

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E
MICROESTRUTURAL DE BAUXITAS DA REGIÃO DE
PORTO TROMBETAS, PA.**

Renata Pereira Martins Gomes

Orientador: Prof. Dr. Henrique Kahn

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF / 09 - 24)

TF
G633
RPM.c

São Paulo
2009

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Instituto de Geociências



**CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E
MICROESTRUTURAL DE BAUXITAS DA REGIÃO DE
PORTO TROMBETAS, PA.**

Renata Pereira Martins Gomes

Orientador: Prof. Dr. Henrique Kahn

Escola Politécnica - Departamento de Engenharia de Minas e de
Petróleo

DEDALUS - Acervo - IGC



30900026792

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA

(TF / 09 - 24)

São Paulo

2009

TF
G633
RPM.C

Instituto de origem	INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - USP
Nº	TF/ 09-24
Título	Caracterização mineralógica e microestrutural de bauxitas da região de Porto Trombetas, PA.
Autor	Renata Pereira Martins Gomes
Orientador	Prof. Dr. Henrique Kahn Escola Politécnica – Depto. Engenharia de Minas e Petróleo
Local e ano de conclusão	São Paulo, 2009

Agradecimentos

Ao Prof. Dr. Henrique Kahn pela oportunidade de realização deste trabalho, pelos diversos momentos de otimismo e empolgação e, por proporcionar-me inúmeros momentos de aprendizados.

Aos pesquisadores do LCT, especialmente Carina, Daniel, Juliana, Manuela e Mariane, pela paciência e apoio.

Ao Fábio, meu grande companheiro e amigo, sempre nas horas difíceis, incentivando-me e participando sempre dos meus melhores momentos.

À MRN - Mineração Rio do Norte por ter possibilitado a realização deste projeto.

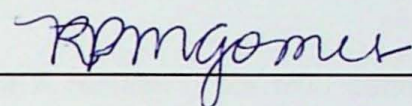
Ao pessoal da Biblioteca do IGc, principalmente à Sandra, pela paciência e simpatia.

Ao Rafael França (Cabaço) e Viviane (Jebah) pela amizade e apoio com as rotinas analíticas.

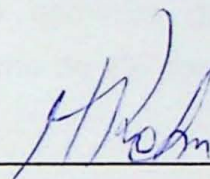
Ao quase Engº de Minas Jaime Ijichi Machado pelo apoio durante o desenvolvimento do trabalho e pelos comentários "engenharísticos".

Ao Erílio e Rose, funcionários do LCT, pelo apoio na preparação das amostras.

De acordo,



Aluna: Renata Pereira Martins Gomes



Prof. Dr. Henrique Kahn

RESUMO

A bauxita é um minério de origem laterítica constituído essencialmente por hidróxidos de alumínio, além de caulinita e óxi-hidróxidos de ferro como impurezas.

Neste trabalho foram estudadas amostras de bauxita da região de Porto Trombetas, Oriximiná - PA, referentes cinco platôs com depósitos de coberturas lateríticas desenvolvido sobre uma seqüência de rochas sedimentares terciária. O perfil de intemperismo apresenta três níveis principais: laterítico, nodular e maciço.

A composição mineralógica é semelhante para as várias amostras estudadas, com distinção apenas em relação às proporções minerais; estas são constituídas essencialmente por gibbsita, caulinita e óxi-hidróxidos de ferro (hematita e goethita), além de quartzo e anatásio, dentre outros minerais menores.

O agrupamento através de difratogramas de raios X (*clusters*) permitiu definir cinco grupos de amostras com características químicas e mineralógicas distintas, sendo que os grupos com maiores conteúdos de sílica reativa são os que apresentam menores proporções de material retido em 0,037 mm (maior quantidade de caulinita).

A análise microestrutural mostra que a gibbsita ocorre de duas formas, uma de aspecto homogêneo e, outra envolvida ou intercrescida com caulinita e óxi-hidróxidos de ferro. Microanálises químicas por MEV/EDS indicaram para os domínios gibbsíticos (agregados de gibbsita) teores médios de SiO_2 (sílica reativa) em torno de 4% para bauxita maciça, 3% para lateritas e 7% para bauxita nodular.

ABSTRACT

The bauxite is an aluminum ore from lateritic origin constituted essentially by aluminum hydroxides and other impurities, such as kaolinite and iron oxy-hydroxides.

This work presents the study of samples from Porto Trombetas area, Oriximiná, PA, associated to five distinct plateaus with lateritic deposits developed over a sequence of a Tertiary sedimentary rocks. The weathering profile presents three major bauxite horizons: nodular, lateritic and massive.

The mineral composition is similar among the samples analyzed, with distinction only in the mineral proportions; they are essentially constituted by gibbsite, kaolinite, iron oxy-hydroxides (hematite and goethite) with minor amounts of quartz and anatase, despite other minor minerals.

Cluster analysis of X-ray diffraction spectra allowed the definition of five groups of samples with different chemical and mineralogical characteristics. The groups with higher amounts of reactive silica are those with the higher proportions of material bellow 0.037 mm (greater amount of kaolinite).

The microstructural analysis by SEM showed that gibbsite occurs in two forms, a uniform aspect, and other surrounded or intergrown with kaolinite and oxy-hydroxides. SEM/EDS microanalysis showed for gibbsite domains (gibbsite particles and/or aggregates) average SiO₂ (reactive silica) grades of 4% for massive bauxite, 3% for laterites and 7% for nodular bauxite.

SUMÁRIO

	<i>página</i>
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	2
2.1 Justificativas do projeto	2
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
3.1 Contexto geológico regional	3
3.2 Depósitos de bauxita da região Amazônica	5
3.3 Bauxita de Porto Trombetas – PA	5
3.4 Gênese dos depósitos de bauxita.....	6
3.4.1 Aspectos genéticos dos depósitos de bauxita da Amazônia	7
3.5 Processamento de bauxita	8
3.5.1 Processamento de bauxita de Porto Trombetas	10
3.6 Técnicas de caracterização	11
3.6.1 Caracterização tecnológica de matérias-primas minerais	11
3.6.2 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	12
3.6.3 Difractometria de raios X através do método do pó	12
3.6.4 Análise grupal por difratometria de raios X	13
3.6.5 Fluorescência de raios X	14
4 MATERIAIS E MÉTODOS	15
4.1 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E QUÍMICA DAS BAUXITAS.....	15
4.1.1 Difração de raios X	15
4.1.2 Fluorescência de raios X	16
4.2 CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL E QUÍMICA DA GIBBSITA.....	16
5 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	20
6 RESULTADOS OBTIDOS.....	22
6.1 Caracterização mineralógica	22
6.1.1 Agrupamento por difração de raios X.....	22
6.1.2 Composição química	24
6.1.3 Mineralogia	25
6.2 caracterização microestrutural.....	27
6.2.1 Morfologia.....	27
6.3 Caracterização química de agregados minerais contendo gibbsita	40
6.3.1 Laterita	40
6.3.2 Bauxita nodular.....	40
6.3.3 Bauxita maciça	40

6.3.4 Comportamento dos litotipos em diagramas $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3$	41
6.4 interpretação e discussão dAS Análise TEXTURAL	43
7 CONCLUSÕES	46
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

ANEXOS

ANEXO I - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS AMOSTRAS ESTUDADAS DE MINÉRIO BRUTO SEGUNDO AGRUPAMENTOS POR DRX

ANEXO II - COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DAS AMOSTRAS ESTUDADAS DE MINÉRIO BRUTO SEGUNDO AGRUPAMENTOS POR DRX

ANEXO III - RELAÇÃO DAS AMOSTRAS ESTUDADAS AO MEV/EDS

ANEXO IV - CÁLCULO ESTEQUIOMÉTRICOS

ANEXO V - HISTOGRAMAS COMPARATIVOS DOS DADOS DE MICROANÁLISE POR EDS

Índice de figuras

página

Figura 1. Localização da região de Porto Trombetas, Pará. Fonte: © 2009 Google maps. ...	3
Figura 2. Porção do mapa geológico da Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo (2004), Folha Santarém SA-21, CPRM.	4
Figura 3. Distribuição dos minerais no perfil laterítico da bauxita de Porto Trombetas.....	6
Figura 4. Esquema ilustrativo do processo pelo qual a bauxita passa desde a extração até o embarque de navios. Fonte: www.mrn.com.br.	10
Figura 5. Fenômeno de interação de difração de raios X (Lei de Bragg).....	13
Figura 6. Fluxograma apresentando as etapas de preparação de amostras para DRX.	15
Figura 7. Impregnação de fragmentos com resina em tubo de PVC.	17
Figura 8. Fragmentos em seção polida após o polimento.	17
Figura 9. Esquema ilustrativo apresentando à esquerda a seção polida com vários fragmentos, em seguida a fotomicrografia do fragmentos selecionado e, à direita, a imagem do MEV obtida pelo detector de elétrons retroespalhados (BSE)	17
Figura 10. Imagem de elétrons retroespalhados (BSE) apresentando as diferentes observações obtidas durante as análises ao MEV.	18
Figura 12. Dendograma da análise por agrupamento das amostras brutas, destacando os <i>clusters</i> e o <i>cut off</i> ajustado.	22
Figura 13. Gráfico de análise de componente principal para as amostras agrupadas em <i>clusters</i>	23
Figura 14. Esquema ilustrativo do agrupamento por clusters para as amostras de bauxita maciça. O difratograma mais representativo do grupo é marcado com (***)e os extremos com (+).	24
Figura 15. Composição química média dos <i>clusters</i> obtidos para as amostras brutas dos cinco platôs.	25
Figura 16. Composição mineralógica média dos <i>clusters</i> obtidos para as amostras brutas dos cinco platôs.	26
Figura 17. Amostra de laterita apresentando em (A) Fotomicrografia do fragmento da amostra SCI 29-3; (B) Imagens de BSE com trechos selecionados para análise ; (C),(D) e (E) Destacando imagens de BSE dos trechos selecionados para microanálise e ao lado direito a respectiva composição química (% massa).	28
Figura 18. Amostra de laterita apresentando em (A) Fotomicrografia do fragmento da amostra SCI 29-3; (B) Imagens de BSE com trechos selecionados para análise ;	

(C),(D) e (E) Destacando imagens de BSE dos trechos selecionados para microanálise e ao lado direito a respectiva composição química (% massa).....	29
Figura 19. Amostra de laterita apresentando em (A) Fotomicrografia do fragmento da amostra SCI 51-2; (B) Imagens de BSE com trechos selecionados para análise; (C) e (D) Destacando imagens de BSE dos trechos selecionados para microanálise e ao lado direito a respectiva composição química (% massa).....	30
Figura 20. Amostra de laterita apresentando em (A) Fotomicrografia do fragmento da amostra SAR 48-6; (B) Imagens de BSE com trechos selecionados para análise; (C) e (D) Destacando imagens de BSE apresentando trechos selecionados para microanálise e ao lado direito a respectiva composição química (% massa).....	31
Figura 21. Amostra de laterita apresentando em (A) Fotomicrografia do fragmento da amostra STE 130-3; (B) Imagens de BSE com trechos selecionados para análise; (C) e (D) Destacando imagens de BSE apresentando trechos selecionados para microanálise e ao lado direito a respectiva composição química (% massa).....	32
Figura 22. Amostra de bauxita nodular apresentando em (A) Fotomicrografia do fragmento da amostra SAR 6-5; (B) Imagens de BSE com trechos selecionados para análise; (C) e (D) Destacando imagens de BSE apresentando trechos selecionados para microanálise e ao lado direito a respectiva composição química (% massa).....	33
Figura 23. Amostra de bauxita nodular apresentando em (A) Fotomicrografia do fragmento da amostra SMB 743-2A; (B) Imagens de BSE com trechos selecionados para análise; (C) Destacando imagens de BSE apresentando trechos selecionados para microanálise e ao lado direito a respectiva composição química (% massa).....	34
Figura 24. Amostra de bauxita nodular apresentando em (A) Fotomicrografia do fragmento da amostra SMB 743-2C; (B) Imagens de BSE com trechos selecionados para análise; (C) Destacando imagens de BSE apresentando trechos selecionados para microanálise e ao lado direito a respectiva composição química (% massa).....	35
Figura 25. Fragmentos de bauxita nodular destacando os nódulos de óxi-hidróxidos de ferro irregulares.....	35
Figura 26 . Amostra de bauxita nodular apresentando em (A) Fotomicrografia do fragmento da amostra SBC 178-8B; (B) Imagens de BSE com trechos selecionados para análise; (C) Destacando imagens de BSE apresentando	

trechos selecionados para microanálise e ao lado direito a respectiva composição química (% massa).....	39
Figura 27 . Fragmentos de bauxita maciça apresentando em (A) Estruturas nodulares compostas por óxi-hidróxido de ferro; (B) Porções concentrando gibbsita, caulinita bordejando porções gibbsíticas e óxi-hidróxido de ferro intercrescido à matriz.	40
Figura 28. Comparação da composição química da gibbsita frente aos litotipos estudados. O digrama no canto superior direito foi plotado com intervalos de 0 a 100%, sendo destacado em azul o trecho correspondente ao digrama destacado em cada quadro.	42

Índice de tabelas

página

Tabela 1 - Operações realizadas na caracterização tecnológica de materiais, síntese da métodos empregados e os resultados esperados.	11
Tabela 2 - Relação das amostras de bauxita estudadas por MEV/EDS.	17
Tabela 3. Cronograma das atividades realizadas para o Trabalho de Formatura (TF).	21
Tabela 4. Composição química média dos <i>clusters</i> obtidos para as amostras brutas dos cinco platôs.	25
Tabela 5. Composição mineralógica média dos <i>clusters</i> obtidos para as amostras brutas dos cinco platôs.	26

1 INTRODUÇÃO

A bauxita é um minério de origem laterítica, resultante da ação do intemperismo químico sobre rochas sílico-aluminosas, geralmente em clima tropical e subtropical, durante o qual ocorre a lixiviação da sílica e a neoformação de minerais ricos em alumínio.

Sua constituição é definida pela mistura de hidróxidos de alumínio hidratados ($\text{AlO}_x(\text{OH})_{3-2x}$, $0 < x < 1$), com destaque para: gibbsita ($\alpha\text{-Al}(\text{OH})_3$), boehmita ($\alpha\text{-AlO}(\text{OH})$) e diásporo ($\alpha\text{-AlO}(\text{OH})$), onde as proporções das três fases minerais variam de acordo com a localização geográfica do depósito (Costa *et al.*, 2006); como principais impurezas tem-se, usualmente, caulinita e óxi-hidróxidos de ferro (hematita e goethita).

A bauxita é o principal minério de alumínio utilizado pela indústria na obtenção da alumina e do alumínio metálico primário e seus compostos, ocupando posição de destaque no cenário econômico nacional, uma vez que o Brasil detém a 3ª maior reserva mundial e ocupa a 2ª posição como produtor do minério (ABAL, 2006).

O interesse econômico da bauxita, conforme observações de Antoniassi (2006), depende de sua composição mineralógica, fundamentalmente das proporções de gibbsita e argilominerais contidos, sendo estes considerados deletérios para o aproveitamento econômico, que na prática é usualmente avaliada através de análises químicas específicas ou, mais raramente, de análises mineralógicas em estudos mais detalhados.

Na região de Porto Trombetas, município de Oriximiná-PA, são encontrados vários depósitos de bauxita relacionados a platôs com coberturas lateríticas, local este em que Mineração Rio do Norte (MRN) desenvolve suas atividades de lavra e extração.

Os depósitos de bauxita da região de Porto Trombetas foram descobertos em 1950 e as atividades de extração iniciaram-se em 1979 através da MRN. Atualmente, esta empresa lavra a bauxita das minas (platôs) de Saracá, Almeidas e Aviso, nos quais, o minério encontra-se coberto por uma vegetação densa e uma camada estéril composta de solo orgânico.

De acordo com dados do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), a MRN, foi responsável por 73% da produção nacional de bauxita metalúrgica no ano de 2007.

O presente projeto compreende a caracterização mineralógica e microestrutural de amostras dos platôs de Cipó, Teófilo, Monte Branco, Aramã e Bela Cruz, com a definição da forma de ocorrência, associações e composição química da gibbsita em suporte a estudos de desenvolvimento de processos e viabilidade econômica para o seu aproveitamento futuro. Estes estudos foram realizados através da conjugação de técnicas de microscopia eletrônica de varredura com sistema de microanálise por EDS, além de difratometria de raios X e fluorescência de raios X.

2 OBJETIVOS

A principal meta do estudo é definir a forma de ocorrência e composição química de agregados de gibbsita de modo a subsidiar estudos de desenvolvimento de processos, bem como, avaliar a possibilidade de geração de produtos com baixos teores de óxi-hidróxidos de ferro e sílica reativa.

Para tanto, pretende-se combinar diferentes técnicas de análise química e mineralógica para realizar a caracterização da bauxita com vistas à definição da forma de ocorrência, associações e composição química dos agregados de gibbsita em amostras de bauxita nodular, laterita e bauxita maciça referentes a cinco platôs distintos.

2.1 JUSTIFICATIVAS DO PROJETO

O beneficiamento da bauxita tem por meta garantir um produto final com elevados teores de alumina aproveitável, igual ou superior a 50% de Al_2O_3 e de sílica reativa abaixo de 4% (Reis, 2003 *apud* Ulsen *et al*, 2007).

A sílica, por sua vez, ocorre essencialmente em duas formas principais: como constituinte de argilominerais ou como quartzo. No primeiro caso a sílica é denominada sílica reativa, pois reage no processo de dissolução consumindo soda cáustica e diminuindo a eficiência do processo.

Deste modo, é de grande importância não só a individualização dos tipos de minérios de bauxita, como a sua caracterização mineralógica e microestrutural, fundamentalmente para a determinação da composição química dos agregados de gibbsita e eventuais substituições que envolvendo o íon Al.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica compreendeu pesquisas a respeito do contexto geológico regional, das características do depósito de bauxitas de Porto Trombetas -PA e os aspectos relativos à mineralogia e microestruturas de bauxitas. Também buscou-se informações acerca dos métodos e técnicas utilizados para a caracterização tecnológica de minérios.

A área em estudo situa-se no município de Oriximiná, oeste do Estado do Pará (Fig.1), região próxima às margens do Rio Trombetas e ocupa uma área de cerca de 2200 km². Distanto cerca de 900 km de Belém - PA, possui acesso tanto por via marítima como aérea.

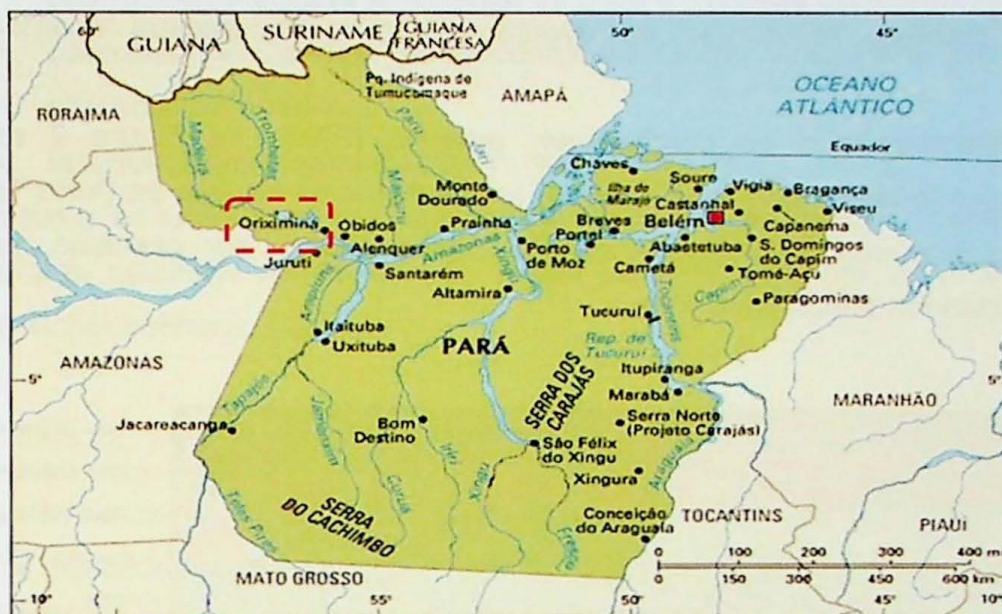


Figura 1. Localização da região de Porto Trombetas, Pará. Fonte: © 2009 Google maps.

3.1 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

Regionalmente os depósitos de bauxitas estão inseridos no contexto geológico-tectônico da Bacia do Amazonas, localizada na região norte do Brasil.

A bacia, classificada como intracratônica, formou-se em consequência do rifteamento gerado pela colisão continental Pan-Africana. Seu substrato é constituído por rochas metamórficas das Províncias de Maroni-Itacaiúnas e Amazônia Central e, a partir do Neoproterozóico surgem os primeiros registros de eventos sedimentares, caracterizando uma sucessão sedimentar aluvial, fluvial e lacustre, pertencentes ao Grupo Purus (Cunha *et al*, 1994).

Durante o Fanerozóico ocorreram 4 seqüências sedimentares principais: Ordoviana-Devoniana, Devoniana-Carbonífera, Permo-Carbonífera e Cretácea-Terciária.

As seqüências continentais do Cretáceo Superior (Formação Alter do Chão) e Cenozóico (Formações Solimões e Içá), depositadas por sistemas fluviais e flúviolacustres,

registram os principais depósitos minerais supérgenos encontrados no Brasil, decorrentes da alteração laterítica atuante na Plataforma Sul-Americana desde o início do Terciário (Dardenne & Schobbenhaus, 2003).

Tais depósitos ocorrem em uma faixa que margeia as rochas proterozóicas do norte do Brasil, das Guianas e da Venezuela, ou seja, no contexto da Província Amazônica, em sua porção oriental.

A Figura 2 apresenta um trecho do mapa geológico da região (Folha Santarém A-21, escala 1:1.000.000), em termos da estratigrafia local, tem-se o Grupo Curuá de idade do Devoniano ao Carbonífero Inferior, pacote que compreende folhelho, siltito, arenito e diamictito. Acima deste, aflora o Grupo Tapajós (Carbonífero), composto, na base, por arenitos intercalados a siltito e folhelho e, no topo, evaporitos de sabkha e calcários. Os diques de diabásio referem-se ao evento vulcânico Penatecaua ocorrido durante o Jurássico.

Destaca-se que as porções em amarelo (ENdl) na Figura 2 referem-se às coberturas detrito-lateríticas, onde ocorrem os depósitos de bauxita de Porto Trombetas. Os depósitos aluvionares (Q2a-holoceno) são representados por cascalho, areia e argila semiconsolidados a inconsolidados.

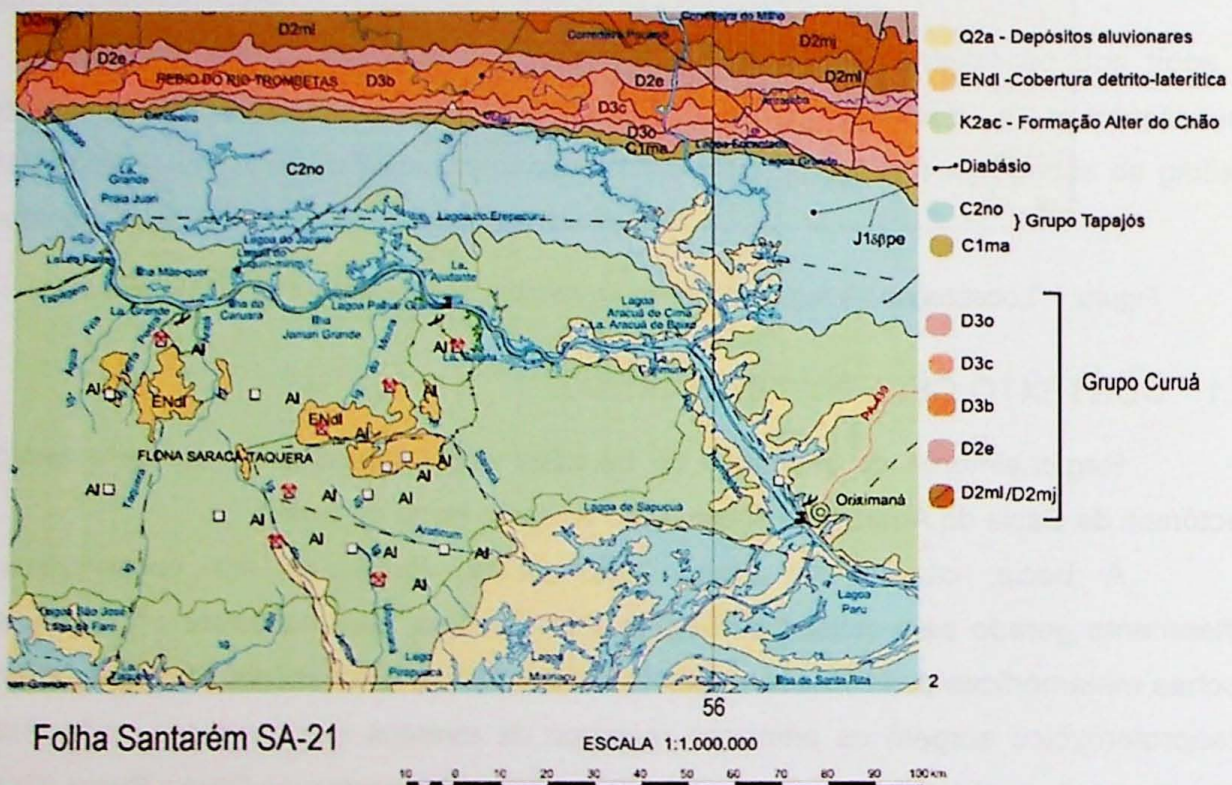


Figura 2. Porção do mapa geológico da Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo (2004), Folha Santarém SA-21, CPRM.

