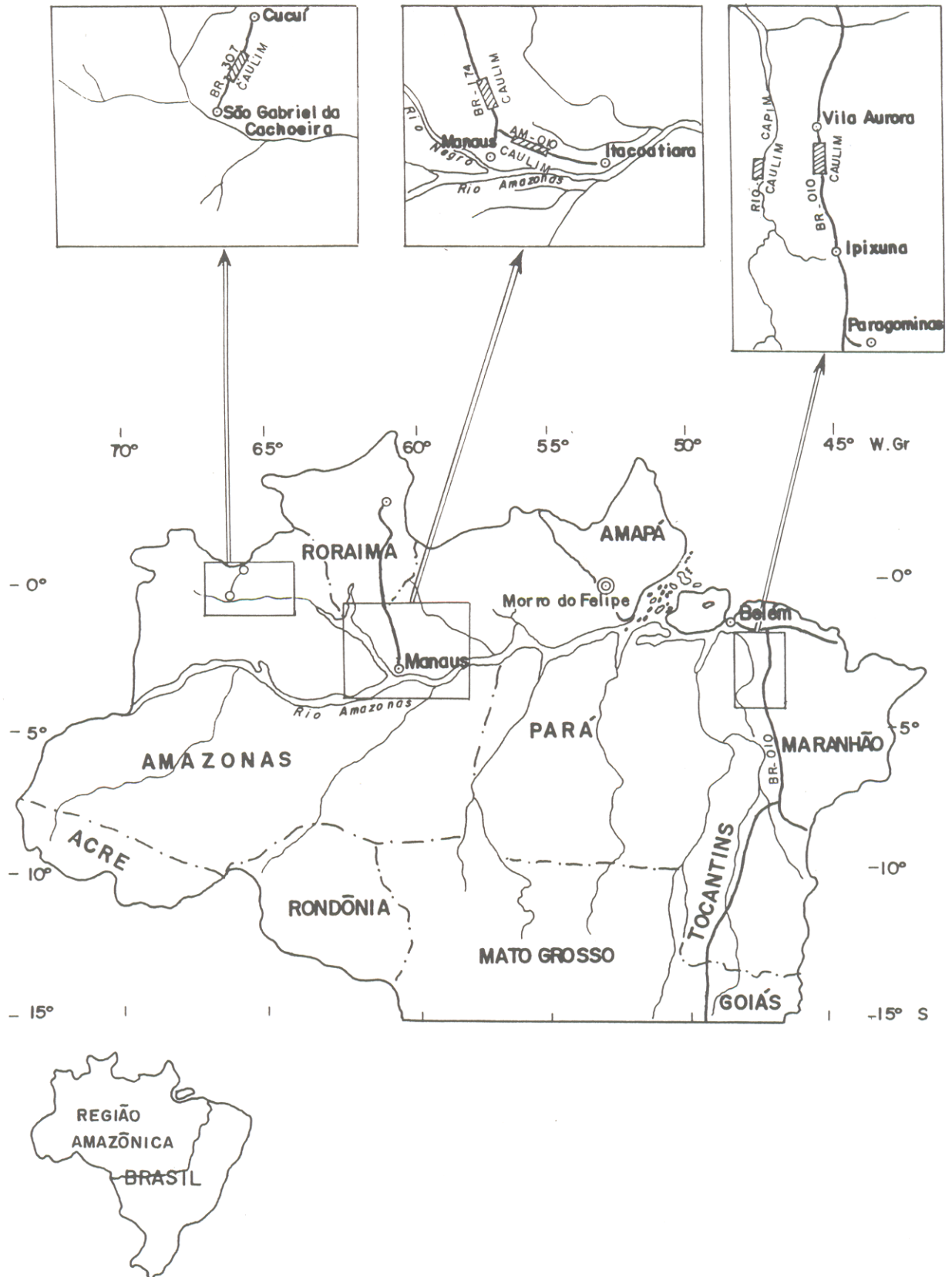


Figura 1. Mapa de localização das áreas de ocorrências de caulim estudadas.

1.3 ASPECTOS GEOLÓGICOS REGIONAIS.

1.3.1 Área de São Gabriel da Cachoeira (AM).

As ocorrências de caulim próximas da cidade de São Gabriel da Cachoeira (AM), são derivadas da alteração de rochas gnáissicas do Complexo Guianense (COSTA, 1991; COSTA & MORAES, 1992).

O Complexo Guianense é constituído pelas unidades mais antigas do flanco norte da Amazônia, faz parte do Cráton Guianês e compreende rochas de origem orto e parametamórfica. É caracterizado por rochas que foram submetidas a um metamorfismo de fácies anfibolito a hornblenda-piroxênio granulito, e parcialmente granitizadas. As rochas mais comuns são gnaisses, anfibolitos, granulitos, migmatitos, granitos, granodioritos, gabros e dioritos (ISSLER et al., 1974; FERNANDES et al., 1977; SCHOBENHAUS & CAMPOS, 1984).

FERNANDES et al. (1977), consideram que as rochas do Complexo Guianense foram provavelmente formadas durante o ciclo Guianense e o ciclo Transamazônico (2000-2200 Ma). Já SCHOBENHAUS & CAMPOS, (1984), admitem que essas rochas revelam seguramente uma idade pré-Uatumã (± 1900 Ma).

1.3.2 Área de Manaus-Itacoatiara.

O caulim das circunvizinhanças de Manaus-Itacoatiara, encontra-se no domínio da Formação Alter do Chão, do Mesozóico da

Bacia do Amazonas. Essa formação segundo ARAUJO et al. (1976) e SCHOBENHAUS & CAMPOS, (1984), é caracterizada por sedimentos continentais vermelhos, incluindo essencialmente arenitos argilosos, argilitos, quartzo-grauvacas, quartzo-arenitos e brechas intraformacionais. Um dos litotipos, o quartzo arenito, usado em construção civil na cidade de Manaus, foi denominado Arenito Manaus por Albuquerque apud SCHOBENHAUS & CAMPOS, (1984), e está amplamente distribuído no Médio e Baixo Amazonas. A formação Alter do Chão está recoberta a norte pela Formação Solimões e a leste pela Formação Barreiras. A mesma corresponde, cronologicamente, a parte das Formações Jacarezinho e Limoeiro, na fossa Marajó, e às Formações Itapecuru (bacia do Parnaíba), Bauru (bacia do Paraná) e Perecis (bacia do Perecis-Alto Xingu) (SCHOBENHAUS & CAMPOS, 1984).

Deamon apud SCHOBENHAUS & CAMPOS, (1984), após o estudo micropaleontológico de vários testemunhos de sondagem da Petrobrás, concluiu que é muito pouco provável que a deposição dessa formação tenha-se estendido, sem interrupção, do Cretáceo ao Terciário. Para esse autor a sedimentação da Formação Alter do Chão iniciou-se no Albiano Médio ou Superior (Cretáceo Inferior), estendendo-se pelo Cenomaniano e Turoniano (Cretáceo Superior).

1.3.3 - Área da BR-010/Rio Capim.

Os depósitos de caulim cortados pela rodovia BR-010, entre os municípios de Mãe do Rio e Paragominas e pelo Rio Capim, no município de São Domingos do Capim situam-se no domínio da

Formação Itapecuru (fácies Ipixuna), que faz parte da Bacia do Maranhão (GOÉS, 1981; SANTOS et al., 1984; COLARES & CAVALCANTI, 1990).

A Formação Itapecuru é constituída de arenitos muito argilosos avermelhados, médios a grosseiros, com faixas conglomeráticas, com estratificação plano-paralela incipiente e cruzada. Ocorrem intercalações de argilitos e siltitos argilosos de coloração variegada, além de arenitos caulínicos avermelhados a esbranquiçados, finos a médios com estratificação cruzada de grande porte (GOÉS, 1981; SANTOS et al., 1984; CUNHA & DEL'ARCO, 1988; COLARES & CAVALCANTI, 1990).

Lima et al. apud GOÉS (1981), admitem para a sequência Itapecuru uma posição estratigráfica que corresponde à transição Albiano-Cenomaniano.

Mesner & Wooldridge apud SANTOS et al. (1984) consideram a Formação Itapecuru como sendo de idade Albiana, correlacionando-a com a Formação Tutóia da Bacia de Barreirinhas.

CUNHA & DEL'ARCO, (1988), através de estudos fósseis, admitem que a Formação Itapecuru foi depositada no período Cretáceo (provavelmente no Eocretáceo).

2 MATERIAIS E MÉTODOS.

Os trabalhos consistiram em três etapas: atividades de campo, coleta de material e análises laboratoriais, sendo que essas várias etapas foram custeadas por um AUXÍLIO a PESQUISA do CNPq e pelo projeto de pesquisa Lateritização na Amazônia: A Consolidação da Pesquisa (PADCT/FINEP).

2.1 TRABALHOS DE CAMPO E AMOSTRAGEM

As atividades de campo consistiram em uma primeira etapa na observação da estruturação de perfis lateríticos ao longo das margens do Rio Capim e ao longo da rodovia BR-010, com a finalidade de conhecer os materiais que afloram próximo a Belém. Nessa etapa foram coletadas nas margens do Rio Capim próximo ao acampamento da DOCEGEO duas amostras de caulim.

Na segunda etapa foram coletadas cinco amostras de caulim nas jazidas 61, 66 e 67 da AZPA e mais três amostras em um corte da rodovia BR-010 que fica a 43 km a norte da cidade de Paragominas, durante excursão do GPGG. Na jazida 61 foram coletadas duas amostras, uma de caulim porcelanado e outra de caulim pulverulento, na jazida 66 foi coletada uma amostra de caulim porcelanado, e na jazida 67 foi uma amostra de caulim puro e uma amostra de caulim mosqueado porcelanado. Na rodovia BR-010 foram coletadas duas amostras de caulim pálido e uma de caulim mosqueado.

Na terceira etapa, a principal para este trabalho foram

coletadas 40 amostras, sendo 12 em cortes da rodovia BR-307 (São Gabriel da Cachoeira - Cucuí), 8 em um perfil no km 48 da rodovia BR-174 (Manaus - Boa Vista) e 20 ao longo da rodovia AM-010 (Manaus-Itacoatiara). As amostras coletadas na rodovia BR-307 correspondem a 2 amostras de rocha granito-gnáissica e 10 amostras de caulim, na BR-174 foram coletadas 1 amostra de solo e 7 amostras de caulim e na rodovia AM-010, 2 amostras de solo, 16 amostras de caulim e 2 amostras de uma rocha areno-argilosa de granulação fina e coloração avermelhada.

O peso de cada amostra coletada variou entre 1.5 e 2.0 kg, exceto a amostra de caulim puro da jazida 67 que foi de aproximadamente 4.0 kg

2.2 PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS

Os procedimentos laboratoriais consistiram em:

- Descrição macroscópica das amostras coletadas.
- Separação granulométrica nas frações de 250 μm a 125 μm e 125 μm a 62 μm e confecção de lâminas de imersão para a determinação dos minerais pesados com auxílio de microscópio ótico. Essas etapas foram executadas nos laboratórios de sedimentologia e petrografia do Centro de Geociências da UFPa.
- Análise de propriedades físicas como resíduo, grau de cristalinidade e viscosidade, para determinação da qualidade do caulim, executadas na usina de materiais do Centro Tecnológico da UFPa, e no laboratório da SUDAM, com o apoio do professor José Antônio da Silva Souza.

- Análises petrográficas com auxílio de microscópio ótico de algumas amostras selecionadas, trabalho efetuado no laboratório de petrografia do Centro de Geociências da UFPa.

- Análises mineralógicas por:

- Difração de raios-X (DRX), de amostras totais e de minerais isolados, para a identificação dos minerais constituintes e obtenção de parâmetros cristaloquímicos que ajudaram a determinação do grau de cristalinidade da caolinita.

- Espectrometria de Infravermelho (IV) de amostras selecionadas, que ajudaram na determinação da cristalinidade da caulinita.

- Análise Térmica Diferencial (ATD), que auxiliaram a verificação das transformações mineralógicas do argilomineral.

Essas etapas foram executadas nos laboratórios do Centro de Geociências da UFPa.

- Análises químicas totais (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , MnO , TiO_2 , P_2O_5 , BaO , Cr_2O_3 , NiO , CO_2 , S, H_2O^+ , H_2O^-) e de elementos traços (Ba, Cu, Be, B, Zr, Ga, Ni, V, Sc, Y, Sn, Pb, Cr, Sr, F), além de ETR e U, para caracterização química do caulim e rochas associadas. Essas análises foram realizadas na empresa Geologia de Sondagens Ltda (GEOSOL), em Belo Horizonte-MG, e os métodos utilizados foram fluorescência de raios-x, absorção atômica, espectrografia ótica, via úmida e plasma ICP.

- Análises de elementos maiores Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , Na_2O e CaO por absorção atômica, SiO_2 por gravimetria e TiO_2 por colorimetria, em amostras representativas do caulim para fins de

caracterização tecnológica do mesmo. Essa etapa foi executada no laboratório de análises químicas do Centro de Geociências da UFPa.

- Análises por microsonda eletrônica, executadas pelo professor Marcondes Lima da Costa nos laboratórios da Universidade Federal de Brasília.

3 DESCRIÇÃO DOS PERFIS CAULÍNICOS

3.1 ÁREA DE SÃO GABRIEL DA CACHOEIRA

As ocorrências de caulim dos arredores da cidade de São Gabriel da Cachoeira (AM) repousam diretamente sobre rochas granito-gnáissicas que fazem parte do Complexo Guianense do embasamento cristalino da porção norte da Bacia do Amazonas. O caulim apresenta-se como um produto do intemperismo dessas rochas, nas quais se pode observar a sequência de alteração.

O perfil de alteração de São Gabriel da Cachoeira (Figura 2) consiste da base para o topo em:

- Rocha granito-gnáissica, com textura fanerítica grosseira e coloração acizentada, constituída essencialmente por k-feldspato e quartzo e em menor proporção por micas (muscovita e biotita), seguida por um horizonte de transição, constituído de argila, quartzo de granulação grossa a média e restos da rocha mãe, onde observa-se ainda a textura original da rocha-mãe;

- Nível argiloso de coloração branca, com grãos de quartzo de granulação média a fina;

- Nível argiloso de coloração amarelada, representando a zona de solo atual.

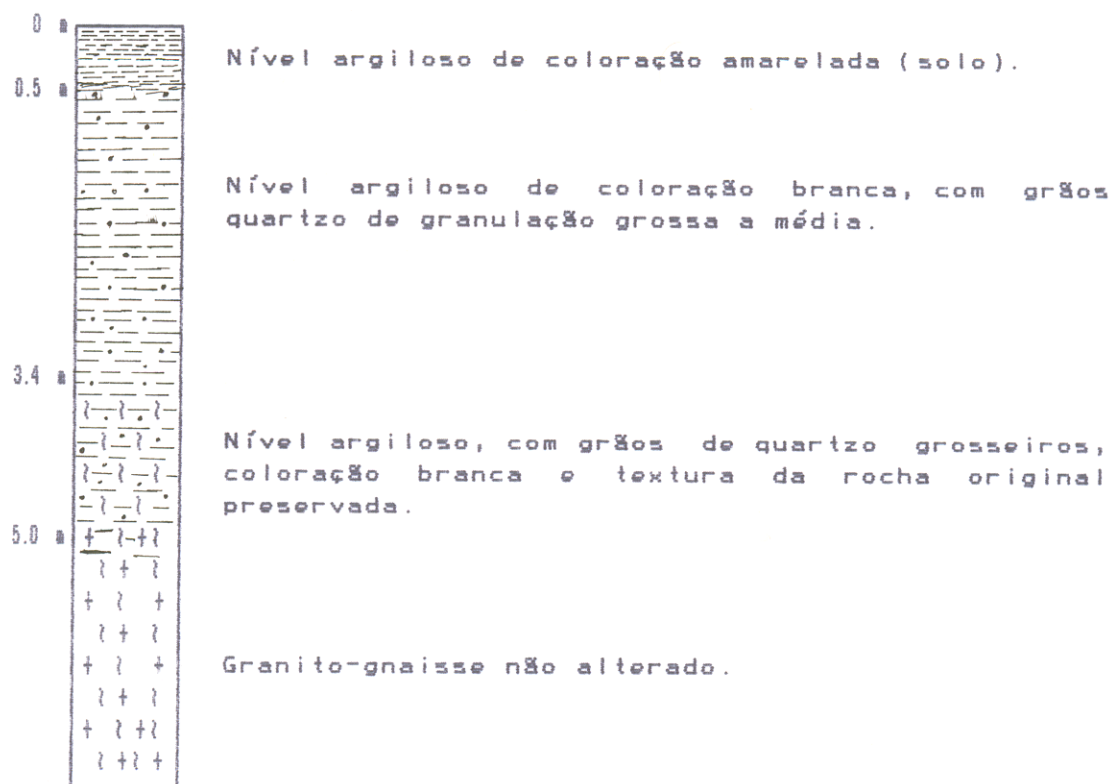


Figura 2. Perfil caulínico da área de São Gabriel da Cachoeira (corte de estrada no km 19 da BR-307).

3.2 ÁREA DE MANAUS-ITACOATIARA

O caulim das circunvizinhanças de Manaus-Itacoatiara, encontra-se em área de domínio da Formação Alter do Chão e o perfil de alteração estudado (Figura 3) é constituído da base para o topo de:

- Nível arenoso, caulínico de granulação fina a média e coloração esbranquiçada;

- Nível areno-argiloso de granulação fina e coloração branca, com estratificação cruzada de pequeno porte e seixos de quartzo isolados;

- Nível argiloso de coloração branca;

- Nível argilo-arenoso de coloração branca, ligeiramente manchado (mosqueado) por óxido-hidróxidos de ferro;

- Nível argiloso de coloração amarelada, representando o solo atual.

O perfil de Manaus-Itacoatiara mostra verticalmente variação em sua granulometria (Figura 3), refletindo um ambiente sedimentar de baixa a média energia.

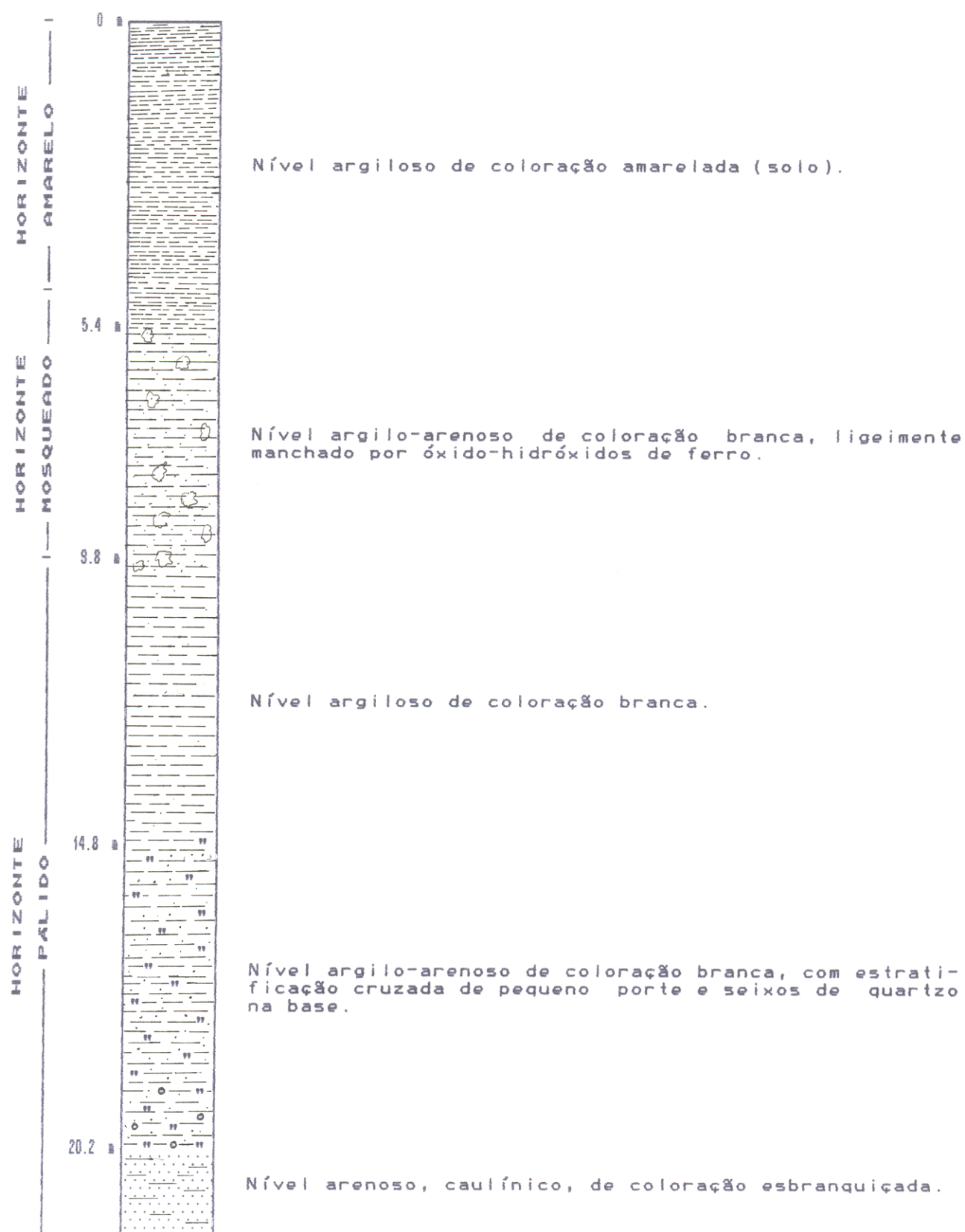


Figura 3. Perfil caulínico da área de Manaus-Itacoatiara (corte de estrada no km 46 da rodovia BR-174).

3.3 ÁREA DA BR-010/RIO CAPIM

Os depósitos de caulim interceptados pela rodovia BR-010 entre os municípios de Mãe do Rio e Paragominas e pelo Rio Capim, no município de São Domingos do Capim estão em área de domínio da Formação Itapecuru.

O perfil situado na rodovia BR-010 (Jazida 61 da AZPA) (Figura 4) é constituída da base para o topo de:

- Nível argiloso friável de coloração branca, ligeiramente manchado (mosqueado) por óxido-hidróxido de ferro, seguido por um nível argiloso de coloração branca, porcelanado, com estrutura do tipo colunar ligeiramente manchado por óxido-hidróxido de ferro. Esse nível mostra localmente sinais de desferrificação. Essa desferrificação é observada atualmente junto as raízes, onde o argilomineral torna-se pulverulento.

E o perfil de um barranco situado na margem do Rio Capim próximo do acampamento da DOCEGEO (Figura 5) é constituído da base para o topo de:

- Nível argiloso de coloração branca;
- Nível argilo de coloração branca, manchado (mosqueado) por óxido-hidróxidos de ferro;
- Nível areno-argiloso de granulação grossa, com estratificação cruzada de pequeno porte e coloração amarelada. Localmente esse nível mostra pequenas manchas avermelhadas. Recobrando esses níveis encontra-se um pacote de aproximadamente oito metros de espessura de material arenoso de granulação fina a média, coloração esbranquiçada e seixos de quartzo na base, seguido de um pequeno nível argiloso de coloração amarelada, que como nos outros perfis corresponde ao solo atual

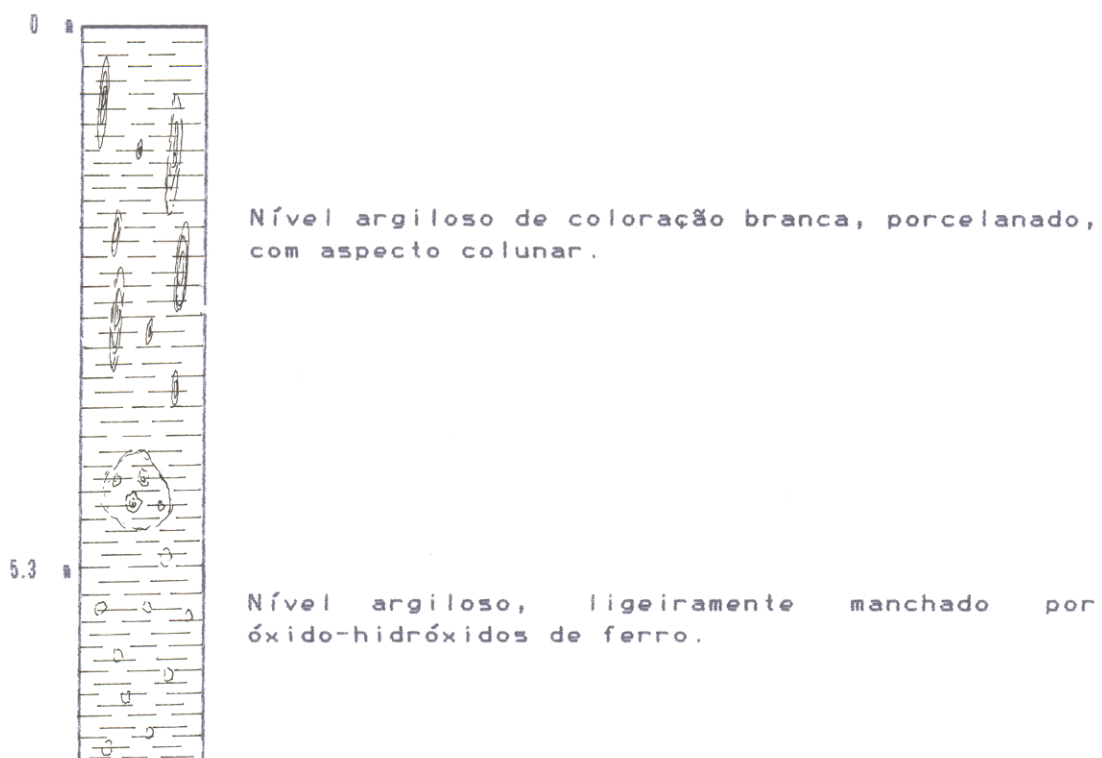


Figura 4. Perfil caulínico da jazida 61 da AZPA na rodovia BR-010 entre M&e do Rio e Ipixuna.



Figura 5. Perfil caulínico localizado na margem do Rio Capim, próximo ao acampamento da DOCEGE0.

4 COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA

4.1 ÁREA DE SÃO GABRIEL DA CACHOEIRA.

4.1.1 Análise por difração de raios-x e microscopia ótica

A análise por difração de raios-x e microscopia ótica do caulim de São Gabriel da Cachoeira, mostra que o mesmo é constituído essencialmente por caolinita e quartzo e acessoriamente por muscovita, gibbsita, hematita, zircão e crandalita-goyazita (Tabelas 1 e 2; Figuras 6, 7 e 8).

Ao microscópio a caolinita apresenta-se como uma massa criptocristalina de coloração acinzentada, o quartzo na forma de grãos monocristalinos e policristalinos, geralmente angulosos e mais raramente subangulosos a subarredondados e a muscovita em pequenas palhetas parcial a quase totalmente intemperizadas para caolinita (Figura 7). A gibbsita ocorre em pequenos cristais preenchendo poros de dissolução de minerais pretéritos (provavelmente quartzo) e a hematita forma um plasma de coloração avermelhada, percolando a caolinita. O zircão se apresenta em pequenos cristais prismáticos enquanto que a crandalita-goyazita foi detectada apenas por difração de raios-x (Figura 8) e aparentemente deve ocorrer na forma de cristais criptocristalinos.

Tabela 1. Composição mineralógica do caulim de São Gabriel da Cachoeira, determinada por difração de raios-x e microscopia ótica.

AMOSTRAS	CAOLINITA	QUARTZO	MUSCOVITA	GIBBSITA	CRANDALITA-GOYAZITA	HEMATITA
SG-400	x x x x	x x x	x x	-	-	-
SG-401	x x x x	x x x x	x	-	-	-
SG-402	x x x x	x x x	x	-	-	-
SG-403	x x x	x x x x	x	x x	-	x
SG-404	x x x x	x x x	x	-	-	-
SG-405	x x x x	x x x	x	-	x	-
SG-407	x x x x	x x x x	x	x	-	-
SG-408	x x x	x x x x	x	x x	x	-
SG-409	x x x x	x x x x	x	-	x	x

x x x x - Muito freqüente

x x x - Freqüente

x x - Pouco Freqüente

x - Detectado

- - Não detectado

Tabela 2. Composição mineralógica calculada (peso em %), com base nos resultados da difração de raios-x e da análise química do caulim de São Gabriel da Cachoeira.

AMOSTRAS	CAOLINITA	QUARTZO	MUSCOVITA	HEMATITA	ANATÁSIO	CRANDALITA-GOYAZITA	TOTAL
SG-401	44.5	42.7	11.0	0.5	0.8	0.0	99.3
SG-402	51.0	42.5	3.7	0.8	0.7	0.0	98.7
SG-405	56.6	39.7	1.8	0.7	0.7	0.5	100.0
SG-409	56.3	36.4	4.1	0.6	1.1	0.0	98.5

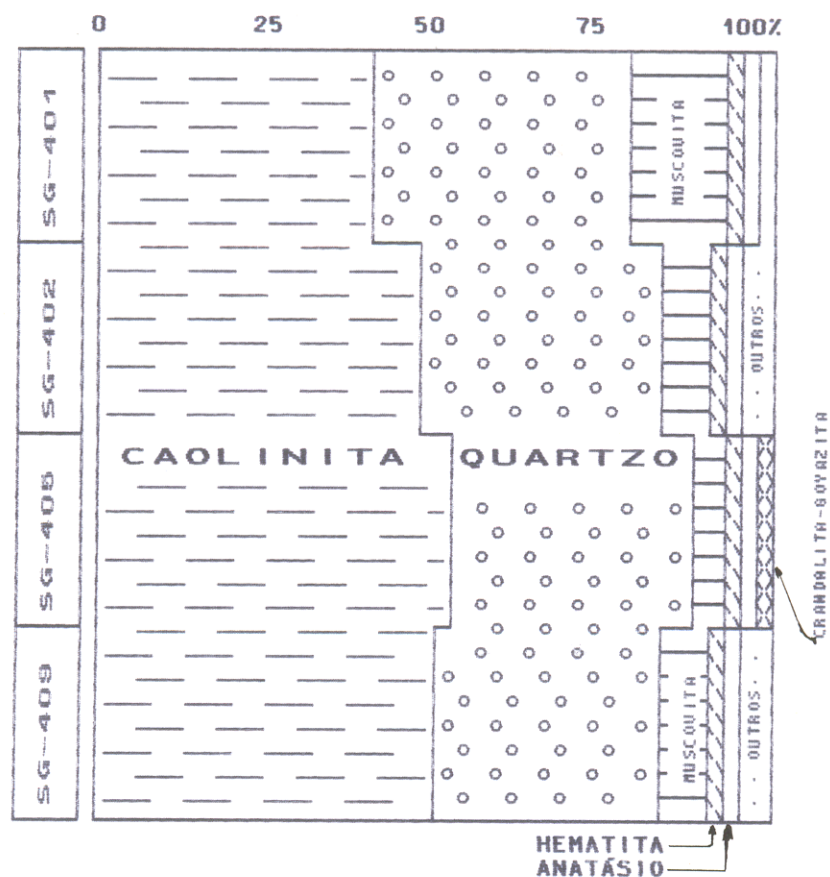


Figura 6. Comparação mineralógica entre 4 amostras de caulim da área de São Gabriel da Cachoeira.

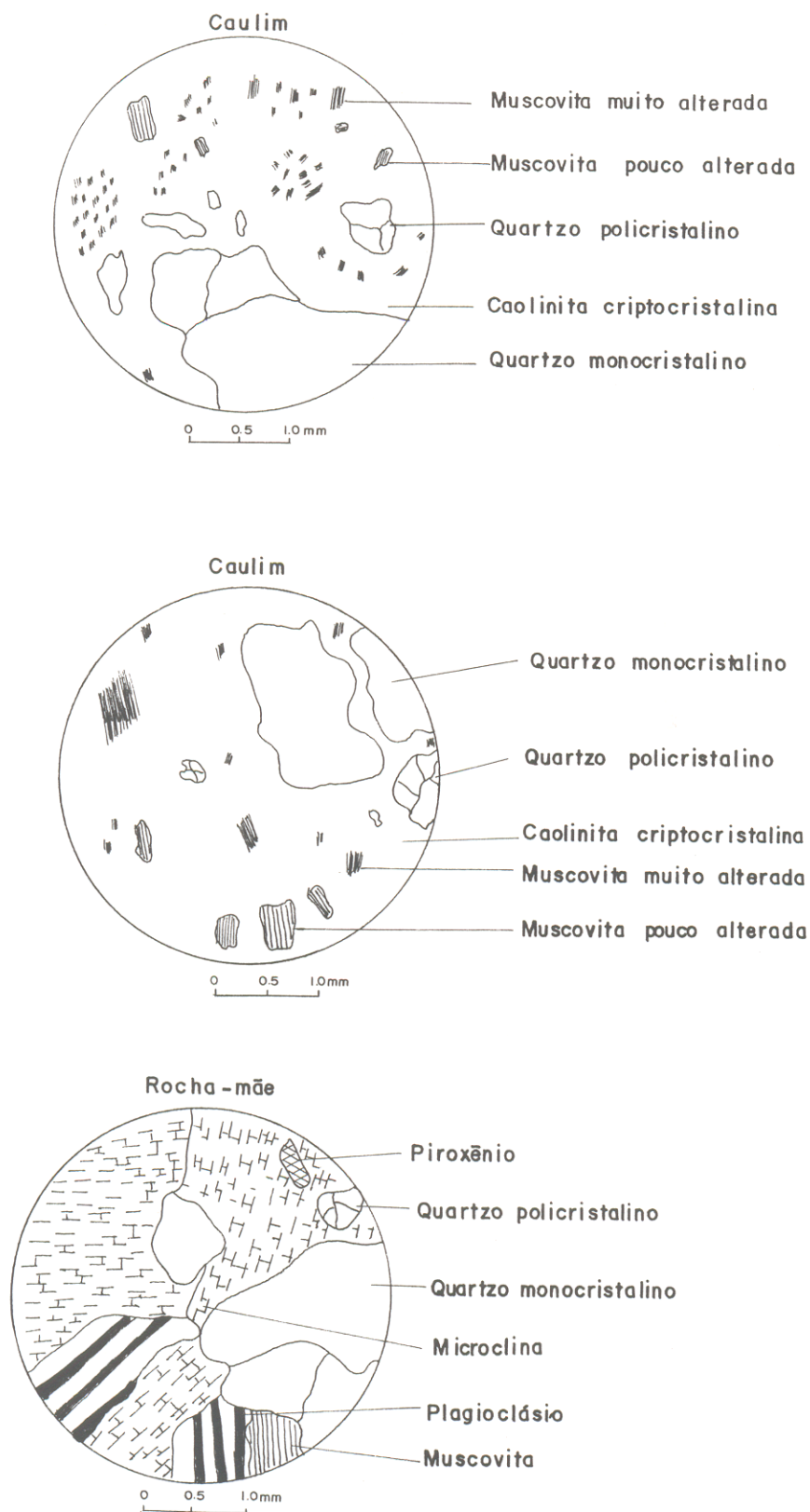


Figura 7 - Aspecto textural microscópico do caulim e da rocha-mãe da área de São Gabriel da Cachoeira.

