



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

**DISTRIBUIÇÃO GEOQUÍMICA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS  
NO REGOLITO DO DEPÓSITO LATERÍTICO DE Au DO IGARAPÉ  
BAHIA, PARÁ.**

**Aline da Costa Nogueira**

Trabalho Final de Curso

02/2008



Aline da Costa Nogueira

**DISTRIBUIÇÃO GEOQUÍMICA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS NO  
REGOLITO DO DEPÓSITO LATERÍTICO DE Au DO IGARAPÉ BAHIA, PARÁ.**

Trabalho de Conclusão de Curso de  
Graduação em Geologia do Instituto de  
Geociências, Universidade Federal do Rio  
de Janeiro – UFRJ, apresentado como  
requisito necessário para obtenção do grau  
de Bacharel em Geologia.

Orientadores:

Cláudio Gerheim Porto

Cícera Neysi de Almeida

Nogueira, A.C.

Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, ano.2008, 25p. : il.; 30cm

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2008.

Orientadores: Cláudio Gerheim Porto e Cícera Neysi de Almeida.

1. Geologia. 2. Setor da Graduação – Trabalho de Conclusão de Curso. I. Cláudio Gerheim Porto e Cícera Neysi de Almeida. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Graduação em Geologia. III. DISTRIBUIÇÃO GEOQUÍMICA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS NO REGOLITO DO DEPÓSITO LATERÍTICO DE Au DO IGARAPÉ BAHIA, PARÁ.

Aline da Costa Nogueira

DISTRIBUIÇÃO GEOQUÍMICA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS NO  
REGOLITO DO DEPÓSITO LATERÍTICO DE Au DO IGARAPÉ BAHIA, PARÁ.

Trabalho de Conclusão de Curso de  
Graduação em Geologia do Instituto de  
Geociências, Universidade Federal do Rio  
de Janeiro – UFRJ, apresentado como  
requisito necessário para obtenção do grau  
de Bacharel em Geologia.

Orientadores:

Cláudio Gerheim Porto

Cícera Neysi de Almeida

Aprovada em 21 de fevereiro de 2008.

Por:

---

Orientador: Cláudio Gerheim Porto (Depto. Geologia, UFRJ).

---

Cícera Neysi de Almeida (Depto. Geologia, UFRJ).

---

Júlio Cezar Mendes (Depto. Geologia, UFRJ).

## SUMÁRIO

Agradecimentos	iv
Resumo	v
Abstract	vi
Lista de figuras	vii
Lista de siglas	viii
Lista de tabela	ix
1. Introdução	1
1.1 Apresentação	1
1.2 Objetivos	1
1.3 Localização	2
2. Geologia regional	3
3. Geologia Local	5
4. Metodologia	9
5. Geoquímica dos Elementos Terras raras no ambiente intempérico	10
6. Comportamento geoquímico dos ETR no depósito do Igarapé Bahia	11
7. Resultados	21
8. Conclusões	22
9. Referências Bibliográficas	24

## **AGRADECIMENTOS**

- A toda minha família.

- Ao meu namorado Pedro Gabriel, pela ajuda para confecção do relatório, pelo apoio e todo carinho.

-À professora Cícera Neysi de Almeida por toda ajuda e explicações que foram de grande importância.

- A todos integrantes do projeto Latam e pela oportunidade de ter ido à Carajás.

## RESUMO

NOGUEIRA, A.C. **DISTRIBUIÇÃO GEOQUÍMICA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS NO REGOLITO DO DEPÓSITO LATERÍTICO DE Au DO IGARAPÉ BAHIA, PARÁ.** Ano 2008 25 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

O depósito laterítico Igarapé Bahia está situado na Província Mineral de Carajás, Pará, Brasil. Este depósito está inserido no Grupo Igarapé Bahia composto por rochas vulcanossedimentares metamorfizadas na fácies xisto verde baixo, agrupadas no Supergrupo Itacaiúnas com idade de 2.75 Ga, que hospeda os maiores depósitos de óxido de ferro-Cu-Au desta província.

O depósito está localizado na extremidade norte do corpo de minério conhecido como Acampamento Sul e compreende três zonas de alteração supergênica: a zona saprolítica que vai de 0 a 150m de profundidade; uma zona transicional, de profundidade de 150 a 200m de profundidade e por fim a zona da rocha sã que está a profundidades superiores a 250m. Este trabalho tem por finalidade estudar o comportamento dos ETR no regolito do Igarapé Bahia, comparar com dados da rocha fresca provenientes de publicações anteriores e também analisar os elementos terras raras como farejadores da mineralização.