3.2 DEPÓSITOS DE BAUXITA DA REGIÃO AMAZÔNICA

Os depósitos de bauxitas encontrados em diferentes regiões do Brasil podem ser divididos em três grandes províncias, de acordo com Dardenne & Schobbenhaus (2003): a) Bauxitas da Província Amazônica; b) Bauxitas da Província Centro-Leste e c) Bauxitas da Província Alcalina.

As amostras estudadas neste projeto referem-se, em escala regional, à Província Amazônica, na qual são conhecidos os seguintes tipos de depósitos:

- **bauxitas do Pará e do Amazonas**, desenvolvidas sobre sedimentos, correspondentes a 97% das reservas conhecidas (3,6 bilhões de toneladas);
- **bauxitas fosfatadas**, desenvolvidas sobre diversos tipos de rochas, de ocorrência localizada a nordeste do Pará e noroeste do Maranhão;
- **bauxitas de Carajás**, pertencentes ao Grupo Grão Pará, provenientes da alteração de basaltos;
- **lateritas aluminosas** da região de Tucuruí- PA.

Em todas as localidades supracitadas os depósitos são ou foram cobertos por uma espessa camada caulínica conhecida por “Argila Belterra” com até 20 m de espessura (Dardenne & Schobbenhaus, *Op.cit.*).

3.3 BAUXITA DE PORTO TROMBETAS – PA

O primeiro reconhecimento de lateritas aluminosas nos platôs terciários da Amazônia foi realizado pelos geólogos Towse & Wilson em 1959 da companhia Kaiser. No entanto, a publicação de artigos científicos a respeito dessas bauxitas só ocorreu na década de 1970, paralelamente aos trabalhos de exploração, particularmente intensivos nesse período (Kotschoubey *et al*, 2005).

As bauxitas de Porto Trombetas encontram-se em horizontes lateríticos e ocorrem nos topo de platôs achatados, fortemente dissecados pela erosão. (Hernalsteens & Lapa, 1988)

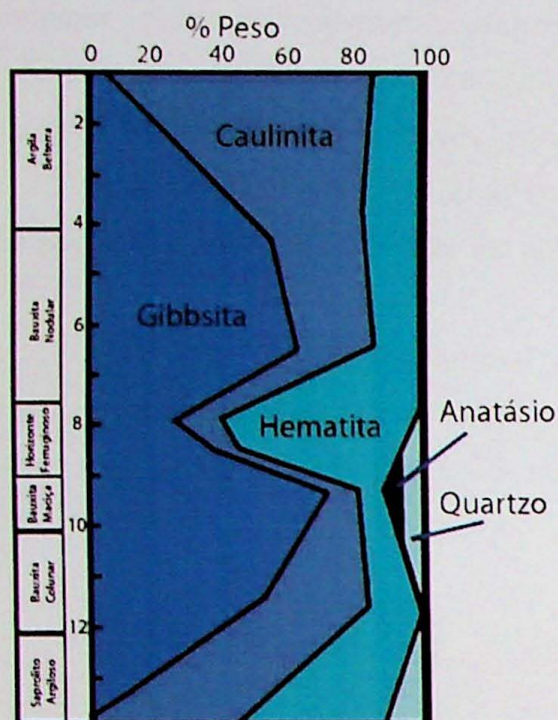
Segundo Boulangé & Carvalho (1997) o perfil observado em Porto Trombetas apresenta as mesmas características encontradas nos demais depósitos da Província Amazônica e a espessura das camadas de bauxita varia de 6 a 10 metros.

De acordo com Biondi (2003), este depósito de bauxita teve seu perfil de alteração desenvolvido a partir de rochas sedimentares argilo-arenosas pertencentes às Formações Ipixuna, Itapecuru e/ou Alter do Chão, situadas entre o Cretáceo Superior e o Terciário Inferior.

Conforme abordou Carvalho (1989), tais depósitos ocorrem em platôs elevados, intensamente erodidos, com altitudes variando entre 160 e 190 m. O topo dos platôs são

ligeiramente inclinados (1 a 5°) em direção ao Rio Amazonas e correspondem à superfície de erosão Velhas (King ,1956).

Os depósitos são caracterizados por três zonas distintas: argila Belterra (topo), zona mineralizada ou de laterita concrecionária e zona saprolítica, conforme Figura 3. A zona de laterita concrecionária é subdividida em três subzonas: bauxita nodular, laterita, bauxita maciça e colunar.



- cobertura constituída por um horizonte de **argila caulinítica** denominada Belterra;
- **zona mineralizada** ou zona laterita concrecionária, subdividida:
 - bauxita nodular
 - laterita ferruginosa
 - bauxita maciça
 - bauxita colunar
- **zona saprolítica** ou argilosa, na base.

Figura 3. Distribuição dos minerais no perfil laterítico da bauxita de Porto Trombetas.

Fonte: (Costa, 1991, 1997 *apud* Dardenne & Schobbenhaus, 2003)

3.4 GÊNESE DOS DEPÓSITOS DE BAUXITA

A descoberta da bauxita ocorreu em 1821 pelo engenheiro de minas Berthier, na região de *Les Baux*, sul da França, definida na ocasião como agregado de minerais aluminosos e, posteriormente, denominada por minério de alumínio.

Os primeiros depósitos de bauxita conhecidos, localizados ao sul da França e Europa Central, foram associados a rochas carbonáticas, consideradas como rochas-mãe de bauxitas.

Com as novas descobertas de materiais ricos em alumínio nas regiões tropicais, o conhecimento acerca da origem e formação de bauxitas ampliou-se.

De acordo com estudos de Kotschoubey (1988) as ocorrências de bauxita apresentam idades variadas, desde cambriana ou proterozóica superior (e.g. Bokson, na Sibéria) até o período recente. Contudo, em escala mundial, pode-se dizer que a maior parte dos depósitos conhecidos formou-se durante o Terciário/Quaternário.

A respeito dos tipos de depósitos de bauxitas, Carvalho (1989), discorreu que muitos autores identificaram ao menos três tipos de depósitos de bauxitas:

- depósito de bauxita laterítica;
- depósito de bauxita de *carst*;
- depósito de bauxita sedimentar (alóctone).

Os processos formadores de minérios de caráter supérgeno estão intimamente associados com a formação de solos, sendo os principais fatores relacionados ao clima local, natureza da rocha original, topografia, drenagem e nível freático, tempo de duração da ação geoquímica.

Os depósitos de bauxitas lateríticas são formados pela alteração de rochas definidas na série sialférica (Carvalho, 1989), sendo os mecanismos envolvidos relacionados à subtração e acumulação de minerais pré-existent e/ou neoformados.

Na visão da metalogênese, o intemperismo químico é o principal processo que atua na formação de bauxitas, notadamente, através das reações de dissolução, oxidação e hidrólise.

Allen (1952), complementa ao dizer que os processos operantes na formação de bauxitas são aqueles relacionados à dessilicificação, migração e ressilicificação.

A dessilicificação implica na remoção de sílica dos argilominerais, feldspatos e hidróxidos de alumínio, enquanto que a migração corresponde ao transporte de argilominerais e óxidos/hidróxidos de alumínio para fora do local de formação, sendo estes depositados em sua presente posição. E a ressilicificação consiste na adição de sílica à gibbsita formando um silicato aluminoso hidratado ou argilomineral.

3.4.1 Aspectos genéticos dos depósitos de bauxita da Amazônia

No aspecto relativo à evolução do perfil de Porto Trombetas, Dardenne & Schobbenhaus (2003), indagaram que *"na distribuição dos horizontes no perfil de alteração, reside a originalidade das bauxitas da Amazônia e a origem das controvérsias em relação à evolução dos perfis de alteração e, conseqüentemente, aos modelos genéticos apresentados"*.

A abordagem refere-se à complexidade da gênese e evolução das bauxitas da Amazônia Oriental. Alguns autores consideram que a evolução é polifásica, sendo o desenvolvimento do perfil de intemperismo como alóctone, para outros, esta evolução ocorreu *in situ* e, portanto, sua gênese é autóctone.

Diferentes visões acerca do mesmo objeto de estudo levaram alguns autores à elaboração de dois modelos distintos, de acordo com Dardenne & Schobbenhaus (*Op. Cit.*) para a formação das bauxitas na Amazônia, apresentados a seguir:

- **Modelo alóctone**

Alguns autores envolvidos: Kotschoubey e Truckenbrodt (1981); Kotschoubey (1988) e Kotschoubey *et al.* (1997) *apud* Dardenne & Schobbenhaus (2003).

Principais pressupostos

- Considera a alteração pelo modelo da evolução polifásica, em que a argila caulinitica (argila Belterra) foi depositada em ambiente lacustre após a formação das bauxitas, atuando como um selante na evolução do perfil de alteração.
- Interpreta-se que a evolução esteja relacionada a duas fases principais de bauxitização, em clima úmido, sob cobertura florestal, e alternadas com períodos de clima árido, sem cobertura florestal, durante os quais ocorre o desmantelamento dos horizontes ferruginosos superficiais.

- **Modelo autóctone**

Alguns autores envolvidos: Tardy (1993); Lucas (1997) e Boulangé e Carvalho (1997) *apud* Dardenne & Schobbenhaus (2003).

Principais pressupostos

- Considera que a evolução do perfil foi contínua e ocorreu *in situ* a partir da alteração dos sedimentos argilo-arenosos, por um longo período em condições climáticas, de equatoriais a tropicais, estendendo-se desde o início do Terciário até os tempos atuais.
- A formação original do horizonte ferruginoso ocorreu devido à migração do ferro que precipitou junto a um nível arenoso e ao nível freático.
- Fenômenos de ressilicificação e dessilicificação são responsáveis pela formação dos horizontes caulínicos e bauxíticos, respectivamente.
- O horizonte caulínico encontra-se microagregado e regenerado por intervenção biológica sob a forma de plantas (fitólitos) ou por transporte do quartzo e da caulinita por organismos (termitos).
- Em suma, o perfil completo das formações bauxíticas da Amazônia resulta da evolução *in situ* por diferenciação geoquímica a partir da atuação de frentes de alteração sucessivas no tempo e no espaço, sendo classificadas como criptobauxitas.

3.5 PROCESSAMENTO DE BAUXITA

As principais aplicações de bauxita referem-se à matéria prima para a produção de alumina/alumínio (grau químico) e de refratários (grau refratário de maior valor agregado).

No Brasil, em torno de 97% das bauxitas beneficiadas são utilizadas na fabricação de alumina, sendo o restante destinado às indústrias de refratários e produtos químicos (DNPM,2006).

De acordo com Hill & Sehnke (2006), de 85% a 90% da bauxita produzida no mundo atualmente é explotada a céu aberto. Entre elas, o método de lavra em tiras é o mais utilizado.

Esse método consiste na retirada da faixa de capeamento, expondo o minério. Na sequência, o minério é escavado e encaminhado para o processamento, enquanto que o capeamento, junto com o rejeito da usina, é depositado na cava exaurida, na faixa adjacente, na qual o minério fora anteriormente lavrado.

O beneficiamento da bauxita, de acordo com Chaves & Massola (2007), envolve etapas de britagem do minério para sua liberação, atrição (escrubagem) da superfície para remoção de partículas finas de argila e limonita, peneiramento ou classificação para retirada da argila e limonita, e, excepcionalmente, remoção de minerais de ferro, titânio, quartzo e outros minerais de ganga através de processos de concentração.

A produção de alumínio metálico a partir da bauxita envolve a obtenção de alumina (Al_2O_3) seguida de redução eletrolítica desta para alumínio metálico; os processos envolvidos são, respectivamente, o Bayer e o Hall-Hérault (Ramos, 1982).

No processo Bayer a alumina reage com uma solução de soda cáustica (NaOH) sob altas pressões, dissolvendo-se e gerando uma solução de aluminato de sódio ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$); as impurezas como quartzo, hematita, goethita, entre outras permanecem na fase sólida como resíduo, o qual é conhecido como lama vermelha (Sampaio *et al*, 2005).

Destaca-se que a principal dificuldade encontrada no beneficiamento da bauxita é garantir um produto final com elevados teores de alumina aproveitável, igual ou superior a 50% de Al_2O_3 e de sílica reativa abaixo de 4% (Reis, 2003 *apud* Ulsen *et al*, 2007).

A alumina aproveitável ou disponível, de acordo com Ulsen *et al*. (2007), refere-se à parcela de alumina com propriedades tais que possa ser solubilizada pela soda cáustica. Esta alumina é oriunda, essencialmente, da gibbsita. Os teores de alumina remanescentes referem-se a outros minerais, tais como argilominerais do tipo caulinita e outras fases de hidróxido de alumínio bohemita, por exemplo.

A sílica, por sua vez, ocorre de duas formas principais: como constituinte de argilominerais ou como quartzo. No primeiro caso a sílica é denominada sílica reativa, pois reage no processo de dissolução consumindo soda cáustica e diminuindo a eficiência do processo.

Conforme destacado em Sampaio *et al* (2005), bauxitas com teores de sílica reativa superiores a 4% comprometem a viabilidade econômica do processo Bayer, sendo estimado que para cada tonelada de sílica reativa dissolvida no processo, aumenta-se o consumo de soda cáustica e as perdas de alumina em uma tonelada cada (proporções de 1:1:1); paralelamente, os custos operacionais elevam-se em 20%.

Em relação à produção de refratários, a alumina deve apresentar baixos teores de Fe_2O_3 , tipicamente 2%, após a calcinação; estes valores, a depender do minério, podem ser

obtidos através dos processos de beneficiamento mais complexos que aqueles empregados na produção de bauxita grau químico.

3.5.1 Processamento de bauxita de Porto Trombetas

De acordo com informações da Mineração Rio do Norte a bauxita é lavrada a céu aberto pelo método de tiras. Da lavra, o minério escavado é transportado por caminhões até as instalações de britagem, onde é reduzido a uma granulometria inferior a 3 polegadas.

Através de correias transportadoras vai para a unidade de beneficiamento que possui capacidade de 25,5 milhões de tonelada por ano (Mt/ano), onde são desenvolvidas as operações de lavagem, ciclonagem e filtragem, com a geração de três produtos: granulado (+1,19mm), fino (-1,19+0,105mm) e ultrafino (-1,05+0,037 mm)..

Entre 2001 e 2003, a empresa investiu em um novo projeto de expansão, o que proporcionou considerável aumento em sua capacidade instalada de produção, passando de 11 milhões para 16,3 milhões de toneladas de minério. O recorde de produção foi em 2007, com 18,1 milhões de toneladas de bauxita produzidas.

A bauxita beneficiada é homogeneizada e transportada até o Porto por ferrovia com 28 km. Como a bauxita pode ser comercializada tanto úmida quanto seca, na área do Porto, o minério pode ter dois destinos, antes de embarcar em navios: ou alimenta os três fornos secadores ou segue úmido para o pátio de estocagem.

A Figura 4 ilustra o processo de extração e beneficiamento da bauxita desenvolvido pela MRN.

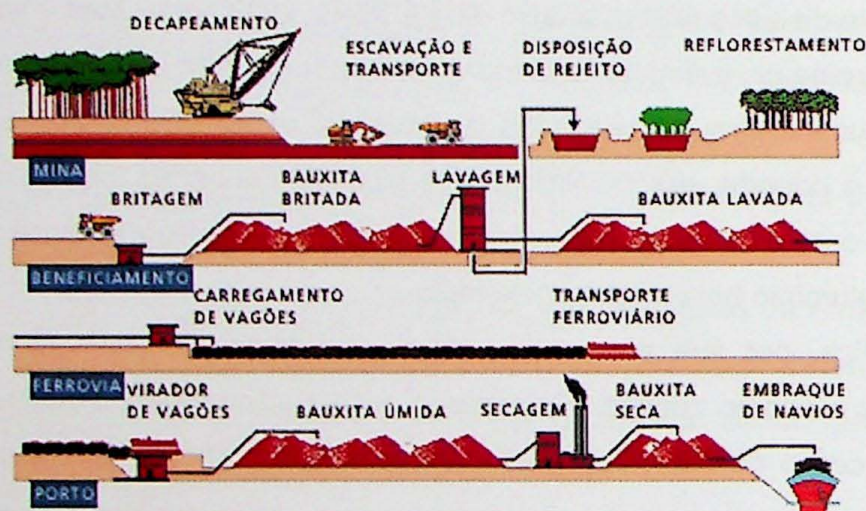


Figura 4. Esquema ilustrativo do processo pelo qual a bauxita passa desde a extração até o embarque de navios. Fonte: www.mrn.com.br.

3.6 TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO

3.6.1 Caracterização tecnológica de matérias-primas minerais

A caracterização tecnológica consiste no conjunto de ensaios e análises laboratoriais, planejadas e executadas em função do bem mineral. Trata-se, de acordo com Henley (1983), de um ramo especializado da mineralogia aplicada, no qual o estudo de aspectos específicos de depósitos de minério são utilizados no auxílio ao desenvolvimento e otimização de processos industriais.

Seu objetivo é a definição das principais propriedades do material, de modo a orientar à aplicação na indústria de transformação, bem como no planejamento de lavra e beneficiamento de minérios complexos (blendagem).

Para tanto, a caracterização preconiza o desenvolvimento de procedimentos realizados em laboratório, os quais são normalmente divididos em duas etapas: a primeira envolve operações de preparação de amostra, compreendendo sua redução e classificação granulométrica e, a segunda, as operações de separações minerais, com o objetivo de concentrar espécies minerais e elucidar suas associações e propriedades.

As operações realizadas em laboratório, a metodologia empregada e a finalidade podem ser resumidas conforme quadro apresentado na Tabela 1 adaptado de Sant'Agostino & Kahn (1997).

Tabela 1 - Operações realizadas na caracterização tecnológica de materiais, síntese da métodos empregados e os resultados esperados.

Operação	Metodologia empregada	Resultado esperado
Preparação de amostras	Observações macroscópicas acuradas	Análise textural.
	Redução de tamanho através de britagem e moagem	Adequação granulométrica frente feições texturais observadas ou características de processos de beneficiamento empregados
	Peneiramento	Classificação granulométrica para separações minerais e análises mineralógicas
Separações mineral	Separação por densidade	Proporção entre produtos com distintos pesos específicos; curva de separabilidade
	Separação magnética	Proporção entre produtos com distintas suscetibilidades magnéticas; curva de separabilidade
	Separação eletrostática	Proporção entre produtos condutor e não condutor
Análises mineralógicas	Microscopia óptica	Forma, cor, alterações, propriedades ópticas, associações, liberação
	Microscopia eletrônica de varredura	Forma, associações, liberação, hábito cristalino
	Difração de raios X	Estrutura cristalina, fases minerais, quantificação
	Análises térmicas	Fases minerais, quantificação
	Sistemas de microanálise através de dispersão de energia (EDS), dispersão do comprimento de onda (WDS)	Composição química
	Análise por infravermelho	Composição química e mecanismos de adsorção
	Catodoluminescência e fluorescência	Caracterização de minerais excitados por elementos ativadores

3.6.2 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A microscopia eletrônica de varredura é uma técnica de caracterização microestrutural extremamente versátil, na qual a interação de um fino feixe de elétrons focalizado sobre a área ou o microvolume de amostra, produz uma série de sinais que podem gerar imagens, as quais são utilizadas para caracterizar propriedades da amostra, tais como sua composição, superfície topográfica, cristalografia, etc. (Brandão *et al.* 2007; Goldstein *et al.*, 1992)

Nesta técnica um fino feixe de elétrons é acelerado por uma diferença de potencial da ordem de 0,2 a 40 kV e convergido, por meio de lentes eletromagnéticas, para a superfície da amostra resultando em interações entre os elétrons e o material, as quais podem ser divididas em duas classes:

- **espalhamento elástico:** afeta a trajetória dos elétrons dentro da amostra sem, no entanto, alterar a energia cinética dos mesmos. É responsável pelo fenômeno de elétrons retroespalhados (imagem de contraste de número atômico e difração de elétrons espalhados - EBSD);
- **espalhamento não elástico:** compreende diferentes interações em que há perda da energia cinética dos elétrons para os átomos da amostra, propiciando a geração de elétrons secundários (imagem de topografia), elétrons Auger, raios X (microanálise e mapeamento elementar) e catodoluminescência.

A técnica também é muito utilizada na identificação da composição química de diversos materiais, quando combinada com um detector de dispersão de energia (EDS).

Com o EDS acoplado ao MEV é possível analisar pontualmente ou em uma determinada área a composição da(s) fase(s) mineral(is) observada(s).

3.6.3 Difratometria de raios X através do método do pó

Nas áreas de geociências e tecnologia mineral a técnica de difratometria de raios X (DRX) através do método do pó é aplicada, essencialmente, na identificação e quantificação de fases minerais e determinação de parâmetros da estrutura cristalina.

A difração, de acordo com Formoso (1984), resulta no processo em que os raios X são dispersos pelos elétrons dos átomos da amostra em análise, sem mudança do comprimento de onda (espalhamento coerente ou elástico), satisfazendo a Lei de Bragg conforme Equação 1:

$$n\lambda = 2d \cdot \sin \theta, \text{ onde} \quad (\text{equação 1})$$

“ λ ” é comprimento de onda do feixe;

“ n ” o número inteiro referente a ordem da difração;

“ d ” a distância interplanar para o conjunto de planos hkl da estrutura cristalina

“ θ ”, o ângulo de Bragg entre o feixe incidente e os planos reticulares (hkl).

Quando os raios X incidem sobre a amostra, interagem com os elétrons fazendo-os vibrar. Os elétrons irradiam novamente radiação em todas as direções, ou seja, são parcela dos raios X são espalhados elasticamente. Os raios X espalhados pelos átomos de vários planos cristalinos de uma rede sofrem interferência que pode ser destrutiva ou construtiva, esta última ocorre quando o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão, como mostrado na Figura 5.

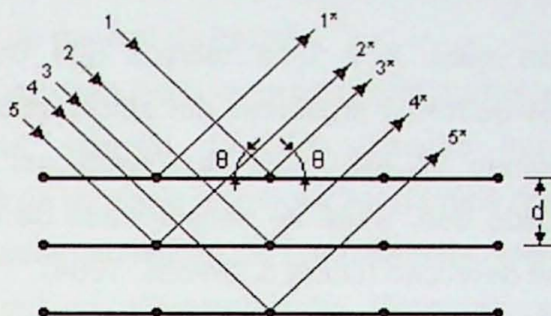


Figura 5. Fenômeno de interação de difração de raios X (Lei de Bragg).

É necessário, para a ocorrência da difração, que o comprimento de onda da radiação incidente seja da mesma ordem de grandeza do espaçamento inter-atômico do material analisado, ou seja, da ordem de angstroms.

O feixe difratado pode ser coletado em um difratômetro, sendo que o espectro de DRX configura um gráfico de intensidade versus ângulo 2θ , compreendendo posições e intensidades das linhas de difração, permitindo identificar e/ou quantificar as fases minerais presentes.

Dentre as diversas técnicas utilizadas na caracterização de bauxitas, destaca-se que a difração de raios X é capaz de realizar análises totais quantitativas da matriz mineral.

3.6.4 Agrupamento com base em difratometria de raios X

Para a definição de uma jazida é necessária a realização de um conjunto de atividades que incluem sua avaliação e determinação do aproveitamento econômico.

Como decorrência das atividades de campo, gera-se um grande número de amostras para análises físicas, químicas, mineralógicas e estudos de processo. A conjugação desses parâmetros com a distribuição espacial das amostras coletadas pode definir a variabilidade do depósito mineral e sua relevância para fins de aproveitamento econômico (Antoniassi *et al* 2008). Neste sentido a análise grupal (*cluster analysis*) é um recurso estatístico que possibilita à classificação de materiais geológicos através da associação de diferentes amostras em grupos de semelhança.

A técnica utiliza algoritmos e critérios matemáticos, como matrizes de correlação, para originar categorias de agrupamentos, possibilitando ao usuário a escolha de parâmetros aplicados ao método de análise.

Esta ferramenta, de acordo com Antoniassi *et al* (*Op.cit.*), pode processar diretamente os difratogramas de raios X, sem o prévio tratamento dos mesmos. Os agrupamentos resultantes retratam não só variações de assembléias mineralógicas como do conteúdo dos minerais presentes, refletindo distintos ambientes geológicos com eventuais implicações na exploração do minério.

3.6.5 Fluorescência de raios X

A fluorescência de raios X é uma técnica que possibilita a identificação e quantificação dos elementos químicos presentes em amostras de minerais e rochas, dentre outros materiais, apresentando as seguintes características: simplicidade do espectro, exatidão alta, reprodutibilidade boa, limite de sensibilidade da ordem de parte por milhão (ppm), ampla capacidade de detecção. (Dutra & Gomes, 1984)

Seu princípio baseia-se na irradiação da amostra por um feixe primário emanado de um tubo de raios X, possibilitando a excitação dos elementos químicos, em geral com número atômico maior que 4 ($Z > 4$) e, como consequência, ocorre a emissão de luz na região do espectro eletromagnético correspondente aos raios X (0,1 a 100 Å). (Dutra & Gomes, 1984)

A radiação emitida pela amostra tem energia característica dos elementos presentes na amostra, cujas intensidades são proporcionais às suas concentrações. Para análise quantitativa são necessários procedimentos de calibração e comparação com padrões, podendo-se se fazer uso de espectrômetros com detector de comprimento de onda (WDS) ou de energia (EDS).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras estudadas referem-se à pesquisa mineral realizada pela MRN nos platôs Cipó, Teófilo, Monte Branco, Aramã e Bela Cruz.

Nesses platôs, a amostragem restringiu-se a zona de laterita concrecionária, de onde foram retiradas amostras de bauxita nodular, laterita e bauxita maciça, neste projeto caracterizado por litotipos do minério de bauxita.