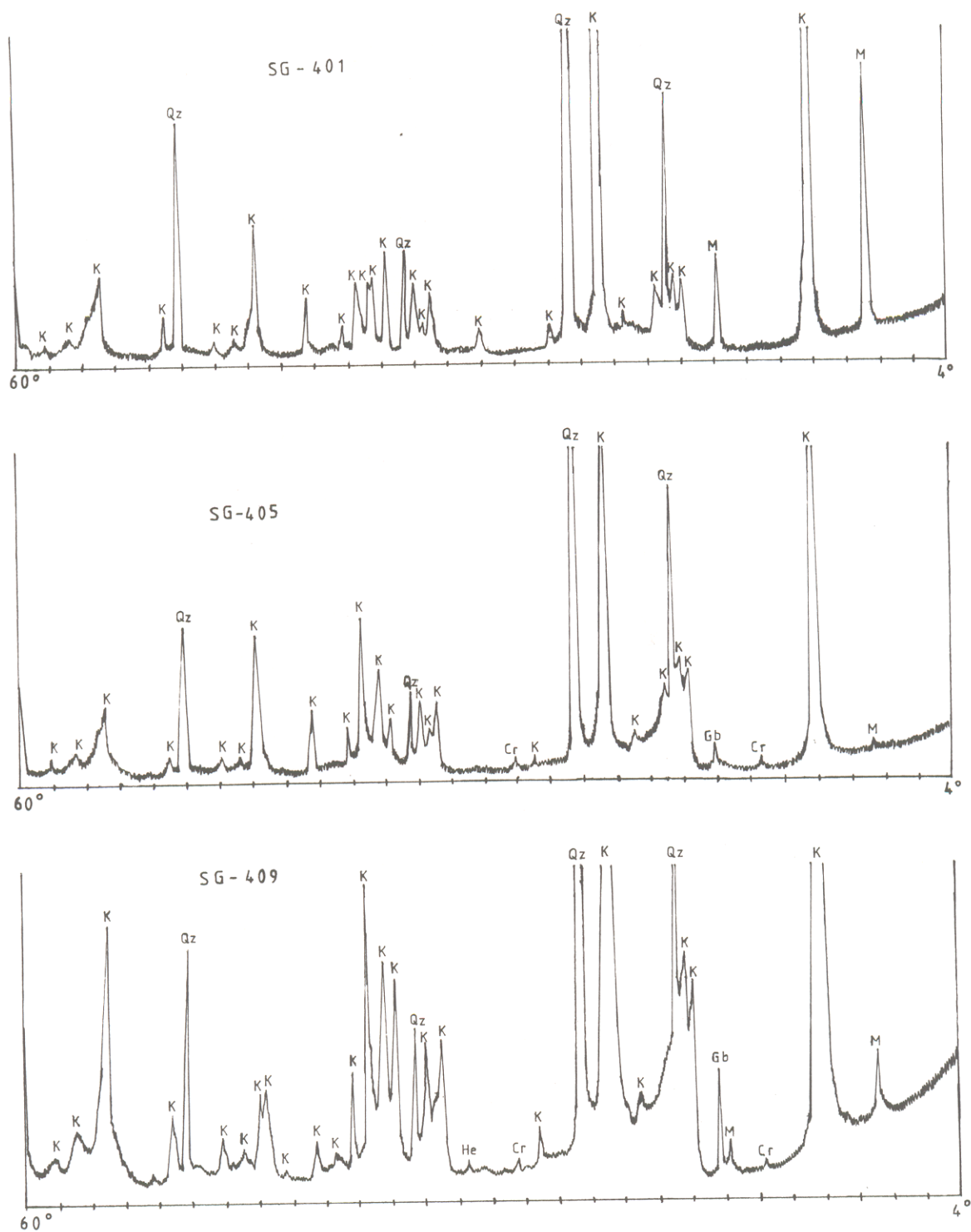


Figura 8- Difração de raios-x de amostras representativas do caulim de São Gabriel da Cachoeira.

LEGENDA

K- Caolinita
 Qz- Quartzo
 M- Muscovita
 Gb- Gibbsita
 He- Hematita
 Cr- Crandalita- Goyazita

Subjacente às ocorrências de caulim encontra-se uma rocha granito-gnáissica de textura fanerítica grosseira e coloração acinzentada. Essa rocha compõe-se sobretudo de microclina, quartzo e plagioclásio, ocorrendo como minerais subordinados e acessórios muscovita, piroxênio, biotita, apatita, titanita, zircão e opacos (Figura 7). Ocorre ainda como minerais secundários carbonato e argilo-minerais.

Os cristais de microclina são anédricos a subédricos (Figura 7), estando localmente alterados para argilo-minerais. O quartzo ocorre em cristais monocristalinos e policristalinos com formas anedrais a subedrais e intercrescimento do tipo gráfico (Figura 7). O plagioclásio por sua vez ocorre como cristais subédricos a euédricos com maclamento do tipo Albita-Carlsbad, apresenta a composição oligoclásio e intercrescimento pertítico (Figura 7). Localmente mostram-se ligeiramente alterado para sericita e carbonato. A muscovita e a biotita ocorrem na forma de pequenas palhetas e o piroxênio em pequenos cristais subédricos a euédricos (Figura 7). A apatita, a titanita, o zircão e os opacos apresentam-se em quantidades muito pequenas, geralmente sob a forma de diminutos cristais subédricos a euédricos.

A alteração parcial dessa rocha ressalta o aspecto foliadado e mostra a transformação dos feldspatos (microclina e plagioclásio) e da muscovita para a caolinita.

4.1.2 Análise por espectrometria no infravermelho (IV)

A análise por espectrometria no infravermelho do caulim de São Gabriel da Cachoeira, mostra na região de 3700 a 3620 cm^{-1} desdobramentos de bandas de estiramento do grupo OH, característicos da caolinita. Essa região mostra também que as bandas 3696 e 3620 cm^{-1} são nítidas, enquanto que as bandas 3670 e 3653 cm^{-1} tem fraca resolução (Figura 9). Na amostra SG-405, ocorre ainda na região de 3527 cm^{-1} uma banda de estiramento atribuída à ligação Al-OH da gibbsita (Figura 9) (NAKAMOTO, 1970).

A banda de estiramento situada à proximidade de 3450 cm^{-1} e a banda de deformação próxima a 1630 cm^{-1} , confirmam a presença de água seja de cristalização seja de constituição (Figura 9) (NAKAMOTO, 1970).

Uma banda larga com vários desdobramentos, que se estende entre 1115 e 1000 cm^{-1} , refere-se ao modo de deformação da ligação Si-O tanto da caolinita como do quartzo. Uma banda de deformação de amplitude média, com leve desdobramento que ocorre entre 950 e 900 cm^{-1} corresponde à ligação Al-O-H da caolinita. As bandas desdobradas entre 800 e 750 cm^{-1} e outra intensa em 541 cm^{-1} , são atribuídas à ligação Si-O-Al da caolinita (Figura 9) (STUBICAN & ROY, 1961; NAKAMOTO, 1970).

Na amostra SG-405 uma banda em 913 cm^{-1} e as bandas entre 540 e 450 cm^{-1} superpostas às bandas de ligação Al-O-H e Si-O-Al da caolinita podem corresponder ao grupamento PO_4 da crandalita, (Figura 9) (NAKAMOTO, 1970).

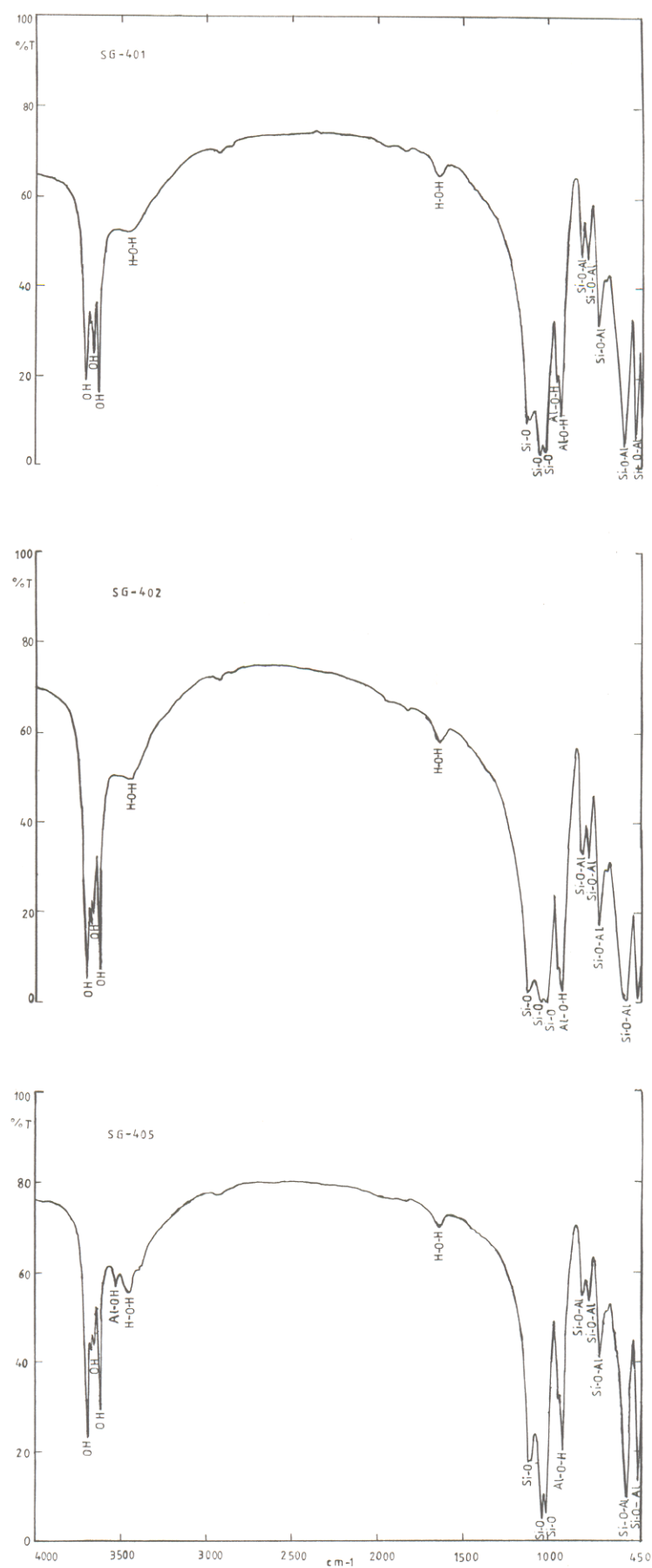


Figura 9- Espectrometria de infravermelho de amostras representativas do caulim de São Gabriel da Cochoeira.

A má definição da banda 938 cm^{-1} nesse caulim, indica que o grau de cristalinidade da caulinita em São Gabriel da Cachoeira é relativamente baixo, como foi verificado pela difração de raios-x (Tabela 3, Figuras 8 e 9).

4.1.3 Minerais pesados

O estudo dos minerais pesados em algumas amostras representativas do caulim de São Gabriel da Cachoeira, mostra que o zircão é o mineral mais abundante, constituindo em média 95% da fração grossa (250-125 μm) e 99% da fração fina (125-62 μm) (Tabela 4; Figura 10). A turmalina compõe 10%, 8% e 2% da fração grossa das amostras SG-400, SG-401 e SG-405 respectivamente, enquanto que na fração fina o seu teor é próximo de 1%. Já na amostra SG-409 este mineral não foi detectado (Tabela 4; Figura 10).

O zircão ocorre geralmente em cristais prismáticos alongados, piramidais e bipiramidais, e mais raramente em cristais subangulosos a subarredondados, e a turmalina apresenta-se em cristais prismáticos de cor azulada e amarronzada.

Tabela 3. - Grau de cristalinidade da caulinita da área de São Gabriel da Cachoeira, calculado pelo método de Hincley (1954) e Range et al., (1969) apud THOREZ (1976).

AMOSTRAS	VALOR	AMOSTRAS	VALOR
SG-400	1.21	SG-405	1.00
SG-401	1.03	SG-406	1.01
SG-402	1.00	SG-409	1.01
SG-404	0.95	MÉDIA (N=7)	1.03

Tabela 4. Distribuição dos minerais pesados (em %) no caulim de São Gabriel da Cachoeira.

MINERALOGIA %	ZIRCÃO		TURMALINA	
FRAÇÃO	GROSSA	FINA	GROSSA	FINA
SG-400	90	99	10	1
SG-401	92	98	8	2
SG-405	98	99	2	1
SG-409	100	100	0	0
MÉDIA	95	99	5	1

GROSSA - 250 - 125 μm

FINA - 125 - 62 μm

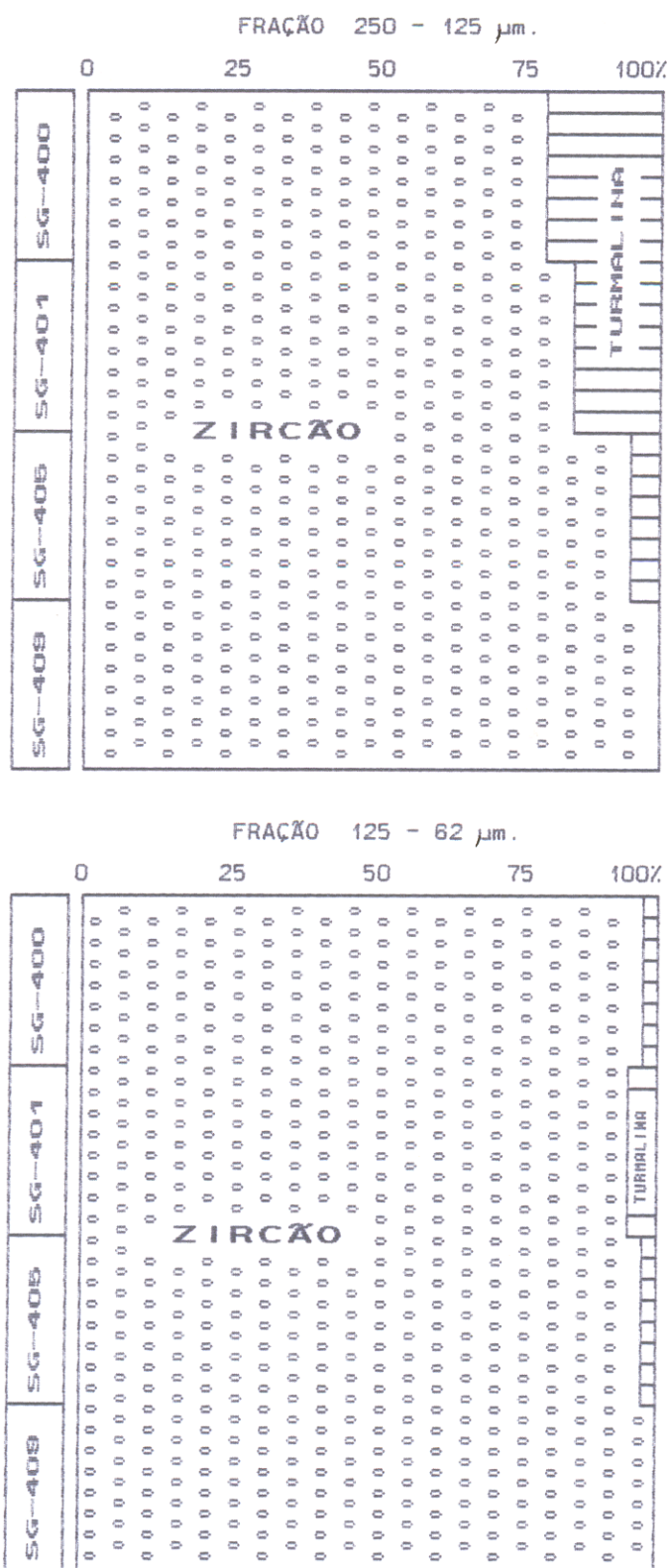


Figura 10. Comparação do conteúdo de minerais pesados de 4 amostras do caulim da área de São Gabriel da Cachoeira.

4.2 ÁREA DE MANAUS-ITACOATIARA

4.2.1 Análise por difração de raios-x e microscopia ótica

A análise por difração de raios-x e microscopia ótica do caulim de Manaus-Itacoatiara, mostra que o mesmo é constituído essencialmente por caolinita e quartzo e acessoriamente por gibbsita, muscovita, hematita, zircão e turmalina (Tabelas 5 e 6; Figuras 11, 12 e 13).

Ao microscópio a caolinita apresenta-se sob a forma de uma massa criptocristalina de coloração acinzentada e o quartzo em grãos monocristalinos por vezes corroídos nas bordas e com formas geralmente subangulosas a angulosas e mais raramente subarredondadas a arredondadas (Figura 12). A gibbsita ocorre em pequenos cristais incolores, ocupando os poros de dissolução de minerais pretéritos (provavelmente quartzo) e a muscovita na forma de diminutas palhetas parcial a quase totalmente alteradas para caolinita. A hematita por sua vez constitui um plasma de coloração avermelhada resultando em pequenas manchas na rocha e mais raramente em nucleações pontuais de coloração avermelhada. O zircão e a turmalina encontram-se geralmente em pequenos cristais prismáticos e mais raramente subarredondados.

Tabela 5. Composição mineralógica do caulim e da rocha mãe no setor de Manaus-Itacoatiara, determinada por difração de raios-x e microscopia ótica.

AMOSTRAS	CAOLINITA	QUARTZO	MUSCOVITA	GIBBSITA	HEMATITA
SG-426	x x x x	x x x	x	-	-
SG-427	x x x x	x x	-	-	-
SG-430	x x x x	x x x	-	-	-
SG-431	x x x	x x x x	x	x	-
SG-432	x x x	x x x x	-	x	-
SG-433	x x x x	x x	x	x	-
SG-435	x x x x	x x	-	-	-
SG-437	x x x x	x	x	-	-
SG-438	x x x x	x x x x	-	-	-
SG-439	x x x x	x x	x	x x	-
SG-440	x x x x	x x	-	x	-
SG-443	x x x x	x x	-	-	-
SG-444	x x x x	x x x x	-	-	-
SG-445	x x x x	x x x	-	-	-
SG-447	x x	x x x x	-	-	-
SG-448	x x x	x x x x	-	-	-
SG-449	x x x x	x x x x	x	-	-
ROCHA-MÃE	x x x	x x x x	x	-	x

x x x x - Muito freqüente

x x x - Freqüente

x x - Pouco freqüente

x - Detectado

- - Não detectado

Tabela 6. Composição mineralógica calculada (peso em %), com base nos resultados da difração de raios-x e da análise química do caulim de Manaus-Itacoatiara.

AMOSTRAS	CAOLINITA	QUARTZO	HEMATITA	ANATÁSIO	TOTAL
SG-435	71.2	27.2	0.7	0.7	99.8
SG-438	75.7	22.8	0.6	0.7	99.8
SG-443	81.0	17.4	0.7	0.8	99.9
SG-445	74.7	23.7	0.6	0.7	99.7
SG-447	26.0	71.5	1.3	1.2	100

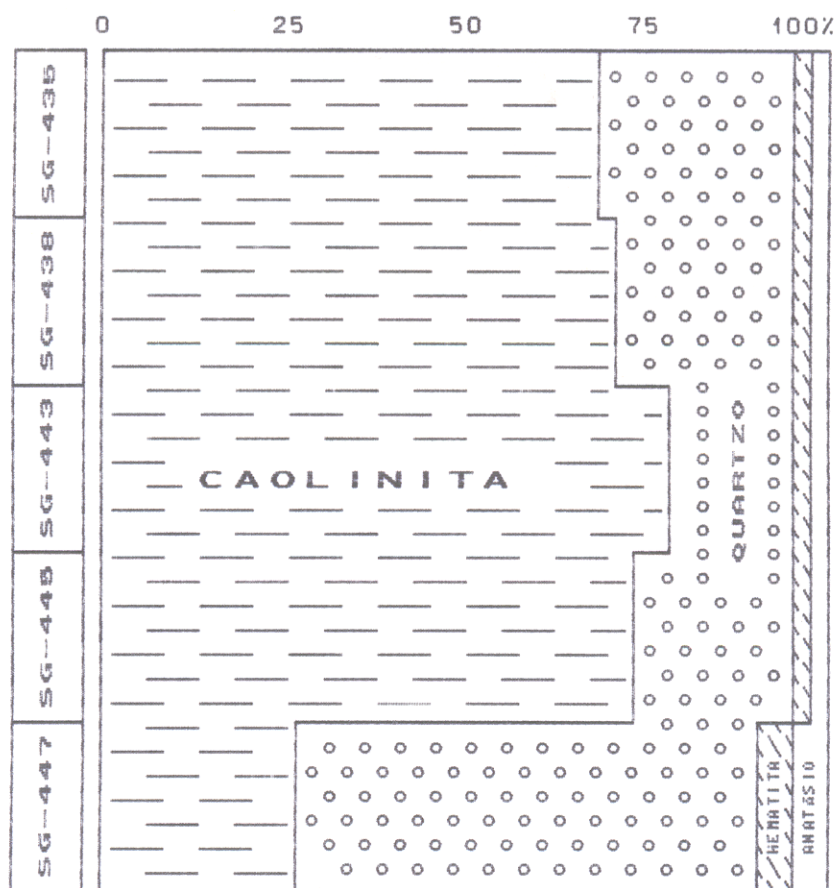


Figura 11. Comparação mineralógica entre 4 amostras de caulim da área de Manaus-Itacoatiara.

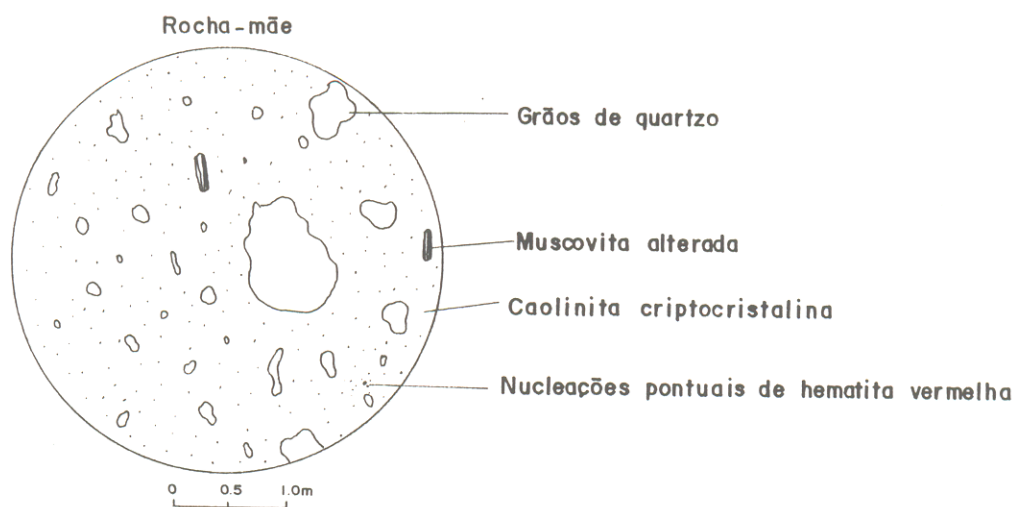
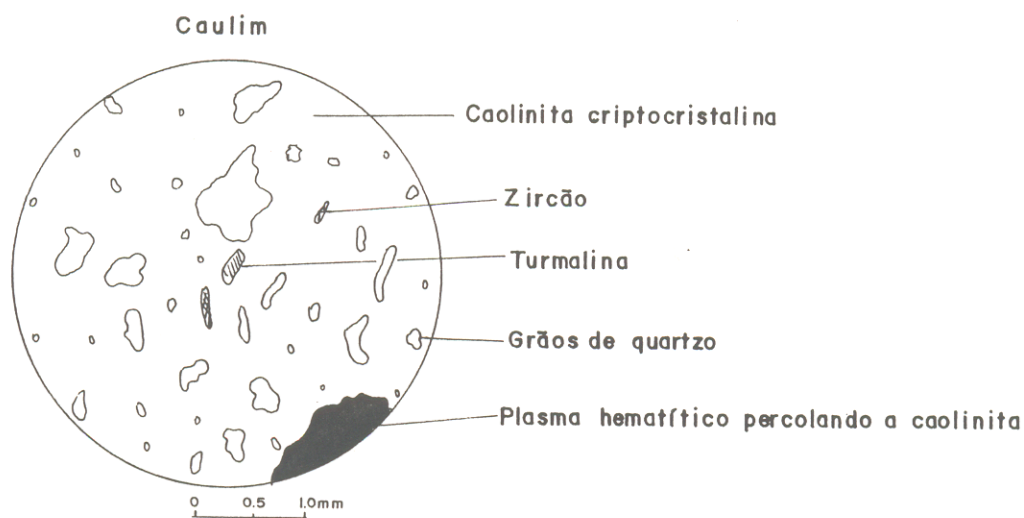
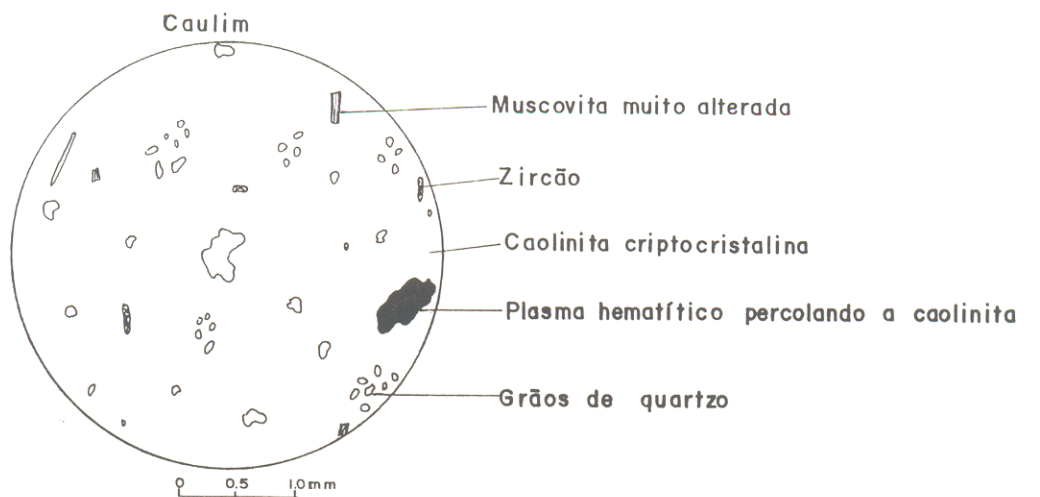


Figura 12 - Aspecto textural microscópico do caulim e da rocha-mãe da área de Manaus-Itacoatiara.

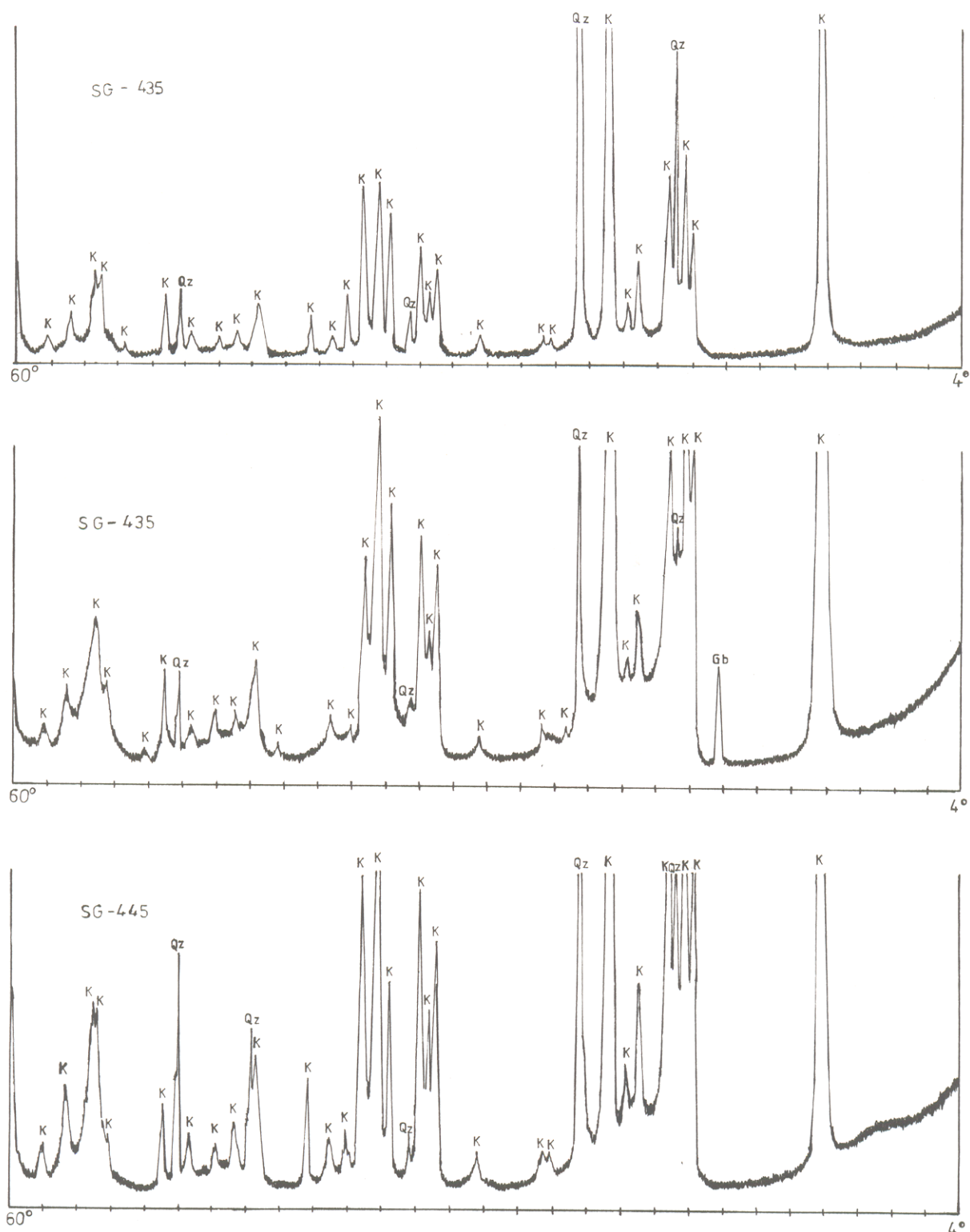


Figura 13 - Difração de raios-x de amostras representativas do caulim de Manaus-Itacoatiara.

LEGENDA

K - Caolinita
Qz - Quartzo
Gb - Gibbsita

Subjacente aos depósitos de caulim de Manaus-Itacoatiara encontra-se uma rocha areno-argilosa, maciça de coloração avermelhada e granulação fina, constituída essencialmente por caolinita, quartzo e hematita, tendo como minerais acessórios a muscovita e o zircão (Tabela 5; Figura 12). A caolinita apresenta-se como uma massa criptocristalina de coloração acinzentada, o quartzo em grãos monocristalinos com formas arredondadas a subarredondadas e mais raramente subangulosas e a hematita na forma de pequenos núcleos de coloração vermelha, que dão uma coloração avermelhada à rocha (Figura 12). A muscovita é encontrada em pequenas palhetas parcialmente alteradas para caolinita e o zircão em pequenos cristais prismáticos.

4.2.2 Análise por espectrometria no infravermelho (IV)

A análise por espectrometria de infravermelho do caulim de Manaus-Itacoatiara, indica que o mesmo é bastante semelhante ao caulim de São Gabriel da Cachoeira. No entanto, no caulim de Manaus-Itacoatiara não foi detectado a presença da banda de estiramento a 3527 cm^{-1} , que corresponde a ligação Al-OH da gibbsita (Figura 14).

No caulim de Manaus-Itacoatiara a presença da banda 938 cm^{-1} bem mais definida e a intensidade relativa da banda 914 cm^{-1} (Figura 14), mostra que o grau de cristalinidade da caolinita no mesmo é moderadamente superior à da caolinita de São Gabriel da Cachoeira, o que é confirmado pela difração de raios-x (Tabela 7, Figura 13).

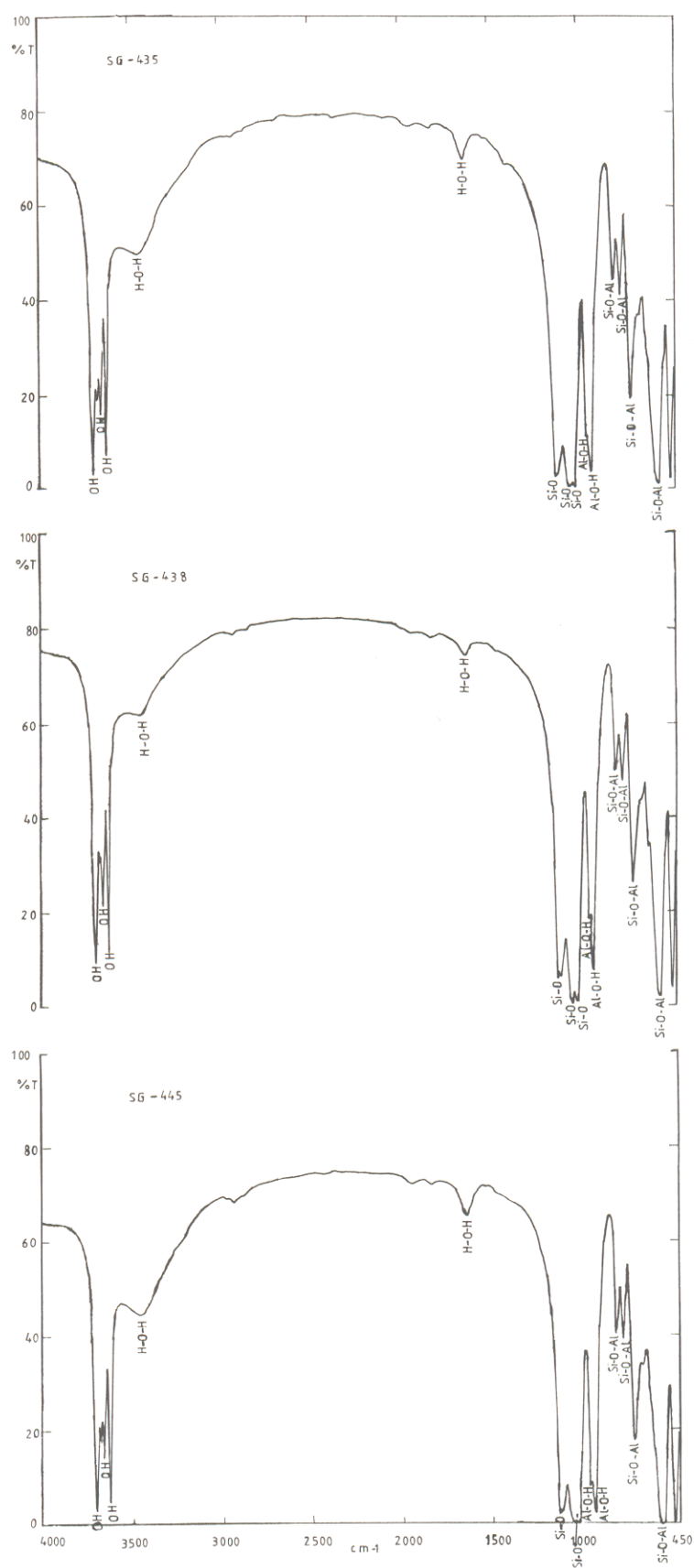


Figura 14- Espectrometria de infravermelho de amostras representativas do caulim de Manaus-Itacoatiara.