Os padrões dos ETR são semelhantes ao longo das diversas unidades, mostrando uma intensa lixiviação dos ETR. Verifica-se que os teores de ETR diminuem da base para o topo, sendo mais lixiviados nas camadas superficiais, devido maior interação com os agentes de intemperismo.

**Palavras chaves:** Igarapé Bahia, Elementos terras raras, regolito.

## ABSTRACT

NOGUEIRA, A.C. **GEOCHEMISTRY DISTRIBUTION OF RARE EARTH ELEMENTS IN THE REGOLITHE OF THE LATERITE DEPOSIT OF Au OF IGARAPÉ BAHIA, PARÁ. 2008** 25 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

The lateritic deposit of Igarapé Bahia is located in the Carajas Mineral Province, Para, Brazil. This deposit is placed in Group Igarapé Bahia composed of volcano-sedimentary rocks metamorphosed in low greenschist facies, grouped in Itacaiúnas Supergroup aged 2.75 Ga, which hosts the largest deposits of iron oxide-Cu-Au this province.

The deposit is located at the far north of the ore body known as Acampamento Sul and covers three areas of supergenic alteration: saprolite the zone that goes from 0 to 150m depth, a transition zone of depth of 150 to 200m and finally the area of the fresh rock that is depths greater than 250m. This work aims to study the behaviour of ETR in the Igarapé Bahia regolithe, compare with data from the fresh rock from previous publications and also analyse the rare earth elements as farejadores of mineralization.

The patterns of ETR are similar throughout the various units, showing an intense leaching of ETR. It appears that the levels of ETR diminish bottom up, and more leachate in the upper layers, because greater interaction with the agents of weathering.

**Key-words:** *Igarapé Bahia deposit, Rare Earth Elements, regolithe.*



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – *Localização da mina de Igarapé Bahia e suas principais vias de acesso. Página: 2.*
- Figura 2** - *Distribuição das províncias geocronológicas do Cráton Amazônico com base em Tassinari e Macambira (1999). Página: 4.*
- Figura 3** - *Mapa geológico simplificado da região de Carajás (Docegeo 1988, Araújo e Maia 1991, Barros e Barbey 1998 apud Tallarico et al. 2000). Em destaque, a localização do depósito de Igarapé Bahia. Página: 4.*
- Figura 4:** *Visão geral da mina do Igarapé Bahia. Página: 5*
- Figura 5:** *Mapa geológico de Igarapé Bahia. Em destaque verde está a seção AS0300N que possui o furo de sondagem 395 e em destaque amarelo a seção AS1100N com os cinco furos de sondagem analisados (modificado de Tallarico et al 2000). Página: 7.*
- Figura 6:** *Contato entre o latossolo (parte superior) e a crosta laterítica. Página: 7.*
- Figura 7:** *Seção geológica do depósito do Igarapé Bahia na extremidade norte do corpo de minério Acampamento Sul. Página: 8.*
- Figura 8:** *Diagramas de ETR normalizados para condrito de Nakamura (1976) das análises químicas das amostras retiradas na zona de brecha hidrotermal (círculo marrom) e suas respectivas medianas (quadrados verdes). Página: 14.*
- Figura 9:** *Diagramas de ETR normalizados para condrito de Nakamura (1976) das análises químicas das amostras retiradas nas metavulcânicas localizadas no halo da zona mineralizada (círculo marrom) e suas respectivas medianas (quadrados verdes). Página 16.*
- Figura 10:** *Diagramas de ETR normalizados para condrito de Nakamura (1976) das análises químicas das amostras retiradas nas metavulcânicas localizadas na zona mineralizada (círculo marrom) e suas respectivas medianas (quadrados verdes). Página: 17*
- Figura 11:** *Diagramas de ETR normalizados para condrito de Nakamura (1976) das análises químicas das amostras retiradas nas rochas básicas, fora do ambiente mineralizado (círculo marrom) e suas respectivas medianas (quadrados verdes). Página: 19.*
- Figura 12:** *Diagramas de ETR normalizados para condrito de Nakamura (1976) das análises químicas das amostras retiradas nos metassiltitos, fora do ambiente mineralizado (círculo marrom) e suas respectivas medianas (quadrados verdes).Página: 20.*