A metodologia compreendeu a caracterização química e mineralógica de amostras dos cinco platôs citados, seguido de caracterização microestrutural de fragmentos selecionados com objetivo de avaliar a composição química dos agregados de gibbsita.

Todas as atividades analíticas e preparatórias elencadas neste projeto foram realizadas no Laboratório de Caracterização Tecnológica da Escola Politécnica - Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo.

O sumário de amostras selecionadas dentre os platôs e litotipos, para análises por FRX- DRX e MEV, pode ser observado nos Anexos I e III , respectivamente.

4.1 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E QUÍMICA DAS BAUXITAS

4.1.1 Difração de raios X

Foram selecionadas 58 amostras para realização de análises por difração de raios X. O procedimento de preparação de amostras para DRX é apresentada no fluxograma da Figura 6:

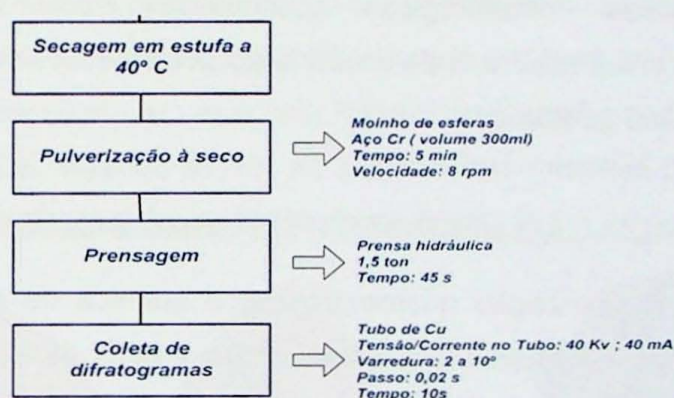


Figura 6. Fluxograma apresentando as etapas de preparação de amostras para DRX.

A coleta dos difratogramas foi efetuada mediante o difratômetro X'Pert PRO, marca PANalytical, modelo com detector X'Celerator.

A análise grupal (*cluster analysis*) para a classificação de litotipos de minérios de bauxita foi efetuada através do software HighScore Plus (PANalytical) com adoção dos seguintes parâmetros:

- *Método de comparação:*
 - fonte de dados considerada (*data source*): perfis e picos
 - tipo de comparação (*from type*): posição
 - limiar de comparação (*compare threshold*): 40%
- *Agrupamento (clustering):*
 - medida de distância (*distance measure*): euclidiana
 - método de ligação (*linkage method*): average linkage
 - método de corte do dendograma (*cut off method*): manual

A identificação das fases presentes em cada uma das amostras estudadas foi obtida por comparação do difratograma das amostras com os bancos de dados PDF2 do ICDD - International Centre for Diffraction Data (2003) e PAN-ICSD – PANalytical Inorganic Crystal Structure Database (2007).

4.1.2 Fluorescência de raios X

As amostras para análises por FRX foram secas e, em sequência, pulverizadas abaixo de 0,05 mm em panela de aço cromo por moinho oscilante (marca Herzog). Em seguida, foram fundidas com tetraborato de lítio $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ em máquina de fusão modelo Claisse (proporção 1:7).

Determinações químicas quantitativas com determinações de Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 e TiO_2 foram realizadas em espectrômetro Axios Advanced, marca Panalytical, além de perda ao fogo (PF).

Para análises mineralógicas quantitativas foram ainda consideradas as determinações de sílica reativa e de alumina aproveitável efetuadas pela MRN por ocasião da etapa de pesquisa geológica.

4.2 CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL E QUÍMICA DA GIBBSITA

Para a caracterização microestrutural e química da gibbsita e/ou agregados de gibbsita foram confeccionadas 149 seções polidas a partir de fragmentos granulados (fração +20 mm), correspondentes a amostras dos distintos litotipos (nodular, maciça e laterita) nos 5 platôs citados.

A Tabela 2 apresenta a distribuição do conjunto de amostras, analisadas por microscopia eletrônica de varredura.

Tabela 2 - Relação das amostras de bauxita estudadas por MEV/EDS.

Platôs	Litotipo		
	bauxita nodular	laterita	bauxita maciça
Cipó	14	6	10
Teófilo	8	12	10
Monte branco	11	4	14
Aramã	10	10	10
Bela cruz	10	10	10
Total	53	42	54

Após a escolha dos fragmentos representativos de cada platô, com base em características químicas e morfológicas de cada amostra, a preparação laboratorial consistiu na impregnação sob pressão, utilizando a resina Araldite em tubos de PVC de 50 mm de diâmetro (Figura 7). Transcorrido o tempo de secagem, as amostras foram cortadas em seções de aproximadamente 1 cm de espessura, posteriormente desbastadas e polidas (Figura 8).



Figura 7. Impregnação de fragmentos com resina em tubo de PVC.



Figura 8. Fragmentos em seção polida após o polimento.

Em seguida, realizou-se a documentação fotográfica de cada seção e o recobrimento da mesma por uma camada nanométrica de carbono para análises ao MEV.

Em cada seção, escolheu-se um a dois fragmentos, onde foram selecionadas áreas para análises ao MEV/EDS, visando avaliar as associações minerais presentes e obtenção de dados de natureza química, conforme ilustrado na Figura 9.

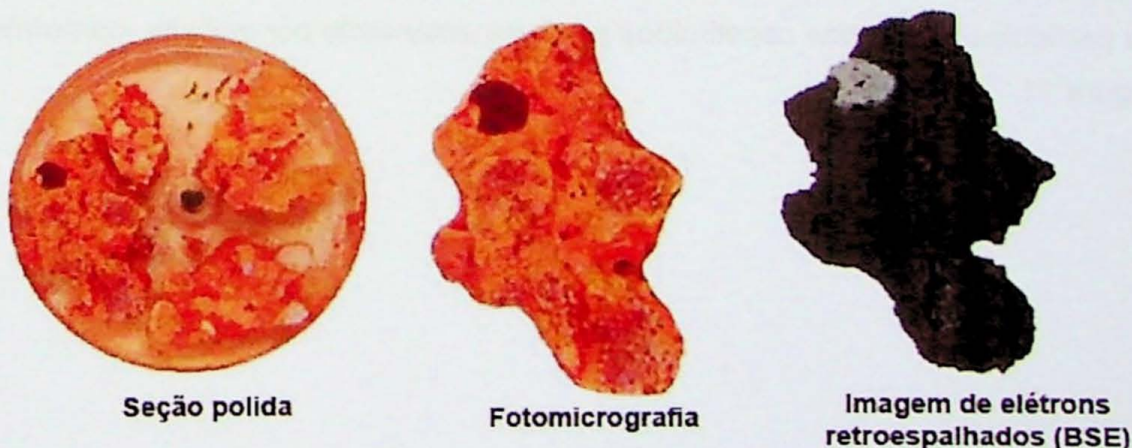


Figura 9. Esquema ilustrativo apresentando à esquerda a seção polida com vários fragmentos, em seguida a fotomicrografia do fragmento selecionado e, à direita, a imagem do MEV obtida pelo detector de elétrons retroespalhados (BSE).

Foi empregado microscópio eletrônico de varredura Leo Stereoscan 440, marca Leica, com detectores de EDS Inca X-Act e de germânio (Ge), marca Oxford, para a realização de microanálises químicas (o detector de Ge foi substituído no decorrer do projeto).

Todas as análises quantitativas foram efetuadas através do software Feature INCA, o qual permite a coleta de imagens do MEV com a delimitação de áreas de interesse e, conseqüentemente, a obtenção das proporções de cada elemento presente.

A Figura 10 apresenta as principais informações obtidas com as imagens de elétrons retroespalhados (BSE), destacando que as fases de maior brilho indicam a presença de elementos de número atômico elevado. Para as bauxitas, a fase mais escura é composta essencialmente por gibbsita; caulinita é um pouco mais clara seguida por quartzo. As fases claras correspondem a oxi-hidróxidos de Fe e óxidos de Ti.

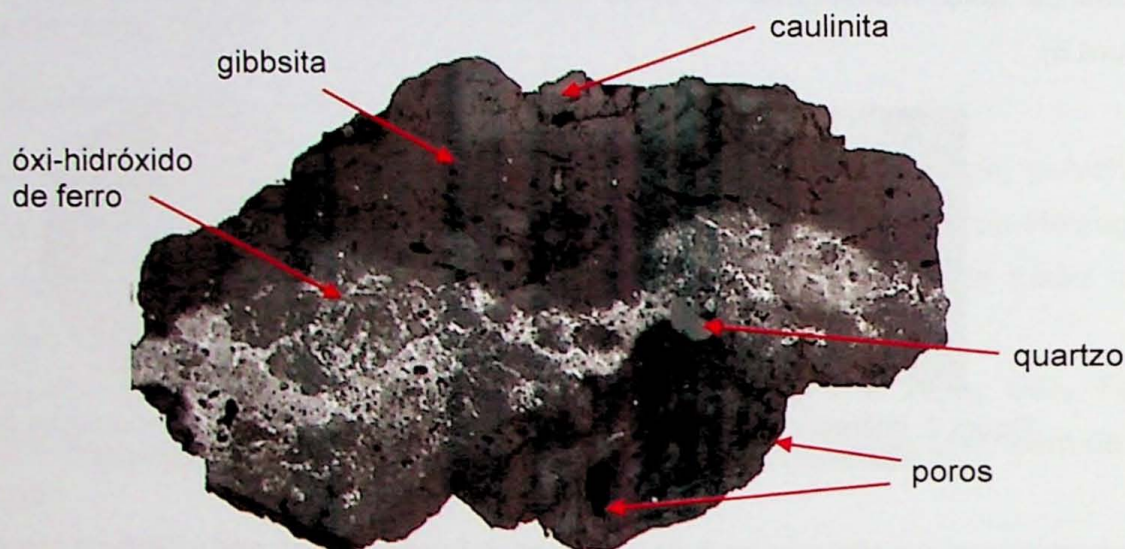


Figura 10. Imagem de elétrons retroespalhados (BSE) apresentando as diferentes observações obtidas durante as análises ao MEV.

A coleta de dados de análises químicas por EDS foi efetuada, essencialmente, sobre partículas/agregados constituídos predominantemente por gibbsita, conforme ilustrado na Figura 11.

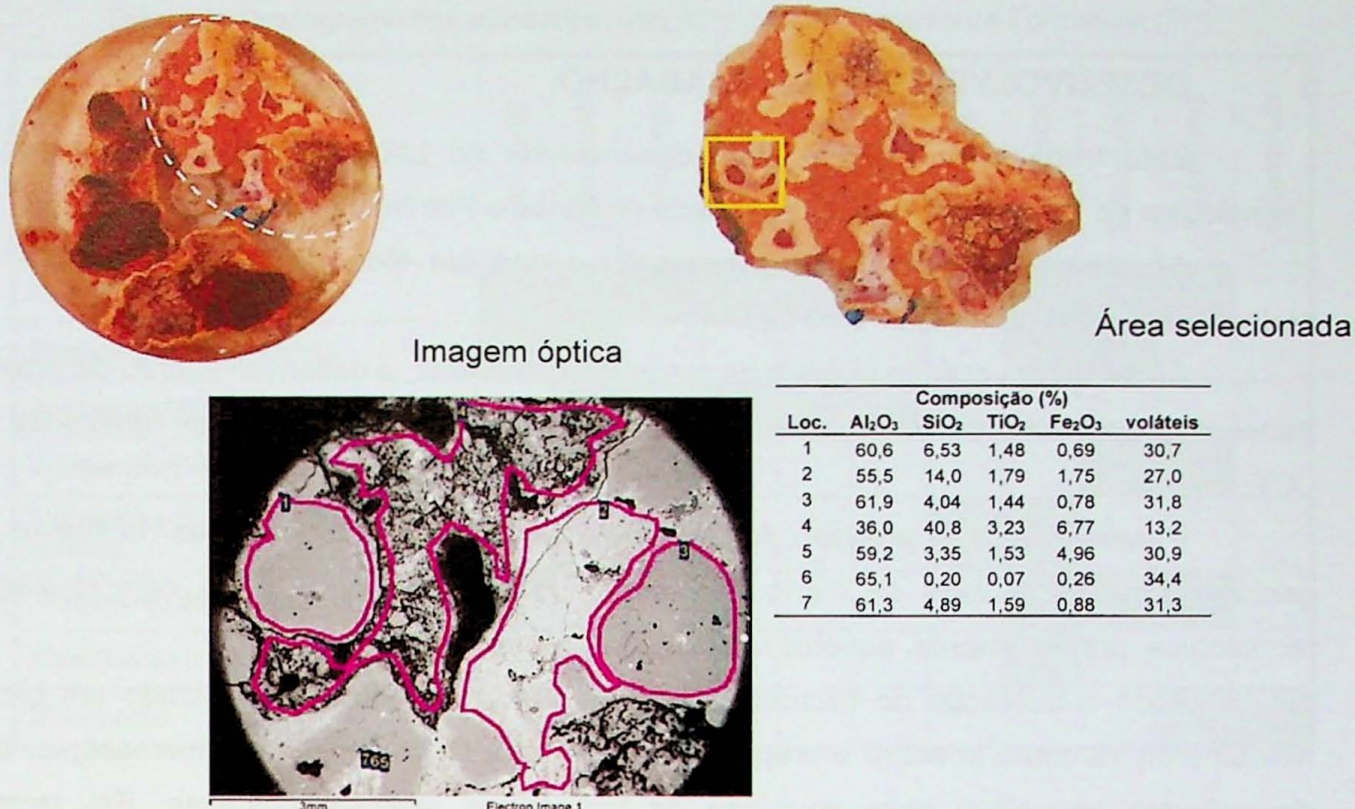


Figura 11. Seção polida de montagem de grãos indicando os campos selecionados com respectivas imagens de elétrons retroespalhados e a área (amarelo) objeto de microanálise química por EDS.

Os resultados referentes a pontos e áreas em cada fragmento selecionado, foram recalculados para eliminar a interferência da presença de hidroxila (OH) nas análises por EDS. O critério adotado considerou o cálculo da composição mineralógica a partir das proporções estequiométricas de caulinita, gibbsita, goethita e anatásio; sendo a composição mineralógica normalizada a 100% e os conteúdos Al₂O₃, SiO₂, Fe₂O₃, TiO₂ e voláteis (OH) recalculados, considerando-se as proporções estequiométricas destes minerais.

A sequência de operações adotadas para o cálculo estequiométrico encontra-se no Anexo IV.

5 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Este trabalho foi integralmente desenvolvido no Laboratório de Caracterização Tecnológica do Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo da Escola Politécnica.

As atividades de seleção, preparação e análises técnicas transcorreram-se no período de Janeiro a Novembro de 2009.

Embora com grande número de amostras analisadas, o desenvolvimento do projeto transcorreu-se dentro do cronograma proposto devido à rapidez das análises realizadas no LCT.

Paralelamente às análises, foram realizadas pesquisas bibliográficas no âmbito da geologia regional e local de Porto Trombetas, PA; e das técnicas de caracterização tecnológica, principalmente, aquelas relacionadas ao minério de bauxita.

Para a utilização do microscópio eletrônico de varredura foi realizado um breve treinamento introdutório sobre a preparação das amostras, calibração do microscópio, uso do software específico para aquisição de imagens e análises químicas. Em termos analíticos, os trabalhos ao MEV, concentraram-se na obtenção de dados quantitativos através de microanálise por EDS e, posteriormente, o tratamento e interpretação dos resultados.

Para a difração e fluorescência de raios X, a rotina adotada seguiu os procedimentos normalmente utilizados pelo LCT, consistindo na secagem, amostragem, pesagem, moagem e preparação de seções.

Pode-se destacar que este trabalho proporcionou o aprendizado e treinamento nas técnicas de caracterização mineralógica de bauxitas, pois envolveu um grande número de amostras, horas de preparações e análises e, sobretudo contribuiu o conhecimento das formas de ocorrência dos minerais caracterizados e da morfologia do material.

As atividades desenvolvidas no Trabalho de Formatura e, sua respectiva duração encontra-se discriminadas na Tabela 3.

Tabela 3. Cronograma das atividades realizadas para o Trabalho de Formatura (TF).

Atividades / Meses	Janeiro/09	Fevereiro/09	Março/09	Abril/09	Maió/09	Junho/09	Julho/09	Agosto/09	Setembro/09	Outubro/09	Novembro/09
Pesquisa bibliográfica											
Preparação das amostras											
Análise ao MEV											
Análise por DRX e FRX											
Caracterização mineralógica e química											
Tratamento dos resultados											
Relatório de progresso											
Monografia											

6 RESULTADOS OBTIDOS

6.1 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA

6.1.1 Agrupamento por difração de raios X

Após a obtenção de dados de difratometria de raios X efetuou-se o agrupamento para o conjunto de amostras brutas.

O dendograma obtido para as amostras brutas é apresentado na Figura 12, destacando o valor de *cut-off* de 100,3; e cinco grupos de amostras ou *clusters*. Esses grupos são ilustrados graficamente por meio da análise de componente principal (PCA - *principal component analysis*) na Figura 13.

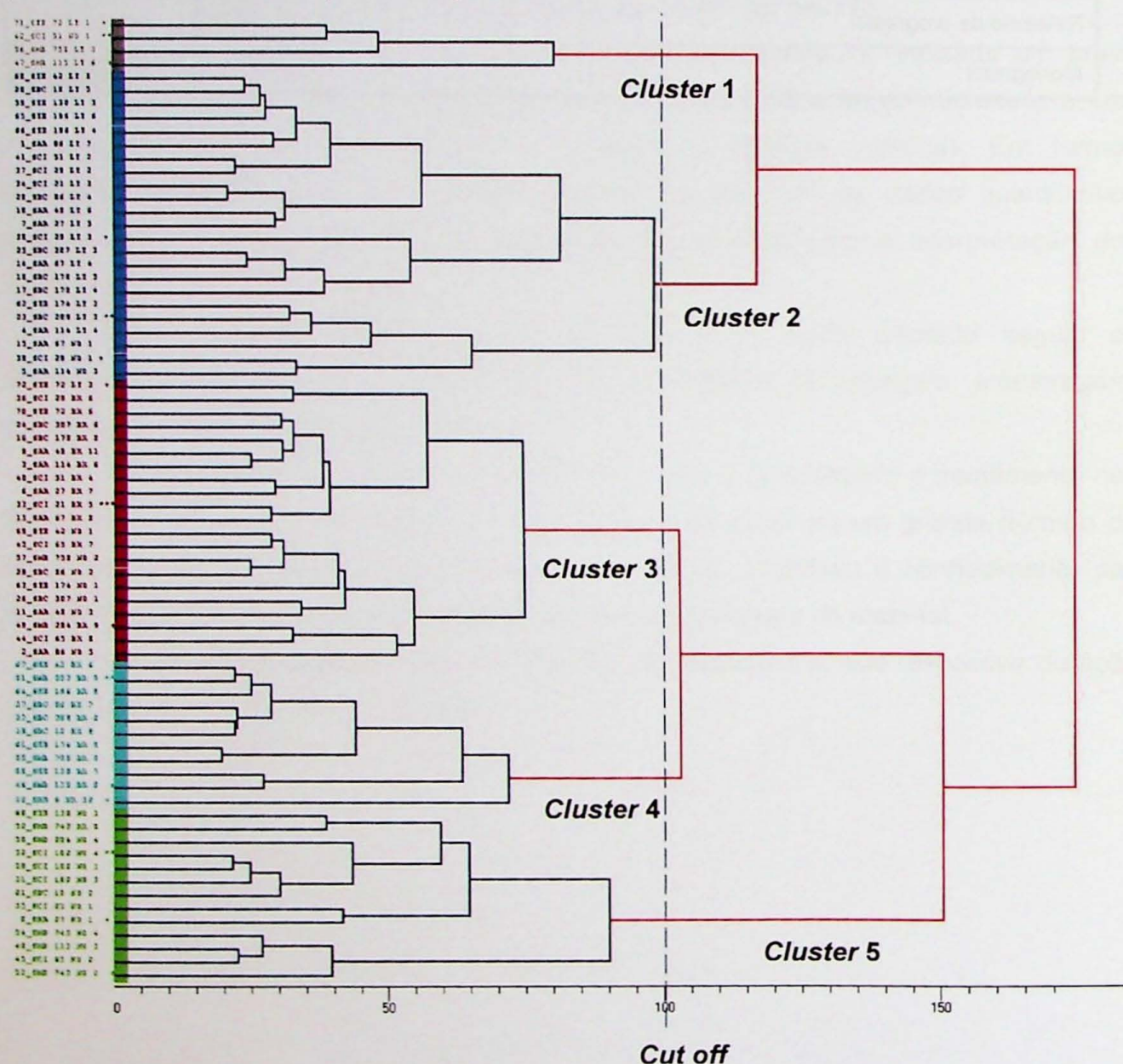


Figura 12. Dendograma da análise por agrupamento das amostras brutas, destacando os *clusters* e o *cut off* ajustado.

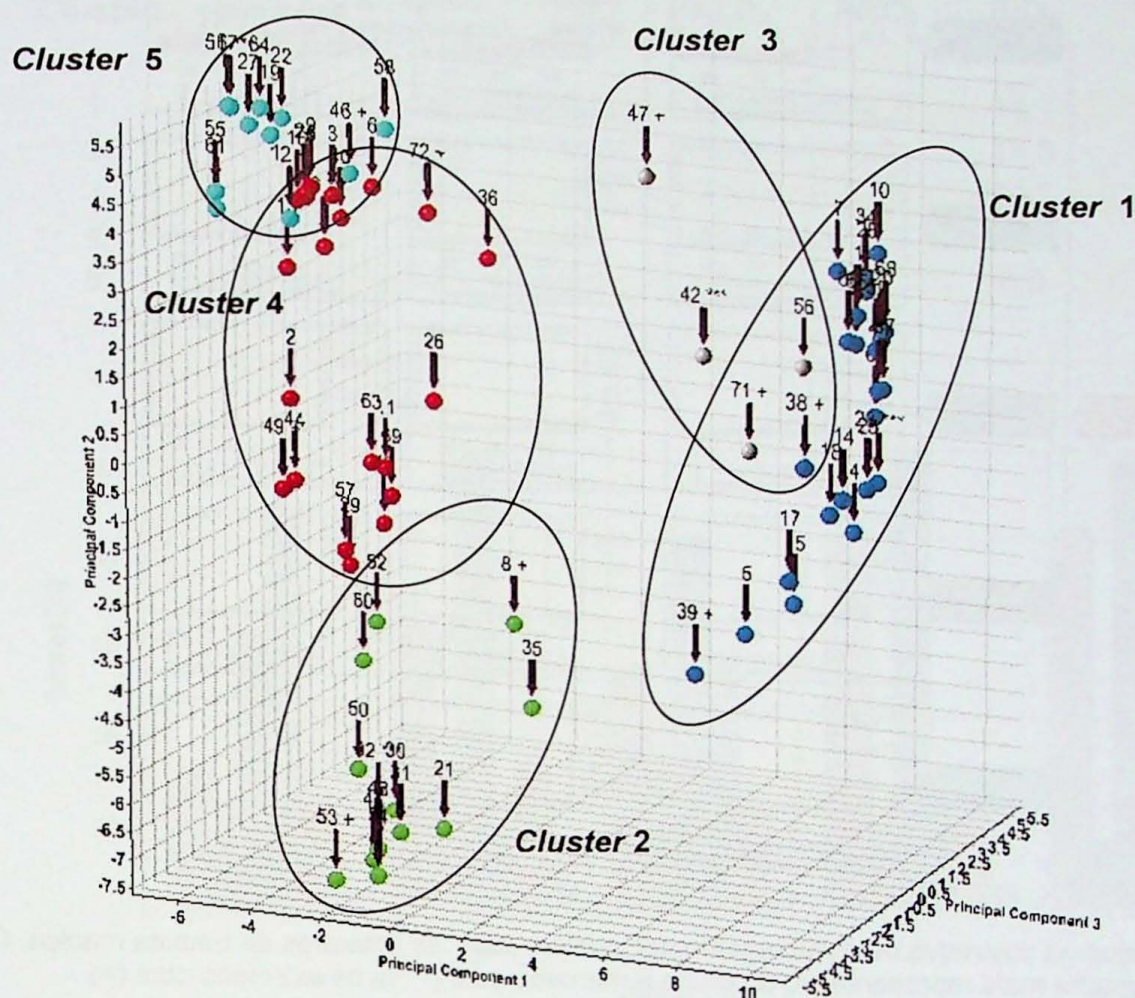


Figura 13. Gráfico de análise de componente principal para as amostras agrupadas em *clusters*.

Uma comparação entre os difratogramas representativos das características que melhor descrevem o agrupamento é apresentada na Figura 14, onde o primeiro difratograma indica a composição mineralógica mais representativa do grupo e, os demais revelam as variações presentes.

Com relação aos tipos de amostras, os grupos são distinguidos da seguinte maneira:

Cluster 1 - predomínio de amostras lateríticas (20), com ocorrência de nodulares (3);

Cluster 2 - predomínio de amostras nodulares (12), com ocorrência de maciça (1);

Cluster 3 - predomínio de amostras lateríticas (3), com ocorrência de nodular (1);

Cluster 4 - predomínio de amostras maciças (13), com ocorrência de nodulares (7) e laterítica (1) ;

Cluster 5 - apenas amostras maciças (11).