Tabela 7. Grau de cristalinidade da caulinita da área de Manaus-Itacoatiara, calculado pelo método de Hincley (1954) e Range et al., (1969) apud THOREZ (1976).

AMOSTRAS	VALOR	AMOSTRAS	VALOR
SG-426	1.25	SG-440	1.25
SG-427	1.35	SG-443	1.38
SG-430	1.39	SG-444	1.43
SG-431	1.28	SG-445	1.52
SG-432	1.32	SG-446	1.43
SG-433	1.30	SG-447	1.33
SG-435	1.52	SG-448	1.34
SG-437	1.47	SG-449	1.37
SG-438	1.26	MÉDIA (N=17)	1.35

4.2.3 Minerais pesados

O estudo dos minerais pesados do caulim de Manaus-Itacoatiara, indica que o zircão é o mineral mais abundante, representando em média 85% da fração grossa (250-125 μm) e 96% da fração Fina (125-62 μm) (Tabela 8 e Figura 15). A turmalina encontra-se em teores baixos nas duas frações, exceto na fração grossa das amostras SG-435 e SG-445 nas quais o seu conteúdo é de 36% e 11%, respectivamente (Tabela 8 e Figura 15). A estaurolita foi encontrada somente nas amostras SG-435 e SG-445. Teores de rutilo foram detectados em quase todas as amostras, com exceção da fração grossa na amostra SG-445, onde o teor chega a 11 % (Tabela 8 e Figura 15).

Quanto a morfologia dos grãos, o zircão é geralmente de forma prismática, tendo sido observado também com formas arredondadas e subarredondadas; a turmalina apresenta cores variadas, esverdeada, azulada e amarronzada, tendo formas arredondadas e subarredondadas, raramente prismática; a estaurolita é encontrada em grãos subarredondados e arredondados, por vezes exibindo feições do tipo crista de galo, enquanto que os grãos de rutilo são comumente subarredondados e arredondados, raramente alongados.

Tabela 8. Distribuição dos minerais pesados (em %) no caulim de Manaus-Itacoatiara.

MINERALOGIA %	ZIRCÃO		TURMALINA		ESTAUROLITA		RUTILO	
FRAÇÃO	GROSSA	FINA	GROSSA	FINA	GROSSA	FINA	GROSSA	FINA
SG-435	55	93	36	6	7	0	2	1
SG-438	97	98	1	0	0	1	2	1
SG-443	96	96	1	1	2	1	1	2
SG-445	78	97	11	1	0	0	11	2
SG-447	98	96	1	1	0	0	1	3
MÉDIA	84.4	96	10	1.8	1.8	0.4	3.4	2

GROSSA - 250 - 125 μm

FINA - 125 - 62 μm

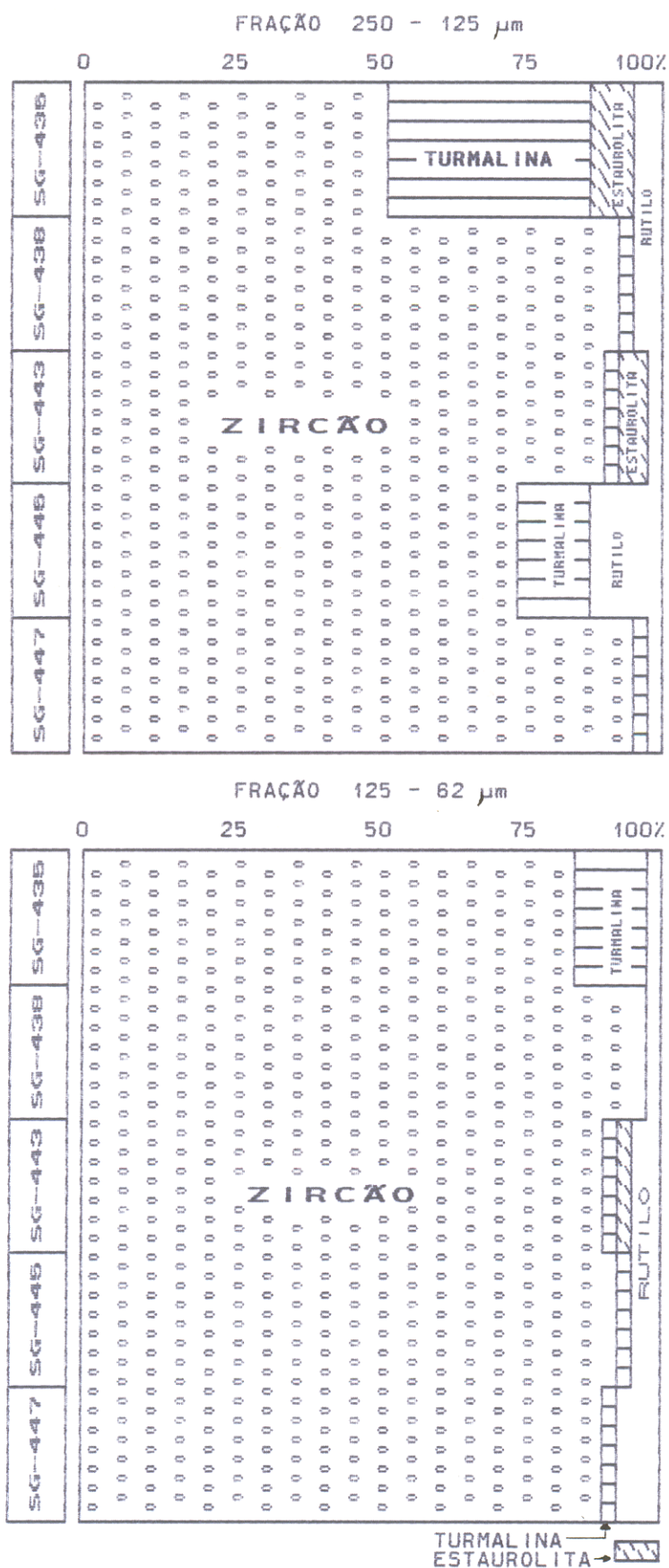


Figura 15. Comparação do conteúdo de minerais pesados de 5 amostras do caulim da área de Manaus-Itacoatiara.

4.3 ÁREA DA BR-010/RIO CAPIM

4.3.1 Análise por difração de raios-x e microscopia ótica

Segundo as análises por difração de raios-x e microscopia ótica o caulim da BR-010/Rio Capim, é constituído essencialmente por caolinita e quartzo e acessoriamente por hematita, muscovita, gibbsita, crandalita-goyazita, zircão e turmalina (Tabelas 9 e 10; Figuras 16, 17, e 18).

Ao microscópio a caolinita apresenta-se como uma massa criptocristalina de coloração acinzentada e o quartzo em grãos monocristalinos com feições subarredondadas a subangulosas, raramente arredondadas (Figura 17). A hematita por sua vez constitui um plasma de coloração avermelhada a vermelha escura percolando a caolinita e resultando em manchas ou núcleações pontuais de coloração vermelha intensa (Figura 17); a gibbsita ocorre em pequenos cristais incolores, ocupando geralmente os poros de dissolução de minerais pretéritos (provavelmente quartzo); a muscovita apresenta-se em pequenas palhetas parcial a quase totalmente alteradas para caolinita. O zircão e a turmalina ocorrem em pequenos cristais prismáticos e mais raramente em grãos subarredondados; a crandalita-goyazita foi detectada somente por difração de raios-x (Figura 18), devido estar na forma de cristais criptocristalinos, como no caulim de São Gabriel da Cachoeira.

Tabela 9. Composição mineralógica do caulim da BR-010/Rio Capim, determinada por difração de raios-x e microscopia ótica.

AMOSTRAS	CAOLINITA	QUARTZO	MUSCOVITA	GIBBSITA	CRANDALITA-GOYAZITA	HEMATITA
KM-43/01	x x x x	x x	x	x	x	-
KM-43/02	x x x x	x	x	x	x	x
KM-43/03	x x x x	x	-	x x	x	-
JZ-61/01	x x x x	-	-	-	x	-
JZ-61/02	x x x x	x	x	-	x	-
JZ-66/01	x x x x	x x	x	-	x	-
JZ-67/01	x x x x	-	x	-	x x	-
JZ-67/02	x x x x	-	-	-	x	-
RC-01	x x x x	x x x	x	-	x	-
RC-02	x x x x	x	x	-	x	-
RC-03	x x x x	x x	-	-	-	-
RC-04	x x x x	x	-	-	-	-
RC-05	x x x x	-	x	-	x	-

x x x x - Muito freqüente

x x x - Freqüente

x x - Pouco freqüente

x - Detectado

- - Não detectado

Tabela 10. Composição mineralógica calculada (peso em %), com base nos resultados da difração de raios-x e da análise química do caulim da BR-010/Rio Capim.

AMOSTRAS	CAOLINITA	QUARTZO	MUSCOVITA	HEMATITA	ANATÁSIO	CRANDALITA-GOYAZITA	TOTAL
RC-01	75.2	23.4	0.0	0.5	0.9	0.0	100
RC-02	96.3	0.0	0.0	0.9	2.4	0.0	99.6
JZ-61/01	92.4	3.8	0.0	0.5	2.6	0.5	99.8
JZ-67/01	94.5	0.0	0.5	0.5	2.3	2.0	99.8
KM-43-01	78.6	17.7	0.5	1.1	1.3	0.5	99.7

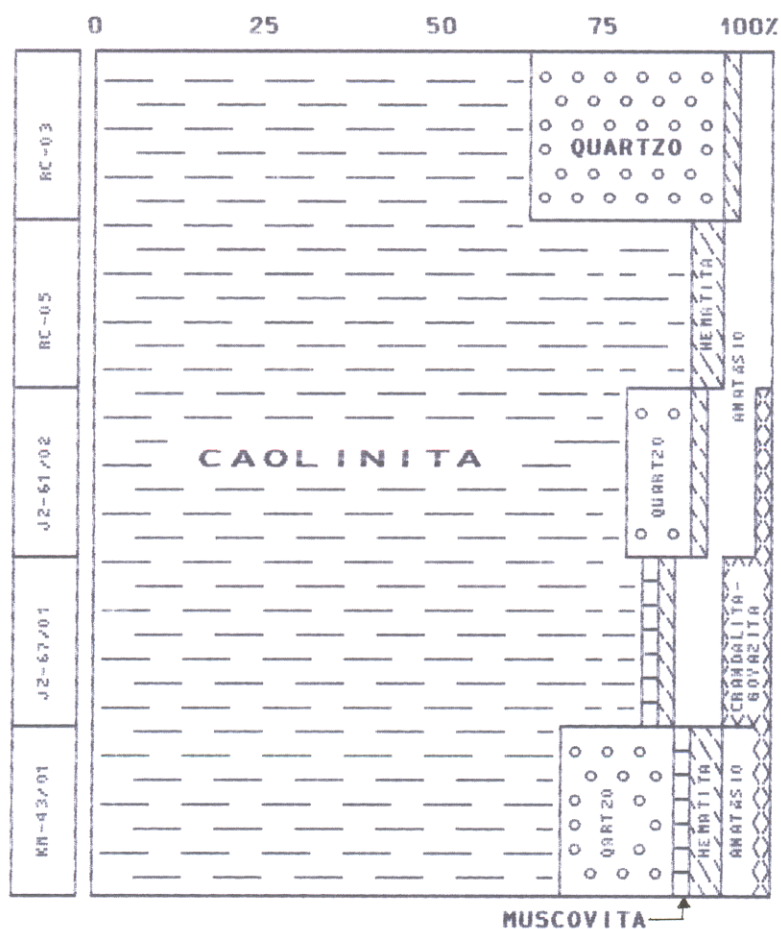


Figura 16. Comparação mineralógica entre 4 amostras do caulim da área da BR-010/Rio Capim.

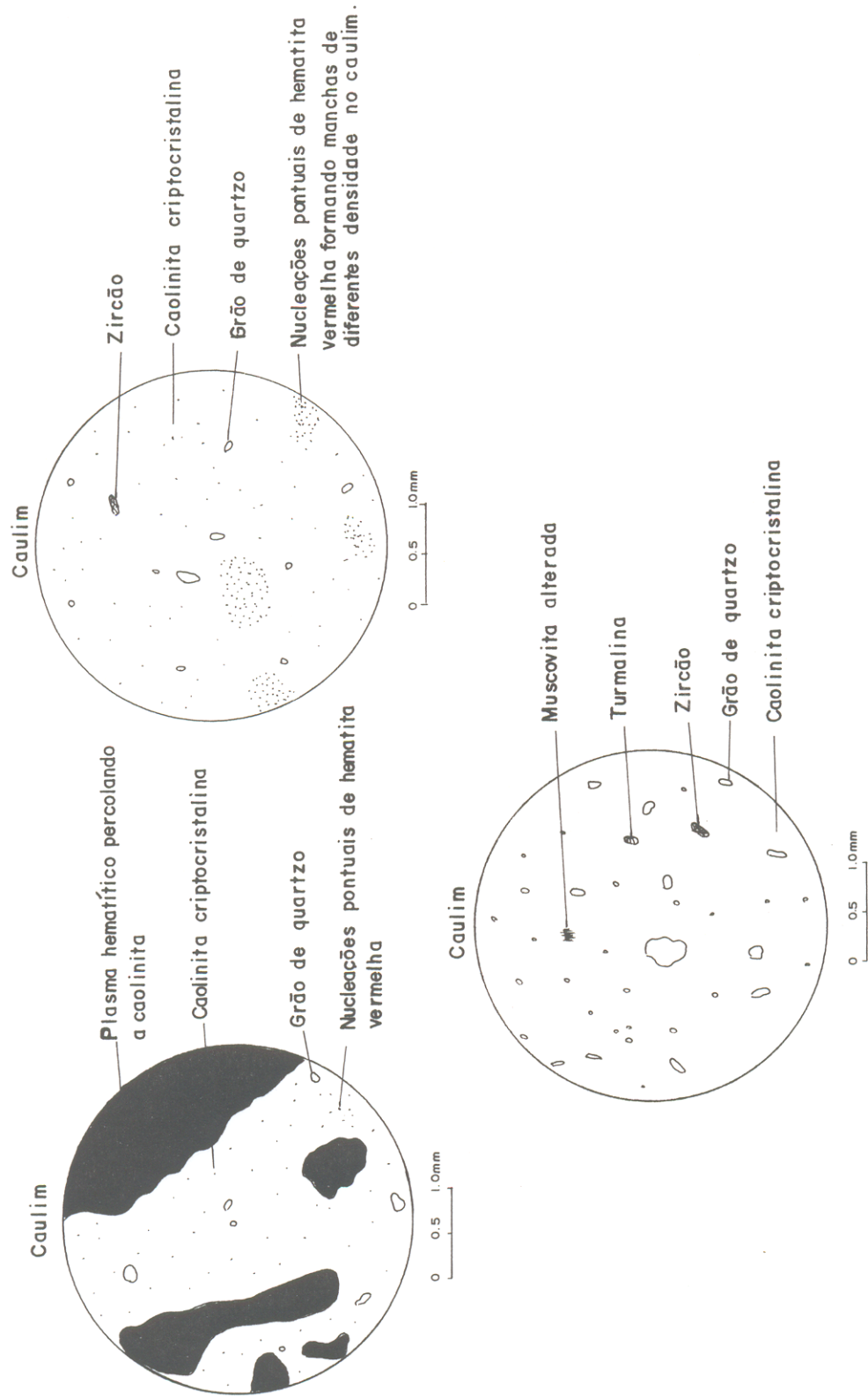


Figura 17 - Aspecto textural microscópico do caulim da área da Br-Olo / Rio Capim.

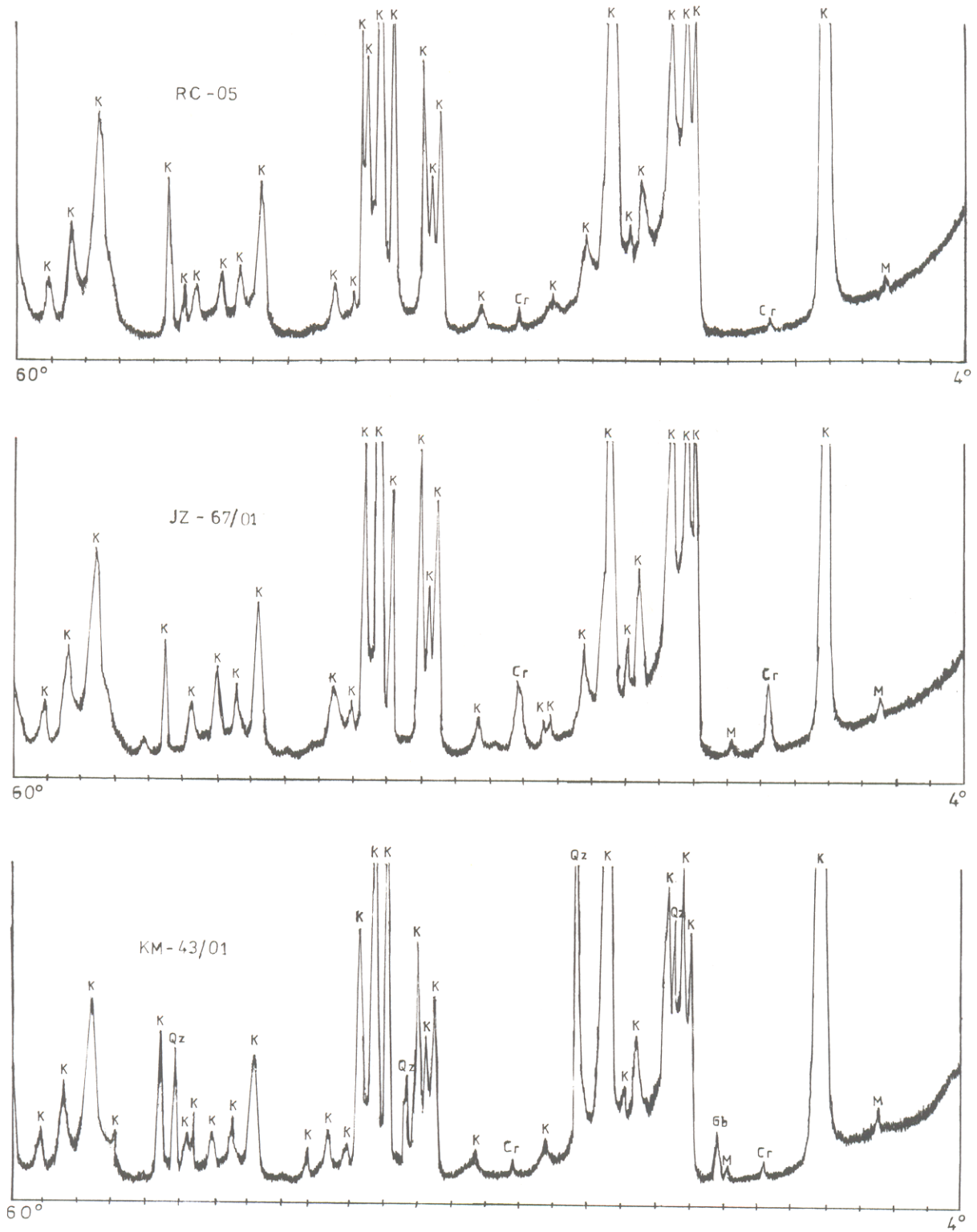


Figura 18 - Difração de raios-x de amostras representativas do caulim da Br-OIO / Rio Capim.

LEGENDA

K - Caolinita
 Qz - Quartzo
 M - Muscovita
 Gb - Gibbsita
 Cr - Crandalita -
 Goyazita

4.3.2 Análise por espectrometria no infravermelho (IV)

Os resultados obtidos por espectrometria de infravermelho, mostram que o caulim da BR-010/Rio Capim é semelhante aos caulins de São Gabriel da Cachoeira e Manaus-Itacoatiara (Figura 19).

No caulim da BR-010/Rio Capim uma banda nítida em 913 cm^{-1} e as bandas entre 540 e 450 cm^{-1} na amostra JZ-67/01, poderiam pertencer ao radical PO_4 da crandalita, que coincide com às bandas das ligações Al-O-H e Si-O-Al da caolinita (Figura 19) (NAKAMOTO, 1970).

A presença das bandas 938 e 914^{-1} relativamente bem definidas (Figura 19), indicam que o grau de cristalinidade da caolinita da área da BR-010/Rio Capim (Tabela 11) é semelhante ao da caolinita de Manaus-Itacoatiara e superior a de São Gabriel da Cachoeira.

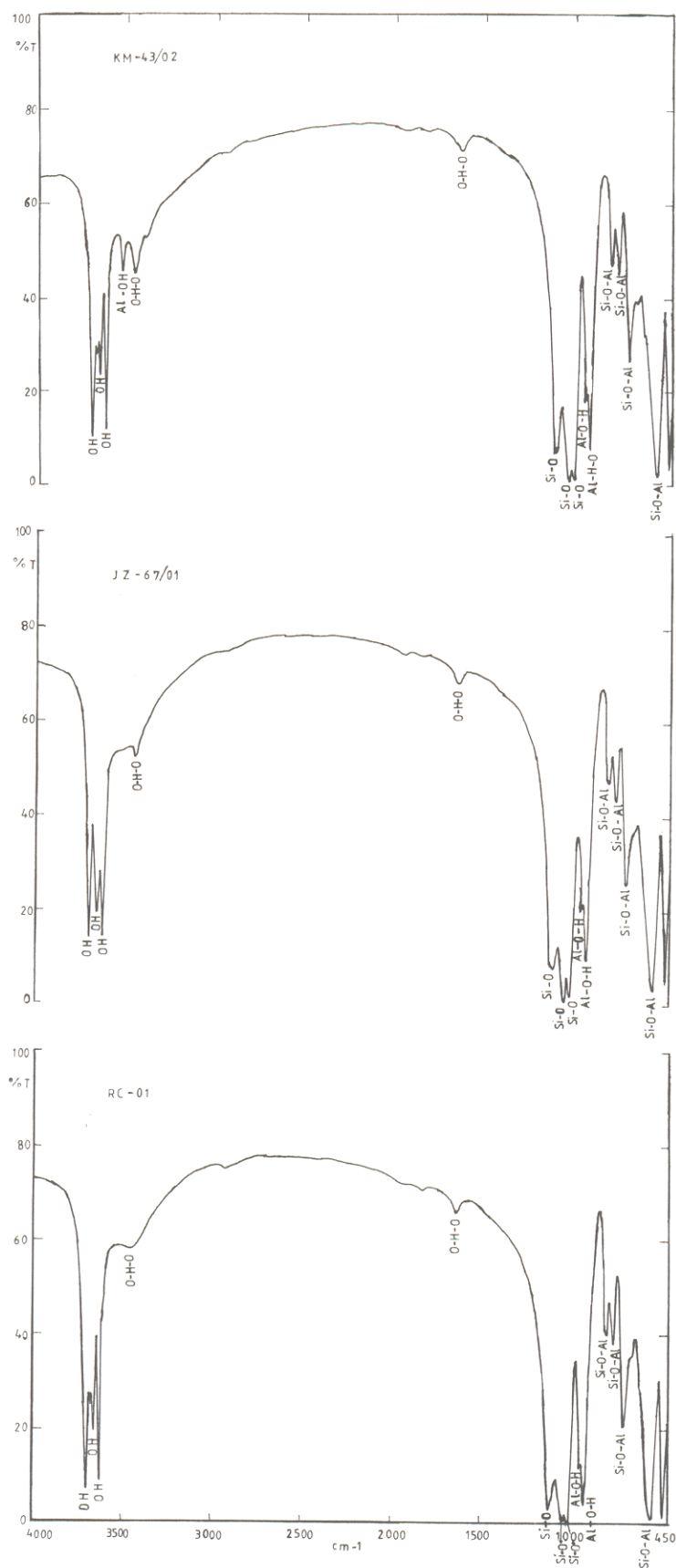


Figura 19- Espectrometria de infravermelho de amostras representativas do caulim da Br-OIO/Rio Capim.

Tabela 11. Grau de cristalinidade da caulinita da área da BR-010/Rio Capim, calculado pelo método de Hincley (1954) e Range et al., (1969) apud THOREZ (1976).

AMOSTRAS	VALOR	AMOSTRAS	VALOR
KM-43/01	1.35	JZ-67/02	1.28
KM-43/02	1.24	RC-01	1.47
KM-43/03	1.38	RC-02	1.38
JZ-61/01	1.26	RC-03	1.32
JZ-61/02	1.29	RC-04	1.30
JZ-66/01	1.33	RC-05	1.27
JZ-67/01	1.32	MÉDIA (N=13)	1.32

4.3.3 Minerais pesados

O estudo dos minerais pesados do caulim da BR-010/Rio Capim, mostra que o mesmo é bastante semelhante ao caulim de Manaus-Itacoatiara. Entretanto no caulim da BR-010/Rio Capim o conteúdo de zircão é mais baixo, enquanto que o da turmalina é mais elevado na área de Manaus-Itacoatiara, tanto na fração de 250-125 μm como na fração de 125-62 μm que na (Tabela 12; Figura 20).

No caulim da BR-010/Rio Capim foi observada ainda a presença de cianita, que não foi detectada no caulim de Manaus-Itacoatiara (Tabela 12; Figura 20).

As formas de ocorrência desses minerais no setor de BR-010/Rio Capim são muito semelhantes às de Manaus-Itacoatiara.

Tabela 12. Distribuição dos minerais pesados (em %) no caulim da BR-010/Rio Capim.

MINERALOGIA %	ZIRCÃO		TURMALINA		CIANITA		ESTAUFOLITA		RUTILO	
FRAÇÃO	GROSSA	FINA	GROSSA	FINA	GROSSA	FINA	GROSSA	FINA	GROSSA	FINA
RC-01	23	55	58	26	10	6	7	10	2	3
RC-03	43	90	26	5	9	3	7	1	3	1
JZ-67/01	86	93	6	5	3	1	5	1	0	0
KM-43/01	33	80	42	15	15	2	8	2	2	1
MÁDIA	46.2	79.5	33	12.7	9.2	3	6.7	3.5	1.7	1.2

GROSSA - 250 - 125 μm

FINA - 125 - 62 μm

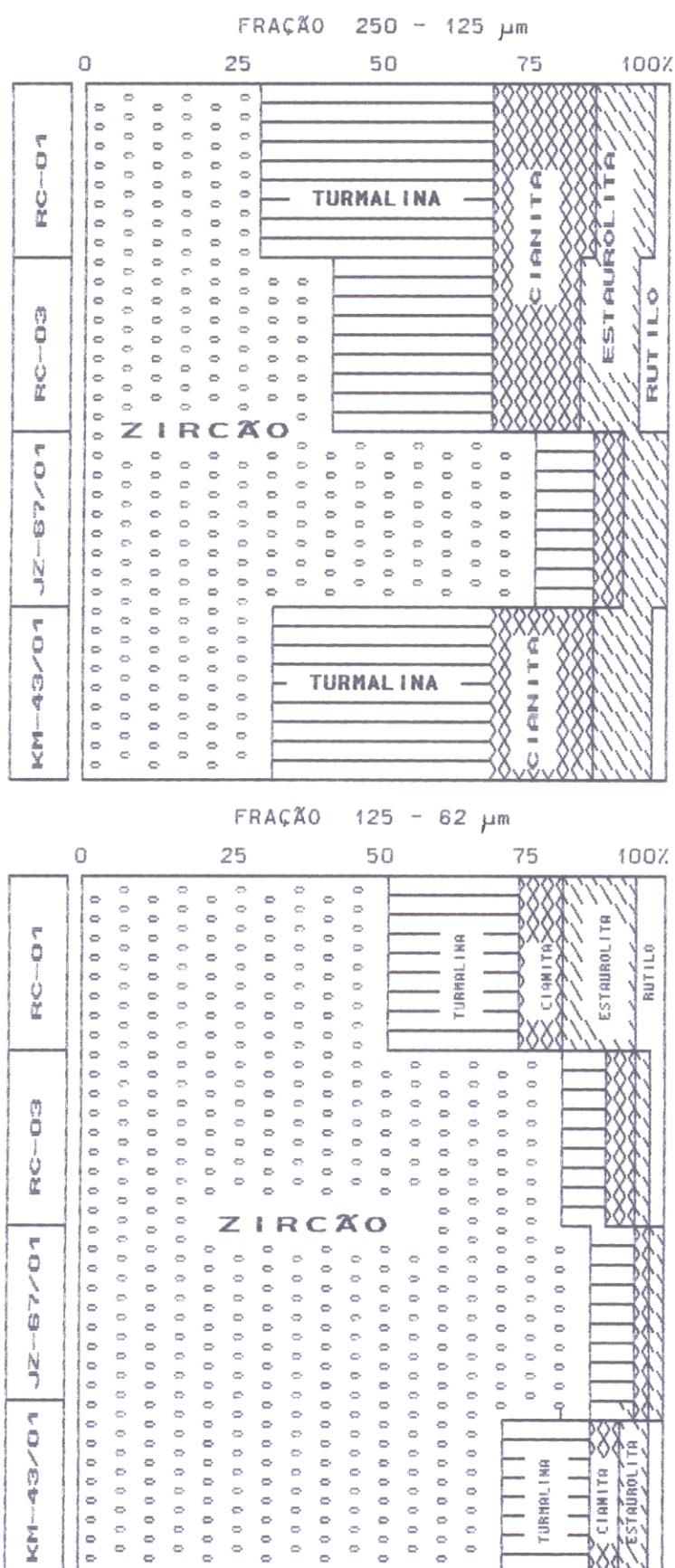


Figura 20. Comparação do conteúdo de minerais pesados de quatro amostras do caulim da área da BR-010/Rio Capim.

5 GEOQUÍMICA

5.1 CAULIM DE SÃO GABRIEL DA CACHOEIRA

5.1.1 Composição química

A composição química de amostras representativas do caulim de São Gabriel da Cachoeira apresentadas na tabela 13, mostram que a SiO_2 e o Al_2O_3 são os componentes mais abundantes representando em média respectivamente 67.1 e 22.7%, perfazendo quase 90% de cada amostra. TiO_2 , K_2O e Fe_2O_3 encontram-se com teores próximo da unidade, enquanto que CaO , MgO , MnO , Na_2O e P_2O_5 se situam abaixo de 0.1%.

Essa composição química expressa a abundância de quartzo e caolinita no caulim de São Gabriel da Cachoeira, além de muscovita. Os teores de TiO_2 são relativamente baixos quando comparados com os detectados por COSTA (1991) em lateritos onde ocorrem níveis caulínicos, e encontram-se como anatásio. O alto teor de quartzo, mica e baixo de anatásio corroboram a relação desse caulim com os granito-gnaisses subjacentes e adjacentes.

5.1.2 Elementos traços

As concentrações dos elementos traços analisados no caulim de São Gabriel da Cachoeira e na rocha-mãe estão indicadas na tabela 13. Elas estão próximas das médias crustais ou mesmo ligeiramente abaixo destas. Y está em teores elevados tanto no caulim como na rocha-mãe (Tabela 13).

Tabela 13. Composição química da rocha-mãe e do caulim da área de São Gabriel da Cachoeira.

AMOSTRAS %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅				
SG-401	67.7	21.8	0.48	0.29	L 0.05	0.23	0.02	1.30	L 0.01	0.61	L 0.05				
SG-402	67.9	21.6	0.66	0.14	L 0.05	0.17	0.01	0.44	L 0.01	0.68	L 0.05				
SG-405	68.6	23.8	0.74	0.22	L 0.05	L 0.10	L 0.01	0.22	L 0.01	0.76	0.13				
SG-409	64.3	23.8	0.57	0.21	L 0.05	L 0.10	L 0.01	0.48	L 0.01	1.10	0.05				
MEDIA	67.1	22.7	0.61	0.21	L 0.05	< 0.15	< 0.01	0.61	L 0.01	0.79	< 0.07				
SG-451 ***	66.5	14.3	4.50	0.29	3.20	0.84	2.60	5.70	0.11	1.10	0.30				
AMOSTRAS %	Cr ₂ O ₃	NiO	F	P.F.	SOMA TOTAL	O=F	SOMA FINAL	S	CO ₂	Fe tt	U (ppm)				
SG-401	0.008	0.003	0.048	7.48	99.97	0.02	99.95	L 0.005	0.18	0.57	2				
SG-402	0.008	0.003	0.056	8.18	99.85	0.02	99.83	0.005	0.13	0.57	2				
SG-405	0.006	L 0.003	0.033	5.47	99.98	0.01	99.97	0.006	0.09	0.69	3				
SG-409	0.013	L 0.003	0.030	9.52	99.80	0.01	99.79	0.014	0.15	0.56	2				
MEDIA	0.009	< 0.003	0.042	7.66	99.90	0.015	99.83	< 0.007	0.14	0.60	2.2				
SG-451 ***	0.009	0.004	0.009	0.33	99.79	L 0.01	99.79	0.038	0.15	3.38	3				
AMOSTRAS (ppm)	Cl	B	Ba	Be	Cr	Cu	Ga	Ni	Pb	Sc	Sn	V	Zr	Y	Sr
SG-401	L 20	L 10	220	L 2	51	18	41	24	66	16	L 5	94	320	69	140
SG-402	L 20	L 10	86	L 2	56	24	36	26	80	27	L 5	178	490	140	34
SG-405	L 20	L 10	640	L 2	41	15	39	20	125	13	L 5	77	350	67	190
SG-409	L 20	L 10	110	L 2	92	16	41	15	20	25	L 5	170	490	47	87
MEDIA	L 20	L 10	223	L 2	55.2	16.6	41.2	21.6	63.8	21.8	L 5	125.4	412.5	86.6	93.4
SG-451 ***	81	L 10	1180	L 2	60	20	34	20	70	32	L 5	94	410	140	240
AMOSTRAS (ppm)	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Yb	Lu				
SG-401	50.32	82.27	39.97	6.78	1.02	4.87	5.47	1.18	3.61	3.57	0.48				
SG-402	23.35	37.38	13.44	2.54	0.44	2.42	4.21	0.95	3.12	3.39	0.51				
SG-405	92.94	102.50	87.54	15.67	2.37	11.18	8.18	1.48	3.21	2.33	0.32				
SG-409	40.25	66.30	33.08	5.23	0.91	3.70	3.70	0.74	1.99	1.68	0.24				
MEDIA	53.71	92.11	43.51	7.55	1.10	5.54	5.39	1.09	2.98	2.74	0.39				
SG-451 ***	110.60	263.00	128.20	23.21	3.02	17.54	18.42	3.81	10.92	9.99	1.27				

** - Rocha-mãe

L - Limite de detecção

Os teores dos elementos traços no caulim, são semelhantes aos da rocha-mãe principalmente para Cr, Ni, U, Cu, Ga, Pb, Sc, V, Zr e Y. Por outro lado, Ba, Sr, Cl, S, (Y) e ETR estão empobrecidos em relação a rocha-mãe. Esse quadro para os dois grupos de elementos é verificado em perfis lateríticos, onde ocorre horizonte argiloso, como é o do caulim (COSTA, 1991).