## LISTA DE SIGLAS

- **BAS**: *Rocha básica*
- **CL**: *Crosta laterítica*
- **CRM**: *Crosta Maciça*
- **CRO**: *Crosta Ocre*
- **CRR**: *Crosta Roxa*
- **ETR**: *Elementos Terras Raras*
- **ETRL**: *Elementos Terras Raras Leves*
- **ETRM**: *Elementos Terras Raras Médios*
- **ETRP**: *Elementos Terras Raras Pesados*
- **LIT**: *Literatura* (dados retirados de artigos anteriores)
- **LSO**: *Latossolo*
- **MS**: *Metassilitito*
- **MV**: *Metavulcânica*
- **SAP**: *Saprolito*
- **ZBH**: *Zona de brecha hidrotermal*
- **ZFF**: *Zona ferruginosa fragmentada*

## LISTA DE TABELA

**-Tabela 1:** *Dados provenientes das análises químicas das cinco principais ambientes litológicos do Igarapé Bahia.* **Página 11.**

## **1. INTRODUÇÃO**

### **1.1 Apresentação**

Este trabalho está vinculado ao projeto intitulado de Metodologias para Prospecção Geoquímica em Terrenos Lateríticos na Amazônia (LATAM), sob coordenação do Professor Doutor Cláudio Gerheim Porto (Departamento de Geologia/UFRJ), com colaboração de professores da USP, UERJ, UNICAMP e UFPA, pela empresa CVRD, instituições federais como DNPM e CPRM e apoiado pelo Fundo Mineral (CNPq).

A ocorrência de sulfetos de cobre no depósito foi descoberta pela DOCEGEO em 1974, através de análises de sedimento de corrente em áreas com anomalias aeromagnéticas e observaram depósitos de sulfetos de cobre e ocorrências polimetálicas de Cu, Au, Mo, Ag (Sachs, L.L.B., 1993).

O depósito do Igarapé Bahia foi lavrado pela Companhia Vale do Rio Doce a partir de 1990 até 2002 e constituiu uma das principais unidades de exploração de ouro da Companhia, com uma produção, ao longo desse período, um total de 3.119 mil onças troy de ouro e teor médio de 2,3g/t ([www.vale.com.br](http://www.vale.com.br)).

### **1.2 Objetivos**

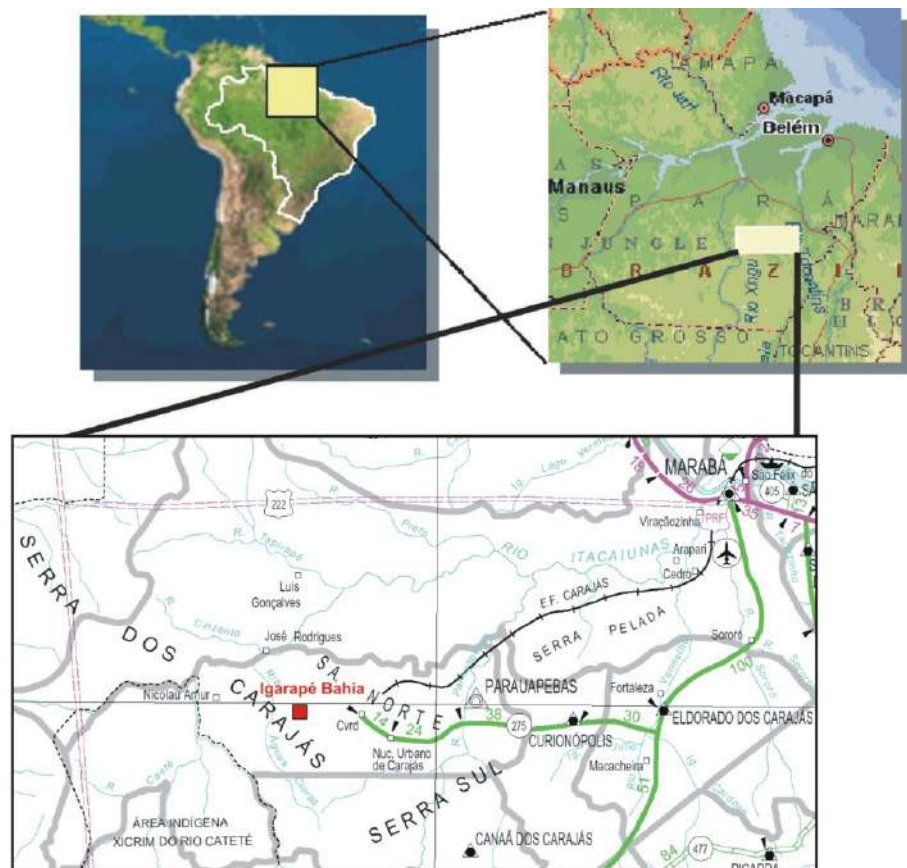
O comportamento dos Elementos Terras Raras na diferenciação magmática é perfeitamente conhecido, entretanto, nos ambientes sedimentares, em especial no intemperismo tropical, são pouco conhecidos.