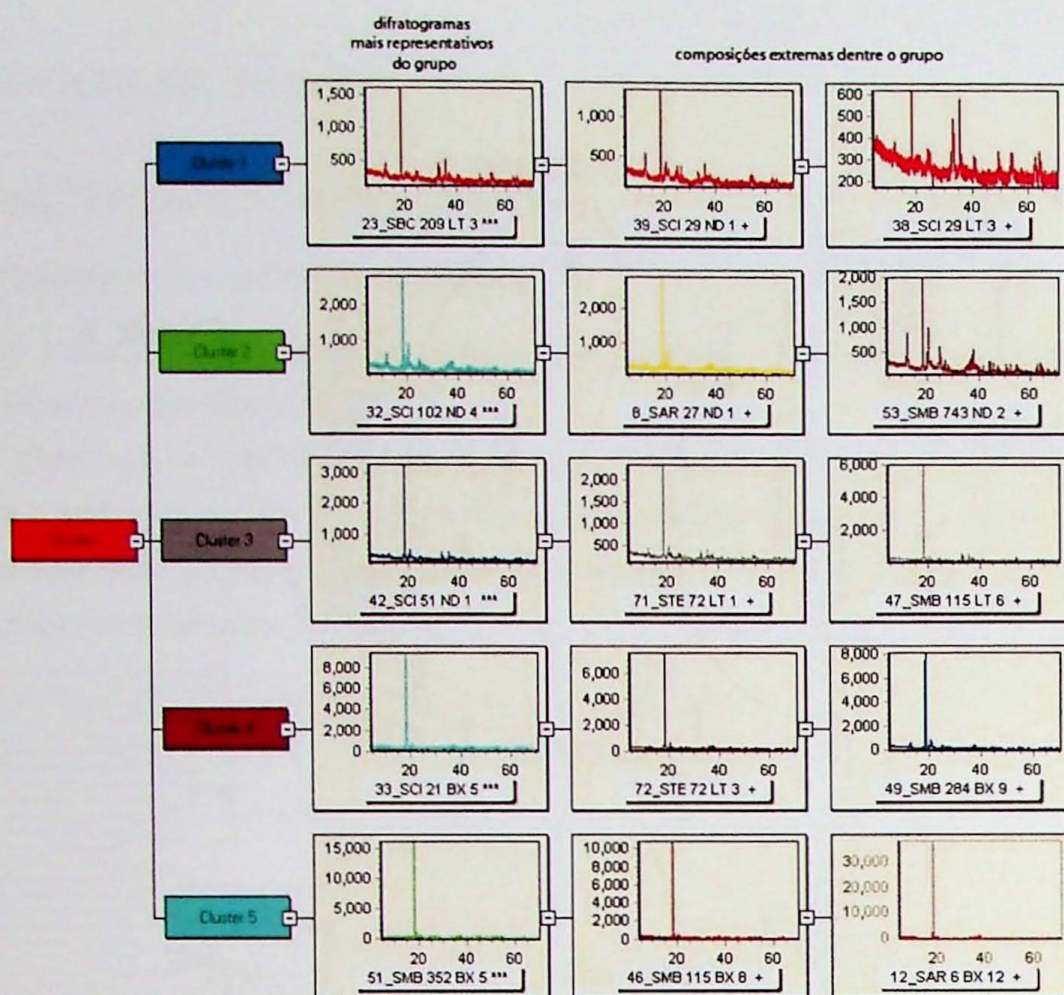


Figura 14. Esquema ilustrativo do agrupamento por clusters para as amostras de bauxita maciça. O difratograma mais representativo do grupo é marcado com (***) e os extremos com (+).

6.1.2 Composição química

A composição química das amostras estudadas é apresentada no Anexo I; as composições média de cada *cluster* e o respectivo conteúdo de material retido em 0,037 mm são apresentadas na Tabela 4 e Figura 15.

A alumina aproveitável (Al_2O_3) possui valores médios de destaque dentre os cluster 2, 4 e 5, respectivamente, 32,2%; 40,5% e 42,1%. Ao comparar-se esses agrupamentos com os dados de análise química, verifica-se que os maiores teores de Al_2O_3 estão nesses *clusters*, apresentando valores muito semelhantes.

Contudo, o *cluster* 2 apresentou o menor valor de alumina aproveitável dentre os três, fato explicado pela maior concentração de sílica reativa (14,8%), indicando que parte do alumínio dosado na análise química está presente na caulinita.

Verifica-se, que os grupos com maiores conteúdos de sílica reativa (SiO_2 re) são os que apresentam menores proporções de material retido em 0,037 mm, ou seja, maior quantidade de argila.

Tabela 4 - Composição química média dos *clusters* obtidos para as amostras brutas dos cinco platôs.

<i>Cluster</i>	% massa retida em +0,037mm	Al ₂ O ₃ aproveitável	SiO ₂ reativa	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	PF (perda ao fogo)
1	80,3	15,2	9,9	30,0	44,7	12,1	1,3	11,9
2	62,3	32,2	14,8	50,6	8,0	15,8	2,2	23,4
3	72,4	26,7	10,1	41,1	27,6	11,3	1,6	18,5
4	78,0	40,5	8,4	50,8	11,3	9,9	1,9	26,1
5	87,6	42,1	7,0	50,1	10,1	8,0	1,8	26,0

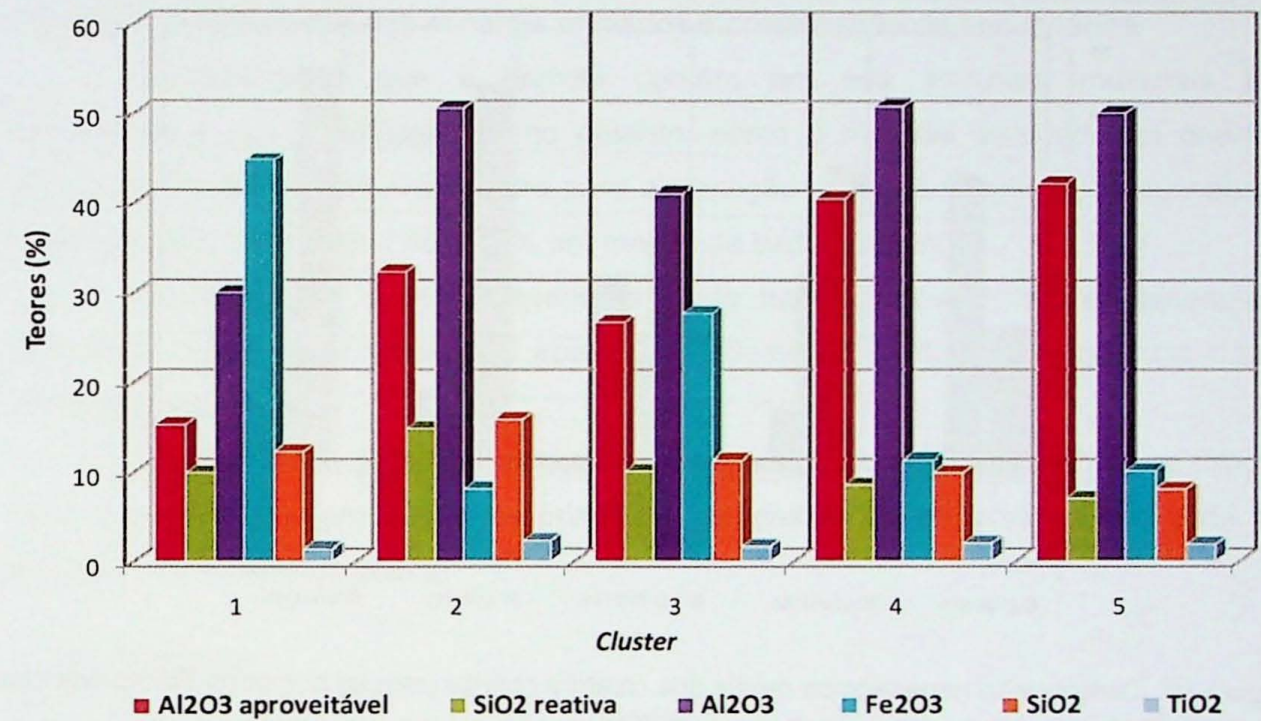


Figura 15. Composição química média dos *clusters* obtidos para as amostras brutas dos cinco platôs.

6.1.3 Mineralogia

A composição mineralógica do conjunto de amostras estudadas (Anexo II) foi estabelecida a partir da integração dos resultados de análises químicas por fluorescência de raios X (FRX), referentes aos compostos Al₂O₃, SiO₂, Fe₂O₃, TiO₂, perda ao fogo (PF).

Verifica-se, pois, que dentre os cinco platôs a mineralogia é similar e as proporções estimadas apresentam pequenas variações, deste modo, a avaliação pelo agrupamento em *cluster* levou à distribuição em cinco grupos com características peculiares, conforme é apresentado na Tabela 5 e ilustrado na Figura 16.

Tabela 5 - Composição mineralógica média dos *clusters* obtidos para as amostras brutas dos cinco platôs.

<i>Cluster</i>	% massa retida em +0,037mm	gibbsita	caulinita	óxi-hidróxido ferro	quartzo	anatásio
1	80.3	23	21	48	2,2	1,3
2	62.3	49	32	9.5	1,0	2,2
3	72.4	41	22	31	1,2	1,6
4	78.0	62	18	12	1,5	1,9
5	87.6	64	15	10	1,1	1,8

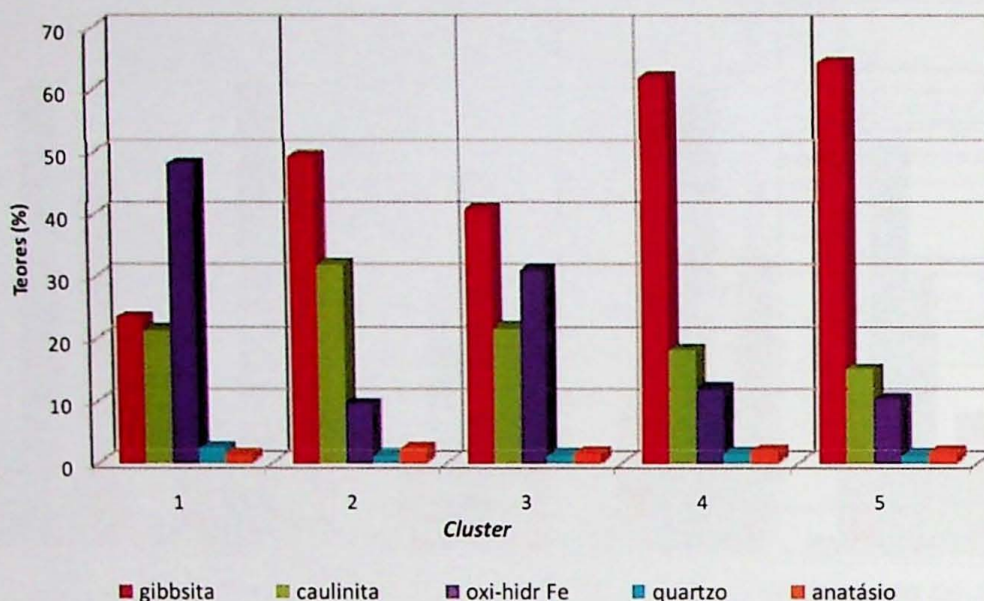


Figura 16. Composição mineralógica média dos *clusters* obtidos para as amostras brutas dos cinco platôs.

O *Cluster 1* apresenta baixa concentração de gibbsita (23%), teores representativos de caulinita (21%) e alta concentração de óxi-hidróxidos de ferro (48%).

O *Cluster 2* apresenta moderada concentração de gibbsita (49%), elevados teores de caulinita (32%) e baixa concentração de óxi-hidróxidos de ferro (9%).

O *Cluster 3* apresenta moderada concentração de gibbsita (41%), teores representativos de caulinita (22%) e alta concentração de óxi-hidróxidos de ferro (31%).

O *Cluster 4* apresenta alta concentração de gibbsita (62%), teores representativos de caulinita (18%) e baixa concentração de óxi-hidróxidos de ferro (12%).

O *Cluster 5* apresenta alta concentração de gibbsita (64%), teores representativos de caulinita (15%) e baixa concentração de óxi-hidróxidos de ferro (10%).

Para os minerais, quartzo e anatásio, pode-se admitir que os valores médios são os menores dentre as fases encontradas nos cinco *clusters*. Para o quartzo a menor média é encontrada no *cluster-5* (1,1%) e a maior no *cluster-1* (2,2%). Enquanto que o anatásio, apresenta o maior valor médio no *cluster-2* (2,2%) e o menor no *cluster-1* (1,3%).

6.2 CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL

6.2.1 Morfologia

O melhor entendimento dos processos de laterização implica na reconstrução das condições de nucleação e crescimento de minerais secundários, assim como na determinação dos campos de estabilidade em termos físico-químicos (Muller & Boudelle, 1990).

Neste sentido, a avaliação dos arranjos morfológicos da hematita, goethita, gibbsita, caulinita e quartzo elucidam as condições iniciais do intemperismo e a continuidade do processo de dissolução dos minerais primários e cristalização de secundários.

Acrescenta-se que a bauxita contém em sua estrutura materiais amorfos denominados por cristaloplasma, no entanto, como o material estudado foi previamente lavado de forma intensa em peneira para a remoção da fração argilosa, restou apenas as porções mais resistentes (60 a 90% em massa de cada amostra).

A abordagem a ser apresentada neste trabalho possui caráter essencialmente descritivo, onde serão pontuadas apenas as diferentes formas de ocorrência das fases minerais presentes.

As descrições a seguir referem-se a fragmentos de amostras de bauxita (fração +20 mm), que melhor representam as principais características observadas em cada tipo de amostra nos diferentes platôs.

a) Laterita

As amostras de laterita são compostas predominantemente por óxi/hidróxidos de ferro, notadamente goethita e hematita, sob a forma de fragmentos arredondados denotando estrutura pisolítica (Fig.17). Por outro lado, também ocorrem pisólitos formados por caulinita e gibbsita subordinada (Fig.18).

Entende-se por pisólitos como nódulos esféricos homogêneos, de tamanho 4 a 8 mm de diâmetro, envoltos por uma matriz microcristalina, sendo sua origem devido ao processo de nucleação *in situ* em um dado horizonte de intemperismo (Delvigne, 1998).

Com relação à distribuição dos agregados minerais formadores da matriz das amostras de lateritas, pode-se fazer ao menos três distinções a serem abordadas a seguir.

Há porções ferruginosas essencialmente formadas por goethita e hematita apresentando-se sob aspecto maciço com fragmentos submilimétricos compostos por gibbsita (Fig.19).

Envolvendo tais porções ferruginosas têm-se concentrações de caráter aluminoso, onde a gibbsita é a principal fase mineral. Tal ocorrência é observada nas áreas de cor cinza que, por vezes, apresentam pequenas porções difusas compostas por Fe_2O_3 cujo tamanho é submilimétrico (Fig. 20).

Um terceiro tipo evidencia o intercrescimento entre caulinita e gibbsita formando massas quase indistinguíveis (Fig. 21).

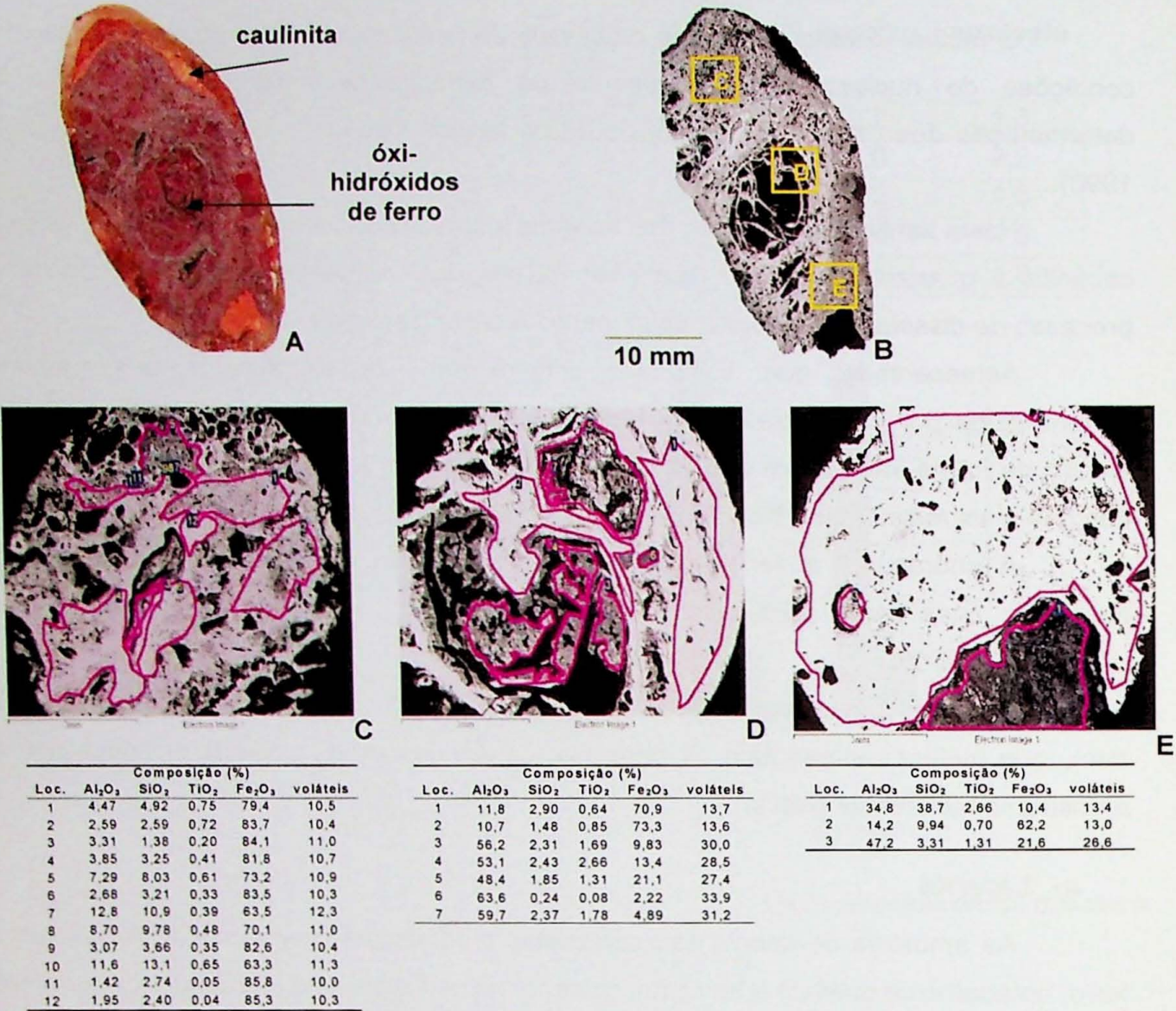


Figura 17. Amostra de laterita apresentando em (A) Fotomicrografia do fragmento da amostra SCI 29-3; (B) Imagens de BSE com trechos selecionados para análise ; (C),(D) e (E) Destacando imagens de BSE dos trechos selecionados para microanálise e ao lado direito a respectiva composição química (% massa).

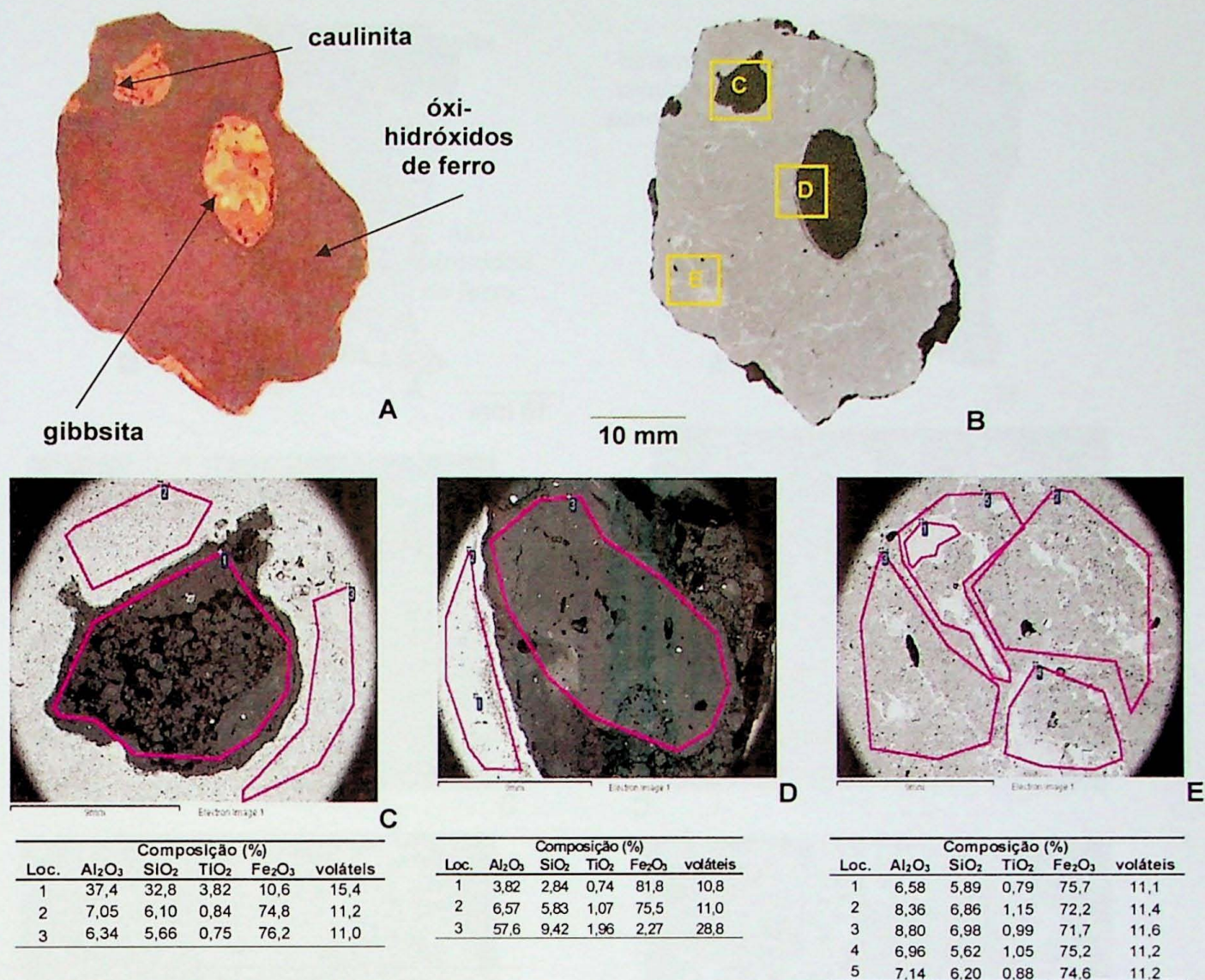


Figura 18. Amostra de laterita apresentando em (A) Fotomicrografia do fragmento da amostra SCI 29-3; (B) Imagens de BSE com trechos selecionados para análise ; (C),(D) e (E) Destacando imagens de BSE dos trechos selecionados para microanálise e ao lado direito a respectiva composição química (% massa).