5.1.2.1 Elementos terras raras

As concentrações dos ETR no caulim de São Gabriel da Cachoeira mostram que os ETRL estão em teores ligeiramente superior a média crustal, enquanto que os ETRP estão próximo dessa média. Os teores na rocha-mãe são elevados, superiores a média crustal, ou seja houve um empobrecimento dos ETR na passagem da rocha-mãe para o caulim. Esse comportamento é semelhante ao observado por COSTA, (1991) em perfis lateríticos, onde ocorrem níveis caulínicos (Tabela 13, Figura 21).

As curvas normalizadas aos condritos mostram um maior empobrecimento dos ETRL e menor depleção dos ETRP. Apresentam forte anomalia negativa de Eu e uma leve anomalia tanto positiva como negativa de Ce (Tabela 13, Figura 21). A anomalia de Eu parece herdada já que é encontrada também na rocha-mãe, e essa herança é verificada nos lateritos em geral (COSTA, 1991). A anomalia de Ce é típica dos lateritos (BRAUN et al., 1990; COSTA et al., 1991).

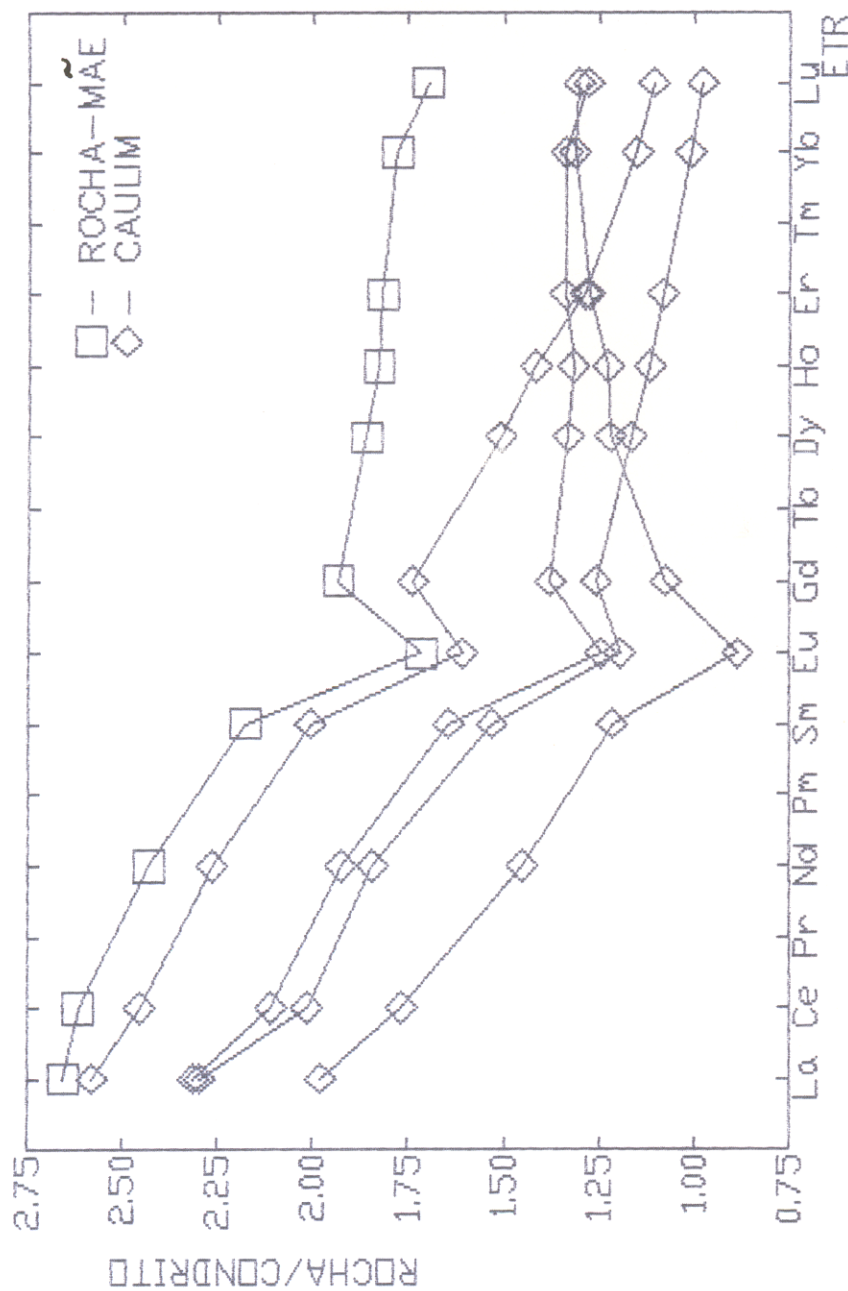


Figura 21. Curvas de distribuição dos ETR na rocha-mãe e em amostras representativas do caulim de São Gabriel da Cachoeira.

5.1.3 Análise química por microsonda eletrônica

A análise por microsonda eletrônica de uma amostra (SG-400) do caulim de São Gabriel da Cachoeira (Tabela 14, Figura 22), mostra que a composição nos pontos 1, 2 e 3 são muito semelhantes e correspondem ao mineral caolinita, com teores de ferro abaixo de 0.25% e de titânio próximo a zero. Os pontos 4 e 5 representam pequenos flocos de mica e sua composição química corresponde ao mineral muscovita, parcialmente alterado para illita, verificando-se dessa forma que a muscovita é resistente ao intemperismo.

Tabola 14 - Análise por microsonda eletrônica de caolinita e minerais associados do caolim da área de São Gabriel da Cachoeira.

AMOSTRAS	PONTOS	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	MnO	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	SrO	BaO	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	MINERALOGIA
SG-400	1	46.00	38.35	0.21	0.056	0.034	0.002	0.003	0.02	0.000	0.009	0.012	0.010	0.000	1.20	98% caolinita; 2% quartzo
	2	45.22	38.06	0.16	0.028	0.037	0.023	0.037	0.02	0.000	0.022	0.000	0.000	0.000	1.19	98% caolinita; 2% quartzo
	3	44.70	38.14	0.21	0.024	0.069	0.024	0.046	0.02	0.009	0.013	0.000	0.000	0.000	1.17	100% caolinita
	4	44.90	34.64	1.46	0.000	0.445	0.182	0.002	8.20	0.005	0.000	0.051	0.016	0.143	1.29	100% muscovita (+ illita)
	5	40.72	27.60	2.92	0.005	1.607	0.113	0.051	8.73	0.070	0.000	0.009	0.036	0.031	1.47	100% muscovita (+ illita)

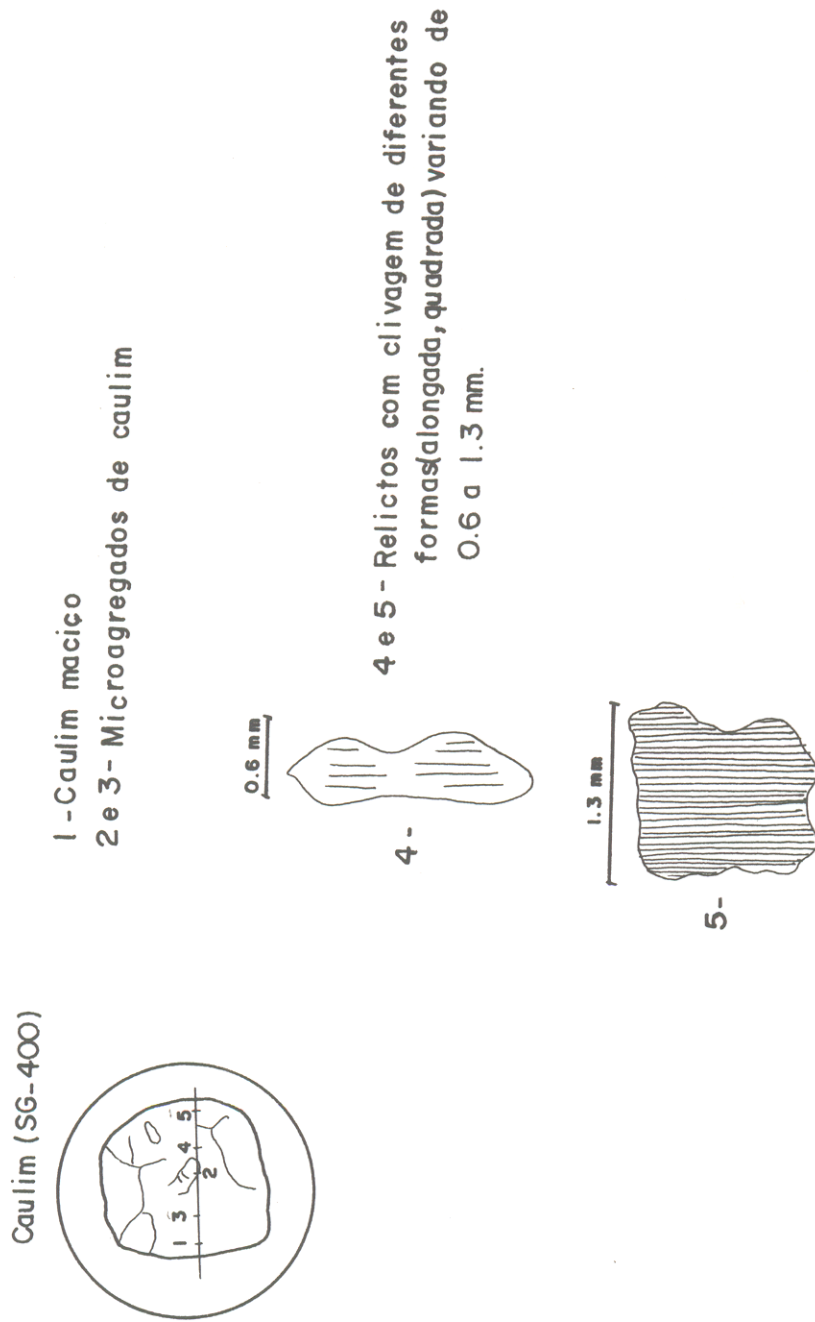


Figura 22- Caulim da área de São Gabriel da Cachoeira analisado por microsonda eletrônica.

5.2 CAULIM DE MANAUS-ITACOATIARA

5.2.1 Composição química

As análises químicas de amostras representativas do caulim de Manaus-Itacoatiara estão indicados na tabela 15. SiO_2 e Al_2O_3 são os elementos de maior teor nesse caulim, representando em média 57.5 e 29.7 respectivamente, perfazendo também cerca de 90% de cada amostra. Fe_2O_3 , FeO e TiO_2 encontram-se em teores próximo a 0.5% cada um, enquanto que CaO , Na_2O , K_2O , MgO e P_2O_5 ocorrem com teores abaixo de 0.1%.

Essa composição química expressa a abundância de caolinita e quartzo no caulim de Manaus-Itacoatiara. Os teores de TiO_2 , da mesma forma que no caulim de São Gabriel da Cachoeira são também relativamente baixos quando comparados com os obtidos por COSTA (1991) para lateritos com níveis caulínicos e constituem anatásio.

5.2.2 Elementos traços

Os teores dos elementos traços determinados no caulim de Manaus-Itacoatiara e na rocha-mãe, são apresentados na tabela 15. Eles estão em sua maioria abaixo da média crustal, exceto Ga e Pb que estão ligeiramente acima dessa média.

Tabela 15. Composição química da rocha-mãe e do caulim da área de Manaus-Itacoatiara.

AMOSTRAS %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅
SG-435	60.1	28.1	0.51	0.21	L 0.05	L 0.10	L 0.01	0.02	L 0.01	0.51	L 0.05
SG-438	57.6	29.5	0.65	0.21	L 0.05	L 0.10	L 0.01	0.02	L 0.01	0.74	L 0.05
SG-443	54.1	32.0	0.58	0.21	L 0.05	L 0.10	L 0.01	0.02	L 0.01	0.81	L 0.05
SG-445	58.3	29.3	0.63	0.14	L 0.05	L 0.10	L 0.01	0.02	L 0.01	0.70	L 0.05
MEDIA	57.5	29.7	0.59	0.19	L 0.05	L 0.10	L 0.01	0.02	L 0.01	0.69	L 0.05
SG-452 **	77.5	11.4	2.40	2.30	L 0.05	L 0.10	0.01	0.22	0.01	0.60	0.05

AMOSTRAS %	Cr ₂ O ₃	NiO	F	P.F.	SOMA TOTAL	O=F	SOMA FINAL	S	CO ₂	Fe tt	U (ppm)
SG-435	0.008	L 0.003	0.012	10.36	99.83	L 0.01	99.83	0.008	0.11	0.52	L 1
SG-438	0.009	L 0.003	0.010	11.09	99.83	L 0.01	99.83	0.010	0.13	0.61	L 1
SG-443	0.009	0.004	0.017	12.07	99.82	L 0.01	99.82	0.011	0.09	0.57	L 1
SG-445	0.009	0.003	0.016	10.75	99.87	L 0.01	99.87	0.010	0.13	0.55	L 1
MEDIA	0.009	< 0.003	0.014	11.07	99.84	L 0.01	99.87	0.010	0.11	0.56	L 1
SG-452 **	0.016	0.004	0.011	5.29	99.81	L 0.01	99.81	L 0.005	0.07	3.47	L 1

AMOSTRAS (ppm)	Cl	B	Ba	Be	Cr	Cu	Ga	Ni	Pb	Sc	Sn	V	Zr	Y	Sr
SG-435	L 20	L 10	22	L 2	48	10	28	18	20	6	L 5	96	710	14	19
SG-438	L 20	L 10	20	L 2	65	10	32	9	20	L 5	L 5	86	970	18	15
SG-443	L 20	L 10	20	L 2	64	12	37	28	20	9	L 5	104	700	18	20
SG-445	L 20	L 10	22	L 2	65	11	34	23	36	13	L 5	122	590	13	20
MEDIA	L 20	L 10	21	L 2	60.5	10.7	32.7	19.7	24	< 8	L 5	102	742.5	15.7	18
SG-452 **	L 20	L 10	560	L 2	100	36	32	30	32	24	L 5	100	180	25	56

AMOSTRAS (ppm)	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Yb	Lu
SG-435	18.68	26.11	4.43	0.60	0.13	0.54	0.70	0.16	0.57	0.84	0.14
SG-438	16.91	20.90	4.06	0.61	0.13	0.55	0.85	0.21	0.81	1.10	0.17
SG-443	38.81	44.89	7.03	0.79	0.17	0.79	0.96	0.21	0.69	1.22	0.20
SG-445	24.73	32.23	5.15	0.52	0.13	0.57	0.60	0.13	0.41	0.60	0.10
MEDIA	24.78	31.03	5.17	0.63	0.14	0.61	0.78	0.18	0.62	0.94	0.15
SG-452 **	37.04	68.09	23.45	3.72	0.61	2.94	3.06	0.64	1.94	1.89	0.26

** - Rocha-mãe

L - Limite de detecção

Os teores dos elementos traços no caulim de Manaus-Itacoatiara são semelhantes aos da rocha-mãe, principalmente Cl, B, Be, Ga, Ni, Pb, Sn, V, S e U. Por sua vez Ba, Cr, Cu, Sc, Y, Sr e ETR mostram teores mais baixos no caulim, sendo a depleção mais acentuada para Ba e Cr. O Zr, por outro lado, apresenta um comportamento inverso dos demais elementos, ou seja, encontra-se em teores mais elevados no caulim (Tabela 15).

5.2.2.1 Elementos terras raras

As concentrações tanto dos ETRL como dos ETRP no caulim de Manaus-Itacoatiara estão abaixo da média crustal. Os teores na rocha-mãe são superiores aos do caulim e próximos da média crustal. Da mesma forma que em São Gabriel da Cachoeira, houve um empobrecimento em ETR no caulim em relação à rocha-mãe. O fator de empobrecimento é da ordem de 2, muito semelhante, portanto, ao observado em perfis lateríticos onde ocorrem níveis caulínicos (COSTA, 1991).

As curvas normalizadas aos condritos apresentam forte depleção em ETRL e ligeiro empobrecimento em ETRP. Nota-se, também uma forte anomalia negativa de Eu e uma leve anomalia positiva de Gd (Tabela 15, Figura 23). A anomalia de Eu da mesma forma que em São Gabriel da Cachoeira parece ser herdada.

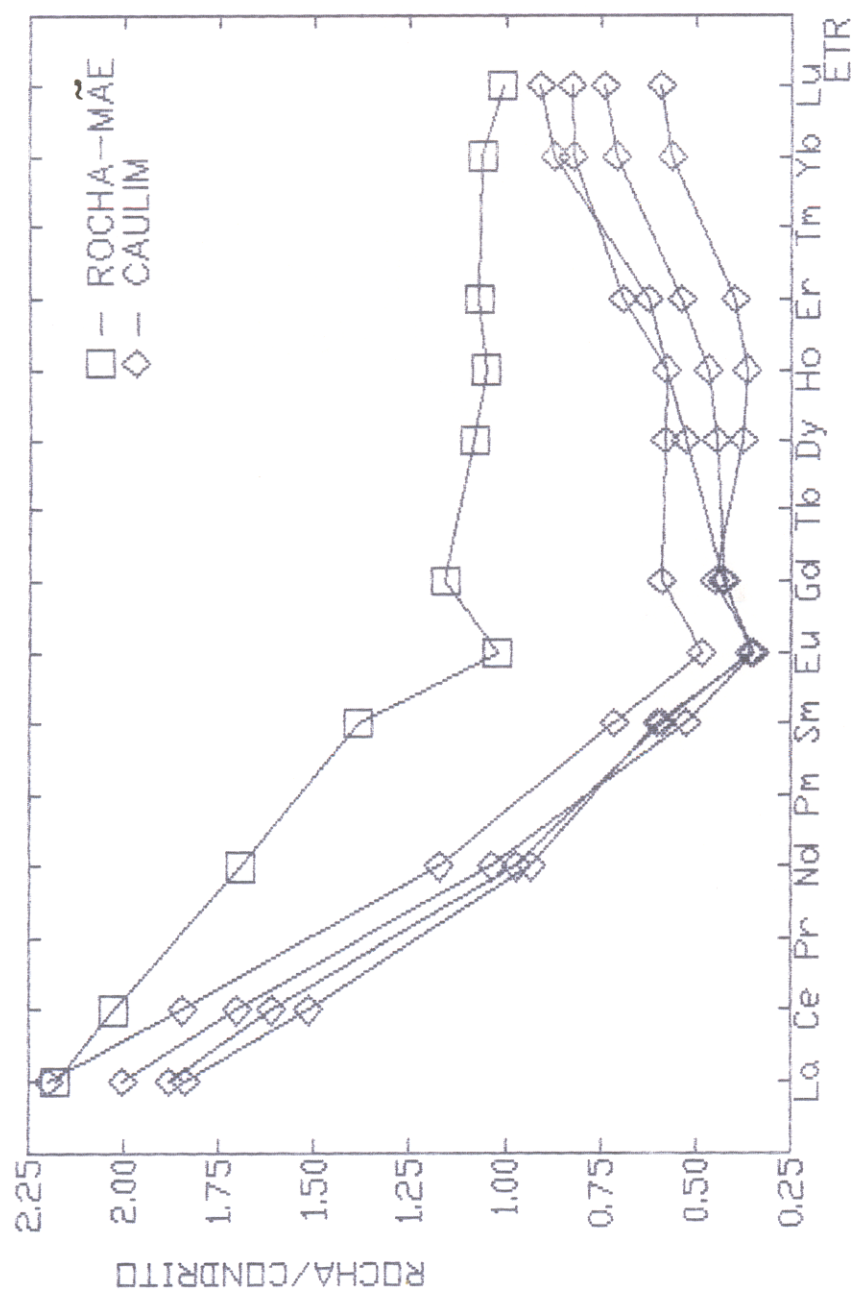


Figura 23. Curvas de distribuição dos ETR na rocha-mãe e em amostras representativas do caulim de Manaus - Itacoatiara.

Observa-se, portanto, que o padrão geral de distribuição dos ETR reflete claramente a solubilidade desses elementos durante o intemperismo laterítico. No entanto, essa mobilidade não ocorre de forma homogênea para todos os ETR, percebendo-se fracionamento diferenciado dos elementos, e por vezes, provocando enriquecimento relativo como no caso do La na amostra SG-443 (Tabela 15, Figura 23).

5.2.3 Análise química por microsonda eletrônica

No setor de Manaus-Itacoatiara foram analisadas 3 amostras por microsonda eletrônica (Tabela 16, Figura 24).

Na amostra SG-437 os pontos 1 e 2 tem composição da caolinita. Os pontos 3a, 3b e 3c correspondem a um partícula bastante degradada formada por bandas de muscovita-illita (3a e 3c) e bandas de caolinita, com muscovita-illita subordinada (3b), mostrando que em Manaus-Itacoatiara a muscovita resistiu ao intemperismo.

Na amostra SG-444 foram analisados 4 pontos, sendo que todos esses pontos correspondem essencialmente ao mineral caolinita.

Na amostra SG-452 (rocha-mãe) foram analisadas a porção branca e a parte avermelhada. Na porção branca o ponto 1a corresponde a um grão de quartzo, os pontos 1b, 2 e 3 representam uma matriz criptocristalina constituída de quartzo e caolinita e o ponto 4 tem a composição do mineral biotita. Os pontos 5a e 5b na parte avermelhada correspondem a um esferólito ferruginoso de composição essencialmente hematítica com caolinita subordinada.

Os teores de ferro e titânio nesse caulim são superiores aos de São Gabriel da Cachoeira.

Tabela 16 - Análise por microsonda eletrônica da caolinita e minerais associados do caulim da área de Manaus-Itacoatiara.

AMOSTRAS	PONTOS	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	MnO	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	BaO	SiO ₂ /Al ₂	MINERALOGIA
SG-437	1	47.26	39.49	0.56	0.008	0.000	0.033	0.000	0.02	0.01	0.03	0.000	0.000	1.19	100% caolinita; < 1% quartzo
	2	45.20	37.62	0.54	0.035	0.000	0.023	0.000	0.30	0.00	0.00	0.027	0.107	1.20	96% caolinita; 4% muscovita-illita
	3 a	45.29	32.89	4.04	0.000	0.685	0.257	0.048	8.01	0.75	0.00	0.025	0.000	1.37	80% muscovita-illita; 4% hematita; 9% quartzo; 9% caolinita
	3 b	47.60	38.78	1.13	0.009	0.120	0.068	0.000	1.13	0.11	0.00	0.040	0.065	1.23	88 caolinita; 11% muscovita-illita; 1% hematita
	3 c	43.38	34.31	1.81	0.014	0.279	0.159	0.279	8.02	0.26	0.02	0.003	0.109	1.26	80% muscovita-illita; 1.8% hematita; 12% caolinita; 2% quartzo
SG-444	1	45.29	39.84	0.58	0.031	0.031	0.058	0.000	0.02	0.95	0.07	0.000	0.000	1.13	98% caolinita; 2% gibbsita
	2	47.33	38.97	1.13	0.023	0.081	0.035	0.004	0.32	0.02	0.01	0.000	0.108	1.21	96% caolinita; 3% illitarmuscovita; 1% hematita
	3	48.09	39.22	0.88	0.023	0.047	0.037	0.000	0.08	0.01	0.00	0.008	0.062	1.22	100% caolinita
	4	46.71	39.21	0.75	0.027	0.032	0.048	0.010	0.23	0.00	0.02	0.007	0.000	1.19	98% caolinita; 2% illitarmuscovita
SG-452 *	1 a	94.03	0.22	0.027	0.009	0.003	0.013	0.017	0.00	0.03	0.03	0.053	0.000	427.41	> 94% quartzo
	1 b	78.90	11.98	0.65	0.044	0.034	0.031	0.034	0.14	0.20	0.05	0.012	0.000	6.58	65% quartzo; 30% caolinita; 1.4% illitarmuscovita
	2	82.25	8.02	0.44	0.04	0.040	0.025	0.000	0.15	0.32	0.01	0.000	0.083	10.25	73% quartzo; 20% caolinita; 1.5 illitarmuscovita
	3	77.54	11.78	1.16	0.034	0.027	0.016	0.000	0.12	0.32	0.02	0.007	0.089	6.58	64% quartzo; 30% caolinita; 1.2% illitarmuscovita
	4	36.64	15.75	22.07	0.025	5.603	0.062	0.173	6.93	1.57	0.01	0.023	0.058	2.32	100% biotita + smectita
	5 a	3.59	4.58	77.84	0.063	0.184	0.033	0.075	0.03	1.04	0.76	0.036	0.000	0.78	> 78% hematita/goethita; 8% caolinita; 2.3% gibbsita; anatásio
	5 b	4.77	4.96	77.09	0.09	0.180	0.012	1.067	0.02	1.01	0.85	0.039	0.000	0.96	> 77% hematita; 10% caolinita; 1.5 gibbsita; anatásio

* Rocha-mãe

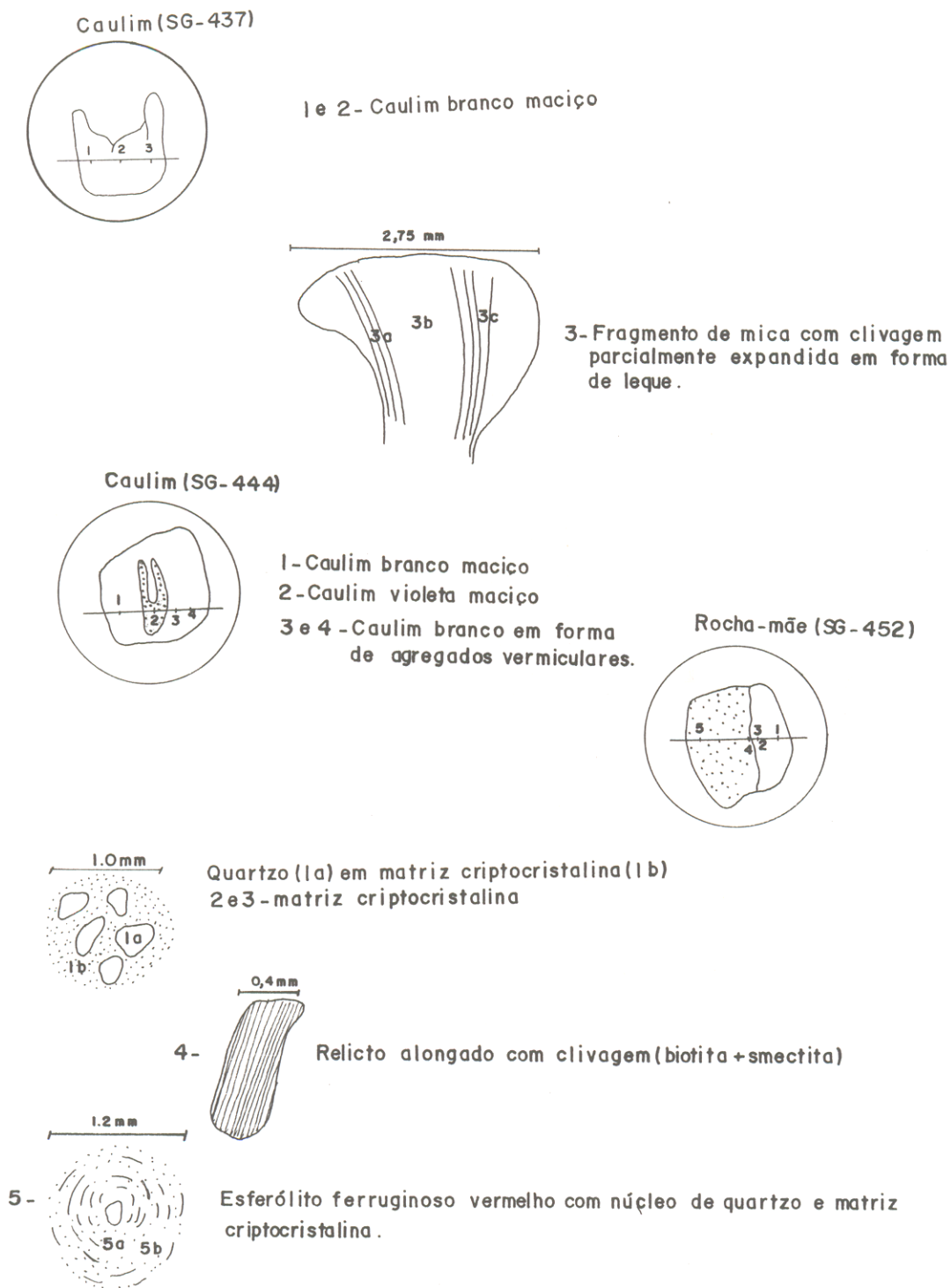


Figura 24 - Caulim e rocha-mãe da área de Manaus - Itacoatiara analisado por microsonda eletrônica.

5.3 CAULIM DA BR-010/RIO CAPIM

5.3.1 Composição química

A composição química de amostras representativas do caulim da BR-010/Rio Capim são mostradas nas tabelas 17 e 18. SiO_2 e Al_2O_3 são os componentes mais abundantes, em média ocorrendo respectivamente com 48.1 e 35.2 %, ou seja mais de 80% do total de cada amostra. O teor de Fe_2O_3 encontra-se próximo da unidade. TiO_2 apresenta teores da ordem de 2% em média, enquanto que os teores de CaO , MgO , Na_2O , K_2O e MnO se situam abaixo de 0.1%. Os teores de P_2O_5 são normalmente inferiores 0.1%, sendo que em algumas amostras ultrapassam esse valor, podendo chegar até próximo de 0.7% (Tabelas 17 e 18).

O caulim da BR-010/Rio Capim apresenta teores de Al_2O_3 , TiO_2 e P_2O_5 superiores aos de São Gabriel da Cachoeira e Manaus-Itacoatiara.

Tal composição química expressa a grande abundância de caolinita e um baixo conteúdo de quartzo no caulim da BR-010/Rio Capim. Os teores de TiO_2 são semelhantes aos encontrados por COSTA (1991) em lateritos, onde ocorrem níveis caulínicos e encontram-se como anatásio.

Tabela 17. Composição química do caulim da rodovia BR-010 (Belém-Brasília).

AMOSTRAS %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅
KM-43/01	53.8	31.3	1.10	0.21	L 0.05	L 0.10	L 0.01	0.05	L 0.01	1.30	0.07
KM-43/03	44.2	37.8	0.97	0.21	0.05	L 0.10	0.01	0.03	L 0.01	1.80	0.24
JZ-61/01 **	43.1	38.3	0.49	0.21	L 0.05	L 0.10	0.01	0.01	L 0.01	2.90	0.09
JZ-61/02	46.1	36.2	0.56	0.14	L 0.05	L 0.10	0.02	0.01	L 0.01	2.60	0.09
JZ-67/01	43.5	38.1	0.56	0.14	L 0.05	L 0.10	0.01	0.04	L 0.01	1.90	0.69
JZ-67/02 **	43.4	38.6	0.97	0.21	L 0.05	L 0.10	0.02	L 0.01	L 0.01	2.00	0.08
MEDIA	45.7	36.7	0.77	0.18	< 0.05	L 0.10	< 0.01	< 0.02	L 0.01	2.00	0.21

AMOSTRAS %	Cr ₂ O ₃	NiO	F	P.F.	SOMA TOTAL	O=F	SOMA FINAL	S	CO ₂	Fe tt	H (ppm)
KM-43/01	0.011	0.003	0.010	11.88	99.74	L 0.01	99.74	0.019	0.13	0.93	2
KM-43/03	0.022	0.006	0.023	14.41	99.77	0.01	99.76	0.019	0.18	0.84	2
JZ-61/01 **	0.047	0.006	0.000	14.46	99.63	L 0.01	99.63	0.045	0.11	0.50	2
JZ-61/02	0.034	0.005	0.010	13.90	99.67	L 0.01	99.67	0.035	0.07	0.50	2
JZ-67/01	0.027	0.007	0.046	14.11	99.13	0.02	99.11	0.072	0.11	0.50	3
JZ-67/02 **	0.027	0.003	0.006	14.46	99.83	L 0.01	99.83	0.024	0.18	0.84	1
MEDIA	0.028	0.005	0.018	13.87	99.62	< 0.01	99.62	0.035	0.13	0.68	2

AMOSTRAS (ppm)	Cl	B	Ba	Be	Cr	Cu	Ga	Ni	Pb	Sc	Sn	V	Zr	Y	Sr
KM-43/01	L 20	L 10	130	L 2	72	18	40	26	94	10	L 5	72	900	47	110
KM-43/03	26	L 10	640	L 2	152	26	59	47	260	26	L 5	124	98	61	370
JZ-61/01 **	28	10	122	L 2	320	20	64	44	120	32	L 5	122	2660	61	240
JZ-61-02	L 20	10	150	L 2	235	25	55	38	106	35	L 5	128	2590	66	260
JZ-67/01	L 20	L 10	3810	L 2	183	19	56	54	310	24	L 5	176	700	64	1300
JZ-67/02 **	64	L 10	73	L 2	183	22	50	24	70	20	L 5	106	1840	44	250
MEDIA	< 29	< 12	821	L 2	191	21.6	55.3	38.8	193	24.5	L 5	121	1464	57	421.6

AMOSTRAS (ppm)	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Yb	Lu
KM-43/01	103.00	214.60	93.49	17.70	2.92	10.98	5.65	1.06	2.53	2.31	0.31
KM-43/03	224.00	567.50	215.20	36.36	5.76	20.25	10.19	1.82	3.82	3.08	0.43
JZ-61/01 **	124.10	235.40	61.79	7.81	1.18	4.16	5.05	1.16	3.88	5.25	0.75
JZ-61/02	124.80	250.60	77.57	9.94	1.52	5.56	5.75	1.29	4.17	5.13	0.73
JZ-67/01	555.90	1173.00	575.40	117.20	20.32	64.29	21.35	3.45	5.26	2.85	0.39
JZ-67/02 **	99.96	184.90	53.63	7.58	1.27	4.80	4.40	0.96	3.02	3.77	0.53
MEDIA	205.29	473.66	179.51	32.66	5.49	18.34	8.72	1.62	3.78	3.73	0.52

** - Caulim porcelanado

L - Limite de detecção

Tabela 18. Composição química do caulim do Rio Capim.