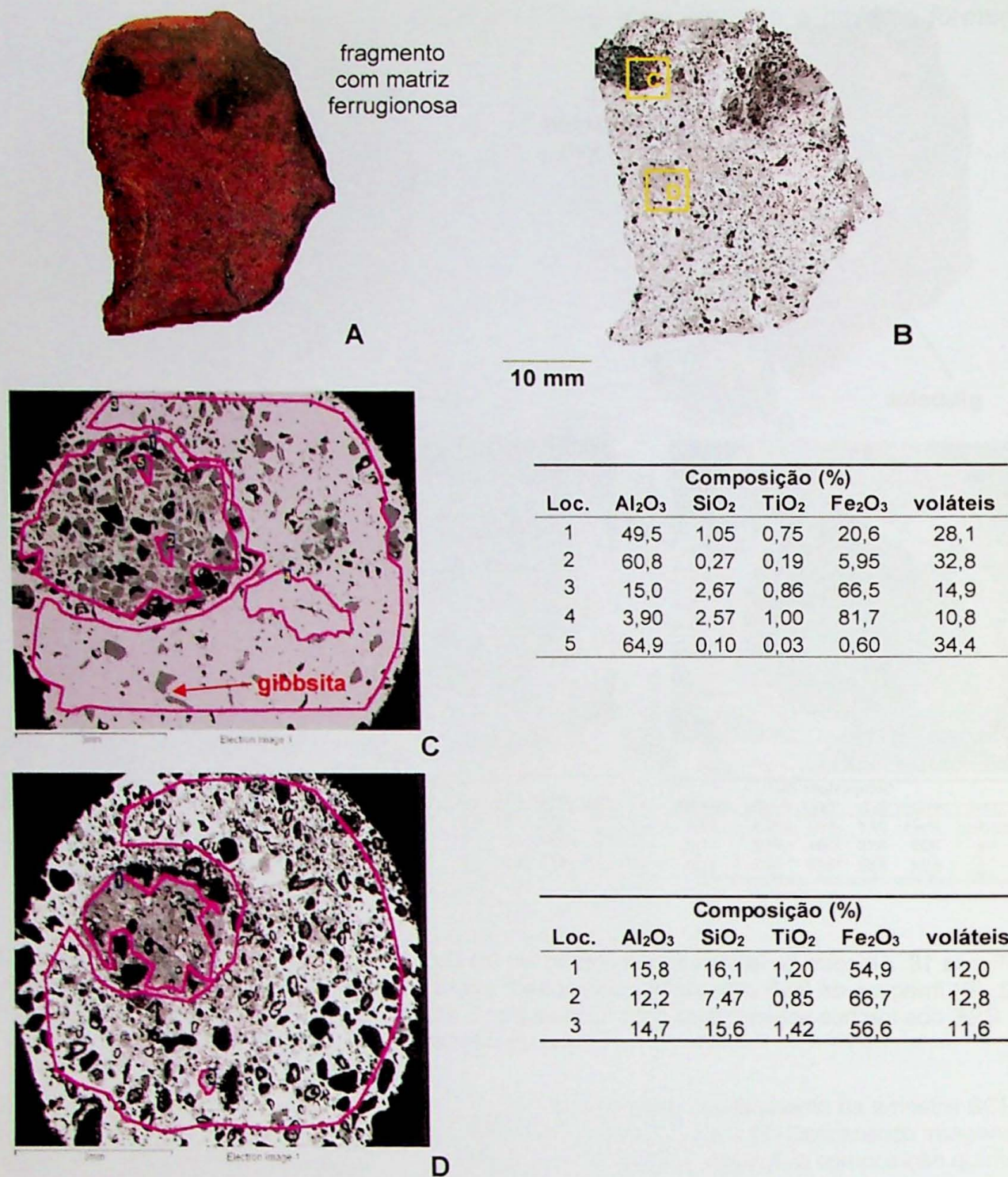
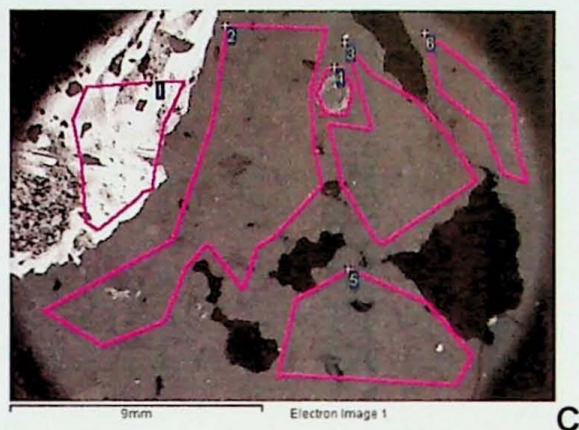
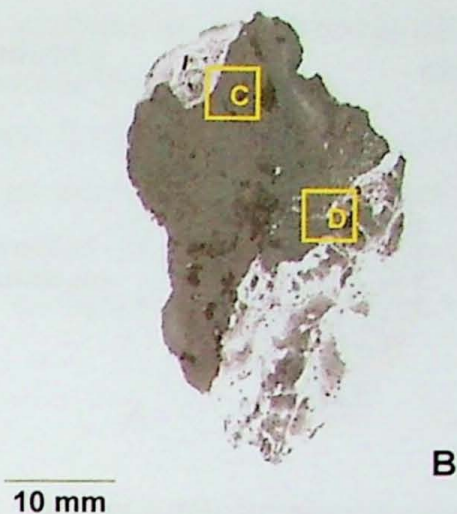
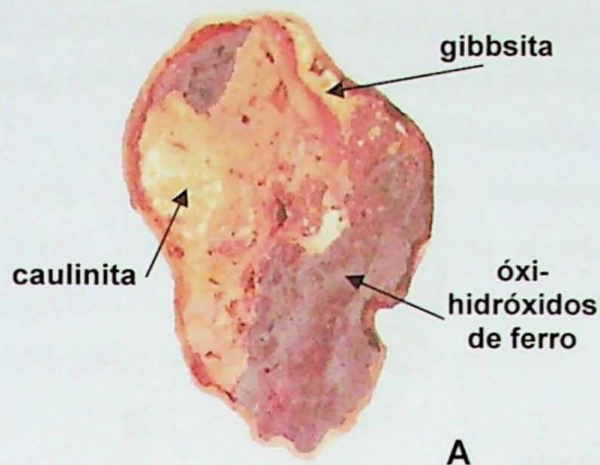
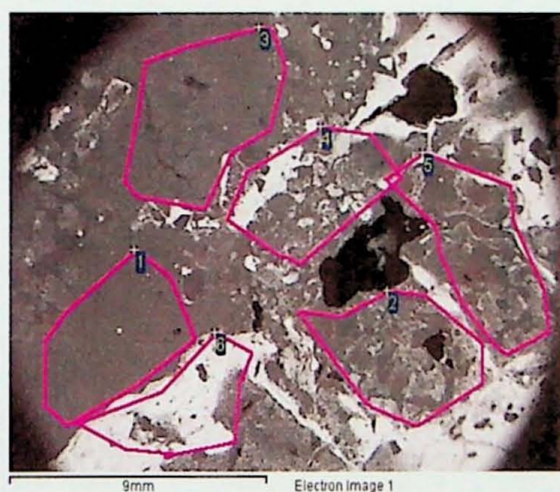


Figura 19. Amostra de laterita apresentando em (A) Fotomicrografia do fragmento da amostra SCI 51-2; (B) Imagens de BSE com trechos selecionados para análise; (C) e (D) Destacando imagens de BSE dos trechos selecionados para microanálise e ao lado direito a respectiva composição química (% massa).



Loc.	Composição (%)				
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	voláteis
1	10,5	1,02	0,57	74,2	13,7
2	59,9	3,71	1,63	3,73	31,1
3	59,1	4,24	2,06	4,13	30,5
4	59,0	3,70	1,50	5,08	30,8
5	59,2	5,01	1,58	3,63	30,5
6	59,2	4,07	1,75	4,27	30,7



Loc.	Composição (%)				
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	voláteis
1	59,5	1,86	3,31	4,66	30,7
2	52,6	1,47	0,83	15,9	29,2
3	60,0	0,94	2,92	4,84	31,3
4	43,5	1,42	1,58	27,9	25,6
5	55,3	1,15	0,83	12,5	30,3
6	19,5	1,13	0,68	61,7	17,0

Figura 20. Amostra de laterita apresentando em (A) Fotomicrografia do fragmento da amostra SAR 48-6; (B) Imagens de BSE com trechos selecionados para análise; (C) e (D) Destacando imagens de BSE apresentando trechos selecionados para microanálise e ao lado direito a respectiva composição química (% massa).

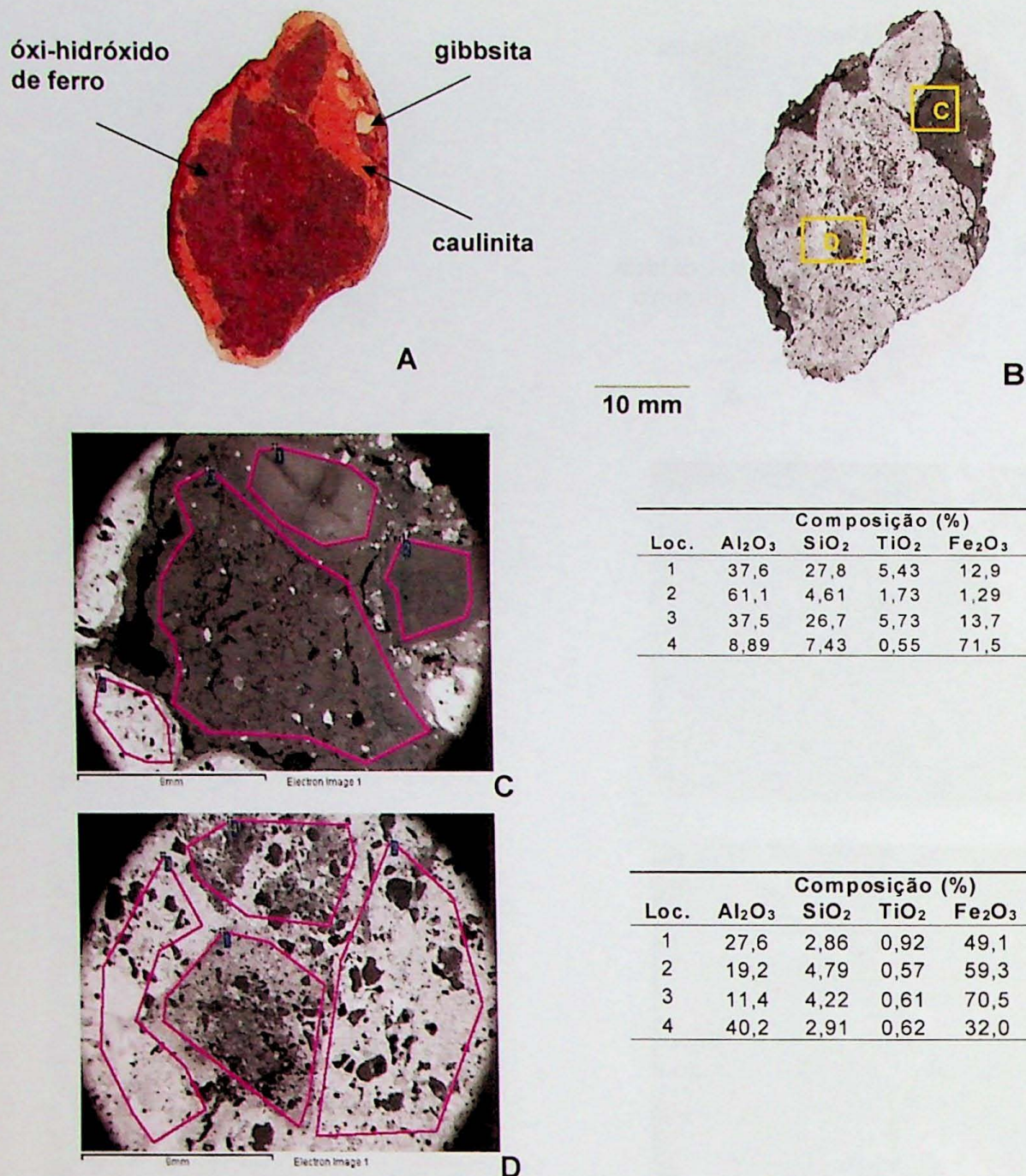


Figura 21. Amostra de laterita apresentando em (A) Fotomicrografia do fragmento da amostra STE 130-3; (B) Imagens de BSE com trechos selecionados para análise; (C) e (D) Destacando imagens de BSE apresentando trechos selecionados para microanálise e ao lado direito a respectiva composição química (% massa).

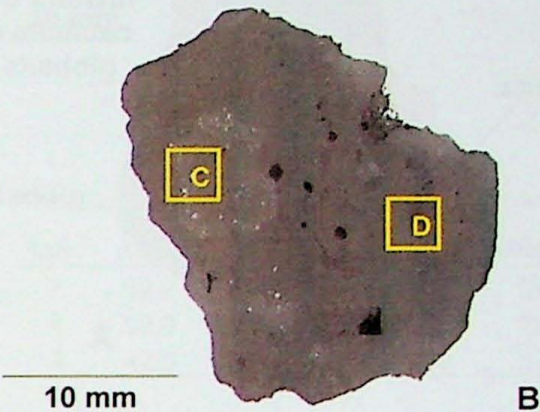
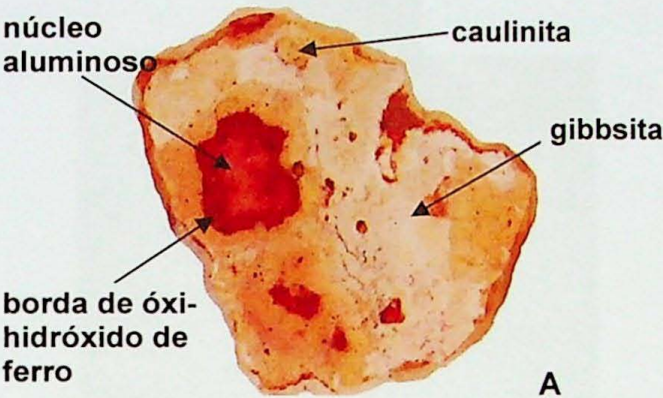
b) Bauxita nodular

As bauxitas nodulares são compostas predominantemente por minerais portadores de alumínio, seja na forma de gibbsita ou caulinita. Os óxi-hidróxidos de ferro geralmente formam estruturas arredondadas, como pode ser verificado nas fotomicrografias (Fig. 22), em que porções ferruginosas são envolvidas por caulinita e gibbsita, mas podem apresentar, por vezes, em seu interior consideráveis concentrações de Al₂O₃.

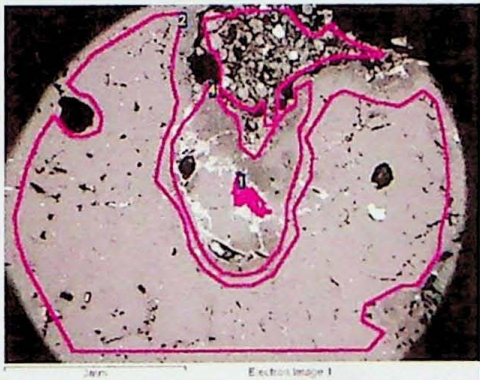
A gibbsita, mineral de interesse, ocorre de duas formas, a primeira representada por concentrações difusas com a caulinita (Fig. 23), formando uma matriz microcristalina, na qual as fases minerais apresentam-se fortemente associadas dificultando seu

reconhecimento. Outra, de aspecto límpido com ausência de óx-hidróxidos de ferro e com grande frequência apresentando a caulinita nas bordas (Fig. 24).

A microestrutura predominante para este litotipo é a do tipo nodular, podendo ocorrer nódulos de composição ferruginosa e/ ou aluminosa. O segundo caso é o mais comum, onde verifica-se desde o intercrescimento de gibbsita e caulinita, como o desenvolvimento de porções de hábito maciço, configurando microdomínios homogêneos compostos essencialmente por gibbsita.

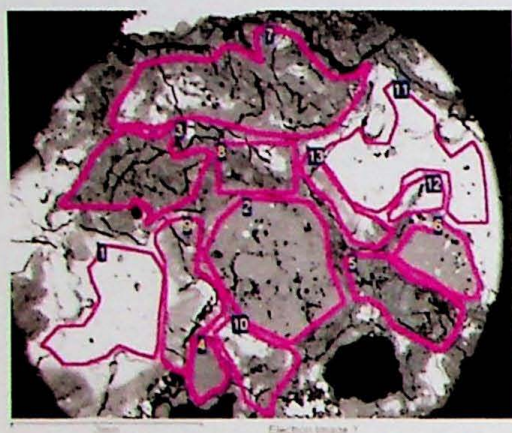
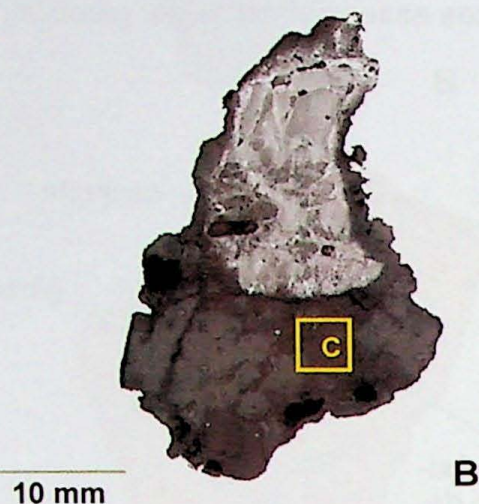
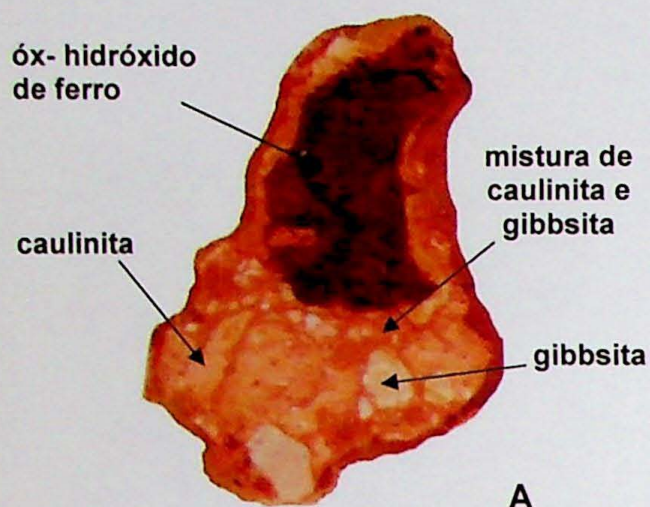


Composição (%)					
Loc.	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	voláteis
1	57,7	3,03	1,63	7,23	30,4
2	61,0	3,93	1,95	1,82	31,3
3	60,0	3,48	1,88	3,61	31,0
4	38,0	1,91	2,20	34,6	23,2



Composição (%)					
Loc.	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	voláteis
1	44,0	17,9	4,72	12,4	21,0
2	60,6	5,28	2,88	0,80	30,5
3	44,5	21,2	3,22	10,3	20,8
4	54,7	8,78	4,69	4,90	26,9

Figura 22. Amostra de bauxita nodular apresentando em (A) Fotomicrografia do fragmento da amostra SAR 6-5; (B) Imagens de BSE com trechos selecionados para análise; (C) e (D) Destacando imagens de BSE apresentando trechos selecionados para microanálise e ao lado direito a respectiva composição química (% massa).



Loc.	Composição (%)				
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	voláteis
1	40,2	34,6	4,40	4,84	15,9
2	56,8	11,4	3,32	0,98	27,5
3	40,4	35,1	4,08	4,50	15,9
4	57,5	11,7	1,94	0,73	28,2
5	46,8	25,9	3,74	3,10	20,5
6	55,5	11,5	3,42	2,53	27,0
7	40,6	34,5	4,14	4,60	16,2
8	47,0	25,3	3,97	3,13	20,6
9	41,9	32,3	4,29	4,40	17,1
10	41,3	33,2	4,29	4,51	16,6
11	40,2	34,9	4,31	4,75	15,9
12	40,8	34,6	3,92	4,36	16,3
13	41,7	33,1	4,07	4,28	16,9

Figura 23. Amostra de bauxita nodular apresentando em (A) Fotomicrografia do fragmento da amostra SMB 743-2A; (B) Imagens de BSE com trechos selecionados para análise; (C) Destacando imagens de BSE apresentando trechos selecionados para microanálise e ao lado direito a respectiva composição química (% massa).

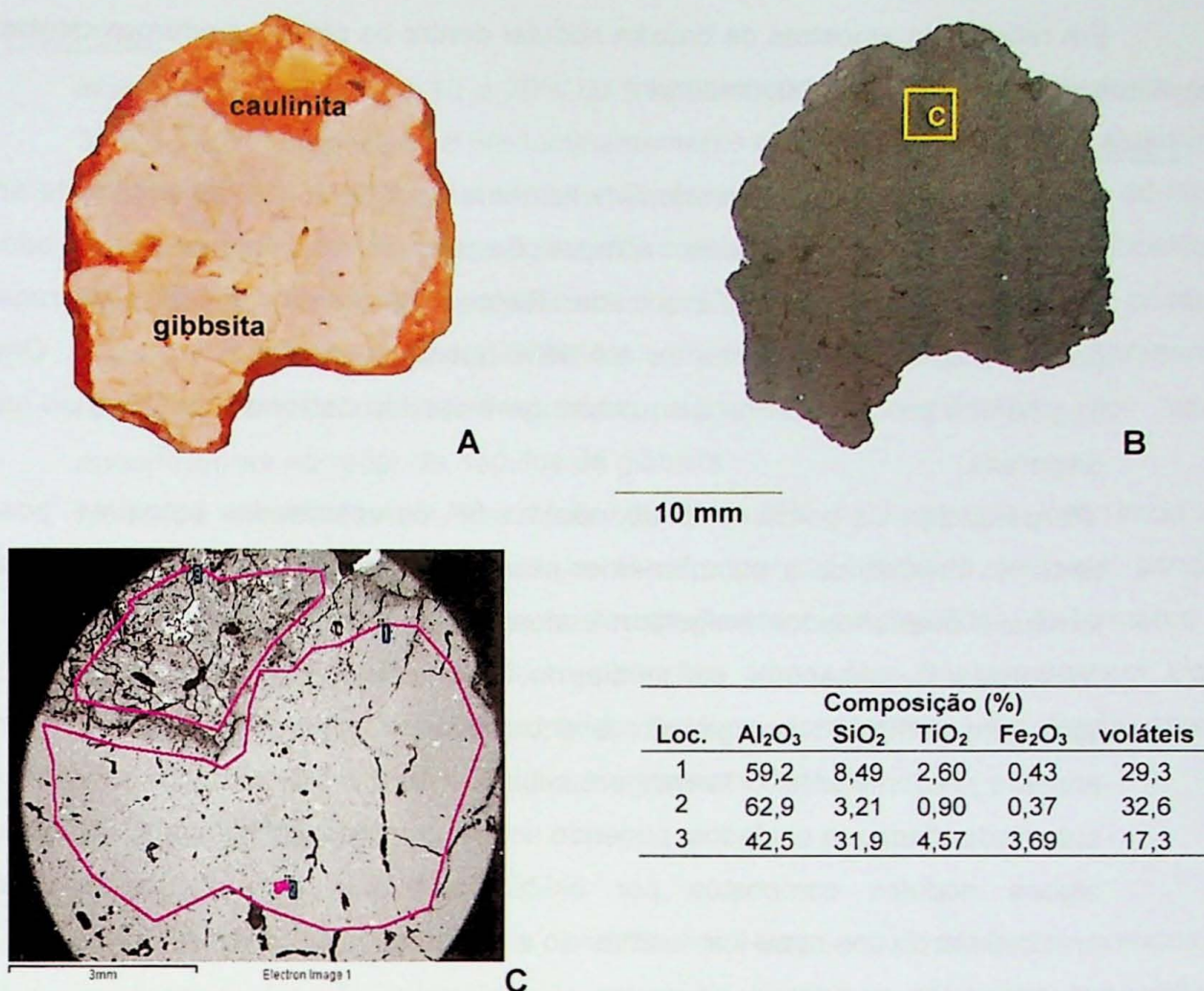


Figura 24. Amostra de bauxita nodular apresentando em (A) Fotomicrografia do fragmento da amostra SMB 743-2C; (B) Imagens de BSE com trechos selecionados para análise; (C) Destacando imagens de BSE apresentando trechos selecionados para microanálise e ao lado direito a respectiva composição química (% massa).

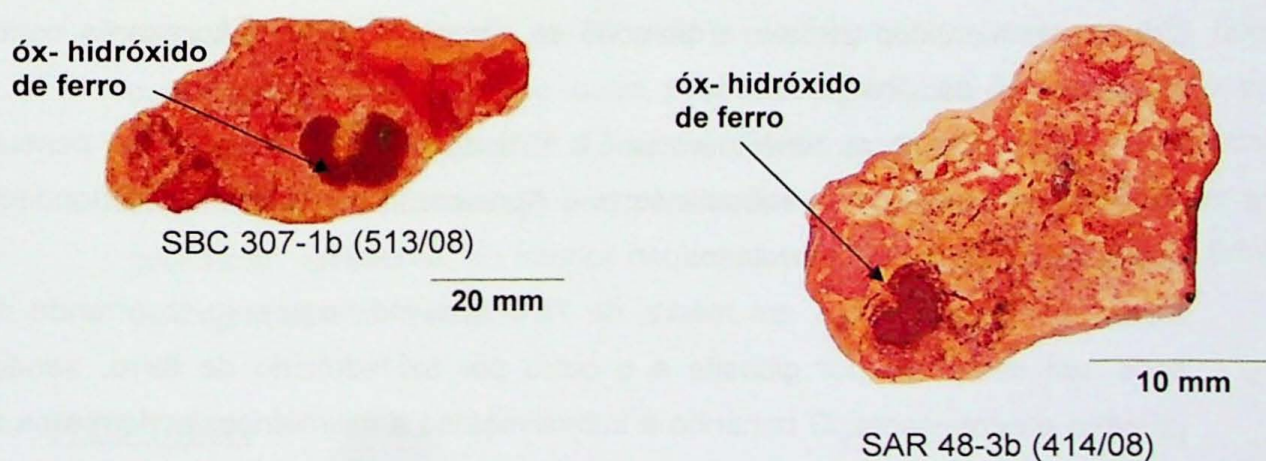


Figura 25. Fragmentos de bauxita nodular destacando os nódulos de óxi-hidróxidos de ferro irregulares.

Em relação as amostras de bauxita nodular dentre os platôs , podemos destacar as seguintes observações de âmbito textural:

– **Platô Aramã**

Matriz - A composição é predominantemente caulinítica, de coloração alaranjada, por vezes, pode apresentar composição de gibbsita intercrescida, sendo a coloração amarela a esbranquiçada. Representa de 15 a 20% do fragmento podendo apresentar valores de até 45% quando o aspecto é maciço. Ocorrem fragmentos submilimétricos de quartzo, óxi-hidróxido de ferro e porções de gibbsita dispersas.

Porosidade - Os poros constituem de 1 a 5% do volume das amostras, possuem tamanho milimétrico a submilimétrico, com predomínio do segundo. Apresentam formatos: arredondados, irregulares e alongados.

Nódulos - Representam, em média, de 70 a 85% do fragmento, ocorrendo dois tipos, um composto por gibbsita e o outro por óxi-hidróxido de ferro, sendo o primeiro predominante. O tamanho é submilimétrico a milimétrico, os formatos são subarredondados e ovalados, podendo ocorrer porções alongadas. Destaca-se que alguns nódulos compostos por óxi-hidróxido de ferro apresentam formas encurvadas do tipo meia-lua, lembrando a forma de uma semente (feijão) (Fig. 25).

– **Platô Bela Cruz**

Matriz - Representa de 10 a 20% do fragmento podendo apresentar valores entre 45%. A composição é predominantemente caulinítica, de coloração alaranjada, por vezes, pode apresentar composição de gibbsita intercrescida, sendo a coloração amarela a esbranquiçada. . Podendo apresentar fragmentos submilimétricos de quartzo, óx-hidróxido de ferro e porções de gibbsita dispersas. Apresenta contato difuso com os nódulos gibbsíticos.

Porosidade - Os poros constituem de 5 a 10% do volume das amostras, possuem tamanho milimétrico a submilimétrico. Apresentam formatos: arredondados, ramificados, alongados e ovalados.

Nódulos - Representam, em média, de 75 a 80% do fragmento, ocorrendo dois tipos, um composto por gibbsita e o outro por óxi-hidróxido de ferro, sendo o primeiro predominante. O tamanho é submilimétrico a milimétrico, os formatos são subarredondados, podendo ocorrer porções alongadas.

Destaca-se que alguns nódulos compostos por óxi-hidróxido de ferro apresentam uma forma ovalada encurvada, lembrando a forma de uma semente (feijão) tendo a caulinita associada e fragmentos de gibbsita (forma arredondada a angulosa) de tamanho submilimétrico, dispersos.

– **Platô Cipó**

Matriz - Representa de 10 a 20% do fragmento podendo apresentar valores entre 35 e 45%. A composição é predominantemente caulinítica, de coloração alaranjada. Podendo apresentar fragmentos submilimétricos de quartzo, óx-hidróxido de ferro e porções de gibbsita dispersas. Apresenta contato difuso com os nódulos gibbsíticos.

Porosidade - Os poros constituem de 5 a 10% do volume do fragmento, possuem tamanho milimétrico a submilimétrico, com predomínio do segundo. Apresentam formatos: arredondados, irregulares, alongados e ramificados, por vezes, encontram-se ao redor de nódulos de gibbsita.

Nódulos - Representam, em média, de 60 a 85% do fragmento, ocorrendo dois tipos, um composto por gibbsita e o outro por óxi-hidróxido de ferro, sendo o primeiro predominante. O tamanho é submilimétrico a milimétrico, os formatos são subarredondados, podendo ocorrer porções alongadas. Destaca-se que alguns nódulos compostos por óxi-hidróxido de ferro apresentam uma forma ovalada encurvada, lembrando a forma de uma semente (feijão).

– **Platô Monte Branco**

Matriz - Representa de 15 a 20% do fragmento, possuem composição predominantemente caulinítica, de coloração alaranjada por vezes avermelhada. Podendo apresentar fragmentos submilimétricos de quartzo, óx-hidróxido de ferro e porções de gibbsita dispersas.

Porosidade - Os poros constituem de 10 a 15% do volume do fragmento, possuem tamanho milimétrico a submilimétrico, com predomínio do segundo. Apresentam formatos: arredondados, irregulares e alongados.

Nódulos - Representam de 70 a 85% do fragmento, possuem dois tipos, um composto por gibbsita e o outro por óxi-hidróxido de ferro, sendo o primeiro predominante. O tamanho é submilimétrico a milimétrico, os formatos são subarredondados, podendo ocorrer porções alongadas. Os nódulos de gibbsita costumam apresentar no interior pequenos nódulos de óxi-hidróxido de ferro além de fragmentos de quartzo.

– **Platô Teófilo**

Matriz - Representa de 5 a 15% do fragmento, possuem composição predominantemente caulinítica, de coloração alaranjada por vezes avermelhada. Podendo apresentar fragmentos submilimétricos de quartzo e porções de gibbsita dispersas.

Porosidade - Os poros constituem, em média, de 5 a 10% do volume do fragmento, possuem tamanho milimétrico a submilimétrico, com predomínio do segundo. Apresentam formatos: arredondados, irregulares e alongados.

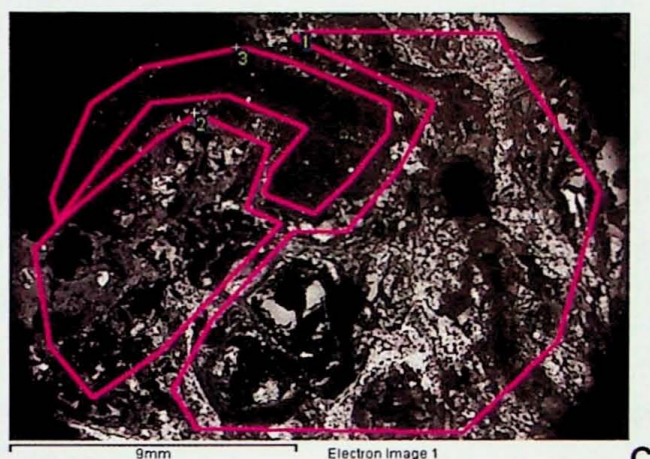
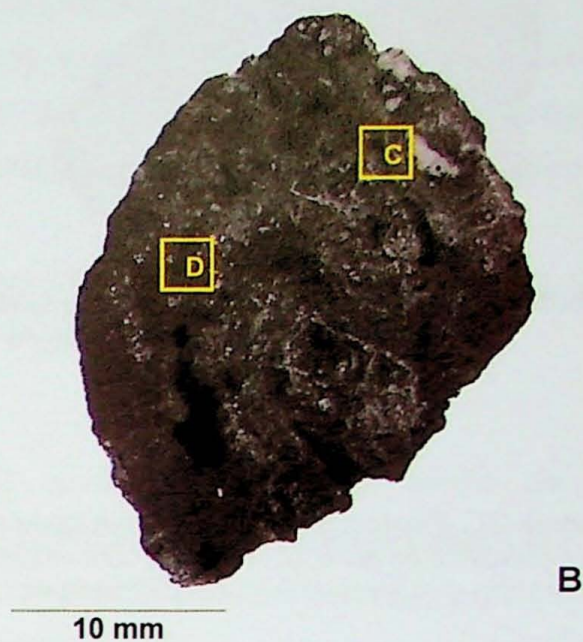
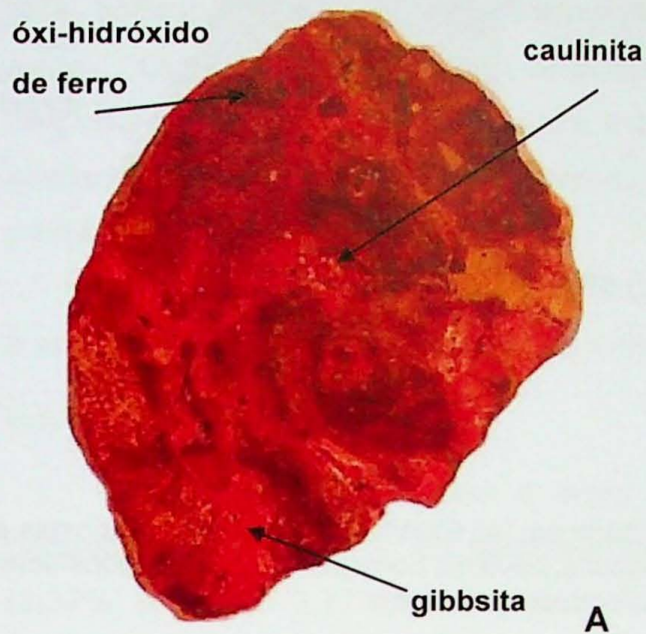
Nódulos - Há, ao menos, dois tipos, um composto por gibbsita e o outro por óxi-hidróxido de ferro. No primeiro, cujo tamanho é submilimétrico a milimétrico, os formatos são subarredondados, podendo ocorrer porções alongadas, podendo, em muitos casos, apresentar no interior pequenos nódulos de óxi-hidróxidos de ferro. O segundo tipo é composto por óxi-hidróxido de ferro com pequenos fragmentos subangulosos de gibbsita. A forma predominante é arredondada, podendo ocorrer porções alongadas. Em volume, os nódulos representam de 75 a 85% do fragmento.

c) *Bauxita maciça*

São classificadas como bauxitas maciças o conjunto de amostras que encontram-se abaixo horizonte nodular, em que a estrutura possui aspecto homogêneo.

Dentre as amostras dos cinco platôs foi verificado, através da análise quantitativa por EDS, que ambas apresentam as mesmas características, as quais são sintetizadas abaixo:

- Dentre os fragmentos analisados verificou-se que sua composição é predominante formada por gibbsita, a qual forma configura a matriz. (Fig.26)
- Destaca-se que é possível encontrar porções praticamente isentas de SiO_2 e Fe_2O_3 , concentrando apenas Al_2O_3 .
- Os óxi-hidróxidos de ferro geralmente, apresentam-se difusos na matriz gibbsítica, respondendo em média por 5% do volume do fragmento.
- A caulinita, quando ocorre, representa em torno de 15% do volume do fragmento e seu aspecto denota intercrescimento entre óxi-hidróxidos de ferro e gibbsita. Pode também apresentar, fragmentos submilimétricos de gibbsita e óxi-hidróxidos de ferro, em seu domínio.
- São observados fragmentos submilimétricos de quartzo dispersos na matriz.
- Em algumas amostras observou-se fragmentos similares ao de bauxita nodular, com a gibbsita envolvendo óxi-hidróxidos de ferro e, gibbsita intercrescida com esses (Fig. 27).
- Os poros constituem de 15 a 20% do volume do fragmento, possuem tamanho milimétrico. Apresentam formatos: arredondados, irregulares e alongados.



Loc.	Composição (%)				
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	voláteis
1	47,8	0,55	0,86	23,2	27,6
2	51,9	0,96	2,32	16,4	28,5
3	60,5	1,42	2,27	4,23	31,6



Loc.	Composição (%)				
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	voláteis
1	60,1	2,41	2,26	4,03	31,2
2	50,1	2,01	4,46	16,6	26,8
3	49,8	2,12	3,42	17,6	27,1

Figura 26 . Amostra de bauxita nodular apresentando em (A) Fotomicrografia do fragmento da amostra SBC 178-8B; (B) Imagens de BSE com trechos selecionados para análise; (C) Destacando imagens de BSE apresentando trechos selecionados para microanálise e ao lado direito a respectiva composição química (% massa).

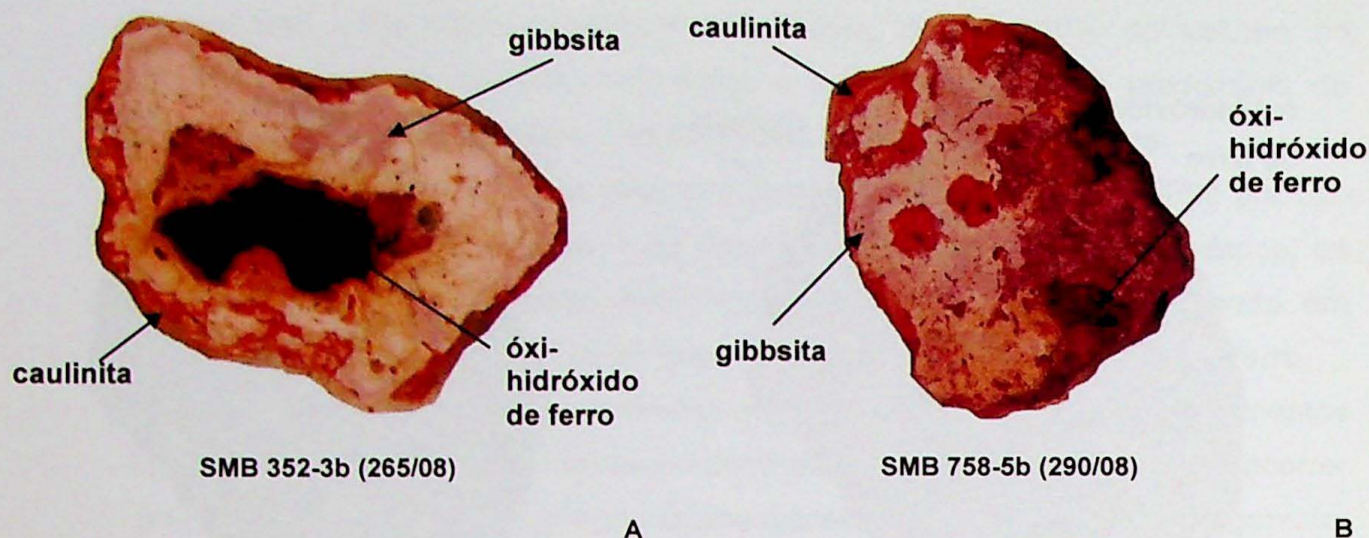


Figura 27 . Fragmentos de bauxita maciça apresentando em (A) Estruturas nodulares compostas por óxi-hidróxido de ferro; (B) Porções concentrando gibbsita, caulinita bordejando porções gibbsíticas e óxi-hidróxido de ferro intercrescido à matriz.

6.3 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DE AGREGADOS MINERAIS CONTENDO GIBBSITA

Resultados de microanálises por EDS de SiO_2 , Fe_2O_3 e TiO_2 em porções constituídas principalmente por gibbsita, foram dispostos na forma de histogramas comparativos entre os cinco platôs estudados, segundo os litotipos laterita, bauxita nodular e maciça (Anexo V).

O critério adotado considerou apenas agregados/partículas com teores de SiO_2 e Fe_2O_3 menores do que 10% e 15%, respectivamente.

6.3.1 Bauxita nodular

Dentre as amostras analisadas verificou-se que o platô Aramã apresenta o maior valor médio de SiO_2 , correspondendo a 7,10%. O menor valor é o observado no platô Bela Cruz (3,67%) e os demais platôs distribuem-se no intervalo de 4,05% (Teófilo) a 5,61% (Monte Branco).

A maior concentração média de Fe_2O_3 encontra-se no platô Aramã (4,38%). Valores médios semelhantes são observados entre os platôs Monte Branco (2,83%) e Cipó (2,77%), já os demais distribuem-se dentro do intervalo de 3,14% (Teófilo) e 3,44% (Bela Cruz).

As médias observadas para o TiO_2 encontram-se dentro do intervalo de 1,78% e 2,05%, com variações mínimas dentre os platôs.

6.3.2 Laterita

Para o conjunto de amostras analisadas verificou-se que os platôs Cipó, Aramã e Monte Branco apresentam, em média, maiores concentrações de SiO_2 , representados na

ordem por, 3,31%; 3,26% e 2,94%. Os menores valores, em torno de 2,18% e 2,52% de SiO_2 , correspondem aos platôs Teófilo e Bela Cruz, respectivamente.

Quanto ao teor de Fe_2O_3 verifica-se, pois, que Aramã e Teófilo apresentam valores médios semelhantes, dados por 4,25% e 4,20%. Valores intermediários são observados nos platôs Bela Cruz (5,12%) e Monte Branco (5,35%). Com destaque tem-se o platô Cipó com média de 7,89%.

As médias observadas para o TiO_2 apresentam variações mínimas dentre os platôs e encontram-se dentro do intervalo de 1,18% e 1,96%.

6.3.3 Bauxita maciça

Verifica-se, pois, que o platô Cipó apresenta maior valor médio de SiO_2 correspondente a 4,11%. Os menores valores são observados entre os platôs Bela Cruz (2,37%) e Teófilo (2,77%), enquanto que os demais platôs denotam expressiva proximidade entre o intervalo de 3,58% (Aramã) e 3,88% (Monte Branco).

A maior concentração média de Fe_2O_3 encontra-se no platô Bela Cruz, correspondente a 7,18%. Valores médios semelhantes são observados entre os platôs Aramã (3,85%) e Cipó (3,97%). E o menor valor, de 2,75%, caracteriza o platô Monte Branco.

O padrão observado dentre as médias do TiO_2 para amostras de bauxita nodular e laterita apresentam relativa diferença para as encontradas na bauxita maciça, pois observa-se que os platôs Bela Cruz (2,06%) e Monte Branco (2,03%) possuem valores muito semelhantes. Fato análogo ocorre entre as amostras dos platôs Aramã (1,37%) e Teófilo (1,26%).

6.3.4 Comportamento dos litotipos em diagramas Al_2O_3 - SiO_2 - Fe_2O_3

Os mesmos resultados citados anteriormente, obtidos a partir de microanálises por EDS em porções gibbsíticas, foram plotados em diagrama ternários do tipo Al_2O_3 - SiO_2 - Fe_2O_3 , ilustrados na Figura 28, para cada platô em função do litotipo.

No diagrama ternário, os dados agrupam-se predominantemente em campos correspondentes às composições de Al_2O_3 , com discreta segregação para SiO_2 .

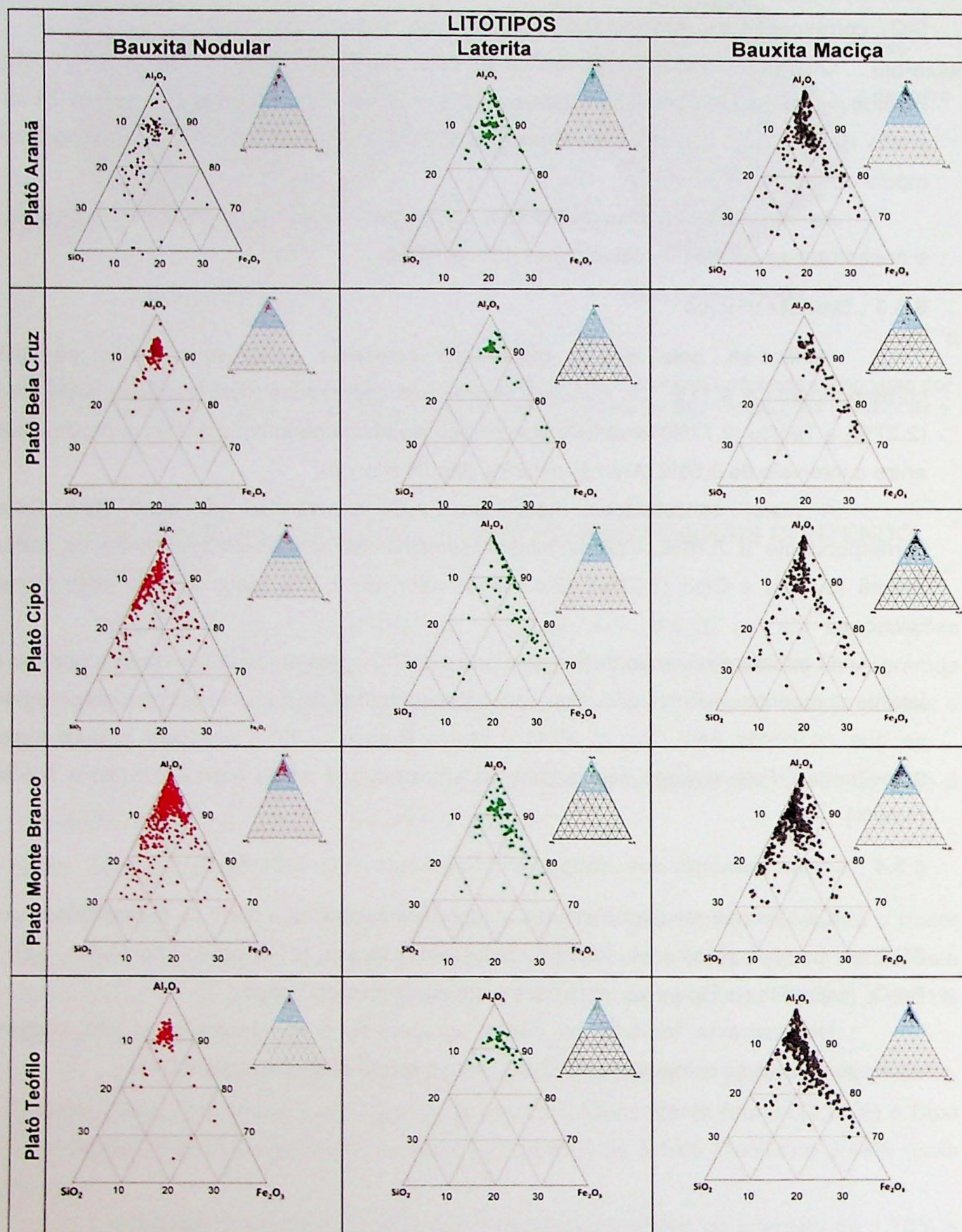


Figura 28. Comparação da composição química da gibbsita frente aos litotipos estudados. O digrama no canto superior direito foi plotado com intervalos de 0 a 100%, sendo destacado em azul o trecho correspondente ao digrama destacado em cada quadro.

Para as amostras de bauxita nodular verifica-se que quando há incremento Fe_2O_3 , o SiO_2 é praticamente constante sendo o contrário também válido. Pode-se inferir, neste sentido, que a gibbsita, tanto concentrou SiO_2 como Fe_2O_3 .

Enquanto que as lateritas apresentam a gibbsita com forte distribuição no sentido do Fe_2O_3 , incremento que pode indicar o efeito da lixiviação dos elementos mais solúveis e a dissolução do quartzo, levando à concentração de Al e Fe, o que configura o processo de ferralitização.

As amostras de bauxita maciça apresentam comportamento análogo às nodulares para os platôs Aramã, Cipó e Monte Branco, para os demais, Bela Cruz e Teófilo, observa-se notadamente, o incremento de Fe_2O_3 na gibbsita.

6.4 INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DAS ANÁLISES TEXTURAIS

A formação de bauxitas como produto do intemperismo de rochas sedimentares resulta na concentração de minerais de alteração, ou seja, de gibbsita, caulinita, goethita, hematita e traços de quartzo e anatásio. A composição química obtida por métodos analíticos reflete diretamente essa associação, com relevância para os óxidos e/ou hidróxidos de Al, Fe, Si e Ti.

A partir dos dados obtidos é possível identificar alguns processos envolvidos na formação das bauxitas de Porto Trombetas, os quais sugerem a ocorrência de duas fases de intemperismo sobrepostas. Evidências de tal hipótese podem ser obtidas pela avaliação da gibbsita, a qual ocorre nas amostras dos cinco platôs de duas formas, uma de aspecto homogêneo e, outra envolvida ou intercrescida com caulinita e óxi-hidróxidos de ferro.

A ferruginização parcial da gibbsita é resultante da segregação de óxi-hidróxidos de ferro no decorrer do processo intempérico, podendo indicar que essa assimilou conteúdos de minerais ferruginosos após a sua formação, uma vez que são observados fragmentos angulosos de composição integralmente gibbsítica imersos em matriz ferruginosa criptocristalina, os quais possivelmente foram envolvidos pela solução gerada durante o desenvolvimento do intemperismo superimposto.

Em termos quantitativos, a gibbsita é a principal fase mineral portadora de alumínio observada dentre os platôs estudados. O Al_2O_3 , seu constituinte fundamental, predomina nas amostras de bauxita maciça e, relativamente nas nodulares.

Nas amostras de laterita, cuja composição é predominantemente caracterizada por óxi -hidróxidos de ferro, a gibbsita ocorre, em geral, subordinada à caulinita, formando estruturas pisolíticas.

Enquanto que nas bauxitas nodulares, a gibbsita ocorre de duas formas, a primeira representada por concentrações difusas com a caulinita, formando uma matriz microcristalina, na qual as fases minerais apresentam-se fortemente associadas dificultando sua separação, sobre este aspecto, Muller & Boudeulle (1990) dicorrem que a gibbsita

desenvolve dois tipos de nucleação ou nódulos, uma refere-se à nucleação heterogênea caracterizada pelo contato entre cristal de gibbsita e caulinita e, a outra pela nucleação homogênea em microporos da bauxita.

Através dos diagramas ternários, é possível verificar que há certo incremento Fe_2O_3 e SiO_2 na gibbsita de amostras nodulares. Enquanto que as lateritas, apresentam-na com forte distribuição no sentido do Fe_2O_3 , incremento que pode indicar o efeito da lixiviação dos elementos mais solúveis e a dissolução do quartzo, levando à concentração de Al e Fe, o que configura o processo de ferralitização.

Ainda sobre o digrama ternário, é possível verificar que as amostras de bauxita maciça apresentam comportamento análogo às nodulares para os platôs Aramã, Cipó e Monte Branco, onde observa-se dispersão tanto para o extremo de SiO_2 como Fe_2O_3 . Enquanto que nos platôs Bela Cruz e Teófilo, observa-se notadamente, o incremento de Fe_2O_3 na gibbsita.

A respeito do exposto, Kotschoubey *et al* (2005), argumentou sobre o perfil de Paragominas, que o alumínio não ocorre somente na gibbsita ou associado à sílica formando a caulinita, como também pode substituir o ferro na estrutura cristalina da goethita e hematita. Este processo pode ser verificado em todo o manto de intemperismo com graus de variações dentro do mesmo horizonte.

Durante o intemperismo e a diferenciação dos horizontes, nas porções de laterita desenvolvem-se estruturas do tipo couraças ferruginosas, em que o ferro, particularmente a hematita encontra-se fortemente associado à caulinita, sendo essa estável na presença de quartzo. No entanto, a estabilidade da caulinita pode ser comprometida se o quartzo dissolver-se sob o efeito de soluções percolantes, ocasionando a substituição da associação hematita-caulinita por goethita-gibbsita (Tardy 1993 *apud* Kotschoubey *et al*, 2005).

A partir do agrupamento por difratogramas de raios X, verifica-se que a gibbsita é a principal fase mineral presente nas amostras de bauxita maciça e secundariamente nas nodulares, com destaque para os grupos 2, 4 e 5, onde apresenta os maiores teores médios.

A caulinita, ocorre principalmente nas amostras de bauxita nodular e laterita e, dentre os clusters, recebe destaque entre os grupos 1 e 2.

Quartzo e anatásio são as fases minerais de menor ocorrência, apresentando valores médios semelhantes nos três litotipos. No agrupamento ambos não apresentam comportamentos destacáveis.

No entanto, através das análises pontuais por EDS, verificou-se que ocorrem teores consideráveis de SiO_2 nas amostras de bauxita nodular variando entre 3,67% e 7,10% , porém, o quartzo nem sempre é um mineral presente, evidenciando a ocorrência de caulinita em quantidades significativas neste litotipo.

Assim, o presente estudo elucida que entre os diferentes litotipos de bauxita (laterita, nodular e maciça) existem termos de transição, observados sobretudo na morfologia das distintas amostras e destacadas pelo agrupamento em *clusters*.

7 CONCLUSÕES

Verificou-se para os cinco platôs ora estudados analisados que a composição mineralógica é análoga, essencialmente com variações nas proporções minerais. Gibbsita, caulinita e óxi-hidróxidos de ferro (hematita e goethita) são os principais minerais presentes, tendo-se quartzo e anatásio como acessórios, dentre outros minerais menores.