AMOSTRAS %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅				
RC-01	63.1	25.0	0.74	0.07	L 0.05	L 0.10	0.02	0.12	L 0.01	1.20	0.06				
RC-02	44.2	38.3	0.93	0.15	L 0.05	L 0.10	0.02	0.02	0.02	1.90	0.08				
RC-03	57.9	29.3	0.47	0.38	L 0.05	L 0.10	0.01	0.02	0.01	0.94	L 0.05				
RC-04	43.3	37.8	1.30	0.15	L 0.05	L 0.10	0.01	0.01	0.01	2.70	0.06				
RC-05	43.9	38.4	0.93	0.15	L 0.05	L 0.10	0.01	0.02	L 0.01	2.40	0.05				
MEDIA	50.5	33.7	0.87	0.18	L 0.05	L 0.10	0.014	0.038	0.01	1.80	0.06				
AMOSTRAS %	Cr ₂ O ₃	NiO	F	P.F.	SOMA TOTAL	O-F	SOMA FINAL	S	CO ₂	Fe tt	H (ppm)				
RC-01	0.016	0.003	0.012	9.51	99.85	L 0.01	99.85	0.010	0.13	0.57	2				
RC-02	L 0.01	L 0.01	0.022	14.60	99.60	0.01	99.59	0.010	0.25	0.77	N.D				
RC-03	L 0.01	L 0.01	0.041	10.82	99.76	0.02	99.74	L 0.005	0.35	0.63	N.D				
RC-04	L 0.01	L 0.01	0.038	14.57	99.55	0.02	99.53	0.022	0.35	1.03	N.D				
RC-05	L 0.01	L 0.01	0.027	14.15	99.66	0.01	99.65	0.022	0.40	0.77	N.D				
MEDIA	L 0.01	L 0.01	0.028	12.73	99.68	0.014	99.67	0.014	0.29	0.75	N.D				
AMOSTRAS (ppm)	Cl	B	Ba	Be	Cr	Cu	Ga	Ni	Pb	Sc	Sn	V	Zr	Y	Sr
RC-01	L 20	13	86	L 2	100	22	42	23	66	27	L 5	150	830	49	80
RC-02	L 20	10	42	L 2	32	L 5	26	15	150	L 5	L 5	50	2400	30	88
RC-03	L 20	L 10	23	L 2	17	L 5	20	14	50	L 5	L 5	60	1200	30	24
RC-04	L 20	L 10	20	L 2	120	L 5	42	25	80	13	L 5	112	2800	82	86
RC-05	L 20	L 10	51	L 2	47	L 5	38	16	50	13	L 5	124	2200	56	48
MEDIA	L 20	10.6	44.4	L 2	64.8	8.4	33.6	18.6	79.2	12.6	L 5	100.8	1886	49.4	65.2
AMOSTRAS (ppm)	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Yb	Lu				
RC-01	76.19	197.60	56.24	8.07	1.26	4.55	3.89	0.86	2.71	3.00	0.42				
RC-02	119.40	265.90	51.99	6.62	1.12	3.99	4.10	1.14	3.76	5.06	0.89				
RC-03	30.98	60.06	12.74	2.10	0.41	1.87	2.80	0.64	2.17	2.88	0.42				
RC-04	66.12	158.00	59.11	6.32	0.99	2.98	3.81	0.86	2.80	4.25	0.56				
RC-05	50.31	125.10	50.26	6.41	0.93	3.02	3.84	0.89	3.05	4.00	0.54				
MEDIA	70.20	161.33	46.07	5.90	0.94	3.28	3.87	0.88	2.90	3.84	0.57				

N.D - Não Determinado.

L - Limite de detecção

5.3.2 Elementos traços

As concentrações dos elementos traços no caulim da BR-010/Rio Capim estão indicados nas tabelas 17 e 18. Nelas verifica-se que os teores de U, B, Be, Cr, Sc, Sn, V, Y e Sr encontram-se a nível da média crustal. Os teores de F, S, Cl, Cu e Ni são inferiores as médias crustais, enquanto que Ba, Ga, Pb e, Zr são superiores.

No caulim da BR-010/Rio Capim verifica-se ainda que os teores de Ba, Pb, V e Sr aumentam junto com o de P_2O_5 , que corresponde aos fosfatos de alumínio, fato verificado nos lateritos fosfáticos em Itacupim, Malcuru e Jandiá, segundo OLIVEIRA & SCHWAB (1980), LEMOS & COSTA (1987) e COSTA (1990b).

5.3.2.1 Elementos terras raras

As concentrações dos ETR no caulim da BR-010/Rio Capim são superiores a média crustal, tanto para os ETRL como para os ETRP (Tabelas 17 e 18, Figura 25). Tal fato permite distinguir este caulim dos caulins de São Gabriel da Cachoeira e Manaus-Itacoatiara.

Os teores normalizadas aos condritos mostram uma depleção mais acentuada dos ETRL do que dos ETRP como nos demais caulins, exceto nas amostras que contém teores mais elevados de fosfato, nas quais uma depleção semelhante se verifica para todos os ETR (Figura 25). As curvas apresentam forte a moderada anomalia negativa em Eu e uma leve anomalia positiva em Ce (Figura 25).

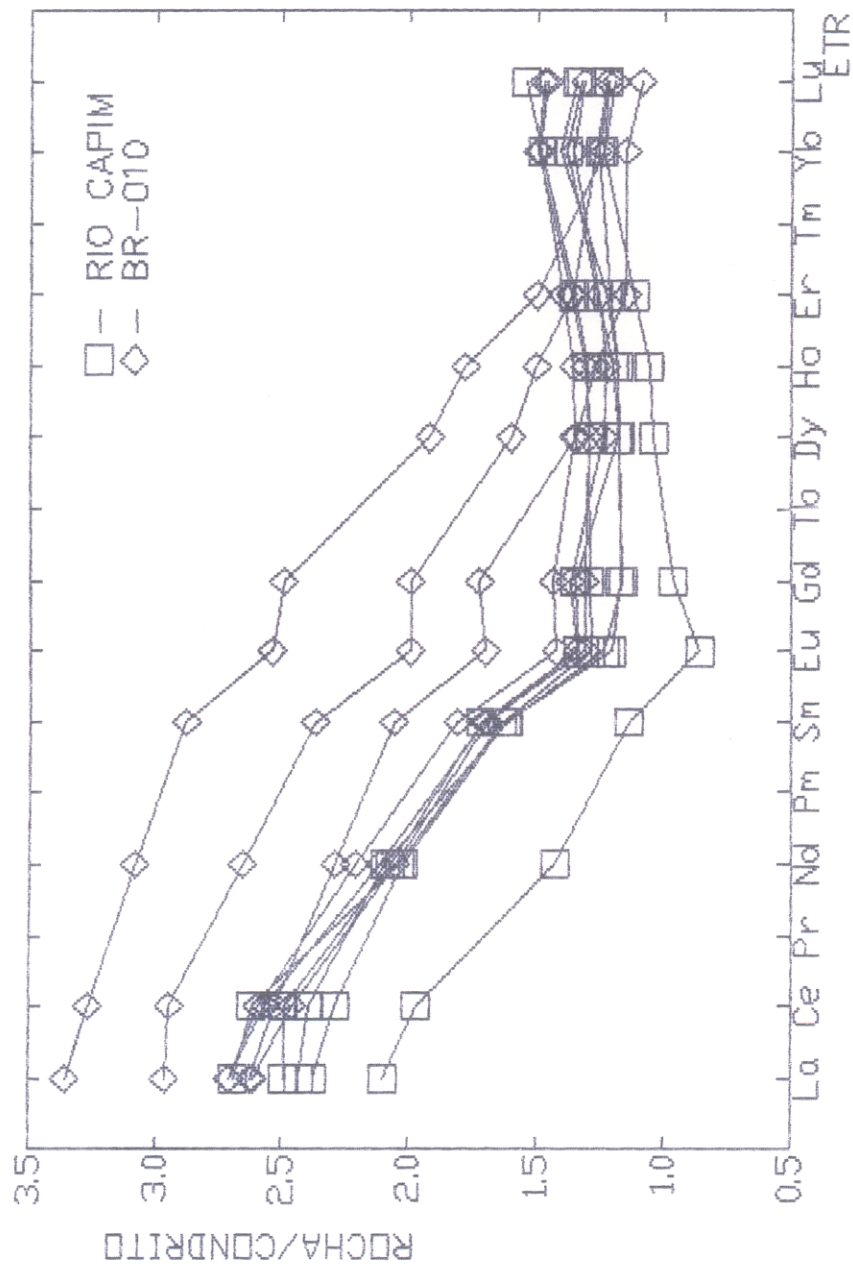


Figura 25. Curvas de distribuição dos ETR em amostras representativas dos caulins da BR-010/Rio Capim.

5.3.3 Análise química por microsonda eletrônica

Análises por microsonda eletrônica foram realizadas em duas amostras do caulim da BR-010/Rio Capim (Tabela 19, Figura 26).

Na amostra RC-02 foram analisadas as porções branca e avermelhada. Na parte branca os pontos 1 e 2 correspondem a composição do mineral caulinita, com baixos teores de ferro e titânio o ponto 3 (zona de contato) é representado essencialmente por caulinita com hematita subordinada. A porção vermelha ponto 4, também tem composição caulínitica, só que com maior teor de hematita que o ponto 3.

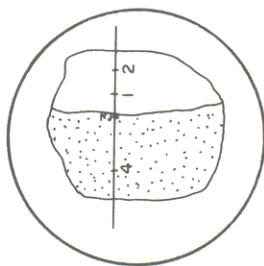
Na amostra JZ-67/02 foram analisados 3 pontos, sendo que todos esses pontos representam o mineral caulinita com baixo teor de ferro. Nessa amostra foram detectados ainda teores relativamente baixos de fosfato.

O teor de ferro nesse caulim é superior ao do caulim de São Gabriel da Cachoeira e semelhante ao de Manaus-Itacoatiara, enquanto que o teor de titânio é superior aos dos outros dois depósitos.

Tabela 19 - Análise por microsonda eletrônica da caolinita e minerais associados do caulim da área da BR-010/Rio Capim.

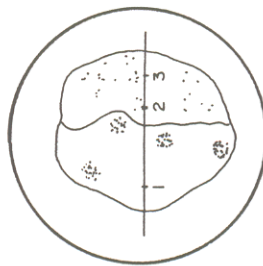
AMOSTRAS PONTOS		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	MnO	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	SrO	BaO	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	MINERALOGIA
RC-02	1	46.73	38.07	1.01	0.023	0.004	0.045	0.000	0.03	0.130	0.040	0.061	0.147	0.000	1.23	99.5 % caolinita; 0.5% quartzo
	2	47.68	38.95	0.67	0.036	0.030	0.000	0.000	0.05	0.300	0.020	0.003	0.000	0.121	1.22	98.5 % caolinita; 1.5% quartzo
	3	40.51	35.03	9.13	0.030	0.028	0.025	0.000	0.02	1.290	0.050	0.032	0.000	0.020	1.15	88.4% caolinita; 9% hematita; 1.3% anatásio
	4	40.60	34.03	17.72	0.028	0.041	0.088	0.005	0.07	1.000	0.030	0.052	0.000	0.000	1.19	85% caolinita; 18% hematita; 1% anatásio
JZ-67/02	1	45.53	39.21	0.65	0.063	0.041	0.047	0.000	0.02	1.330	0.520	0.000	0.000	0.044	1.16	98% caolinita; 1.3% anatásio; 1.2% fosfato
	2	46.49	40.01	0.43	0.043	0.023	0.022	0.023	0.04	1.600	0.310	0.042	0.100	0.000	1.16	98% caolinita; 1.6% anatásio; 0.7% fosfato
	3	45.42	38.90	0.71	0.052	0.039	0.050	0.000	0.03	1.350	0.140	0.055	0.036	0.068	1.17	98% caolinita; 1.3% anatásio

Caulim(RC-O2)



- 1 e 2 - Caulim branco maciço
- 3 - Zona de transição entre caulim branco e violeta
- 4 - Caulim violeta maciço

Caulim(J7-67/O2)



- 1 - Caulim branco maciço
- 2 e 3 - Caulim violeta maciço

Figura 26 - Caulim da área da Br-OIO/Rio Capim analisado por microsonda eletrônica.

6 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

6.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA

As análises químicas das várias frações obtidas nos caulins de São Gabriel da Cachoeira e Manaus-Itacoatiara (Tabela 20, Figuras 27 e 28) mostram que a fração menor que 37 μm desses depósitos de caulim apresenta teores de SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , Na_2O e CaO muito semelhantes entre si, enquanto que os teores de K_2O são mais elevados em São Gabriel da Cachoeira que em Manaus-Itacoatiara, devido a presença de maior quantidade de muscovita nesse caulim. Essas análises mostram ainda que os teores de Al_2O_3 e a perda ao fogo aumentam com a diminuição da granulometria. Já os teores de Fe_2O_3 e o TiO_2 são geralmente mais elevados no intervalo de 177 a 44 μm (Figuras 29 e 30).

6.2 PROPRIEDADES FÍSICAS

6.2.1 Granulometria

As análises granulométricas desses caulins (Tabelas 21 e 22, Figura 31) mostram que o caulim de Manaus-Itacoatiara apresenta mais de 70 % de passante na fração menor que 37 μm , enquanto que no caulim de São Gabriel da Cachoeira esse teor é inferior a 60 %. Isto ocorre devido a presença de maior quantidade de quartzo no caulim de São Gabriel da Cachoeira, fato confirmado pela difração de raios-x, que mostra também que o argilomineral contido nessa fração é essencialmente caolinita (Figura 32).

Tabela 20. Análise química dos componentes principais dos caulins de São Gabriel da Cachoeira e Manaus-Itacoatiara.

AMOSTRAS	PENEIRA (μm)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe tt	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	P. F
MANAUS-ITACOATIARA									
SG-445	595	n.d	2.65	0.04	0.11	n.d	n.d	n.d	n.d
SG-445	500	n.d	1.49	0.04	0.13	n.d	n.d	n.d	n.d
SG-445	210	n.d	2.43	0.14	0.73	n.d	n.d	n.d	n.d
SG-445	177	n.d	4.90	0.75	3.68	n.d	n.d	n.d	n.d
SG-445	105	n.d	10.50	0.77	3.89	n.d	n.d	n.d	n.d
SG-445	53	n.d	23.71	0.65	3.59	0.05	0.04	0.04	6.42
SG-445	44	n.d	31.76	0.51	2.21	0.04	0.08	0.04	11.80
SG-445	37	n.d	36.49	0.53	1.52	0.08	0.03	0.08	13.57
SG-445	< 37	44.9	38.00	0.39	0.52	0.04	0.06	0.06	13.97
SG-435	595	n.d	1.06	0.07	0.20	n.d	n.d	n.d	n.d
SG-435	500	n.d	0.56	0.04	0.00	n.d	n.d	n.d	n.d
SG-435	210	n.d	1.14	0.04	0.11	n.d	n.d	n.d	n.d
SG-435	177	n.d	2.14	0.16	0.71	n.d	n.d	n.d	n.d
SG-435	105	n.d	7.83	0.24	1.68	n.d	n.d	n.d	n.d
SG-435	53	n.d	17.08	0.29	2.28	0.09	0.03	0.03	6.06
SG-435	44	n.d	27.21	0.33	1.77	0.07	0.05	0.04	9.75
SG-435	37	n.d	36.74	0.41	1.25	0.10	0.04	0.05	12.21
SG-435	< 37	45.1	39.09	0.43	0.59	0.08	0.06	0.05	13.32
SÃO GABRIEL DA CACHOEIRA									
SG-401	595	n.d	0.99	0.02	0.50	n.d	n.d	n.d	n.d
SG-401	500	n.d	1.14	0.02	0.36	n.d	n.d	n.d	n.d
SG-401	210	n.d	2.00	0.01	0.00	n.d	n.d	n.d	n.d
SG-401	177	n.d	4.39	0.11	0.18	n.d	n.d	n.d	n.d
SG-401	105	n.d	12.83	0.17	0.50	n.d	n.d	n.d	n.d
SG-401	53	n.d	23.00	0.43	1.37	0.70	0.08	0.06	6.14
SG-401	44	n.d	29.39	0.63	1.07	1.34	0.10	0.14	8.16
SG-401	37	n.d	28.58	0.73	0.00	1.52	0.07	0.03	10.22
SG-401	< 37	45.0	38.29	0.41	0.52	1.12	0.05	0.08	11.54

n.d - não determinado

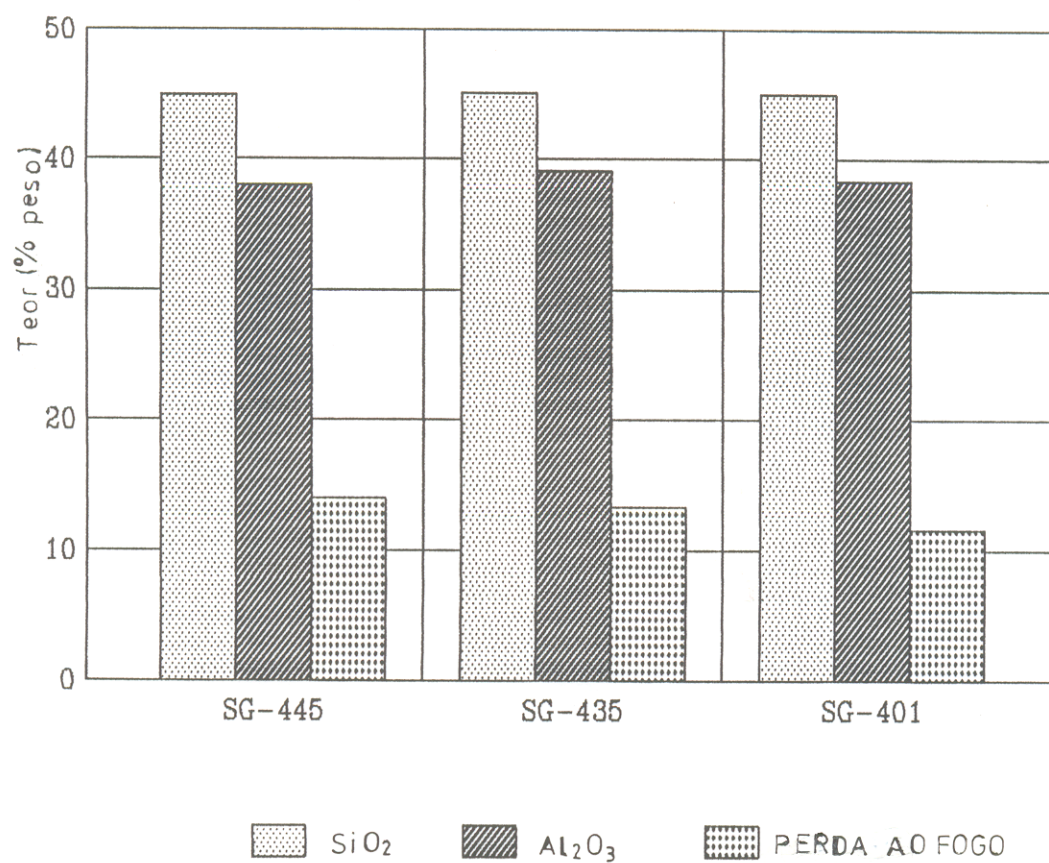


Figura 27. Teores de SiO₂, Al₂O₃ e Perda ao Fogo na fração menor que 37 μ m dos caulins de São Gabriel da Cachoeira (SG-401) Manaus-Itacoatiara (SG-445 e SG-435).

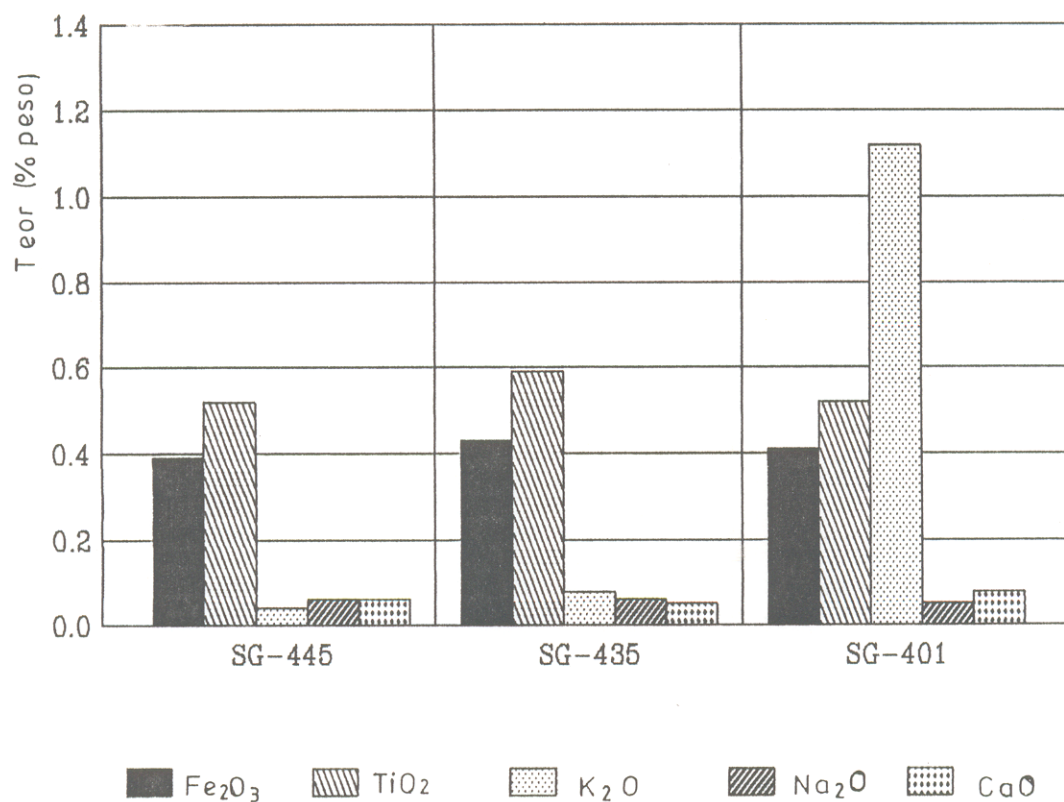


Figura 28. Teores de Fe₂O₃, TiO₂, K₂O, Na₂O e CaO na fração menor que 37 μ m dos caulins de São Gabriel da Cachoeira (SG-401) e Manaus - Itacoatiara (SG-445 e SG-435).

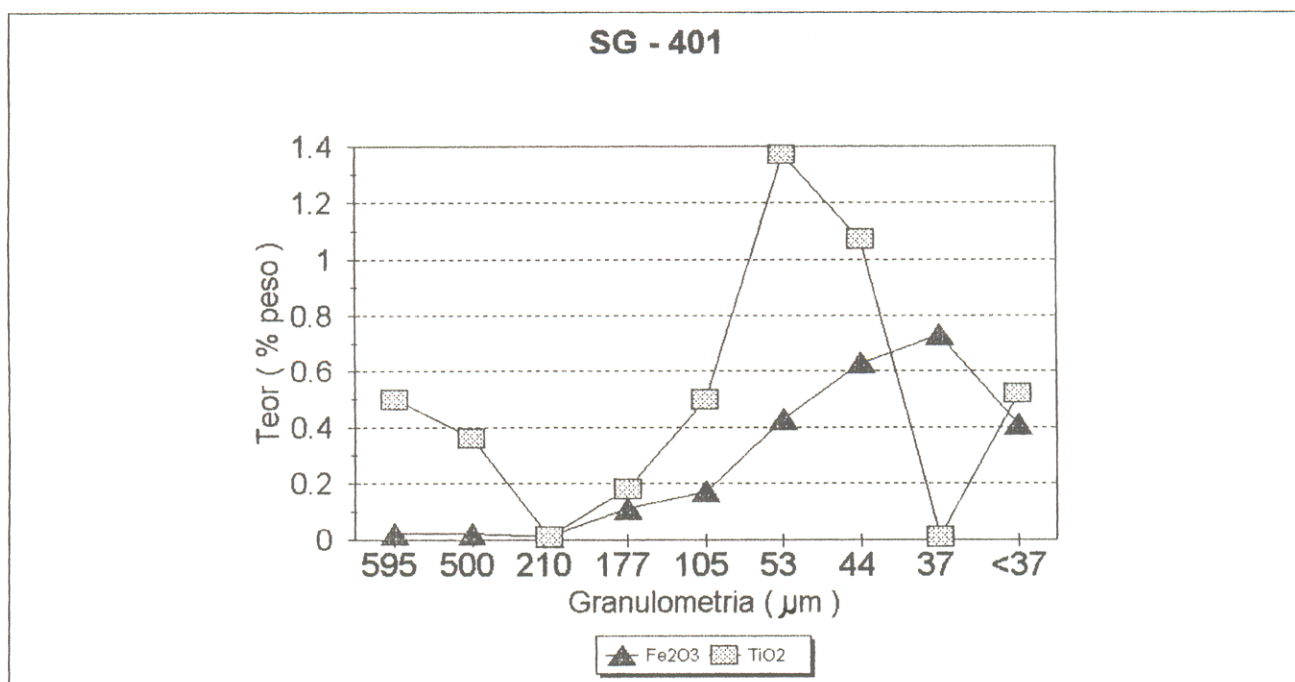


Figura 29 - Variação dos teores de Fe₂O₃ e TiO₂ no caulim de São Gabriel da Cachoeira - AM em função da distribuição granulométrica.

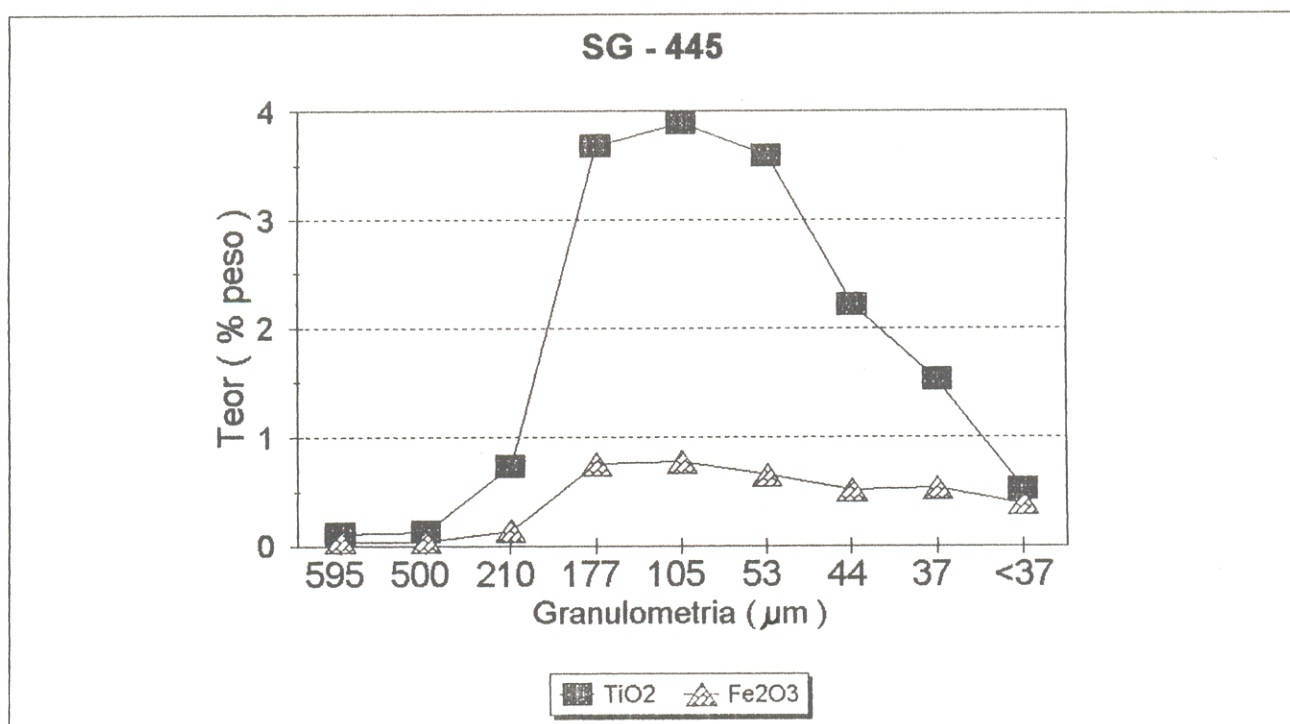
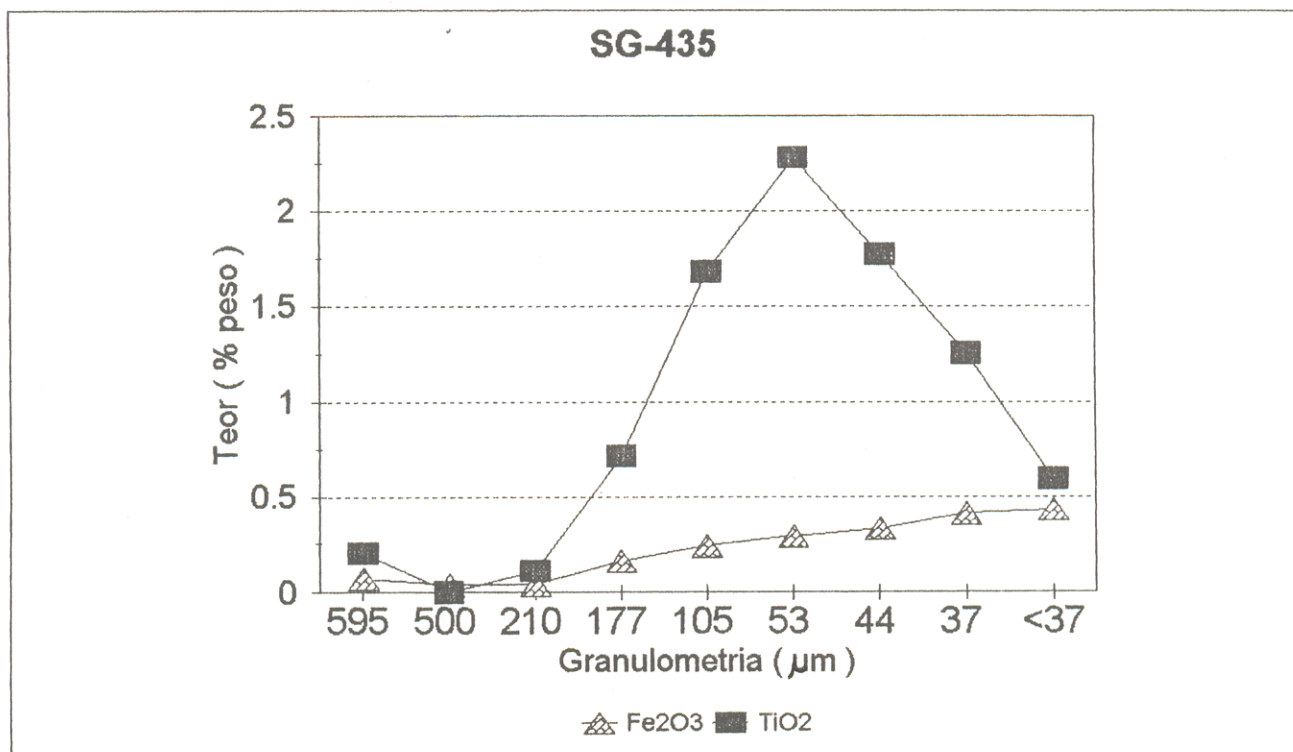


Figura 30 - Variação dos teores de Fe₂O₃ e TiO₂ no caulim de Manaus-Itacoatiara em função da distribuição granulométrica.

Tabela 21. Análise granulométrica do caulim de São Gabriel da Cachoeira.

AMOSTRA	PENEIRA (μm)	% ACUMULADO	% PASSANTE
SG-401	1410	3.600	98.921
	595	16.467	83.533
	500	19.667	80.333
	210	28.667	71.333
	177	30.133	69.867
	105	34.000	66.000
	53	38.333	61.667
	44	40.867	59.133
	37	41.800	58.200
	< 37	100.000	0.000

Tabela 22. Análise granulométrica do caulim de Manaus-Itacoatiara.

AMOSTRA	PENEIRA (μm)	% ACUMULADO	% PASSANTE
SG-435	1410	0.400	99.600
	595	2.467	97.533
	500	3.933	96.067
	210	14.600	85.400
	177	17.400	82.600
	105	23.933	76.067
	53	27.867	72.133
	44	29.333	70.667
	37	30.200	69.800
	< 37	100.000	0.000
SG-445	1410	1.079	98.921
	595	6.743	93.257
	500	8.901	91.099
	210	17.667	82.333
	177	19.016	80.984
	105	21.376	78.624
	53	23.331	76.669
	44	24.140	75.860
	37	24.612	75.388
	< 37	100.000	0.000

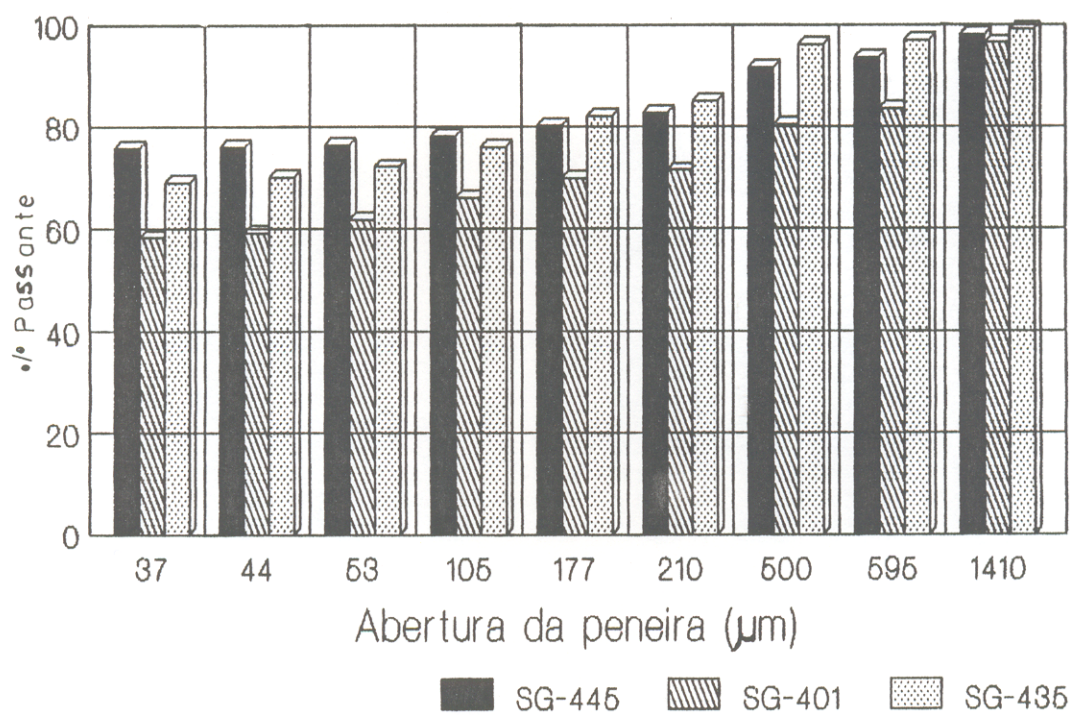


Figura 31. Análise granulométrica dos caulins de São Gabriel da Cachoeira (SG-401) e Manaus-Itacoatiara (SG-445 e SG-435).