O agrupamento de amostras em clusters através da difração de raios X permitiu definir cinco grupos com características químicas e mineralógicas distintas, sendo que os grupos com maiores conteúdos de sílica reativa são os que apresentam menores proporções de material retido em 0,037 mm (maior quantidade de caulinita).

A análise microestrutural mostra que a gibbsita ocorre de duas formas, uma de aspecto homogêneo e, outra envolvida ou intercrescida com caulinita e óxi-hidróxidos de ferro. A observação das amostras do horizonte laterítico evidencia dois tipos de matrizes microcristalina, uma constituída principalmente por óxi-hidróxidos de ferro, outra apresentando o intercrescimento de gibbsita e caulinita. Por vezes, ocorrendo fragmentos subangulosos de gibbsita na matriz ferruginosa. As porções homogêneas, de aspecto límpido, foram observadas principalmente nas amostras nodulares, as quais apresentam estruturas arredondadas concentrando os óxidos e/ou hidróxidos de ferro. Nestas, o mineral caulinita, ocorre ao redor de porções de gibbsita ou bordejando os minerais de ferro.

Os óxi-hidróxidos de ferro são predominantes nas porções de laterita. Ora, os minerais ocorrem na forma de fragmentos dispostos em uma massa contendo caulinita e gibbsita, ora envolvem a gibbsita. Também são observados fragmentos com estrutura pisolítica em que ocorre a nucleação tanto do óxido de ferro como da gibbsita e caulinita associadas.

Para os domínios gibbsíticos (agregados de gibbsita) microanálises químicas indicaram teores de SiO_2 (sílica reativa) em torno de 4% para bauxita maciça, 3% para lateritas e 7% para bauxita nodular. O maior valor médio de sílica foi verificado no platô Cipó a 4,11%. Os menores valores são observados nos platôs Bela Cruz (2,37%) e Teófilo (2,77%), enquanto que os demais platôs, Aramã e Monte Branco apresentam teores médios de 3,58% e 3,88%, respectivamente.

Para o conjunto de amostras lateríticas verificou-se que os agregados de gibbsita dos platôs Cipó, Aramã e Monte Branco apresentam, em média, maiores concentrações de SiO_2 , na ordem por, 3,31%; 3,26% e 2,94%. Os menores valores médios, 2,18% e 2,52% de SiO_2 estão associados aos platôs Teófilo e Bela Cruz, respectivamente. Nas bauxitas nodulares observa-se um incremento nos teores de sílica associado à gibbsita, com maiores valores médios associados ao platô Aramã (7,10% SiO_2); o menor valor é o observado no platô Bela Cruz (3,67%) enquanto que os demais platôs apresentam teores entre 4,05% e 5,61% de SiO_2 .

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABAL – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO. Anuário Estatístico 2006. 48p.
- Allen, V.T. 1952. Petrographic relations in some typical bauxite and diaspore deposits. Bulletin of the Geological Society of America, July, Vol. 53, p.: 649-688.
- Antoniassi, J.L. 2006. Caracterização Mineralógica em bauxitas de Porto de Trombetas. Monografia de Trabalho de Formatura, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 36p.
- Antoniassi, J.L.; Tassinari, M. M. M. L. ; Kahn, H. ; Gobbo, L. A. 2008. Análise grupal por difratometria de raios-X em apoio à exploração e geometalurgia. Curitiba-PR, Anais do 44º Congresso Brasileiro de Geologia, p. 208.
- Biondi, J.C. 2003. Processos metalogenéticos e os depósitos minerais brasileiros. Oficina de Textos, São Paulo, p.: 406-409.
- Boulangé, B.; Carvalho, A. 1997. The Bauxites of Porto Trombetas. In: Carvalho, A.; Boulangé, B.; Melfi, A.J.; Lucas, Y. (eds.). *Brazilian Bauxites*. São Paulo-Paris. p.: 55-72.
- Brandão, P.R.G.; Cançado, R.Z.L.; Santos, L.D.; Vasconcelos, O.R. 2007. Caracterização mineralógica e tecnológica. In: Valadão, G.E.S., Araujo, A.C. (orgs.). Introdução ao tratamento de minérios. Belo Horizonte: Editora UFMG, p.:27-60.
- Carvalho, A. 1989. As bauxitas do Brasil – síntese de um programa de pesquisa. Tese de Livre Docência, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 130p.
- Chaves, A.P.; Massola, C.P. 2007. The practice of bauxite ores processing. Ouro Preto, XXII Encontro nacional de tratamento de minérios e metalurgia extrativa, vol I., p.: 187-192.
- Costa, L.S.; Carneiro, M. C.; Domingues, N.N. 2006. Caracterização química de bauxita. Rio de Janeiro, CETEM, Série Anais da XIV Jornada de Iniciação Científica, p.: 1-7.
- Cunha, P.R.C.; Gonzaga, F.G.; Coutinho, L.F.C.; Feijó, F.J. 1994. Bacia do Amazonas. Rio de Janeiro. Boletim de Geociências da Petrobrás, V.8, n.1, p.:47-55.
- Dardenne, M.A.; Schobbenhaus, C. 2003. Depósitos minerais no tempo geológico e épocas metalogenéticas. In: Bizzi, L. A.; Schobbenhaus, C.; Vidotti, R.M.; Gonçalves, J.H. (eds.). *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil*. Brasília: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, p.: 427-428.
- Delvigne, J. E. 1998. Atlas of micromorphology of mineral alteration and weathering. Ontario: The Canadian mineralogist, Special publication, 3 ,494 p.

- Dutra, C.V.; Gomes, C.B. A fluorescência de raios-X na geologia. *In*: Gomes, C. B. (Coord.). Técnicas analíticas instrumentais aplicadas à geologia. São Paulo: Blucher/ Pró-minério, 1984. p.:84-120.
- DNPM –DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Anuário mineral brasileiro 2006. Disponível em <http://www.dnpm.gov.br>. Acesso em 10 de setembro de 2009.
- DNPM –DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Informe mineral do Pará 2007-2008. Disponível em <http://www.dnpm.gov.br>. Acesso em 18 de março de 2009.
- Formoso, M. L. L. Difractometria de raios-X. *In*: Gomes, C. B. (Coord.). Técnicas analíticas instrumentais aplicadas à geologia. São Paulo: Blucher/ Pró-minério, 1984. p. 1-43.
- Goldstein, J. *et al* 1992. Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis: a text for biologists, materials scientists, and geologists. New York: Plenum Press, 820p.
- Hernalsteens, C.M.O.; Lapa, R.P. 1988. Bauxita de Porto Trombetas, Oriximiná, Pará. *In*: Schobbenhaus, C.;Coelho, C.E.S. Principais depósitos minerais do Brasil. Brasília: DNPM – CVRD , vol. 3, p.: 621 - 653.
- Henley, K.L. 1983. Ore-dressing mineralogy – a review of techniques, applications and recent developments. Geological Society of South Africa (7), p.:175-200.
- Hill, V. G. ;Sehnke, E. D.2006. Bauxite. *In*:Kogal, J.E. *et al* (eds). Industrial Minerals and Rocks: Commodities, markets, and uses. Society for Mining, Metallurgy and Exploration Inc (SME),Littleton, Colorado, USA, 7th ed,p.:227-262.
- King, L.C. (1956). A geomorfologia do Brasil Oriental. São Paulo: Revista Brasileira de Geografia, Abril-junho, p. 147-267.
- Kotschoubey, B. 1988. Geologia do Alumínio. *In*: Schobbenhaus, C.;Coelho, C.E.S. Principais depósitos minerais do Brasil. Brasília: DNPM – CVRD , vol. 3, p.: 599 - 619.
- Kotschoubey, B. *et al*. 2005. Caracterização e gênese dos depósitos de bauxita da província bauxitífera de Paragoninas, noroeste da Bacia do Grajaú, noroeste do Pará / oeste do Maranhão. *In*: Caracterização em depósitos minerais em distritos mineiros da Amazônia. Brasília: DNPM – CT/MINERAL – ADIMB, p. 691-776.
- Muller, J.P.; Boudelle,M. 1990. Oxy- hydroxides geneses and their interrelationships with kaolinite in a laterite. Petrological implications. Aix en Provence, France, 2nd International Symposium Geochemistry of the Earth Surface and Mineral Formation, July,2-8, p.: 314-316.

- Ramos, C.R. 1982. Perfil Analítico do Alumínio. Brasília: Ministério de Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral, Boletim, 55, 152 p.
- Sampaio, J.A.; Andrade, M.C.; Dutra, A.J.B. 2005. Bauxita. In: Luz, A.B.; Lins, F.A.F. (eds.) *Rochas e Minerais Industriais - Usos e especificações*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, Cap. 13, p.: 279-304.
- Sant'Agostino, L.M.; Gobbo, L.A.; Brumatti, M. 2005. A difração de raios X e método Rietveld aplicados a estudos de bauxita. Natal-RN, Anais do XXI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios, V. 1, p.: 85-92.
- Sant'Agostino, L.M.; Kahn, H. 1997. Metodologia para a caracterização tecnológica de matérias primas minerais. São Paulo, Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, BT/PMI/069, 29 p.
- Ulsen, C.; Kahn, H.; Tassinari, M.M.M.L.; Mello, P.S.G. 2007. Redução do teor de sílica livre em minério de bauxita através da otimização da britagem. Ouro Preto-MG, Anais do XXII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios, UFOP/UFMG/CDTN, v.2, p.:557-564.

ANEXOS

ANEXO I - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS AMOSTRAS ESTUDADAS DE MINÉRIO BRUTO SEGUNDO AGRUPAMENTOS POR DRX

ANEXO II - COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DAS AMOSTRAS ESTUDADAS DE MINÉRIO BRUTO SEGUNDO AGRUPAMENTOS POR DRX

ANEXO III - RELAÇÃO DAS AMOSTRAS ESTUDADAS AO MEV/EDS

ANEXO IV - CÁLCULO ESTEQUIOMÉTRICOS

ANEXO V - HISTOGRAMAS COMPARATIVOS DOS DADOS DE MICROANÁLISE POR EDS

Anexo I - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS AMOSTRAS ESTUDADAS DE MINÉRIO BRUTO SEGUNDO AGRUPAMENTOS POR DRX

SAR - Platô Aramã

SCI - Platô Cipó

SBC - Platô Bela Cruz

STE - Platô Teófilo

SMB - Platô Monte Branco

		% massa	Teores LCT (%)					Teores MRN (%)						
Amostra	Cluster	-0.037mm	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	PF	Al ₂ O ₃ _{ap}	SiO ₂ _{reat}	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	PF
SAR 114-ND-3	1	77.4	30.8	27.0	26.5	1.21	15.0	16.8	17.7	43.7	18.8	20.7	1.27	15.6
SCI 29-ND-1 +	1	69.4	35.7	21.0	25.5	1.58	17.0	14.0	18.1	42.8	18.3	22.2	1.63	15.2
SBC 178-LT-5	1	82.7	23.1	47.6	13.8	1.40	14.2	7.86	14.24	29.43	40.79	18.07	1.29	10.43
SCI 29-LT-2	1	69.6	24.0	50.8	11.0	1.17	13.2	8.68	12.75	26.54	48.38	15.96	1.28	7.84
SBC 18-LT-5	1	87.5	24.5	52.8	8.38	1.12	13.7	17.3	6.50	30.7	43.4	8.39	1.02	16.5
SBC 86-LT-4	1	83.3	32.3	41.9	8.18	1.39	17.3	22.0	7.50	32.3	41.9	8.18	1.39	17.3
SBC 178-LT-4	1	77.8	24.9	43.5	17.4	1.69	12.5	10.6	12.7	24.6	49.3	13.1	1.56	11.4
SBC 209-LT-3***	1	77.7	27.5	42.7	14.4	1.46	14.4	14.8	8.42	27.7	50.3	10.8	1.29	9.89
SBC 307-LT-3	1	68.4	21.5	48.6	16.6	1.48	12.2	9.59	12.2	27.4	48.9	16.1	1.41	6.20
STE 196-LT-4	1	86.7	22.0	53.6	10.2	0.97	13.3	13.49	7.60	25.58	54.58	9.71	1.06	9.07
STE 42- LT 3	1	77.2	22.8	52.4	10.7	1.39	12.6	13.0	9.32	24.3	51.7	12.2	1.64	10.2
STE 130-LT-3	1	79.0	27.6	47.3	9.25	1.58	14.7	17.7	7.64	28.7	46.6	10.4	1.57	12.8
STE 196-LT-6	1	86.4	25.2	51.8	7.88	1.09	14.9	17.2	6.38	26.2	52.9	7.52	1.21	12.2
STE 174-LT-3	1	86.9	29.5	36.3	17.0	1.58	16.0	13.7	13.9	32.6	35.1	16.4	1.76	14.2
SAR 67-ND-1	1	60.9	31.5	30.4	20.0	1.26	17.3	17.2	13.6	41.8	27.0	14.7	1.35	15.1
SAR 06-LT-7	1	89.4	20.8	63.6	1.93	0.82	13.1	24.8	1.65	31.7	51.9	2.96	1.12	12.4
SAR 27-LT-5	1	84.9	33.6	42.8	4.81	1.22	18.1	29.1	3.62	34.6	42.5	4.85	1.35	16.7
SAR 48-LT-6	1	83.3	30.2	50.2	4.74	1.14	12.9	25.2	3.17	28.0	50.5	4.57	1.28	15.7
SAR 67-LT- 4	1	90.5	23.3	49.4	13.8	1.08	12.8	11.7	9.15	26.9	52.6	10.7	0.99	8.87
SAR 114-LT- 4	1	86.0	25.7	37.9	23.3	1.06	12.2	10.5	17.1	33.6	36.9	18.7	1.06	9.62
SCI 21-LT-3	1	76.1	30.0	45.5	7.25	1.63	16.4	16.2	6.80	24.8	52.6	9.44	1.46	11.8
SCI 29-LT-3 +	1	78.4	16.3	61.4	12.0	1.01	9.16	6.47	8.86	19.6	61.6	12.2	1.20	5.36
SCI 51-LT-2	1	86.5	21.8	52.7	10.9	1.12	13.5	12.7	9.71	27.5	51.4	11.4	1.23	8.46
Média		80.3	26.3	45.7	12.8	1.3	14.2	15.2	9.9	30.0	44.7	12.1	1.3	11.9
Desvio padrão		7.6	4.8	10.2	6.5	0.2	2.1	5.8	4.5	6.1	11.1	5.1	0.2	3.5
SMB 284-ND-4	2	59.4	49.2	7.38	17.4	2.15	24.3	34.0	16.0	51.7	6.54	17.1	2.31	22.3
SMB 743-BX-8	2	44.5	45.2	7.77	21.7	2.42	23.1	25.8	18.5	48.1	7.33	19.3	2.59	22.7
SBC 18-ND-2	2	74.4	45.1	12.7	18.2	1.87	22.3	34.6	12.2	49.3	10.1	13.3	1.86	25.5
STE 130-ND-1	2	78.3	50.8	8.24	13.4	1.62	26.2	38.5	11.4	52.9	7.89	12.1	1.73	25.4
SAR 27-ND-1 +	2	76.6	46.0	14.3	13.2	1.41	25.6	35.3	8.01	52.1	13.5	10.1	1.48	22.7
SCI 21-ND-1	2	66.8	45.1	13.0	18.1	1.62	22.6	28.3	14.8	49.7	12.0	17.3	1.71	19.3
SCI 65-ND-2	2	69.1	47.5	7.93	19.7	1.87	23.3	35.9	15.5	53.7	5.01	15.5	1.85	23.9
SCI 102-ND-1	2	60.6	48.1	8.50	18.1	2.18	23.4	31.3	15.9	50.3	7.54	15.9	2.31	24.0
SCI 102-ND-3	2	69.5	47.1	9.56	18.1	2.27	23.4	30.2	14.6	50.3	7.83	17.5	2.53	21.9
SCI 102-ND-4 ***	2	64.7	47.6	6.90	20.8	2.37	22.9	28.6	17.4	50.3	5.84	18.0	2.54	23.3
SMB 115-ND-3	2	56.7	46.9	7.78	20.1	2.38	23.0	33.5	15.6	48.5	7.58	16.5	2.23	25.2
SMB 743-ND-2 +	2	44.8	47.1	4.12	22.7	2.90	23.4	31.4	16.3	50.7	6.32	16.6	2.67	23.7
SMB 743-ND-4	2	44.8	43.1	9.04	24.0	2.83	21.0	31.4	16.3	50.7	6.32	16.6	2.67	23.7
Média		62.3	46.8	9.0	18.9	2.1	23.4	32.2	14.8	50.6	8.0	15.8	2.2	23.4
Desvio padrão		11.9	2.0	2.8	3.2	0.5	1.3	3.5	2.8	1.6	2.5	2.6	0.4	1.7
SMB 115-LT-6 +	3	81.4	40.0	31.5	6.05	1.50	21.5	34.6	4.12	41.6	30.2	5.54	1.60	21.0
SMB 758-LT-3	3	73.6	33.6	35.3	12.9	1.54	17.9	21.0	10.5	37.5	32.6	11.9	1.73	16.3
STE 72- LT-1 +	3	67.3	36.9	28.2	16.3	1.36	18.4	21.4	13.3	38.8	26.3	15.2	1.45	18.2
SCI 51-ND-1***	3	67.2	42.0	22.6	13.3	1.42	21.1	29.6	12.4	46.5	21.3	12.5	1.50	18.3
Média		72.4	38.1	29.4	12.1	1.5	19.7	26.7	10.1	41.1	27.6	11.3	1.6	18.5
Desvio padrão		6.7	3.7	5.4	4.3	0.1	1.8	6.6	4.1	4.0	4.9	4.1	0.1	1.9

Amostra	Cluster	% massa	Teores LCT (%)						Teores MRN (%)					
		-0.037mm	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	PF	Al ₂ O ₃ ap	SiO ₂ reat	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	PF
SBC 178-BX-8	4	92.6	54.3	11.1	3.59	1.80	29.6	51.1	2.44	53.9	12.1	3.78	1.87	28.3
SBC 307-BX-6	4	75.0	51.1	11.1	9.14	1.52	27.0	43.0	8.05	50.8	12.1	12.4	1.62	23.1
STE 72- LT-3 +	4	78.1	48.2	17.2	9.02	1.68	24.5	38.7	5.61	46.5	17.6	9.08	1.82	25.1
STE 72-BX-6	4	79.0	50.0	12.7	8.72	1.52	27.1	41.8	6.82	49.3	13.7	8.29	1.67	27.1
SAR 27-BX-7	4	85.0	52.2	14.3	3.61	2.32	27.4	48.4	2.40	51.6	14.5	3.54	2.51	27.9
SAR 48-BX-11	4	79.8	52.1	13.5	5.24	1.81	27.7	47.1	4.17	48.6	14.2	5.43	2.09	29.7
SAR 67-BX-8	4	78.6	53.6	8.51	8.85	1.72	27.5	45.6	6.94	54.2	8.33	8.21	1.86	27.4
SAR 114-BX-6	4	88.0	50.9	12.5	9.32	1.47	26.3	42.7	5.86	51.2	12.5	7.72	1.60	27.0
SCI 21-BX-5***	4	90.5	51.1	12.6	7.86	1.59	26.9	44.0	6.60	51.2	12.9	7.78	1.76	26.4
SCI 29-BX-6	4	76.2	46.7	17.4	10.2	1.56	24.2	36.9	8.72	47.1	17.6	10.3	1.75	23.3
SCI 51-BX-4	4	94.8	52.6	14.3	3.92	1.51	28.1	46.0	3.13	51.0	14.8	3.56	1.58	29.1
SMB 758-ND-2	4	69.0	50.0	8.72	12.9	1.59	27.0	38.6	11.2	51.1	8.30	12.0	1.79	26.8
SMB 284-BX-9+	4	63.8	51.6	3.14	16.4	2.68	26.2	36.3	15.5	50.9	3.10	16.0	2.81	27.2
SBC 86-ND-2 ***	4	73.2	49.5	9.89	14.2	1.87	25.2	32.7	10.9	52.6	8.52	13.5	2.07	23.3
SBC 307-ND-1	4	73.8	47.6	14.5	12.7	1.46	24.3	36.0	10.9	50.6	13.8	11.5	1.52	22.6
STE 42-ND-1	4	74.8	48.9	10.2	15.1	1.69	24.7	34.4	11.9	50.9	9.70	13.0	1.77	24.6
STE 174-ND-1	4	75.8	51.2	8.01	13.5	1.76	26.0	38.5	11.8	53.0	7.32	13.2	1.87	24.6
SAR 06-ND-5	4	72.1	55.7	8.19	6.07	1.87	29.1	40.5	7.43	53.6	10.9	7.68	1.55	26.3
SAR 48-ND-3	4	79.9	48.3	13.2	11.1	1.62	25.9	41.2	8.44	49.9	10.7	8.77	1.80	28.8
SCI 65-BX-7	4	65.2	47.4	9.51	17.0	1.93	23.9	31.4	15.1	48.3	8.83	17.4	2.18	23.3
SCI 65-BX-8	4	73.8	50.6	5.30	15.2	1.86	27.3	36.7	13.5	51.6	5.29	15.5	2.12	25.6
Média		78.0	50.6	11.2	10.2	1.8	26.5	40.5	8.4	50.8	11.3	9.9	1.9	26.1
Desvio padrão		8.3	2.3	3.6	4.2	0.3	1.6	5.3	3.9	2.1	3.7	4.1	0.3	2.2
SMB 115-BX-8+	5	75.2	48.6	15.8	7.82	2.05	25.8	41.5	5.71	47.4	16.2	7.61	2.24	26.6
SMB 352-BX-5***	5	91.8	56.5	9.34	2.20	1.42	30.9	53.4	1.29	55.5	13.5	1.66	1.49	27.8
SMB 758-BX-5	5	85.0	56.9	5.37	6.24	1.71	29.9	51.2	4.86	57.1	5.35	5.67	1.85	30.04
SBC 18-BX-9	5	89.1	54.4	10.8	3.74	1.60	29.5	49.9	2.70	54.0	11.8	4.22	1.73	28.3
SBC 86-BX-7	5	92.8	55.7	9.68	2.88	1.56	30.5	53.5	2.00	56.0	10.0	2.43	1.78	29.8
SBC 209-BX-8	5	89.1	54.6	11.0	4.49	1.63	29.3	51.3	3.04	53.8	12.2	4.38	1.78	27.9
STE 42-BX-6	5	92.2	55.5	10.5	3.06	1.30	30.1	52.6	2.29	53.0	11.6	2.92	1.46	31.0
STE 130-BX-7	5	77.6	46.0	21.5	6.28	1.49	25.5	38.3	5.77	43.3	23.3	6.58	1.67	25.2
STE 174-BX-5	5	86.94	58.4	5.38	5.23	1.74	29.3	52.0	4.28	57.2	5.7	5.32	1.80	29.9
STE 196-BX-9	5	91.8	55.7	9.85	2.91	1.31	30.4	53.0	2.39	55.5	10.3	2.68	1.42	30.1
SAR 06-BX-12 +	5	92.5	56.2	10.1	2.06	1.82	29.7	55.4	1.47	55.8	9.91	1.65	1.84	30.8
Média		87.6	50.1	9.8	8.3	1.7	26.4	42.1	7.0	50.1	10.1	8.0	1.8	26.0
Desvio padrão		6.1	11.3	4.1	5.2	0.4	6.0	11.4	4.6	11.2	4.4	5.0	0.4	5.9

Anexo II - COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DAS AMOSTRAS ESTUDADAS DE MINÉRIO BRUTO SEGUNDO AGRUPAMENTOS POR DRX

SAR - Platô Aramã

SCI - Platô Cipó

SBC - Platô Bela Crus

STE - Platô Teófilo

SMB - Platô Monte Branco

Amostra	Cluster	gibbsita	caulinita	oxi-hid. Fe	quartzo	anatásio
SAR 114-ND-3	1	27	39	30	3	1
SCI 29-ND-1 +	1	24	44	25	5	2
SBC 178-LT-5	1	12	31	51	4	1
SCI 29-LT-2	1	13	28	54	3	1
SBC 18-LT-5	1	27	14	56	2	1
SBC 86-LT-4	1	35	17	46	0.7	1
SBC 178-LT-4	1	18	30	50	0.5	2
SBC 209-LT-3***	1	25	20	50	3	1
SBC 307-LT-3	1	15	27	53	4	1
STE 196-LT-4	1	21	17	58	2	1
STE 42- LT 3	1	20	20	55	3	2
STE 130-LT-3	1	28	17	51	3	2
STE 196-LT-6	1	27	14	56	1	1
STE 174-LT-3	1	22	32	41	3	2
SAR 67-ND-1	1	29	32	36	1	2
SAR 06-LT-7	1	34	3.2	60	1	1
SAR 27-LT-5	1	45	7.8	45	1	1
SAR 48-LT-6	1	38	6.7	52	1	1
SAR 67-LT- 4	1	19	21	56	2	1
SAR 114-LT- 4	1	17	38	42	2	1
SCI 21-LT-3	1	27	16	52	3	2
SCI 29-LT-3 +	1	10	19	66	3	1
SCI 51-LT-2	1	20	21	56	2	1
Média		24	22	50	2	1.4
Desvio padrão		9	11	10	1.1	0.3
SMB 284-ND-4	2	53	35	8	1	2
SMB 743-BX-8	2	43	44	9	0.8	3
SBC 18-ND-2	2	56	27	14	1	2
STE 130-ND-1	2	62	26	9	0.8	2
SAR 27-ND-1 +	2	60	19	17	2	2
SCI 21-ND-1	2	47	34	15	3	2
SCI 65-ND-2	2	56	34	8	0.1	2
SCI 102-ND-1	2	51	37	10	0.0	2
SCI 102-ND-3	2	50	34	11	3	3
SCI 102-ND-4 ***	2	48	41	8	0.7	3
SMB 115-ND-3	2	53	35	9	0.9	2
SMB 743-ND-2 +	2	53	39	5	0.3	3
SMB 743-ND-4	2	50	37	10	0.3	3
Média		53	34	10	1.1	2
Desvio padrão		5	6.5	3.2	1.0	0.5