6.2.2 Análise térmica diferencial

A Análise Térmica Diferencial (ATD) da fração inferior a 37 μm dos caulins de São Gabriel da Cachoeira e de Manaus-Itacoatiara (Figura 33), indica que a caolinita de Manaus-Itacoatiara apresenta grau de cristalinidade superior à da caolinita de São Gabriel da Cachoeira. Por outro lado o caulim de São Gabriel da Cachoeira, possui um certo teor de dickita que é evidenciada pelo pico endotérmico situado na região de 690°C. Tal fato é confirmado pela difração de raios-x (Figura 32).

6.2.3 - Cristalinidade

O grau de cristalinidade da fração menor que 37 μm dos caulins de São Gabriel da Cachoeira e Manaus-Itacoatiara, calculado através da difração de raios-x (Figura 32), pelo método de Hincley (1954) e Range et al. (1969) apud THOREZ (1976), revela que a cristalinidade do caulim de São Gabriel da Cachoeira fica em torno de 1.03, enquanto que a do caulim de Manaus-Itacoatiara é de 1.52, evidenciando que a caolinita de Manaus-Itacoatiara apresenta grau de cristalinidade superior a de São Gabriel da Cachoeira.

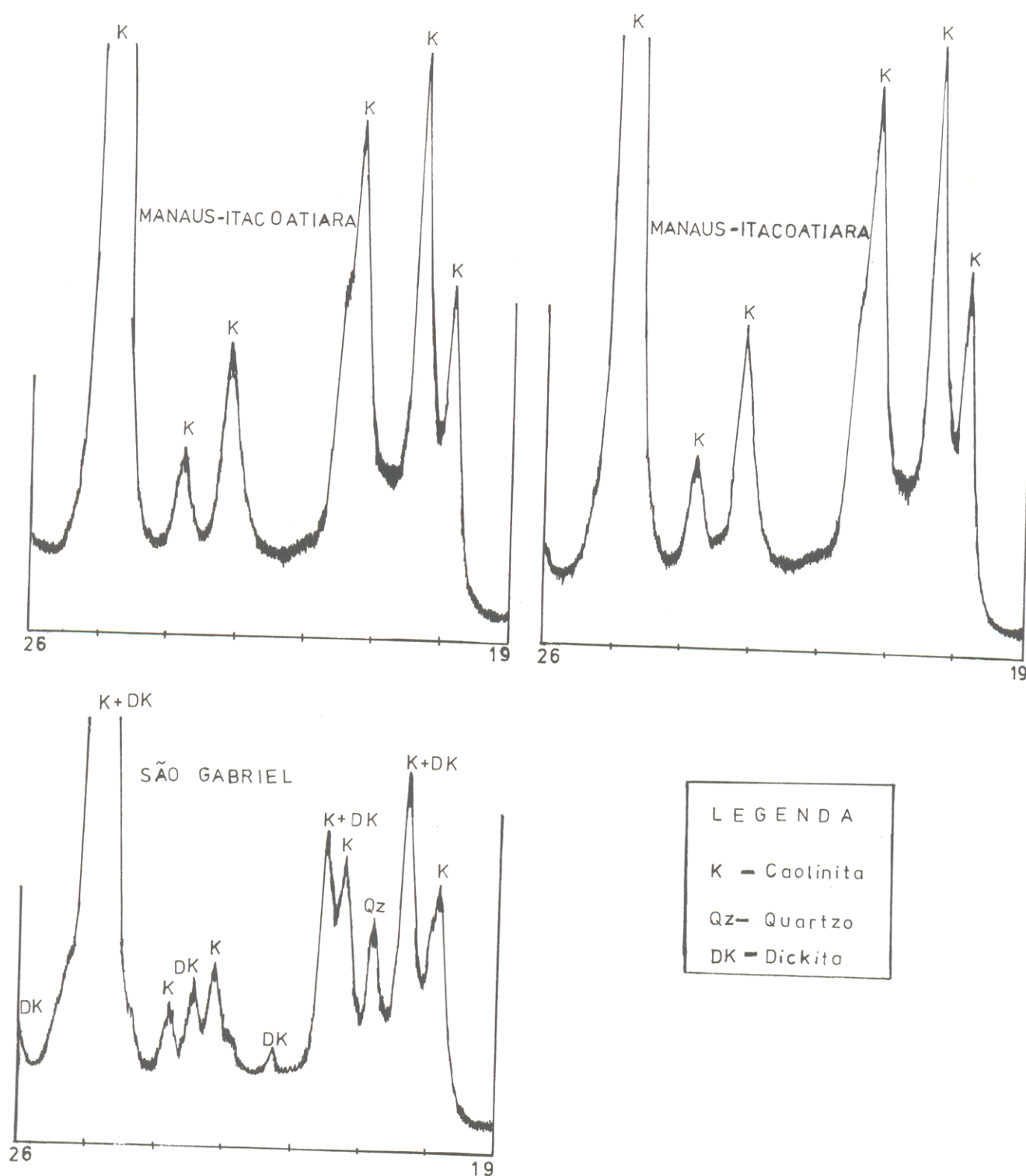


Figura 32 - Difração de raios-x da fração $< 37\mu\text{m}$ dos caulins de São Gabriel da Cachoeira e Manaus-Itacoatiara.

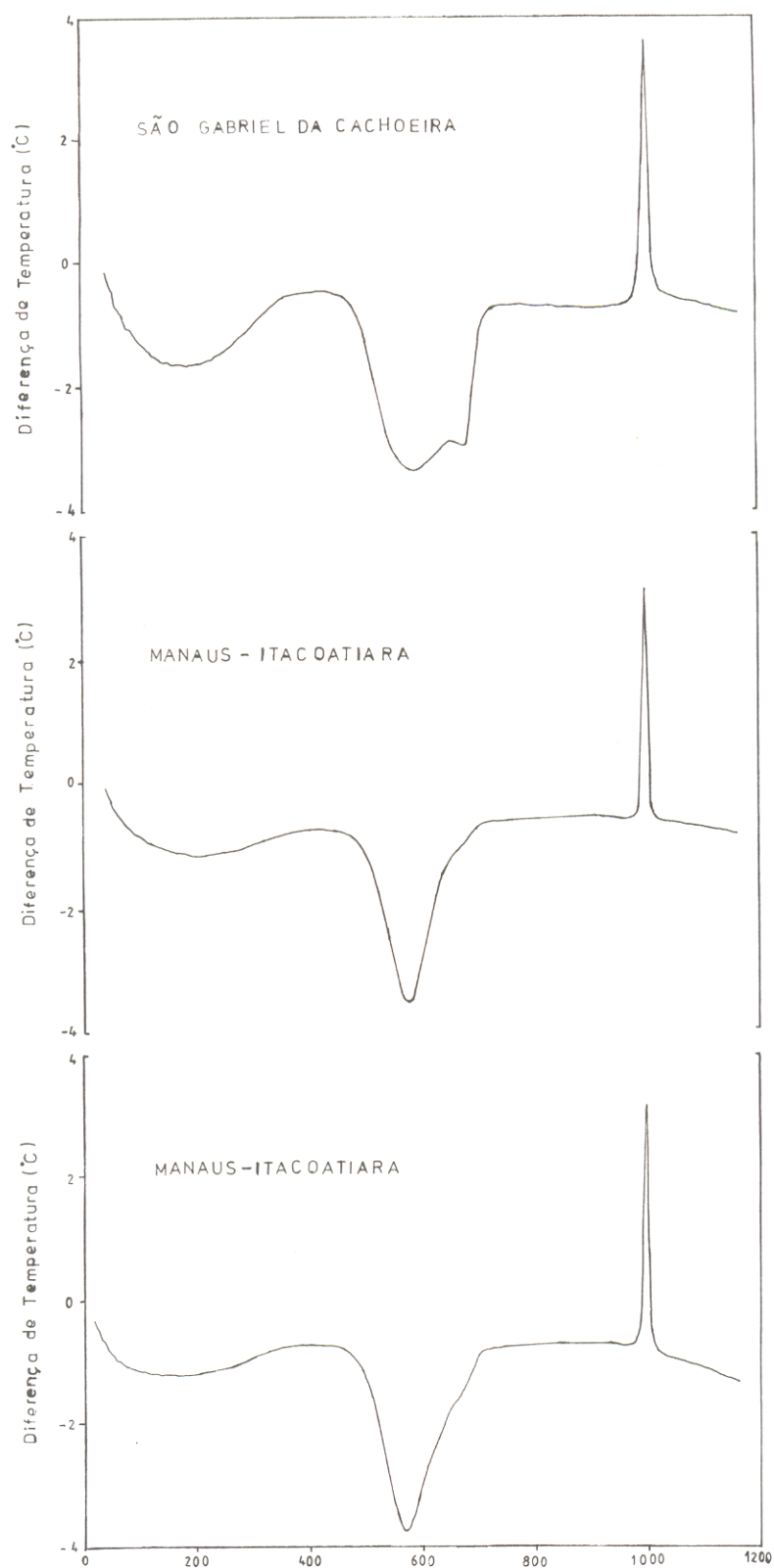


Figura 33- Análise Térmica Diferencial(ATD) da fração $\leq 37\mu\text{m}$ dos caulins de São Gabriel da Cachoeira e Manaus- Itacoatiara.

6.2.4 Viscosidade

Os valores de viscosidade obtidos na fração inferior a 37 μm dos caulins de São Gabriel da Cachoeira e Manaus-Itacoatiara e apresentadas na figura 34, mostram que para o caulim de Manaus-Itacoatiara é necessário um mínimo de 0,03 g/ton. de defloculante (exametafosfato de sódio) para se obter a viscosidade mais baixa. Para o caulim de São Gabriel da Cachoeira não foi possível obter esse mínimo devido a presença de quartzo muito fino nessa fração que interfere na determinação da mesma, pode-se no entanto de acordo com o resultado obtido usar para esse caulim a mesma quantidade determinada para o caulim de Manaus-Itacoatiara.

6.3 DISCUSSÃO

As análises das características químicas e das propriedades físicas do caulim de São Gabriel da Cachoeira, quando comparadas com as propriedades descritas por SANTOS, (1975) para os caulins de Sacomã (SP) e Camaçari (BA), mostram que o caulim de São Gabriel da Cachoeira não é indicado para as indústrias de papel, tinta e borracha, mas mostra boa qualidade para as indústrias cerâmica e de porcelana, devido a presença de quartzo que é importante para a indústria cerâmica como meio vitrificante.

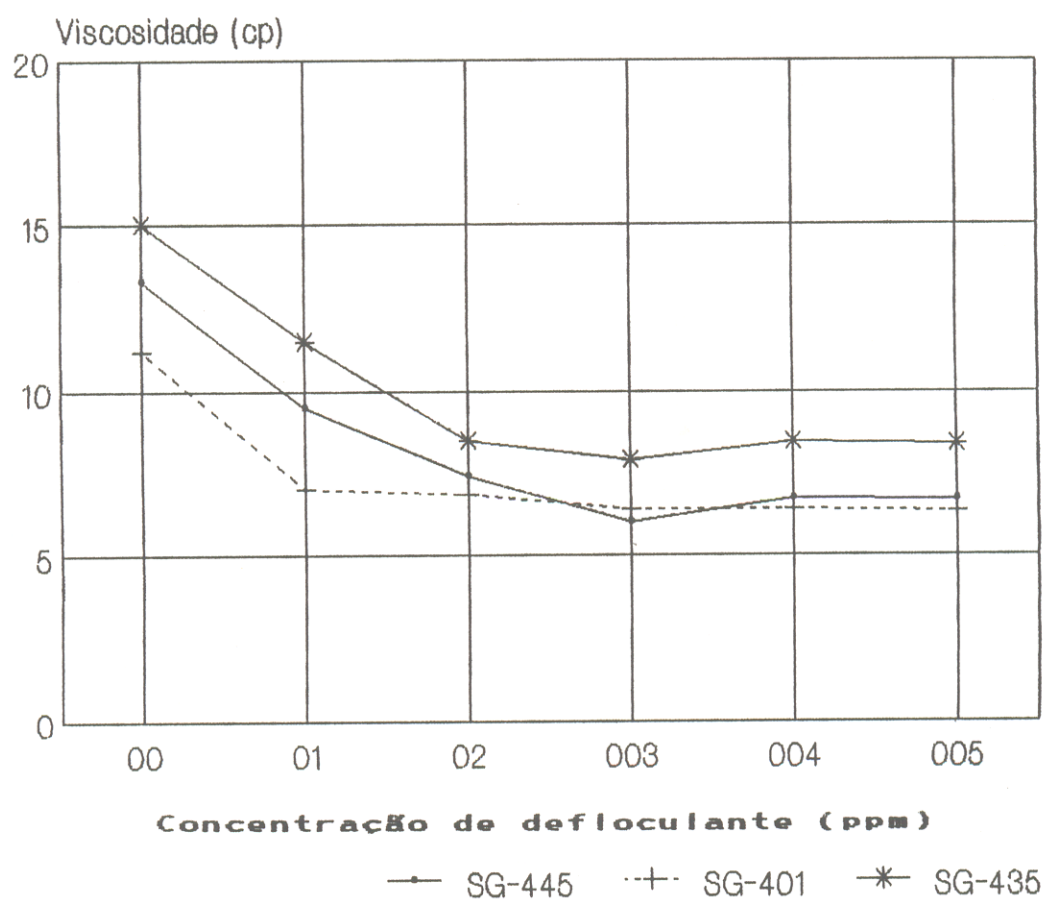


Figura 34. Viscosidade dos caulins de São Gabriel da Cachoeira (SG-401) e Manaus-Itacoatiara (SG-445 e SG-435).

Enquanto que os resultados obtidos para o caulim de Manaus-Itacoatiara quando confrontados com os encontrados por HALWARD et al., (1977) para o caulim do Morro do Felipe, e os determinados por HURST & BÓSIDO, (1975) e SOUZA et al., (1988) para o caulim do Rio Capim indicam que o mesmo pela fácil eliminação do Fe_2O_3 e TiO_2 que se concentram no intervalo de 177 a 44 μm e alto teor de passante (> 70%) obtido na fração abaixo de 37 μm , pode ser aproveitado nas indústrias de papel, tintas e borracha, principalmente como material de preenchimento (filler).

Esses resultados devem ser avaliados com certas reservas levando-se em consideração que os mesmos foram obtidos através da análise de reduzido número de amostras.

7 DISCUSSÕES GERAIS

7.1 COMPARAÇÃO GEOLÓGICA

A comparação geológica entre os perfis estudados mostra que o perfil de Manaus-Itacoatiara apresenta uma estruturação bem definida dos horizontes pálido e mosqueado, que são recobertos por um horizonte espesso de solo amarelado, enquanto que o perfil observado às margens do Rio Capim também tem os horizontes pálido e mosqueado, mas não tão bem definidos como no caulim de Manaus-Itacoatiara. O caulim do Rio Capim apresenta ainda um espesso pacote de arenito e solo recobrindo o horizonte mosqueado (Figura 35). O perfil da jazida 61 da AZPA na BR-010 é constituído por um horizonte mosqueado na base que é recoberto por um horizonte colunar porcelanado, onde são observadas evidências de desferrificação (Figura 35).

O perfil de São Gabriel da Cachoeira tem uma estruturação que vai desde a rocha-mãe, passando por um horizonte de transição até um horizonte pálido que é recoberto por uma fina camada de solo amarelado, sendo que nesse perfil não foi observado o horizonte mosqueado característico dos demais perfis (Figura 35).

Os perfis de Manaus-Itacoatiara, Rio Capim, BR-010 e São Gabriel da Cachoeira poderiam também se enquadrar na classificação de perfis maduros de COSTA (1991), onde o de São Gabriel da Cachoeira parece ter sido o mais erodido.

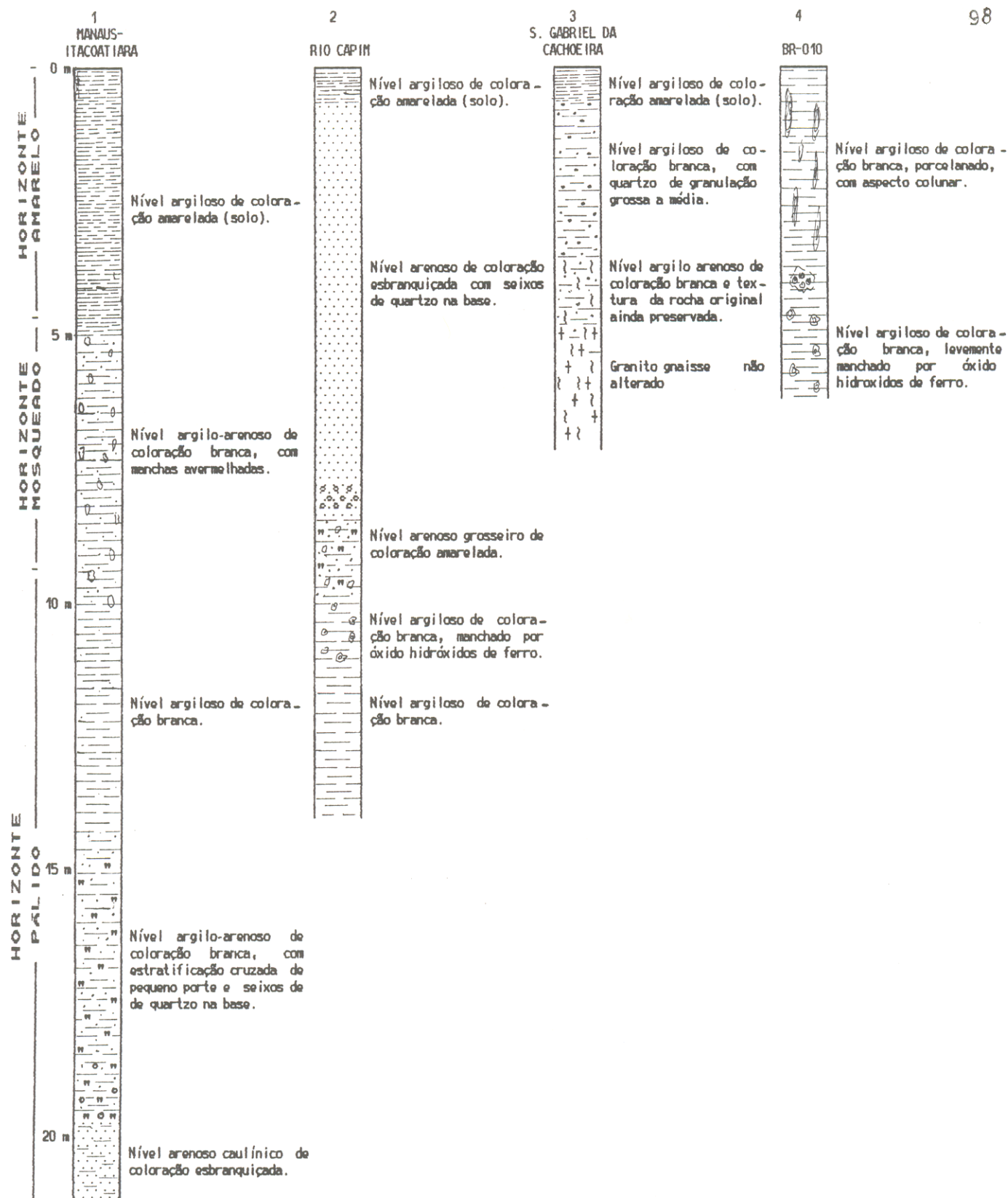


Figura 35 - Comparação entre os perfis caulínicos estudados 1. Manaus-Itacoatiara, 2. Rio Capim, 3. São Gabriel da Cachoeira, 4. BR-010 (rodovia Belém-Brasília).

7.2 COMPARAÇÃO MINERALÓGICA

A comparação mineralógica entre os caulins estudados, permite verificar que o caulim de São Gabriel da Cachoeira é constituído por caolinita, quartzo e muscovita, enquanto que os caulins de Manaus-Itacoatiara e BR-D10/Rio Capim são constituídos essencialmente por caolinita, tendo o quartzo apenas como acessório. Uma outra diferença observada é a presença de fosfato de alumínio no caulim da BR-D10/Rio Capim, e em uma amostra do caulim de São Gabriel da Cachoeira, enquanto que no caulim de Manaus-Itacoatiara o mesmo não foi detectado. A figura 36, espelha as diferenças mineralógicas entre os caulins de São Gabriel da Cachoeira, Manaus-Itacoatiara e BR-D10/Rio Capim separando-os entre si.

Em termos de minerais pesados o caulim de São Gabriel da Cachoeira é constituído essencialmente por zircão e subordinadamente por turmalina. O caulim de Manaus-Itacoatiara e BR-D10/Rio Capim além de elevados teores de zircão e turmalina, apresentam ainda teores, embora baixos, de estauroilíta, cianita e rutilo, que não foram detectados em São Gabriel da Cachoeira.

Os diagramas zircão-turmalina-estauroilíta, zircão-turmalina-cianita e zircão-turmalina-rutilo da média dos minerais pesados de cada depósito também conseguem separar bem os caulins na fração de 250-125 μm , enquanto que na fração de 125-62 μm essa separação só se verifica no caulim da BR-D10/Rio Capim (Figuras 37 e 38).

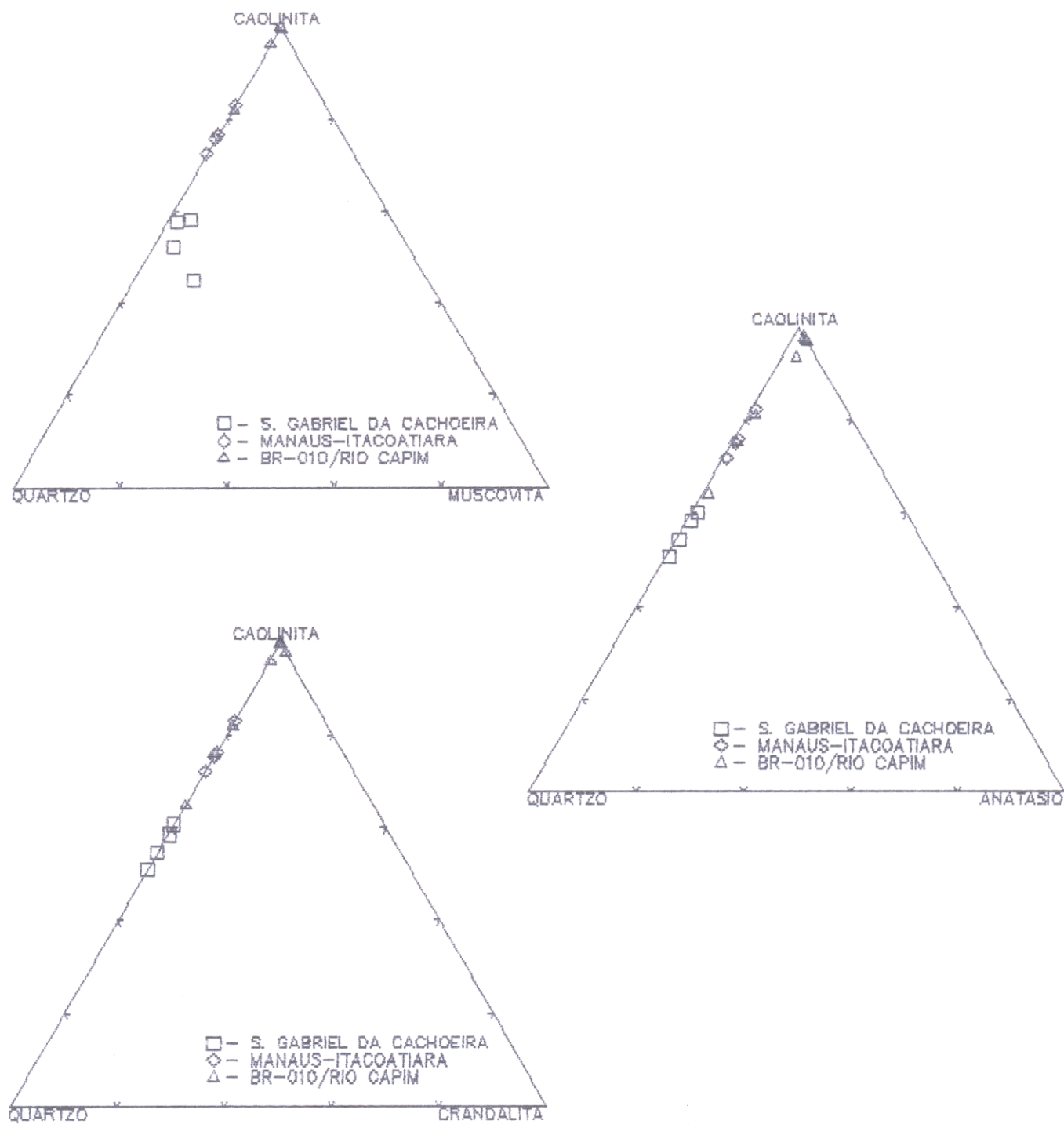


Figura 36. Diagramas ternários mostrando a comparação mineralógica entre os caulins de São Gabriel da Cachoeira, Manaus-Itacoatiara e BR-010/Rio Capim.

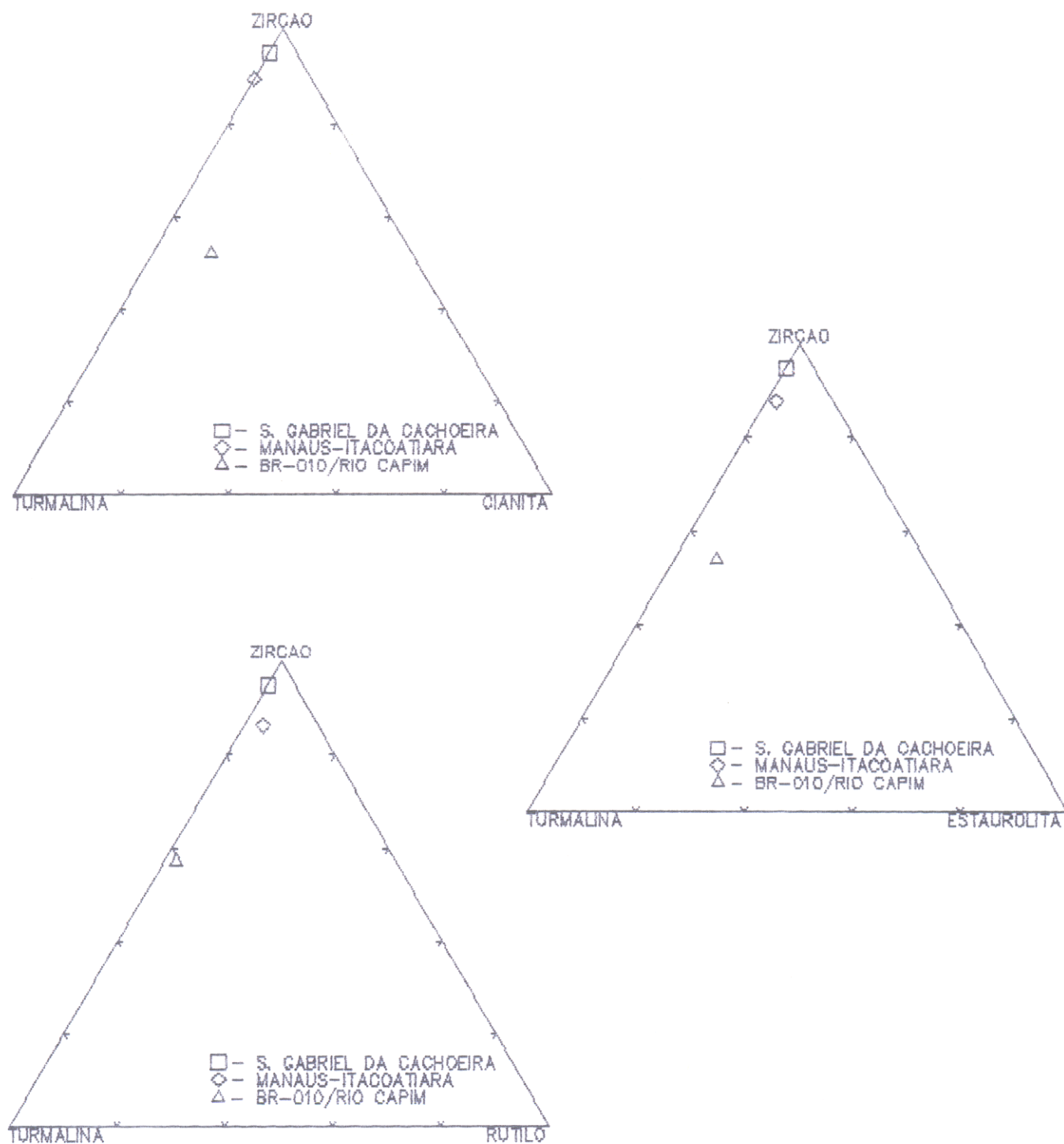


Figura 37. Diagramas ternários mostrando a comparação entre os minerais pesados (fração 250-125 μm) nos caulins de São Gabriel da Cachoeira, Manaus-Itacoatiara e BR-010/Rio Capim.

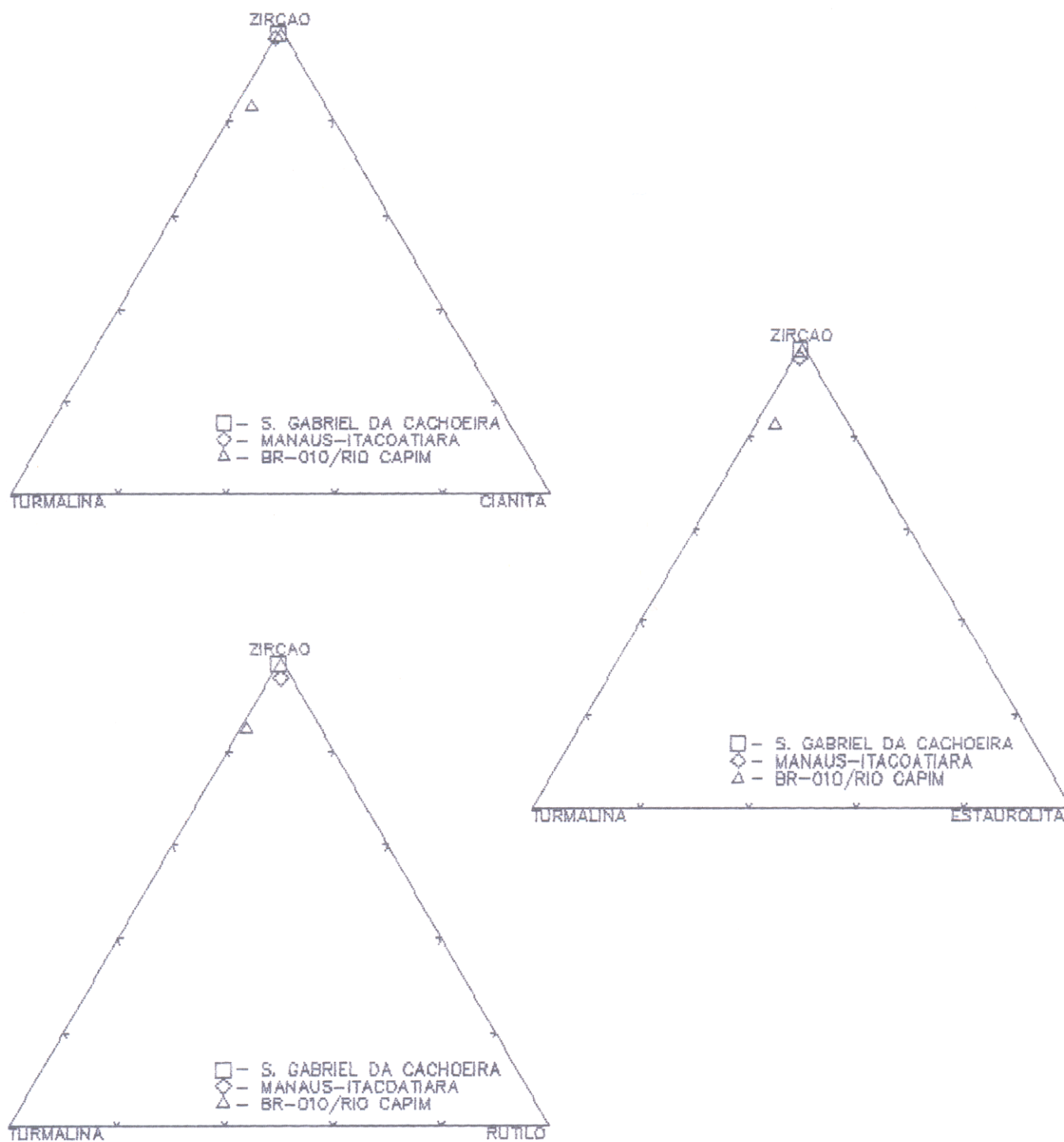


Figura 38. Diagramas ternários mostrando a comparação entre os minerais pesados (fração 125-62 μm) dos caulins de São Gabriel da Cachoeira, Manaus-Itacoatiara e BR-010/Rio Capim.

A cristalinidade da caolinita determinada nesses depósitos é relativamente baixa em São Gabriel da Cachoeira e moderada em Manaus-Itacoatiara e BR-010/Rio Capim (Figuras 39, 40 e 41).

7.3 COMPARAÇÃO GEOQUÍMICA

A comparação geoquímica entre os caulins estudados indica que nos caulins dos três depósitos estudados a SiO_2 e o Al_2O_3 são os elementos dominantes (Tabela 23), já que compõem o mineral principal, caolinita.

O caulim de São Gabriel da Cachoeira e o de Manaus-Itacoatiara tem teor de SiO_2 mais alto que o caulim da BR-010/Rio Capim, devido aos seus conteúdos mais elevados de quartzo e em menor escala de mica. Como consequência Al_2O_3 está com concentração maior no caulim da BR-010/Rio Capim (Tabela 23, Figuras 42 e 43), que é pobre em quartzo.

O caulim de São Gabriel da Cachoeira, apresenta os maiores teores de K_2O , devido à presença de muscovita nesse depósito (Tabela 23, Figura 42). Os demais elementos principais mostram geralmente teores muito semelhantes nesses diferentes caulins. No entanto, o TiO_2 , que se encontra na faixa de 1 a 2% , é mais abundante no caulim da BR-010/Rio Capim (Tabela 20, Figura 43).

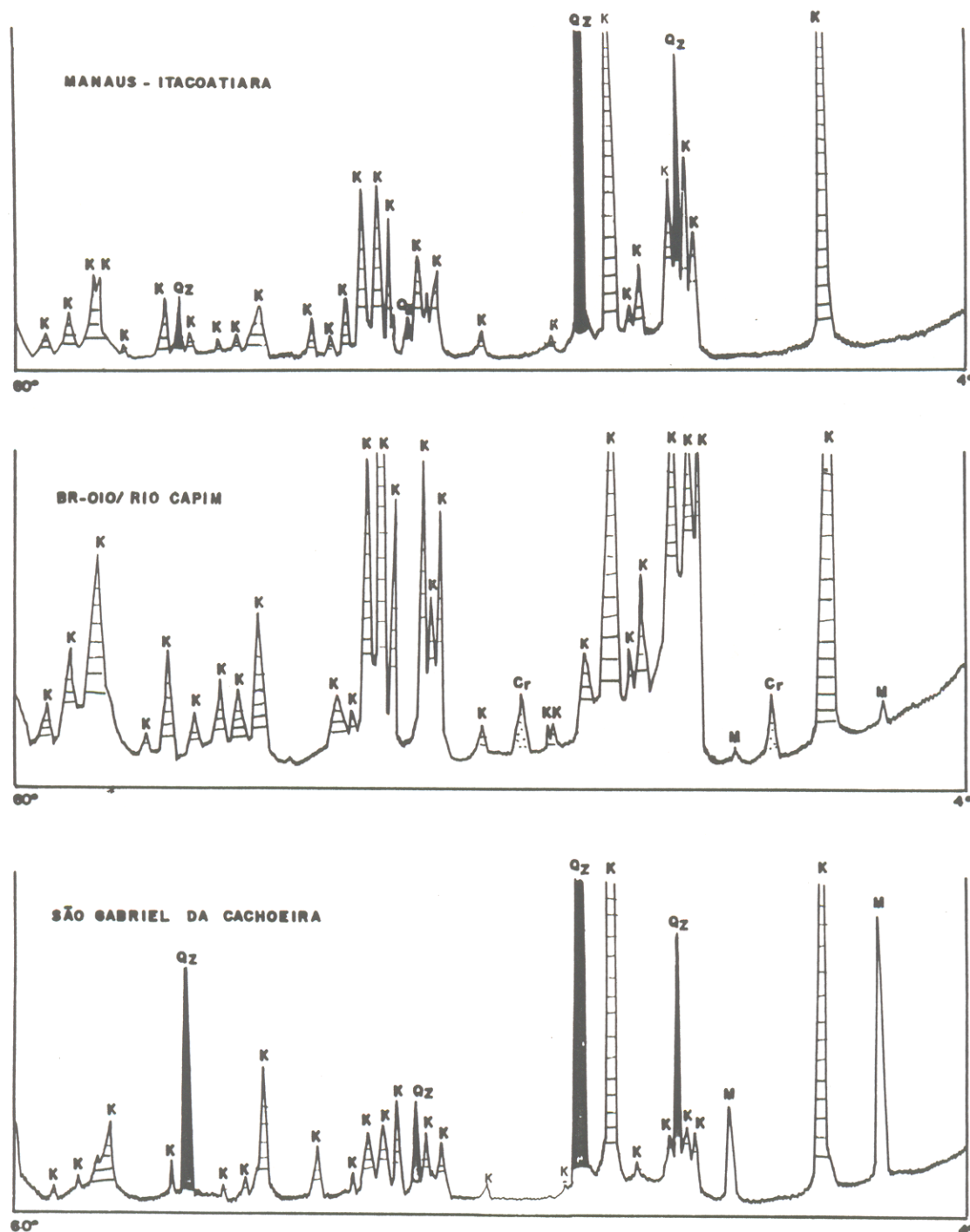


Figura 39. Comparação entre os caulins de São Gabriel da Cachoeira, Manaus-Itacoatiara e BR-010/ Rio Capim, através da difração de raios-X.

LEGENDA	
K - Caolinita	
Qz - Quartzo	
M - Muscovita	
Cr - Crandallita-Goyazita	

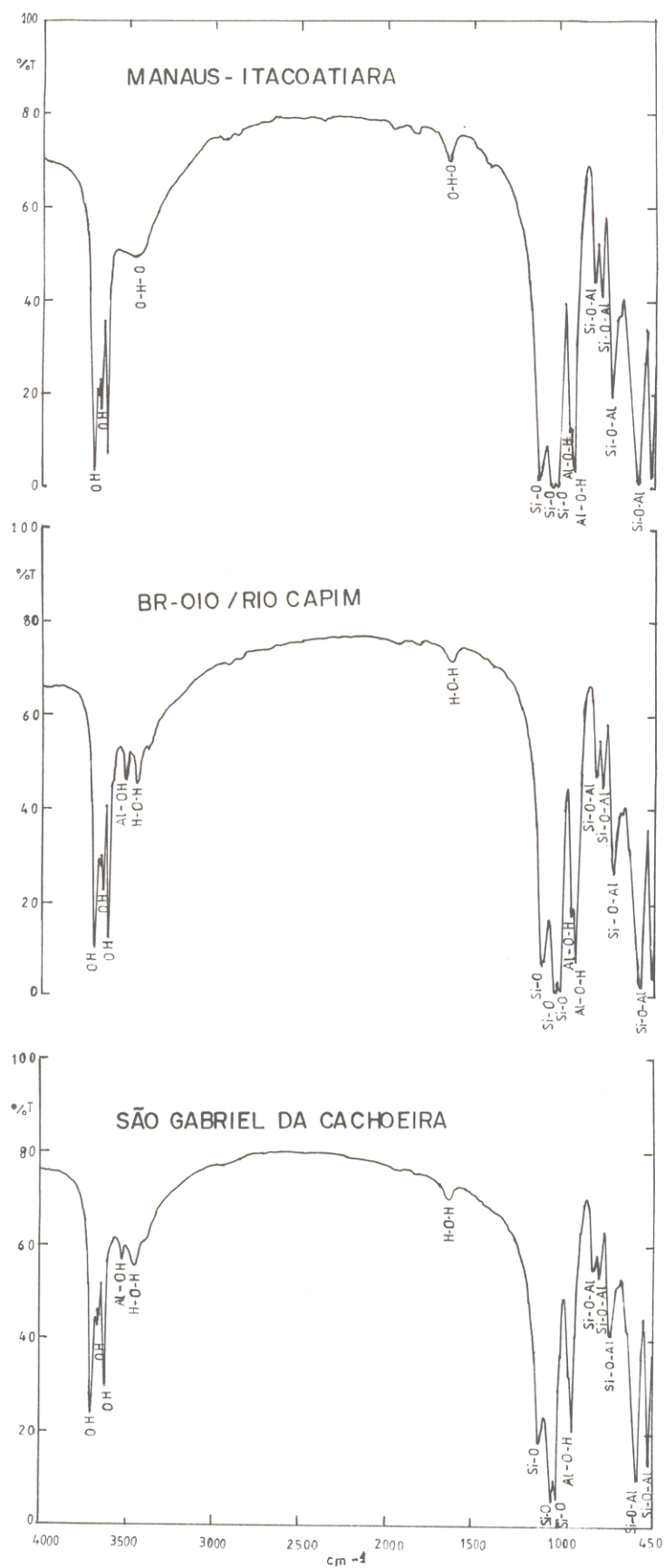
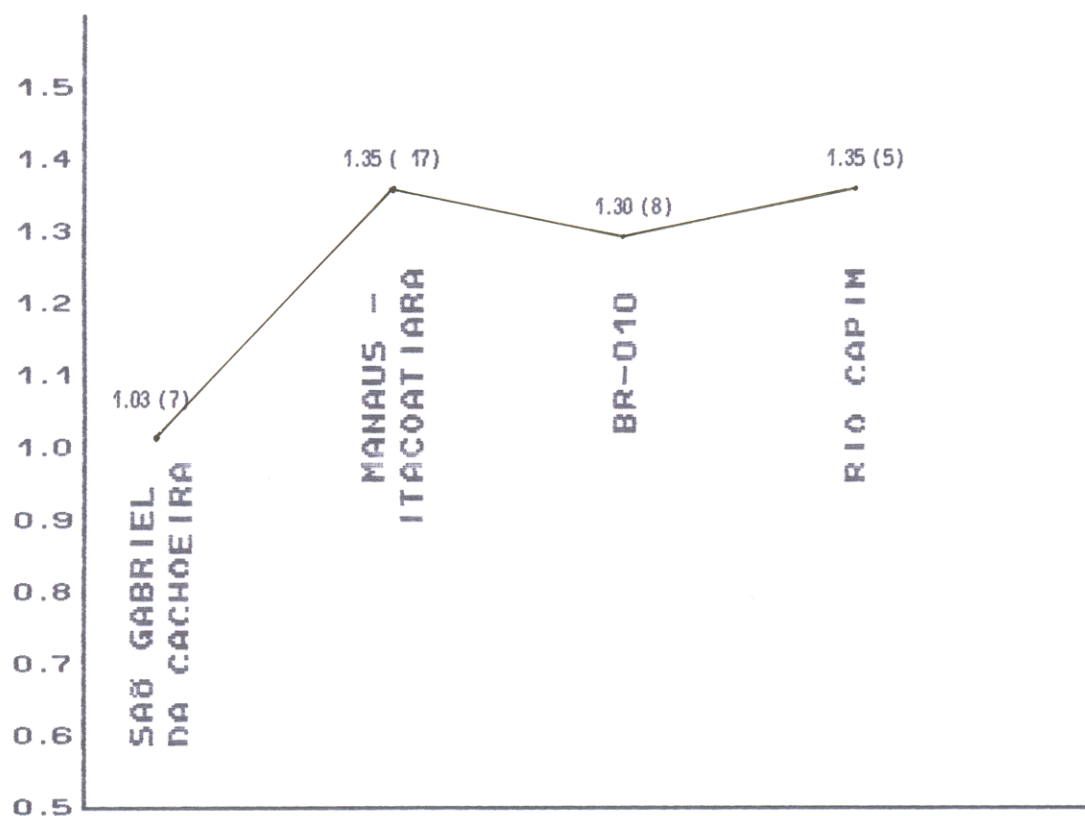


Figura 40 - Comparação entre os caulins de São Gabriel da Cachoeira, Manaus-Itacoatiara e Br-OIO/Rio Capim, através da espectrometria de infravermelho.



(17) número de amostras

Figura 41 - Índice de cristalinidade da caolinita dos depósitos de caulim de São Gabriel da Cachoeira, Manaus-Itacoatiara, BR-010 e Rio Capim.

Tabela 23. Composição química média dos caulins de São Gabriel da Cachoeira, Manaus-Itacoatiara, BR-010, Rio Capim e média crustal.

(%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅
S. GABRIEL	67.1	22.7	0.61	0.21	< 0.05	0.15	< 0.01	0.61	< 0.01	0.79	0.07
MAN-ITAC.	57.5	29.7	0.59	0.19	< 0.05	< 0.10	< 0.01	0.02	< 0.01	0.69	< 0.05
BR-010	45.7	36.7	0.77	0.18	< 0.05	< 0.10	< 0.01	0.02	< 0.01	2.08	0.21
CAPIM	50.5	33.7	0.87	0.18	< 0.05	< 0.10	0.01	0.04	< 0.01	1.80	0.06
MÉDIA CRUSTAL *	60.32	15.55	8.04	-	5.81	3.45	3.18	2.52	0.12	0.95	0.43

(ppm)	F	S	U	Cl	B	Ba	Be	Cr	Cu	Ga	Ni	Pb	Sc	Sn	V	Zr	Y	Sr
S. GABRIEL	0.042	0.007	2.2	20	10	223	2	55.2	16.6	41.2	21.6	63.8	21.8	5	125.4	412.5	86.6	93.4
MAN-ITC	0.014	0.010	1.0	20	10	21	2	60.5	10.7	32.7	19.7	24	8	5	102	742.5	15.7	18
BR-010	0.018	0.035	2.0	29	12	821	2	191	21.6	55.3	38.8	193	24.5	5	121	1464	57	421.6
CAPIM	0.028	0.014	-	20	10.6	44.4	2	64.8	8.4	33.6	18.6	79.2	12.6	5	100.8	1886	49.4	65.2
MÉDIA CRUSTAL *	625	260	2.7	130	10	425	2.8	100	55	15	75	12.5	22	2	135	165	33	375

(ppm)	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Yb	Lu
S. GABRIEL	53.71	92.11	43.51	7.55	1.18	5.54	5.39	1.09	2.98	2.74	0.39
MAN-ITC	24.78	31.03	5.17	0.63	0.14	0.61	0.78	0.18	0.62	0.94	0.15
BR-010	205.29	473.66	179.51	32.66	5.49	18.34	8.72	1.62	3.78	3.73	0.52
CAPIM	70.20	161.33	46.07	5.90	0.94	3.28	3.87	0.88	2.90	3.84	0.57
MÉDIA CRUSTAL *	25	67	28	7.3	1.2	7.3	5.2	1.5	2.8	3.0	0.8

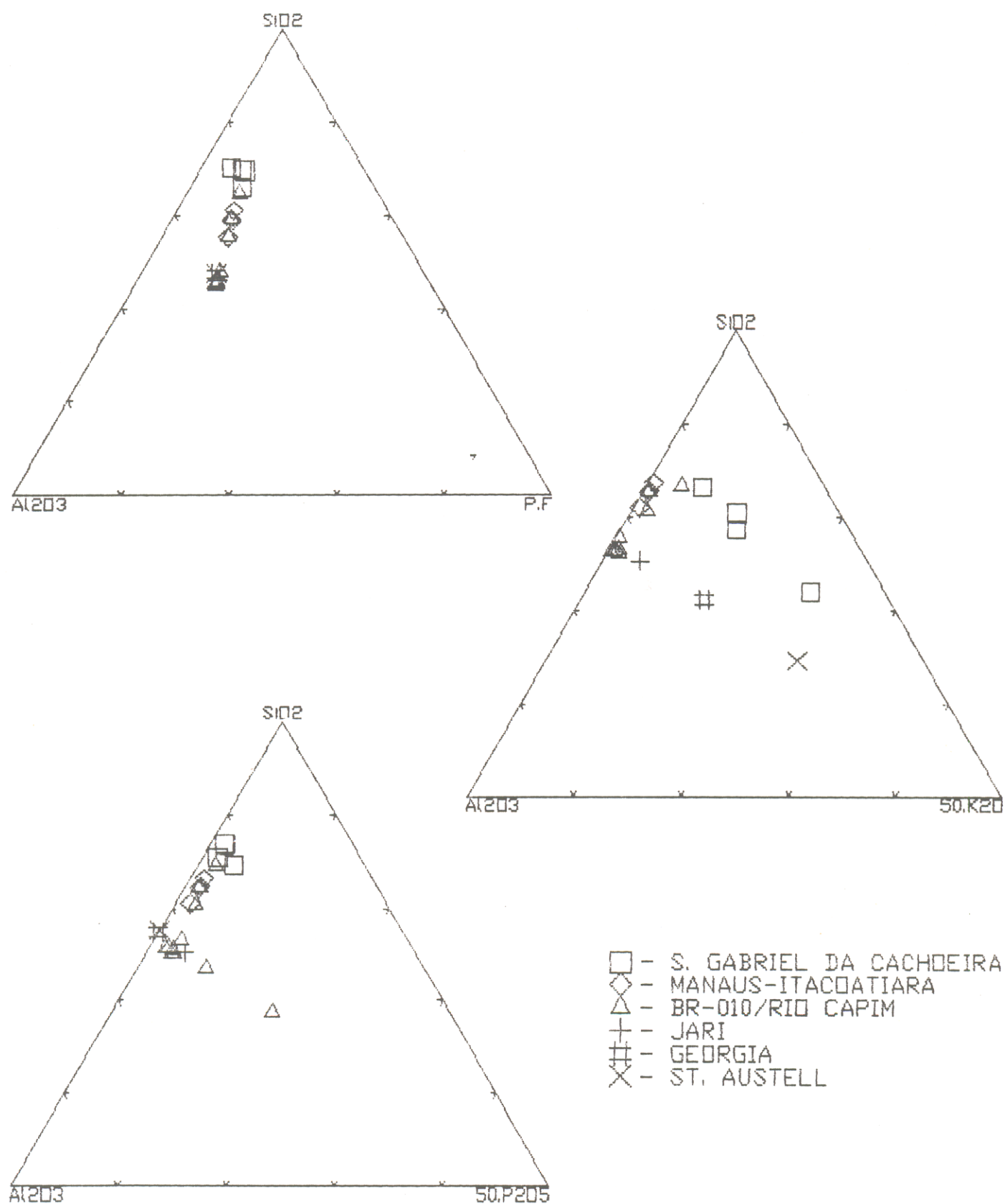


Figura 42. Diagramas Ternários mostrando a comparação entre os elementos principais dos caulins de São Gabriel da cachoeira, Manaus-Itacoatiara, BR-010/Rio Capim, Jari, Georgia e St. Austell.

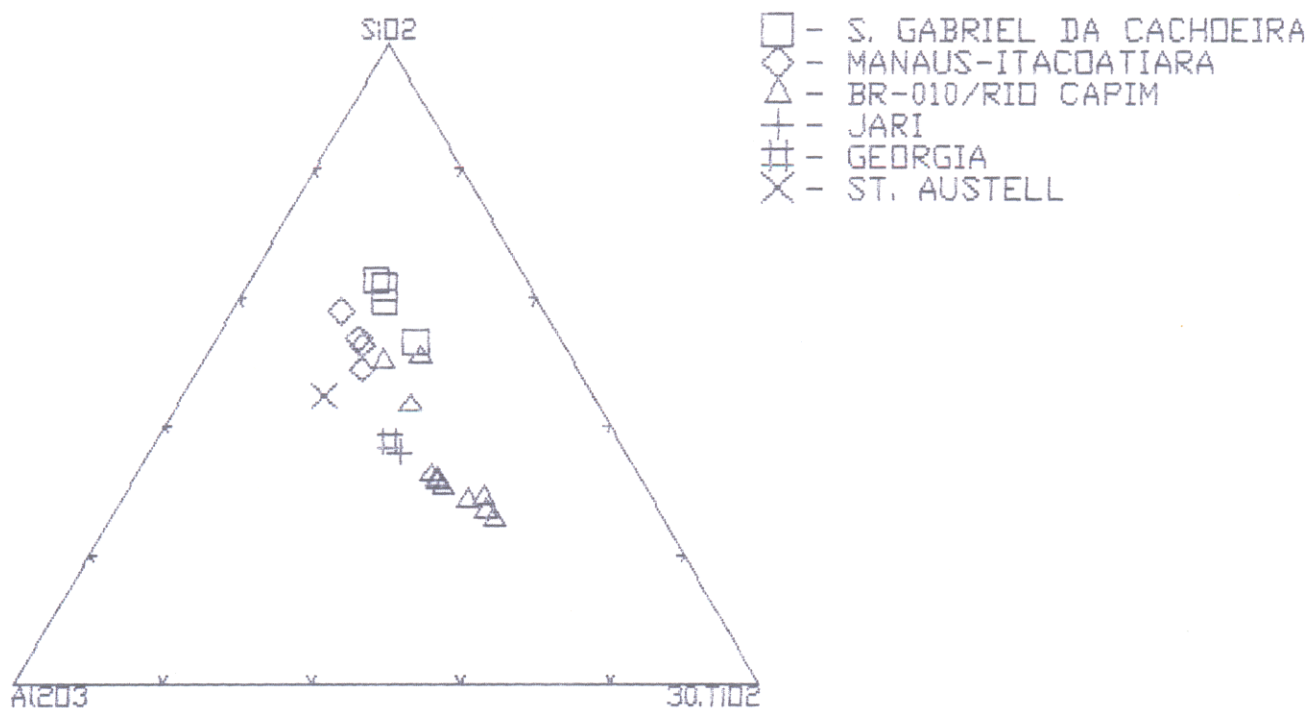
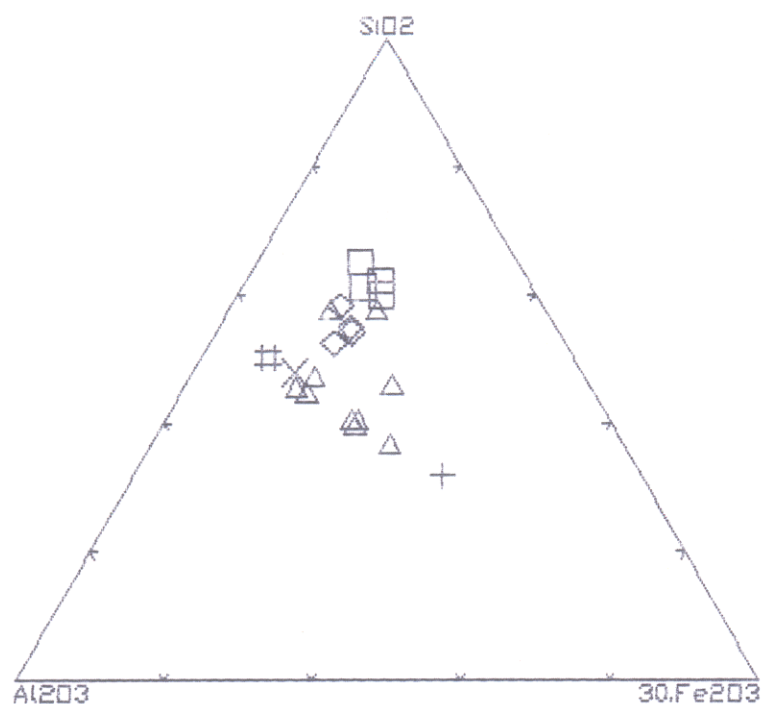


Figura 43. Diagramas ternários mostrando a comparação entre os elementos principais dos caulins de São Gabriel da Cachoeira, Manaus-Itacoatiara, BR-010/Rio Capim, Jari, Georgia e St. Austell.

Os diagramas $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-P.F.}$, $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-K}_2\text{O}$, $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-P}_2\text{O}_5$, $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$ e $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ das figuras 42 e 43, permitem individualizar relativamente bem os caulins de São Gabriel da Cachoeira, Manaus-Itacoatiara e da BR-010/Rio Capim, sendo que este último mostra-se semelhante ao do Jari. Os depósitos estudados quando comparados com os da Georgia (USA) estudado por KESLER (1956) e St. Austell (Ing.) investigado por Kerr et al. apud O'CONNELL et al. (1989), mostram composição diferente, retratando a influência de rochas geradoras parcialmente diferentes.

Os teores dos elementos principais dos caulins de São Gabriel da Cachoeira e Manaus-Itacoatiara assemelham-se aos encontrados por MOSSER et al. (1974) em caulins derivados de granitos na República Centro Africana, aos detectados por MURRAY & PARTRIDGE (1981) no caulim do Rio Jari, e aos obtidos por SCHENATO et al. (1992) no caulim de Capivarita (RS), enquanto que o caulim da BR-010/Rio Capim é semelhante aos encontrados por HURST & BÓRIO (1975) no caulim do Rio Capim e por VARAJÃO et al. (1990) no caulim de Vargem dos Óculos (MG).

Dentre os elementos traços analisados verifica-se que o Ba, Pb, V, Zr e Sr são os que apresentam maiores diferenças de um setor para outro, enquanto que os demais elementos ocorrem em teores muito semelhantes nos três depósitos (Tabela 23).

Ba, Pb, e Sr apresentam-se com teores mais elevados no caulim da BR-010/Rio Capim e na amostra SG-405 de São Gabriel da Cachoeira, no qual encontram-se também os teores mais altos de P_2O_5 correspondendo a um conteúdo significativo de fosfato de alumínio do grupo da crandalita-goyazita, fato descrito por COSTA & SÁ (1980), OLIVEIRA & SCHWAB (1980), LEMOS & COSTA (1987), COSTA & ARAÚJO (1990) e COSTA (1991). Ao contrário na área de Manaus-Itacoatiara baixos teores desses elementos correspondem a baixas concentrações de P_2O_5 ($< 0.05\%$). Isso pode ser comprovado pela boa correlação do fosfato com esses elementos e entre os mesmos (Tabela 23, Figuras 44 e 45).

Já o Zr apresenta maior teor no caulim da BR-010/Rio Capim do que em São Gabriel da Cachoeira e Manaus-Itacoatiara, em função da presença de maior quantidade de zircão nesse caulim que nos demais (Tabela 23), fato comprovado pelo estudo dos minerais pesados nos diferentes depósitos.

Quando comparados com a literatura os valores dos elementos traços do caulim de São Gabriel da Cachoeira mostram-se semelhantes aos encontrados por MOSSER et al. (1974) em caulins derivados de granitos na República Centro Africana. Os de Manaus-Itacoatiara são parecidos com os valores verificados por MURRAY & PARTRIDGE (1981) no caulim do Rio Jari e os da BR-010/Rio Capim mostram valores próximos aos detectados por SOMAN & SLUKIN (1987) em caulins formados a partir de rochas sedimentares no Sul de Kerala, Índia.

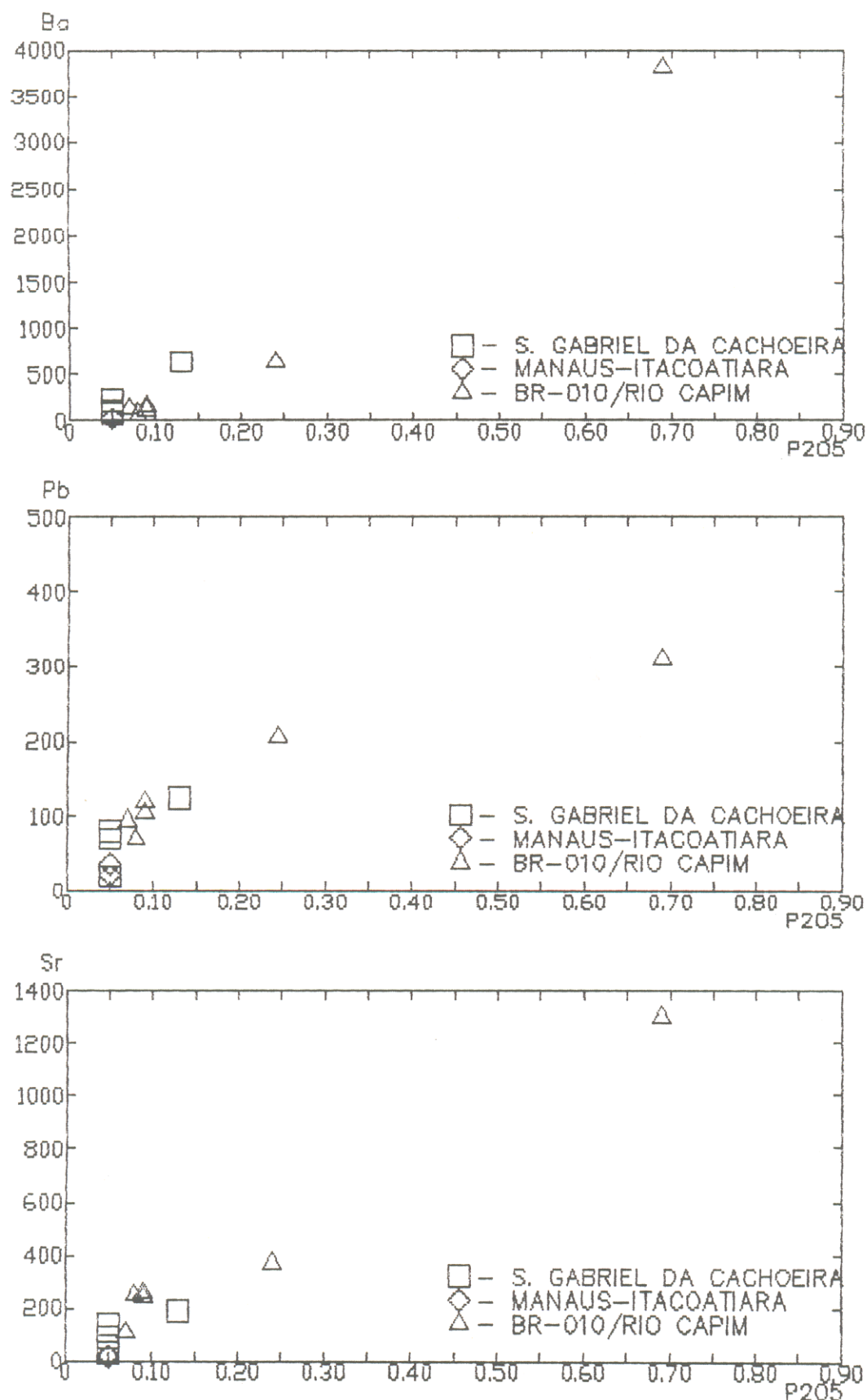


Figura 44. Diagramas binários mostrando as correlações P205 x Ba, P205 x Pb e P205 x Sr nos caulins de São Gabriel da Cachoeira, Manaus-Itacoatiara e BR-010/Rio Capim.

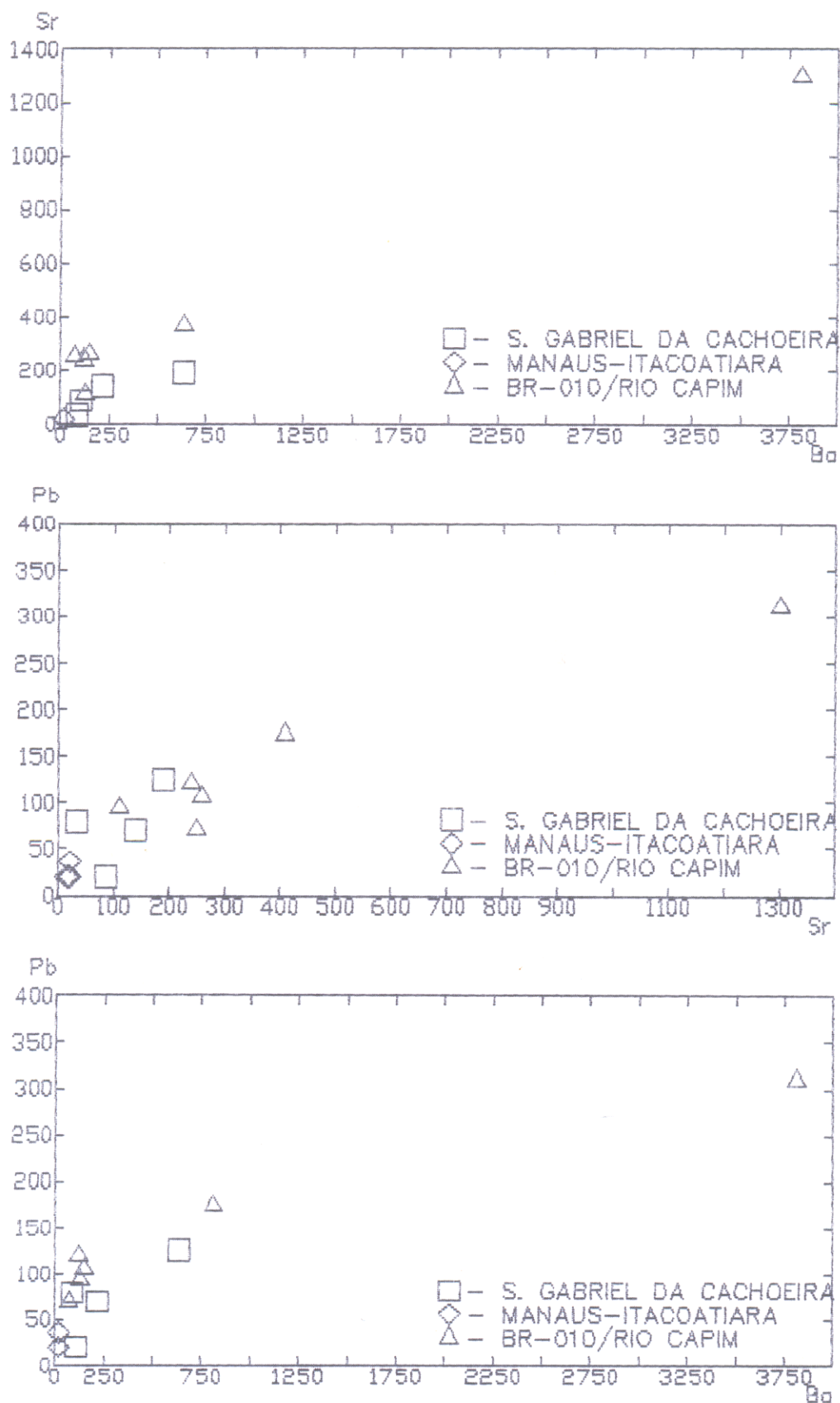


Figura 45. Diagramas binários mostrando as correlações: Ba x Sr, Sr x Pb e Ba x Pb nos caulins de: São Gabriel da Cachoeira, Manaus-Itacoatiara e BR-010/Rio Capim.

Os teores mais elevados de ETR estão relacionados diretamente com os caulins com teores mais expressivos de P_2O_5 (fosfato de alumínio do grupo da crandalita-goyazita) como na BR-010/Rio Capim e na amostra SG-405 de São Gabriel da Cachoeira. As curvas normalizadas mostram que onde o P_2O_5 é mais elevado ocorre um forte enriquecimento dos ETRL e leve enriquecimento dos ETRP, que pode estar ligado a afinidade dos ETRL com o fosfato do grupo da crandalita-goyazita (COSTA & SÁ 1980; LEMOS & COSTA, 1987; COSTA & ARAUJO, 1990; COSTA, 1991) (Tabela 23, Figuras 46 e 47).

Isso também pode ser comprovado pela boa correlação dos ETR com o P_2O_5 (Figura 46).

Os diagramas Ba-La- P_2O_5 , Ba-Eu- P_2O_5 e Ba-Lu- P_2O_5 da figura 48 e os diagramas Sr-La- P_2O_5 , Sr-Eu- P_2O_5 e Sr-Lu- P_2O_5 da figura 49, conseguem separar relativamente bem em campos distintos os caulins de São Gabriel da Cachoeira e da BR-010/Capim do caulim de Manaus-Itacoatiara, mostrando a influência do P_2O_5 na fixação desses elementos. Os diagramas La-Eu-Lu e La-Ce-Nd da figura 50, como os anteriores também classificam esses depósitos, mostrando as diferenças de teores entre esses depósitos.

Os resultados das análises por microsonda eletrônica mostram-se praticamente iguais para os três depósitos de caulim. A caolinita sempre contém pequenas proporções de ferro e titânio. As caolinitas de São Gabriel da Cachoeira são pobres em ferro, enquanto que da BR-010/Rio Capim contém mais ferro e um pouco de titânio. A caolinita de Manaus-Itacoatiara tem o mesmo teor de ferro que a da BR-010/Rio Capim, porém sem titânio.