Amostra	Cluster	gibbsita	caulinita	oxi-hid. Fe	quartzo	anatásio
SMB 115-LT-6 +	3	54	9.0	34	1	2
SMB 758-LT-3	3	34	24	39	1	2
STE 72- LT-1 +	3	35	30	31	2	2
SCI 51-ND-1***	3	47	27	24	0.0	2
Média		42	23	32	1	2
Desvio padrão		10	9	6	0.8	0.1
SBC 178-BX-8	4	80	5	12	1	2
SBC 307-BX-6	4	65	17	12	4	2
STE 72- LT-3 +	4	63	13	19	4	2
STE 72-BX-6	4	67	15	14	2	2
SAR 27-BX-7	4	76	5	15	1	3
SAR 48-BX-11	4	73	9	14	1	2
SAR 67-BX-8	4	72	15	9	1	2
SAR 114-BX-6	4	69	13	14	2	2
SCI 21-BX-5***	4	69	15	14	1	2
SCI 29-BX-6	4	58	19	19	2	2
SCI 51-BX-4	4	75	7	16	0.5	2
SMB 758-ND-2	4	62	25	10	0.8	2
SMB 284-BX-9+	4	58	35	3	0.6	3
SBC 86-ND-2 ***	4	56	26	12	3	2
SBC 307-ND-1	4	57	24	16	0.7	2
STE 42-ND-1	4	57	28	12	1	2
STE 174-ND-1	4	61	26	9	1	2
SAR 06-ND-5	4	70	18	10	0.3	2
SAR 48-ND-3	4	65	19	14	0.3	2
SCI 65-BX-7	4	51	34	11	2	2
SCI 65-BX-8	4	59	30	6	2	2
Média		65	19	12.4	2	2
Desvio padrão		8	9	4	1	0.3
SMB 115-BX-8+	5	66	13	17	2.0	2
SMB 352-BX-5***	5	85	3	10	0.4	2
SMB 758-BX-5	5	81	11	6	0.8	2
SBC 18-BX-9	5	79	6	12	1.6	2
SBC 86-BX-7	5	83	4	10	0.4	2
SBC 209-BX-8	5	79	7	12	1.3	2
STE 42-BX-6	5	82	5	11	0.6	1
STE 130-BX-7	5	61	13	24	0.8	2
STE 174-BX-5	5	82	9	6	1	2
STE 196-BX-9	5	82	5	11	0.3	1
SAR 06-BX-12 +	5	84	3	11	0.2	2
Média		78	7	12	0.9	2
Desvio padrão		8	4	5	0.6	0.2

Anexo III - RELAÇÃO DAS AMOSTRAS ESTUDADAS AO MEV/EDS

LATERITA		
PLATÔ CIPÓ		
1	SCI 21 -3	A (477/07)
2	SCI 21 -3	C(479/07)
3	SCI 29 -3	A (486/07)
4	SCI 29 -3	B (487/07)
5	SCI 51 -2	A (495/07)
6	SCI 51 -2	B (496/07)
7	SCI 65 -7	B (606/07)
PLATÔ MONTE BRANCO		
1	SMB 115 -6B	0171/08
2	SMB 115 -6C	0172/08
3	SMB 758 -3A	0286/08
4	SMB 758 -3B	0287/08
PLATÔ TEÓFILO		
1	STE 42 -3A	0623/07
2	STE 42 -3C	0625/07
3	STE 72 -3A	0632/07
4	STE 72 -3C	0634/07
5	STE 130 -3C	0643/07 F1
6	STE 130 -3C	0643/07 F2
7	STE 174 -3 B	0651/07
8	STE 174 -3C	0652/07
9	STE 196 -6 A	0161/08
10	STE 196 -6C	0163/08
11	STE 72 -1B	0630/07
12	STE 72 -1C	0631/07
PLATÔ BELA CRUZ		
1	SBC 18 -5	A (479/08)
2	SBC 18 - 5	A (479/08)
3	SBC 86 - 4	B (489/08)
4	SBC 86 - 4	B (489/08)
5	SBC 178 -4	A (497/08)
6	SBC 178 - 4	C (499/08)
7	SBC 209 - 3	A (506/08)
8	SBC 209 - 3	C (508/08)
9	SBC 307 -3	A (515/08)
10	SBC 307 -3	C (517/08)
PLATÔ ARAMÃ		
1	SAR 06 -7B	0399/08
2	SAR 06 -7C	0400/08
3	SAR 114 -4B	0471/08
4	SAR 114 -4C	0472/08
5	SAR 27 -5A	0407/08
6	SAR 27 -5C	0409/08
7	SAR 48 -6A	0416/08
8	SAR 48 -6C	0418/08
9	SAR 67 -4A	0461/08
10	SAR 67 -4B	0462/08

NODULAR		
PLATÔ CIPÓ		
1	SCI 21 -1	A (474/07)
2	SCI 21 -1	B (475/07)
3	SCI 29 -1	A (483/07)
4	SCI 29 -1	C(485/07)
5	SCI 51 -1	B (493/07)
6	SCI 51 -1	C(494/07)
7	SCI 65 -2	B (603/07)
8	SCI 65 -2	C(604/07)
9	SCI 102 -1	A (611/07)
10	SCI 102 -1	B (612/07)
11	SCI 102 -3	A (614/07)
12	SCI 102 -3	C(616/07)
13	SCI 102 -4	A (617/07)
14	SCI 102 -4	B (618/07)
PLATÔ MONTE BRANCO		
1	SMB 115-3B	0168/08
2	SMB 284 -4B	0177/08
3	SMB 284 -4C	0178/08
4	SMB 743 -2A	0274/08
5	SMB 743 -2C	0276/08
6	SMB 758 -2A	0283/08
7	SMB 758 -2C	0285/08
9	SMB 743 -4A	0277/08
10	SMB 743 -4C	0279/08
PLATÔ TEÓFILO		
1	STE 42 -1B	0621/07
2	STE 42 -1C	0622/07
3	STE 130 -1A	0638/07
4	STE 130 -1B	0639/07
5	STE 174 -1A	0647/07
6	STE 174 -1C	0649/07
7	STE 196 -2A	0158/08
8	STE 196 -2C	0160/08
PLATÔ BELA CRUZ		
1	SBC 18 -2	A (476/08)
2	SBC 18 -2	B (477/08)
3	SBC 86 -2	A (485/08)
4	SBC 86 -2	B (486/08)
5	SBC 178 -2	A (494/08)
6	SBC 178 -2	C (496/08)
7	SBC 209 -2	B (504/08)
8	SBC 307 -1	B (513/08)
9	SBC 307 -1	B (513/08)
10	SBC 209 -2	C (505/08)
PLATÔ ARAMÃ		
1	SAR 06 -5A	0395/08
2	SAR 06 -5C	0397/08
3	SAR 114 -3A	0467/08
4	SAR 114 -3B	0468/08
5	SAR 27 -1A	0404/08
6	SAR 27 -1B	0405/08
7	SAR 48 -3B	0414/08
8	SAR 48 -3C	0415/08
9	SAR 67 - 1A	0458/08 Frag 1
10	SAR 67 - 1A	0458/08 Frag 2

MACIÇA		
PLATÔ CIPÓ		
1	SCI 21 -5	B (481/07)
2	SCI 21 -5	C (482-07)
3	SCI 29 -6	B (490/07)
4	SCI 29 -6	C(491/07)
5	SCI 51 -4	A(498/07)
6	SCI 51 -4	B(499/07)
7	SCI 65 -7	A (605/07)
8	SCI 65 -8	B (609/07)
9	SCI 65 -8	C(610/07)
PLATÔ MONTE BRANCO		
1	SMB 115 -8A	0173/08
2	SMB 115 - 8B	0174/08
3	SMB 284 -9B	0183/08
4	SMB 284 -9C	0184/08
5	SMB 352 -5A	0271/08
6	SMB 352 -5C	0273/08
7	SMB 758 -5C	0291/08
8	SMB 284 -7A	0179/08
9	SMB 284 -7B	0180/08
10	SMB 352-3C	0267/08
11	SMB 352 -4C	0270/08
12	SMB 758 -5B	0290/08
13	SMB 352 -4B	0269/08
14	SMB 352 -3B	0266/08
PLATÔ TEÓFILO		
1	STE 42 -6B	0627/07
2	STE 42 -6C	0628/07
3	STE 72 -6B	0636/07
4	STE 72 -6C	0637/07
5	STE 130 -7A	0644/07
6	STE 130 -7B	0645/07
7	STE 174 -5A	0653/07
8	STE 174 -5B	0654/07
9	STE 196 -9B	0165/08
10	STE 196 -9C	0166/08
PLATÔ BELA CRUZ		
1	SBC 18 -9	A (482/08)
2	SBC 18 -9	B (483/08)
3	SBC 86 -7	A (491/08)
4	SBC 86 -7	B (492/08)
5	SBC 178 -8	A (500/08)
6	SBC 178 -8	B (501/08)
7	SBC 209 -8	B (510/08)
8	SBC 209 -8	C (511/08)
9	SBC 307 -6	A (518/08)
10	SBC 307 -6	B (519/08)
PLATÔ ARAMÃ		
1	SAR 06 -12A	0401/08
2	SAR 06 -12C	0403/08
3	SAR 114 -6A	0473/08
4	SAR 114 -6C	0475/08
5	SAR 27 -7B	0411/08
6	SAR 27 -7C	0412/08
7	SAR 48 -11B	0420/08
8	SAR 48 -11C	0421/08
9	SAR 67 - 8A	0464/08
10	SAR 67 - 8C	0466/08

Anexo IV - CÁLCULOS ESTEQUIOMÉTRICOS

Os procedimentos de cálculos adotados são resumidos a seguir:

1º) Uso das proporções teóricas de óxidos (% peso):

Gibbsita Fórmula química: $\text{Al}(\text{OH})_3$ % Al_2O_3 = 65,36 % % voláteis = 34,64 %	Caulinita Fórmula química: $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ % Al_2O_3 = 39,5 % % SiO_2 = 46,55 % % voláteis = 13,96 %	Quartzo Fórmula química: SiO_2 % SiO_2 = 100 %
Goethita Fórmula química: $\text{FeO}(\text{OH})$ % Fe_2O_3 = 89,86 % % voláteis = 10,14 %	Hematita Fórmula química: Fe_2O_3 % Fe_2O_3 = 100 %	Anatásio Fórmula química: TiO_2 % TiO_2 = 100 %

2º) Obtenção de dados quantitativos por FRX, expressos em termos de elementos químicos (% peso);

3º) Estimativa das proporções minerais não normalizadas (% peso):

Estimativa da proporção de gibbsita (G):

Equação 2:

$G = \text{valor medido de } \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ (alumina aproveitável)} / 0,6536$

Estimativa da proporção de caulinita (C):

Equação 2:

$C = \text{valor medido de } \text{SiO}_2 \text{ (sílica reativa)} / 0,4655$

Estimativa da proporção de quartzo (Q):

Equação 3:

$Q = \text{valor medido de } \text{SiO}_2 \text{ por FRX} - \text{valor medido de } \text{SiO}_2 \text{ (sílica reativa)}$

• *Estimativa da proporção de óxidos de ferro (OF):*

Equação 4:

$OF = \text{valor medido de } \text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ por FRX} / 0,8986$

• *Estimativa da proporção de anatásio (Ti):*

Equação 5:

Ti = valor medido de Ti por FRX

4º) Estimativa das proporções minerais normalizadas (% peso):

Equação 6:

Mineral normalizado = valores medidos de C, G, GO, Ti * 100 / somatória de C+G+GO+Ti

Assim, CN= caulinita normalizada; GN= gibbsita normalizada; GoN=goethita normalizada e TiN=anatásio normalizado

5º) Composição final (% massa):

Equação 7:

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = [\text{CN} * 39,5 + \text{GN} * 65,36] / 100$$

Equação 8:

$$\text{SiO}_2 = [\text{CN} * 46,55] / 100$$

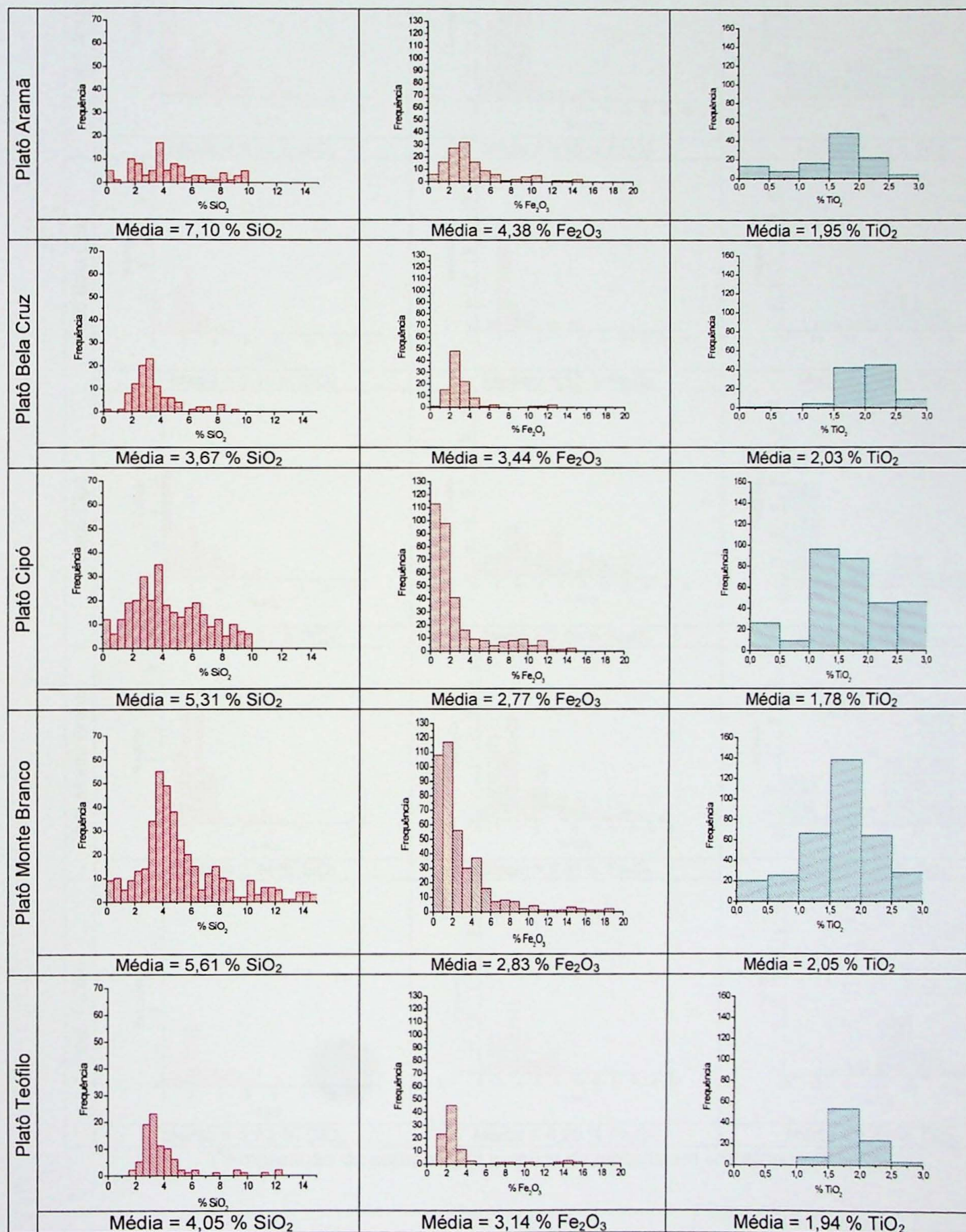
Equação 9:

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = [\text{GoN} * 89,86] / 100$$

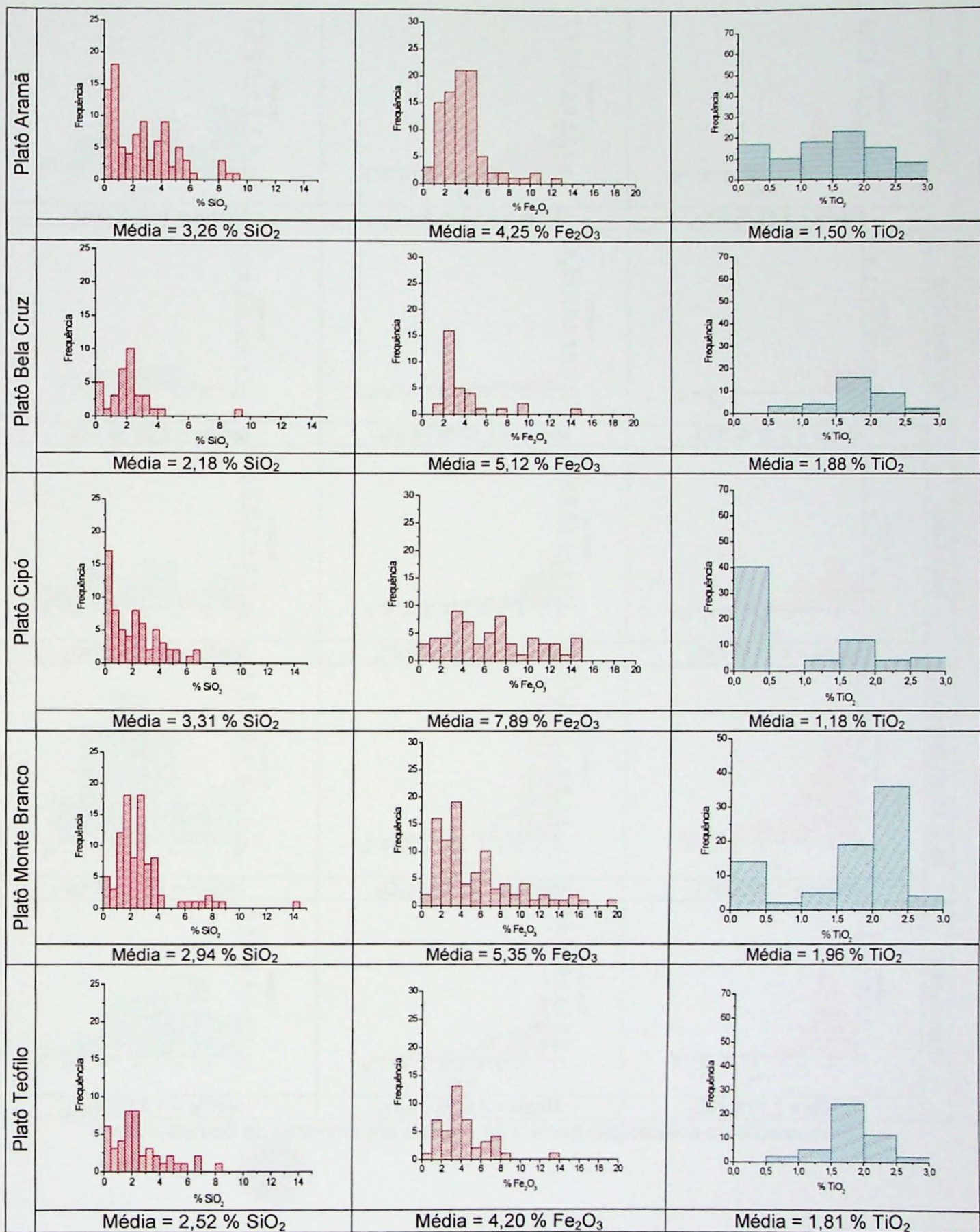
Equação 10:

$$\text{TiO}_2 = \text{TiN}$$

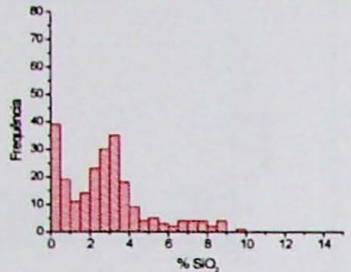
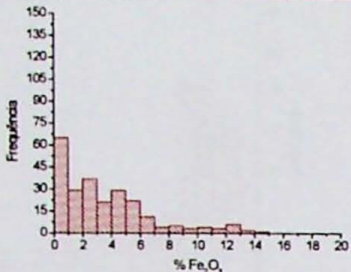
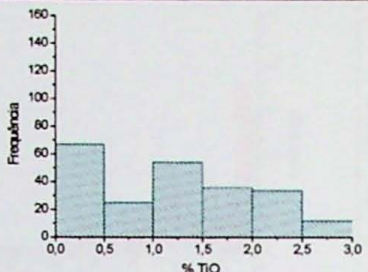
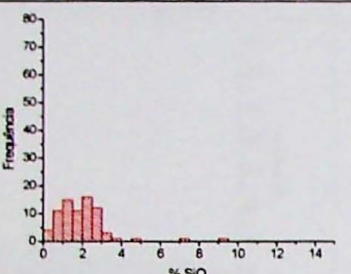
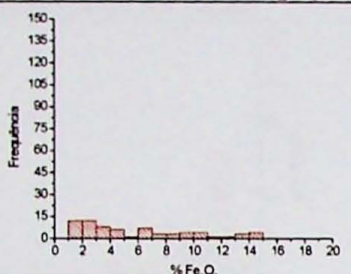
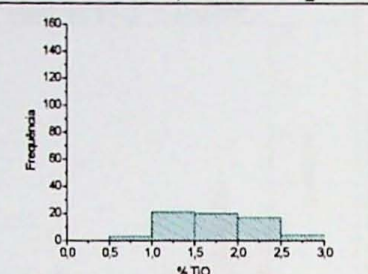
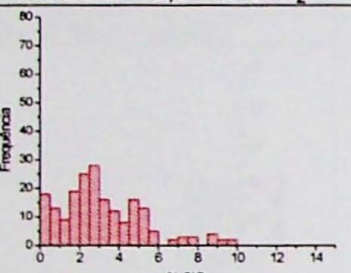
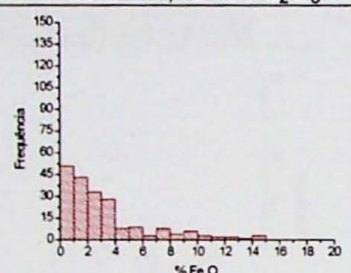
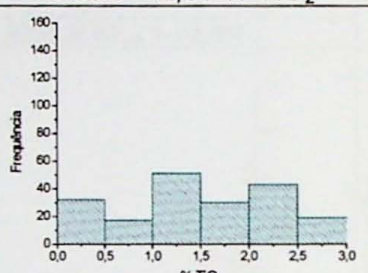
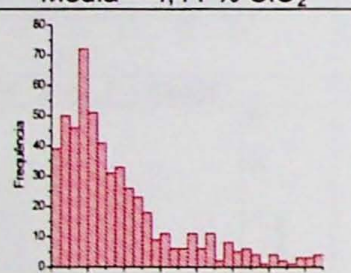
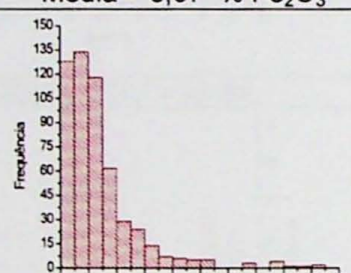
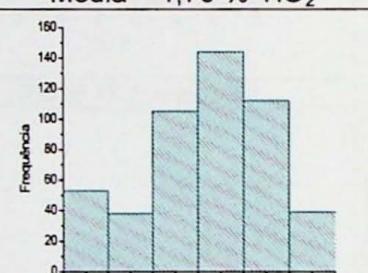
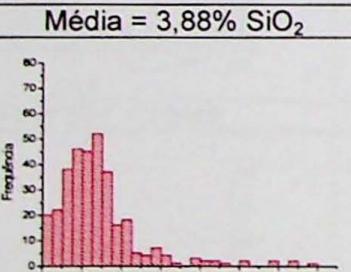
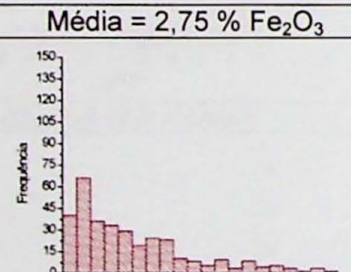
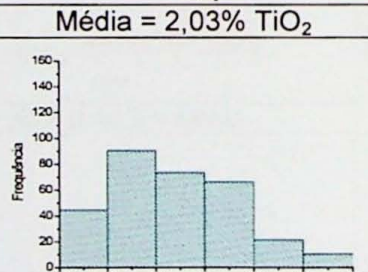
ANEXO V - HISTOGRAMAS COMPARATIVOS DOS DADOS DE MICROANÁLISE POR EDS



Comparação da composição química da gibbsita em amostras de bauxita nodular



Comparação da composição química da gibbsita em amostras de laterita.

Platô Aramã			
	Média = 3,58 % SiO_2	Média = 3,85 % Fe_2O_3	Média = 1,37 % TiO_2
Platô Bela Cruz			
	Média = 2,37 % SiO_2	Média = 7,18 % Fe_2O_3	Média = 2,06 % TiO_2
Platô Cipó			
	Média = 4,11 % SiO_2	Média = 3,97 % Fe_2O_3	Média = 1,79 % TiO_2
Platô Monte Branco			
	Média = 3,88% SiO_2	Média = 2,75 % Fe_2O_3	Média = 2,03% TiO_2
Platô Teófilo			
	Média = 2,77% SiO_2	Média = 4,93% Fe_2O_3	Média = 1,26% TiO_2

Comparação da composição química da gibbsita em amostras de bauxita maciça