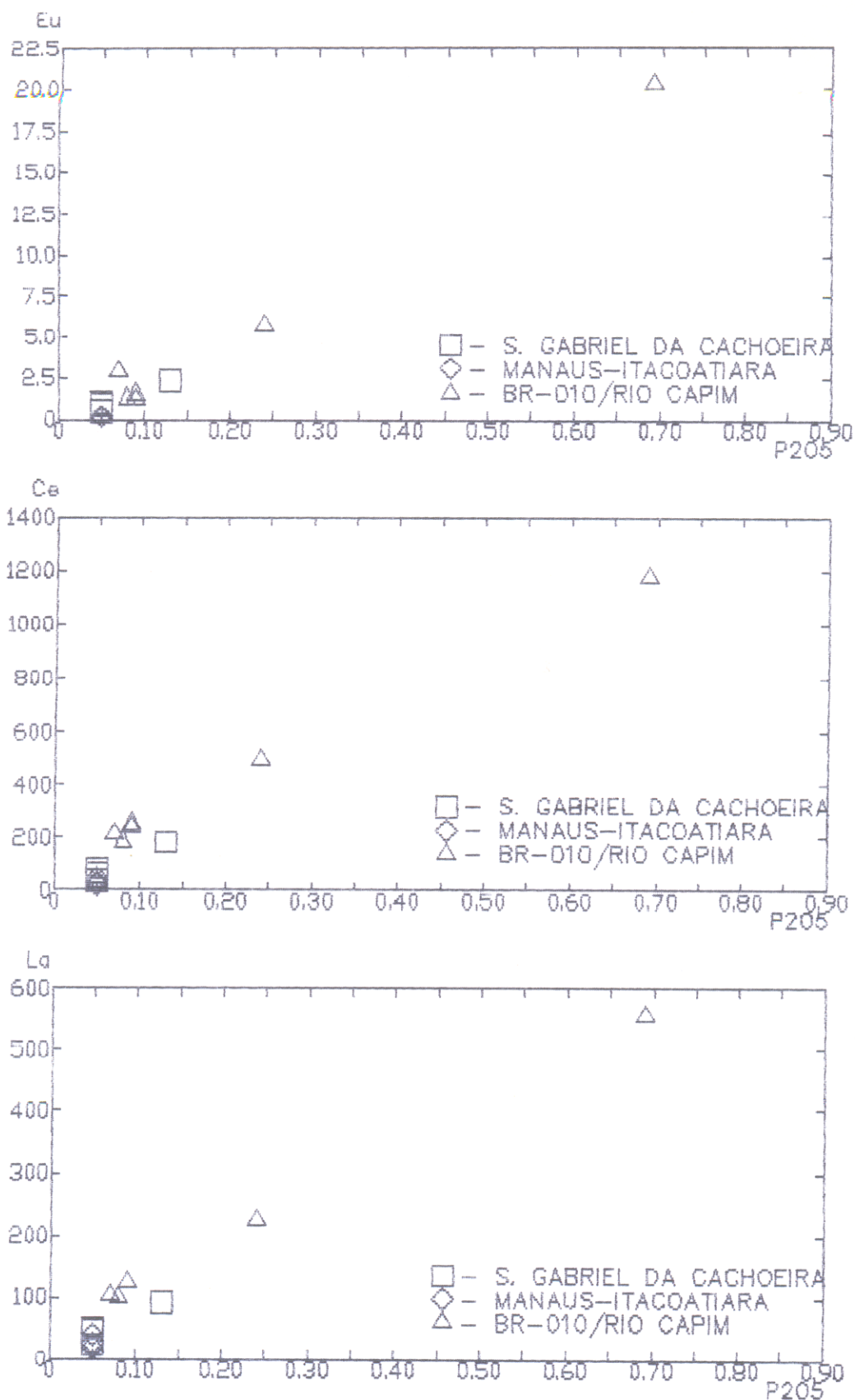


Figura 46. Diagramas binários mostrando as correlações P205 x Eu, P205 x Ce e P205 x La nos caulins de São Gabriel da Cachoeira, Manaus-Itacoatiara e BR-010/Rio Capim.

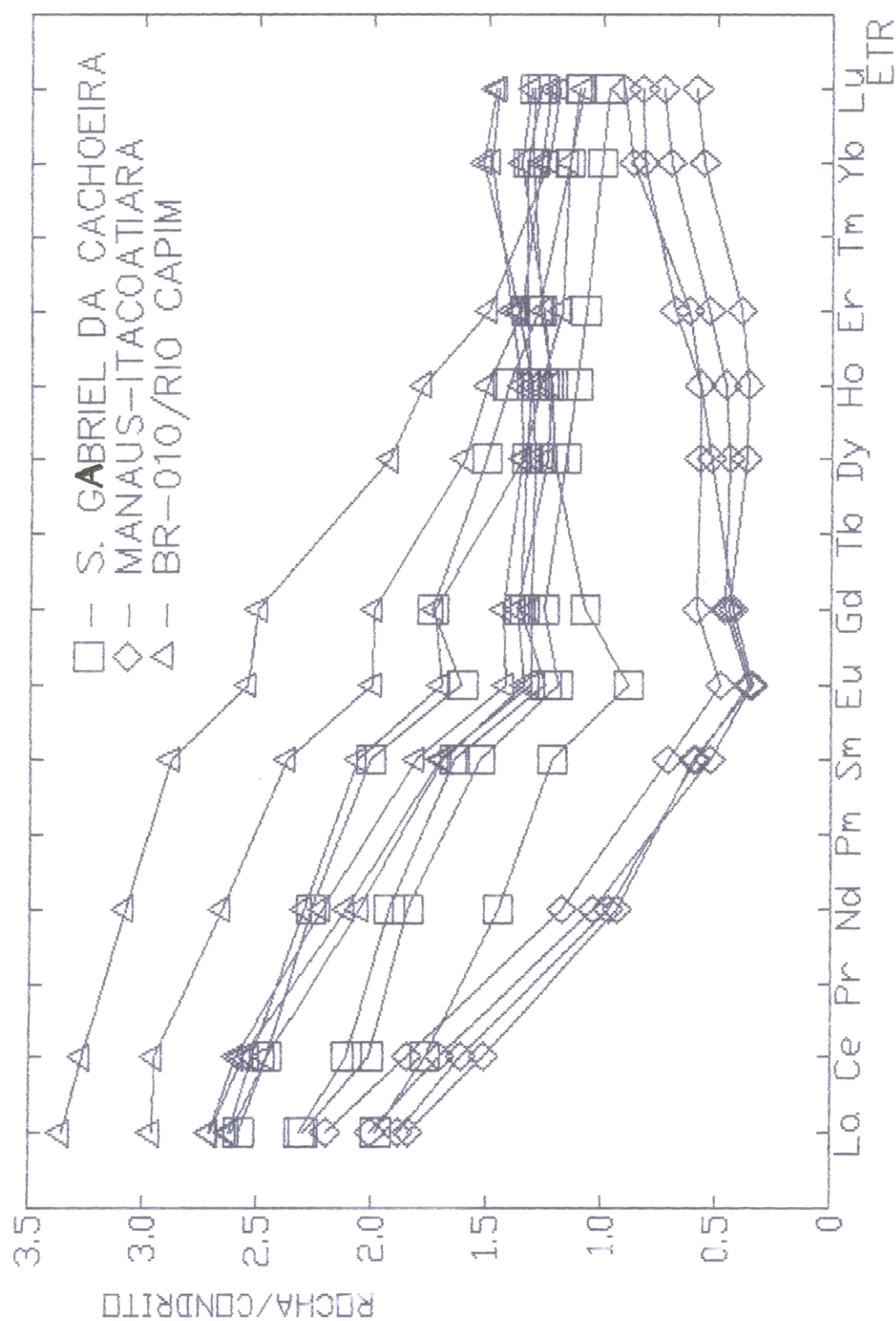


Figura 47. Curvas de distribuição dos ETR em amostras dos caulins de São Gabriel da Cachoeira, Manaus-Itacoatiara e BR-010/Rio Capim.

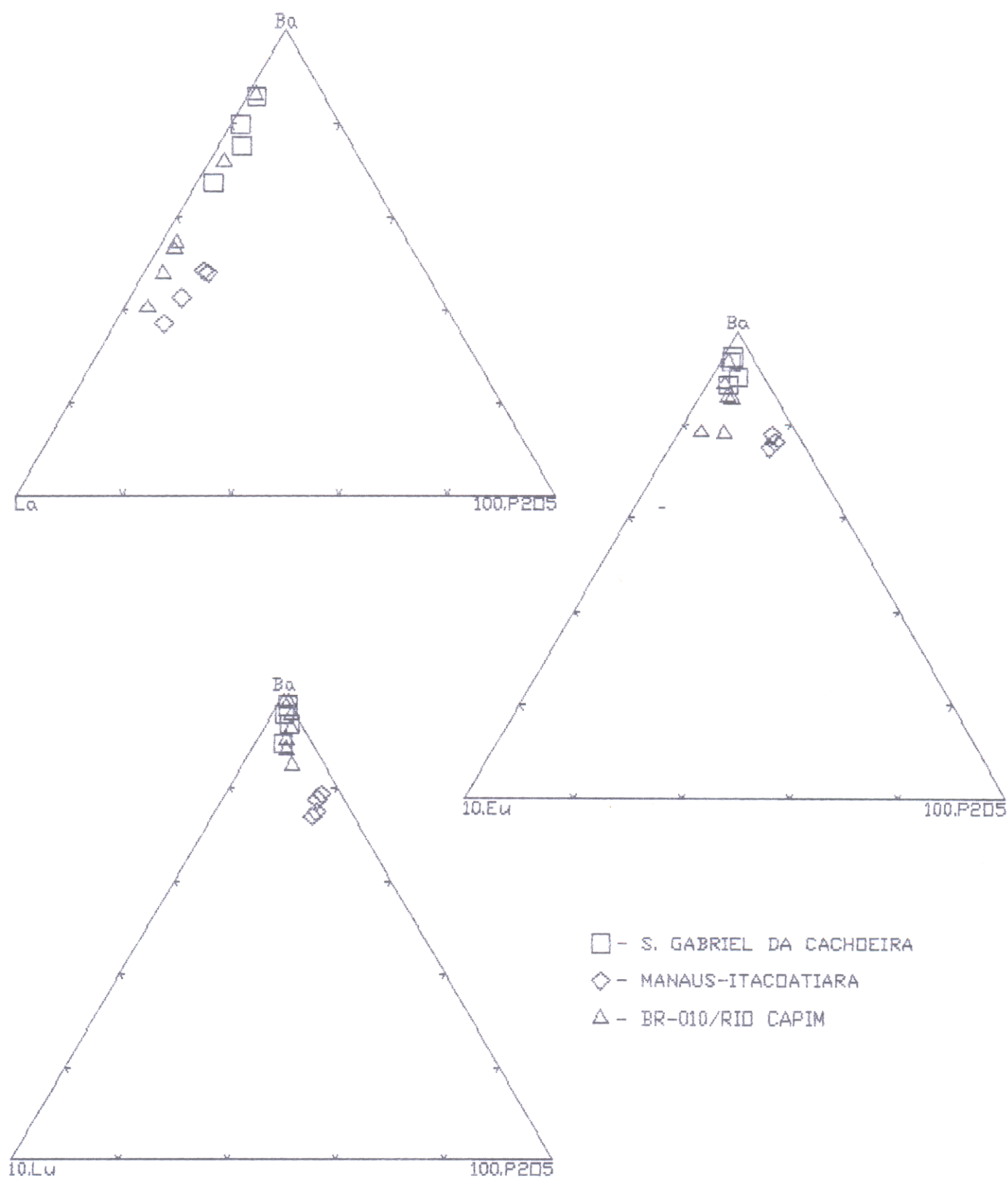


Figura 48. Diagramas ternários mostrando a comparação entre P205, Ba, La, Eu e Lu nos caulins de São Gabriel da Cachoeira, Cachoeira, Manaus-Itacoatiara e BR-010/Rio Capim.

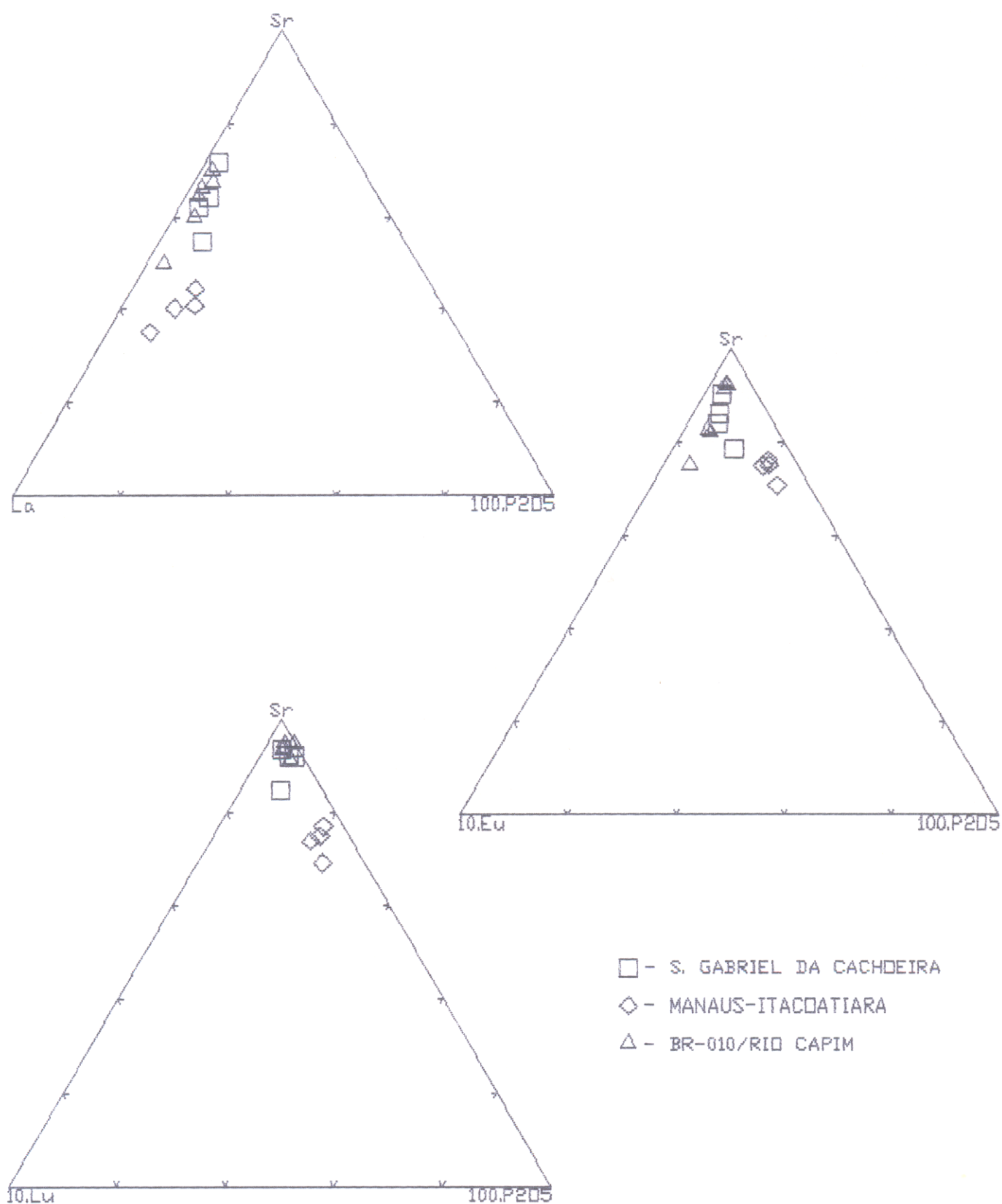


Figura 49. Diagramas ternários mostrando a comparação entre P2O5, Sr, La, Eu e Lu nos caulins de São Gabriel da Cachoeira Manaus-Itacoatiara e BR-010/Rio Capim.

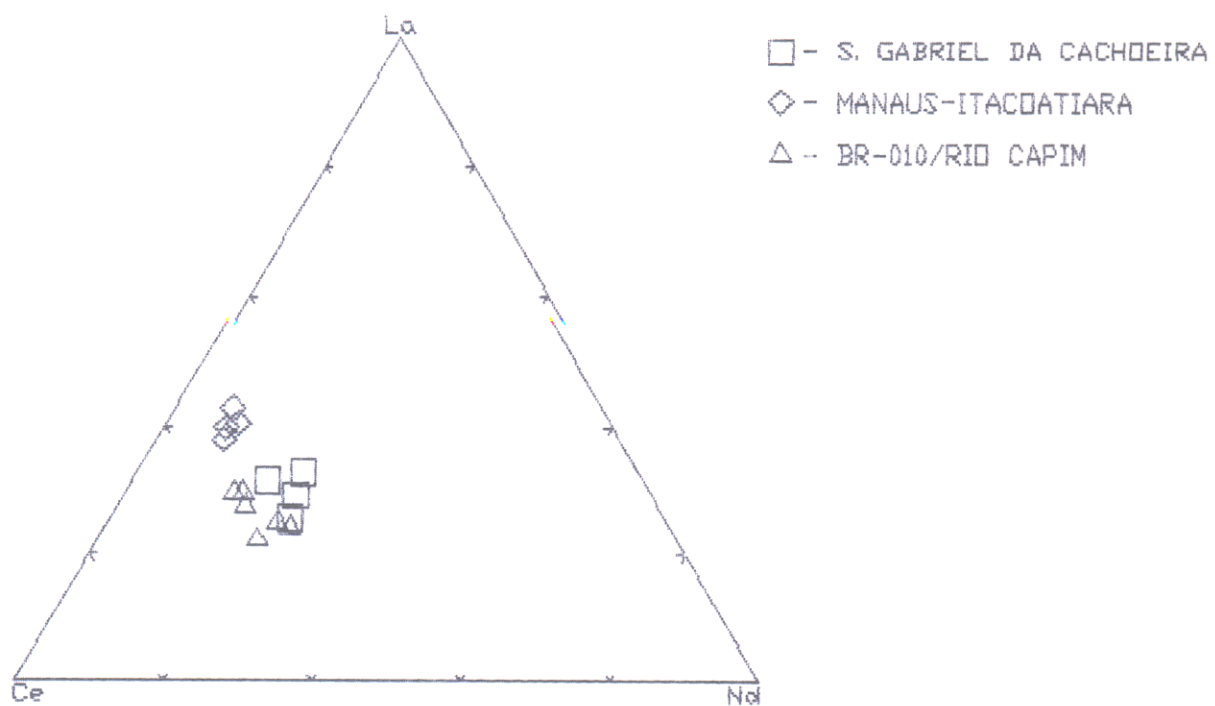
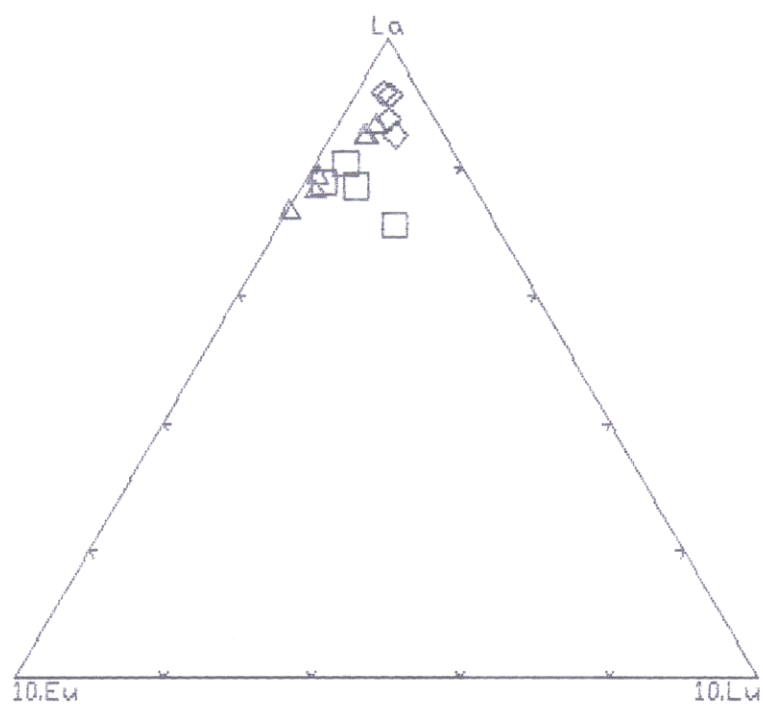


Figura 50. Diagramas ternários La-Eu-Lu e La-Ce-Nd mostrando a comparação entre esses elementos nos caulins de São Gabriel da Cachoeira, Manaus-Itacoatiara e BR-010 / Rio Capim.

Os teores de ferro e titânio encontrados nos depósitos estudados estão dentro da faixa exigida pelo mercado mundial, principalmente pelas indústrias de papel, tintas e borrachas que são as maiores consumidoras desse bem mineral.

B CONCLUSÕES

Em São Gabriel da Cachoeira o caulim originou-se pelo intemperismo de rochas granito-gnáissicas como mostram, além das evidências de campo como o desenvolvimento do perfil sobre a rocha sã e as texturas reliquiais da rocha-mãe ainda preservadas no caulim, os aspectos mineralógicos tais como, quantidade expressiva de quartzo grosseiro com formas angulosas, muscovita parcialmente alterada e até inalterada, além de teores elevados da caolinita resultantes da alteração dos feldspatos da rocha-mãe.

O quimismo do caulim caracterizado pelos teores elevados de SiO_2 , Al_2O_3 e K_2O , também elevados na rocha-mãe, reflete ainda a presença de quartzo e muscovita nesse caulim, minerais muito abundante na rocha-mãe. Comprovam essa relação também, teores significativos de elementos traços como Ba, V, e Zr encontrados tanto na rocha-mãe como no perfil, bem como dos ETR que mesmo deplecionados, seus valores absolutos ainda retratam os teores elevados na rocha-mãe.

O alto conteúdo de zircão e baixo teor de turmalina também corroboram sua origem a partir das rochas granito-gnáissicas ricas em zircão.

Por outro lado em Manaus-Itacoatiara o caulim se desenvolveu a partir de fácies silto-argilosa da Formação Alter do Chão. O perfil de alteração caulínica preserva ainda as variações granulométricas observadas na coluna estratigráfica dessa formação. A composição mineralógica representada por teores

elevados de caolinita, pequena quantidade de quartzo em grãos exibindo granulação fina a média e formas arredondadas e subarredondadas além de raras e diminutas placas de micas, retratam ainda a mineralogia da rocha-mãe.

O quimismo desse caulim caracterizado pelos altos teores de SiO_2 e de Al_2O_3 , assim como pelos baixos teores de elementos traços como Ba, Cr, Cu e Sr bem como de ETR e o alto teor de Zr, refletem a assinatura geoquímica da rocha-mãe.

Os altos teores de zircão e a presença embora em pequenas quantidades de turmalina, estauroлита e rutilo também indicam que esse caulim se originou de sedimentos da Formação Alter do Chão que tem conteúdo similar de minerais pesados.

O caulim da BR-010/Rio Capim, assim como em Manaus-Itacoatiara também se formou pelo intemperismo de rochas sedimentares, no caso da Formação Itapecuru, o que é corroborado pela laminação plano-paralela reliquiar e pelas variações granulométricas, observadas tanto no perfil como nas rochas adjacentes da citada unidade. A composição mineralógica do caulim caracterizada por altos teores de caolinita, baixos teores de quartzo de granulação fina com grãos de formas arredondadas a subarredondadas e raras e diminutas palhetas de mica, mostram sua relação com a Formação Itapecuru.

A composição química representada por altos teores de SiO_2 , Al_2O_3 e TiO_2 e baixos teores de K_2O , se assemelham aos valores encontrados em Manaus-Itacoatiara. Os elevados teores de elementos traços como Ba, Cr, Pb, V e Sr, assim como de ETR estão intimamente relacionados ao fosfato de alumínio do grupo da crandalita-goyazita presente no caulim da BR-010/Rio Capim.

Os minerais pesados com altos teores de zircão e turmalina e a presença, embora em pequenas quantidades, de estauroлита, cianita e rutilo indicam também que esse caulim se formou a partir de sedimentos da Formação Itapecuru que tem composição mineral similar.

Esses perfis foram provavelmente formados no tempo da formação dos perfis laterítico-bauxíticos da Amazônia segundo TRUCKENBRODT et al. (1982) e COSTA (1984, 1990a e 1991), durante o Terciário Inferior. Grande parte desses perfis estão truncados e recobertos por latossolos atuais ou fósseis. Há indícios tais como desferrificação parcial a total e porcelanização do caulim, que o topo dos perfis truncados em certas regiões, foi modificado por ambientes pantanosos, levando à formação de caulins de alta brancura.

A determinação das propriedades físicas leva a concluir que o caulim de São Gabriel da Cachoeira não é indicado para a indústria de papel, tinta e borracha, mas tem boa qualidade para as indústrias cerâmica e de porcelana, enquanto que o caulim de Manaus-Itacoatiara pode ser aproveitado nas indústrias de borracha, tintas e papel, principalmente como material de preenchimento (filler).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCÂNTARA, D. 1988. Caulim - Segunda produtora do Brasil tem novo projeto. *Minérios*, Jul. :48-51.
- ARAÚJO, J.F.V.; MONTALVÃO, R.M.G.; LIMA, M.I.G.; FERNANDES, P.E. C.A.; CUNHA, F.M.B.; FERNANDES, G.A.G.; BASEI, M.A.S. 1976. Geologia. In: Brasil. Projeto RADAMBRASIL. Folha SA.21 Santarém: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro. Cap. 1, p. 30-81 (Levantamento de Recursos Naturais, 10).
- BRAUN, J.J.; PAJEL, M.; MULLER, J.P.; BILONG, P. 1990. Cerium anomalies in lateritic profiles. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 53 (3): 781-795
- BRISTOW, C.M. 1987. World Kaolins - Genesis, exploitation, and application. *Industrial Minerals*, Jul. :45-59.
- COLARES, J.Q.S. & CAVALCANTI, V.M.M. 1990. Litofácies e sistemas deposicionais da Formação Itapecuru na porção centro-oeste do estado do Maranhão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36. Natal, 1990. Anais. Natal, SBG. v.1, p. 150-156.
- COSTA, M.L. 1984. A dinâmica da formação de lateritas: o exemplo do NE do Pará e do NW do Maranhão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33. Rio de Janeiro, 1984. Anais. Rio de Janeiro, SBG. v.10, p. 4823-4837.
- COSTA, M.L. 1990a. Potencial Metalogenético dos Lateritos da Amazônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., Natal, 1990. Anais. Natal, SBG. v.3, p. 1371-1385.

- COSTA, M.L. 1990b. Mineralogia, geoquímica, gênese e epigênese dos lateritos fosfáticos de Jandá, na região bragantina (NE do Pará). *Geochim. Brasil.*, 4(1): 85-110.
- COSTA, M.L. 1991. Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. *Rev. Bras. Geoc.*, 21(2):146-160.
- COSTA, M.L. & ARAÚJO, E.S. 1990. Projeto Lateritinga: um estudo geoquímico orientativo para os lateritos da Amazônia, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., Natal, 1990. *Anais. Natal, SBG. v.2, p. 837-854.*
- COSTA, M.L. & MORAES, E.L. 1992. As grandes reservas de caulim e a laterização na Amazônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37., São Paulo, 1992. *Anais. São Paulo, SBG. v.1, p. 588-589.*
- COSTA, M.L. & SÁ, J.H.S. 1980. Os fosfatos lateríticos da Amazônia Oriental: In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., Camboriú, 1980. *Anais. Camboriú, SBG. v.3, p. 1459-1472.*
- COSTA, M.L.; ANGÉLICA, R.S.; ARAÚJO, E.S.; HORBE, A.M.C. 1991. Abundância e fracionamento dos elementos terras raras em lateritos maduros (crostas ferro-aluminosas e aluminosas) da Amazônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 3., São Paulo, 1991. *Anais. São Paulo, SBGq. v.2, p. 651-653.*
- COURA, F.; MEORI, E.N.; KERN, R.S. 1986. Geologia do caulim do Jari. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34., Goiânia, 1986. *Anais. Goiânia, SBG. v.5, p. 2248-2258.*
- CUNHA, B.C.C. & DEL'ARCO, J.O. 1988. Variações faciológicas da Formação Itapecuru na região de Santa Inês - MA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., Belém, 1988. *Anais. Belém, SBG. v.2, p. 765-777.*

- FERNANDES, P.E.C.A.; PINHEIRO, S.S.; MONTALVÃO, R.M.G.; ISSLER, R.S.; ABREU, A.S.; TASSINARI, G.C.G. 1977. Geologia. In: Brasil. Projeto RADAMBRASIL. Folha SA.19 Içá: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro. Cap.1, p. 28-74 (Levantamento de Recursos Naturais, 14).
- GOÉS, A.M. 1981. Estudo sedimentológico dos sedimentos Barreiras, Ipixuna e Itapecuru, no nordeste do Pará e noroeste do Maranhão. Belém, Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências. 55p. Tese (Mestrado)-Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, UFPa, 1980.
- HALWARD, A.; SANCHEZ, C.; OLIVEIRA, A.P. 1977. Comparação entre algumas propriedades físico-químicas do caulim Amazon 88 e de outros caulins. Rev. Bras. Tecnol., 8: 83-95.
- HURST, V.J. & BÓRIO, N.J. 1975. Rio Capim kaolin deposits, Brazil. Econ. Geol., 70 (5): 990-992.
- ISSLER, R.S.; ANDRADE, A.R.F.; MONTALVÃO, R.M.G.; GUIMARÃES, G.; SILVA, G.G.; LIMA, M.I.C. 1974. Geologia da Folha SA.22 Belém. In: Brasil. DNPM Projeto RADAM. Folha SA.22 Belém: geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro. Cap.1, p. 13-38 (Levantamento de Recursos Naturais, 5).
- KELLER, W.D. 1978. Classification of kaolins exemplified by their textures in scan Electron Micrographs. Clays and Clay Minerals, 26 (1): 1-20
- KESLER, T.L. 1956. Environment and origin of the Cretaceous kaolin deposits of Georgia and South Carolina. Econ. Geol., 51 (6): 541-554.

- KREBS, A.S.J. & ARANTES, J.L.G. 1973. Pesquisa de Caulim no Rio Capim, Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27., Aracajú, 1973. *Anais*. Aracajú, SBG. v.1 p. 181-191.
- LEMOES, V.P. & COSTA, M.L. 1987. Partição dos terras raras nos laterítos fosfáticos de Maicuru-PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 1., Porto Alegre, 1987. *Anais*. Porto Alegre, SBGq. v.1, p. 83-102.
- MARUO, J. 1988. Caulim. *Minérios*, Set. :50-51.
- MARUO, J. 1989. Caulim. *Minérios*, Out. :28-29.
- MARUO, J. & BRAGA, S.L.C. 1987. Caulim. *Minérios*, Dez. :86-87.
- MONTEIRO, R.W. 1977. Elementos Traços do Caulim do Rio Capim, Estado do Pará. Belém, Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências. 66p. Tese (Mestrado)-Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, UFPa, 1977.
- MOSSER, C.; WEBER, F.; GAC, J.Y. 1974. Eléments traces dans des kaolinites d'altération formées sur granite et schiste amphiboliteux en République Centrafricaine. *Chem. Geol.*, 14: 95-115.
- MURRAY, H.H. 1986. Clays. *Ullmanns Encyclopedia of Industrial Chemistry*. VCH, Verlagsgesellschaft. Weinheim. R.F.A. v. A7, p. 109-136.
- MURRAY, H. & PARTRIDGE, P. 1981. Genesis of Rio Jarí Kaolin. In: OLPHEN, H. von & VENIALE, F. *International Clay Conference*. Elsevier, Amsterdam. p. 279-291 (Developments in Sedimentology, 35).
- NAKAMOTO, K. 1970. *Infrared spectra of inorganic and coordination compounds*. 2 ed. London, Wiley-Interscience. 338 p.

- O'CONNELL, D.G.; EVANS, K.G.; HINCH, P. 1989. Kaolin - An Australia perspective. *Industrial Minerals*, Dez. :54-59.
- OLIVEIRA, N.P. & SCHWAB, R.G. 1980. Itacupim: um exemplo da influência do fósforo sobre o desenvolvimento de perfis lateríticos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., Camboriú, 1980. *Anais. Camboriú, SBG. v.1*, p. 184-196.
- OLIVEIRA, S.M.B.; & SILVA, M.L.M.C. 1990. Comportamento das terras raras em bauxitas derivadas da laterização de rochas básicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., Natal, 1990. *Anais. Natal, SBG. v.2*, p. 912-919.
- OZDEMIR, H. & SEZER, I. 1988. Clay potencial Turkey. *Industrial Minerals. Suplemento*, Mar. :35-39.
- PATTERSON, S.H. & MURRAY, H.H. 1984. Kaolin, Refractory Clay, Ball Clay, and Halloysite in North America, Hawaii, and the Cariben Region. *Geological Survey Professional Paper 1306*. 57p.
- SANTOS, P.S. 1975. Tecnologia de argilas: aplicado às argilas brasileiras. São Paulo, Edgard Blucher, Editora da Universidade de São Paulo. v.2. 802p.
- SANTOS, E.J.; COUTINHO, M.G.N.; COSTA, M.P.A.; RAMALHO, R. 1984. A região de dobramentos nordeste e a bacia do Parnaíba, incluindo o cráton de São Luis e as bacias marginais. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A.; DERZE, G.R.; ASMUS, H.E., coord. *Geologia do Brasil*. Brasília, DNPM. p. 131-189.
- SCHENATO, F.; TEDESCO, M.A.; FORMOSO, M.L.L. 1992. O caolim Capivarita: uma proposição de gênese. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37., São Paulo, 1992. *Anais. São Paulo, SBG. v.1*, p. 262-264.

- SCHOBENHAUS, C. & CAMPOS, D.A. 1984. A evolução da plataforma Sul-Americana no Brasil e suas principais concentrações minerais. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A.; DERZE, G.R.; ASMUS, H.E., coord. Geologia do Brasil. Brasília, DNPM. p. 9-53.
- SILVA, S.P. & DUARTE, A.L.S. 1983. Depósito de caulim do Morro do Felipe, município de Mazagão - Amapá. Belém, DNPM. 12p. (Relatório Nº 1734).
- SILVA, S.P.; SERFATY, A.; LAMARÃO, N.C.; CALAF, J.M.C.; SILVA, P.R.P. 1983. Depósitos de caulim da região do Médio Rio Capim, Municípios de Irituia e São Domingos do Capim - Pará. Belém, DNPM. 9p. (Relatório Nº 1728).
- SOMAN, K. & SLUKIN, A.D. 1987. Lateritization cycles and their relation to the formation and quality of kaolin deposits South Kerala, India. Chem. Geol., 60 (1-4): 273-280.
- SOUZA, J.A.; POLLMANN, H.; SCHWAB, R.G. 1988. Mineralogische und keramische charakterisierung von kaolinen aus Pará/N-Brasilien. Fortschritte Mineralogie, 66 (1):21.
- STUBICAN, V. & ROY, R. 1961. Isomorphous substitution and infrared spectra of the layer lattice silicates. Am. Mineral., 46:32-51.
- THOREZ, J. 1976. Pratical identification of clay minerals. Belgique, G. Lelotte. 90p.
- TRUCKENBRODT, W.; KOTSCHUBEY, B.; GÓES, A.M. 1982. Considerações a respeito da idade das bauxitas na parte leste da região Amazônica. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 1., Belém, 1982. Anais. Belém, SBG-NO. v.1, p. 201-209.

VARAJÃO, A.F.D.C.; MELFI, A.J.; BOULANGE, B. 1990. Caracterização morfológica mineralógica e química das fácies estruturais da jazida de caulinita de Vargem dos olhos, Quadrilátero Ferrífero, MG. Rev. Bras. Geoc., 20 (1-4): 75-82.