Este trabalho tem como objetivo estudar o comportamento dos ETR no regolito do Igarapé Bahia e comparar com dados da rocha fresca provenientes de publicações anteriores, investigando a sua assinatura geoquímica na zona

mineralizada e na zona estéril e também analisar os elementos terras raras como rastreadores da mineralização.

### 1.3 Localização e vias de acesso

O depósito de Igarapé Bahia está localizado no município de Parauapebas, sudeste estado do Pará, região Norte do Brasil, delimitado pelos paralelos 06°00' e 06°15' e meridianos 50°30' e 51°00', distando cerca de 800 km de Belém e 165 km a sudoeste de Marabá (figura 1).



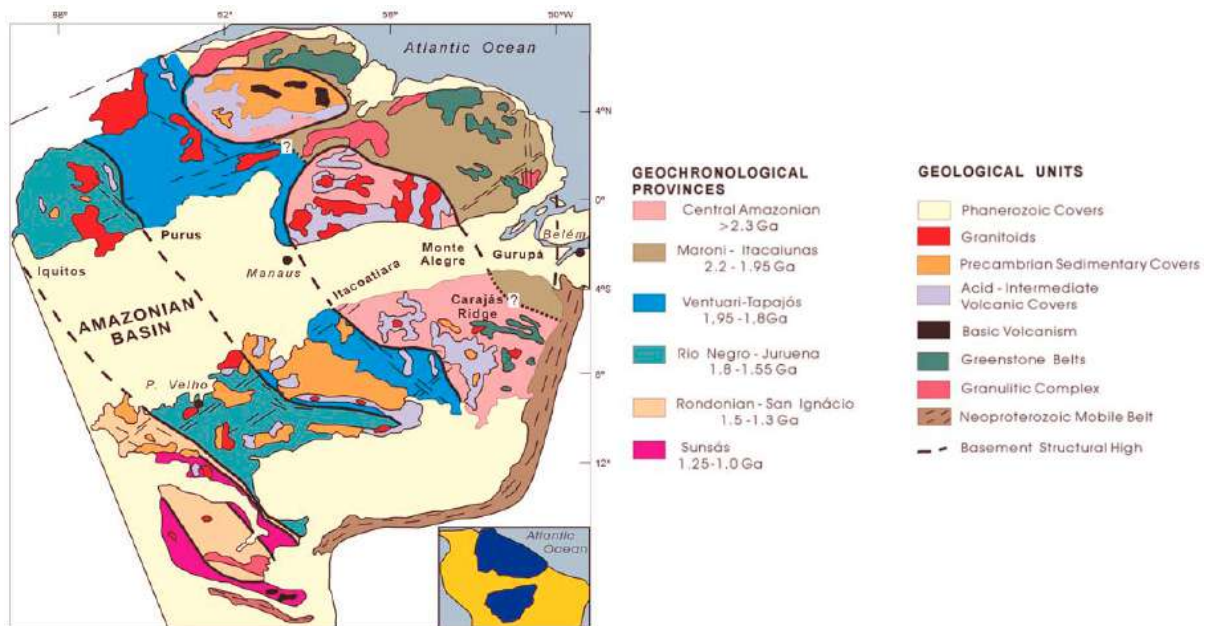
**Figura 1** – Localização da Mina de Igarapé Bahia e suas principais vias de acesso.

## 2. GEOLOGIA REGIONAL

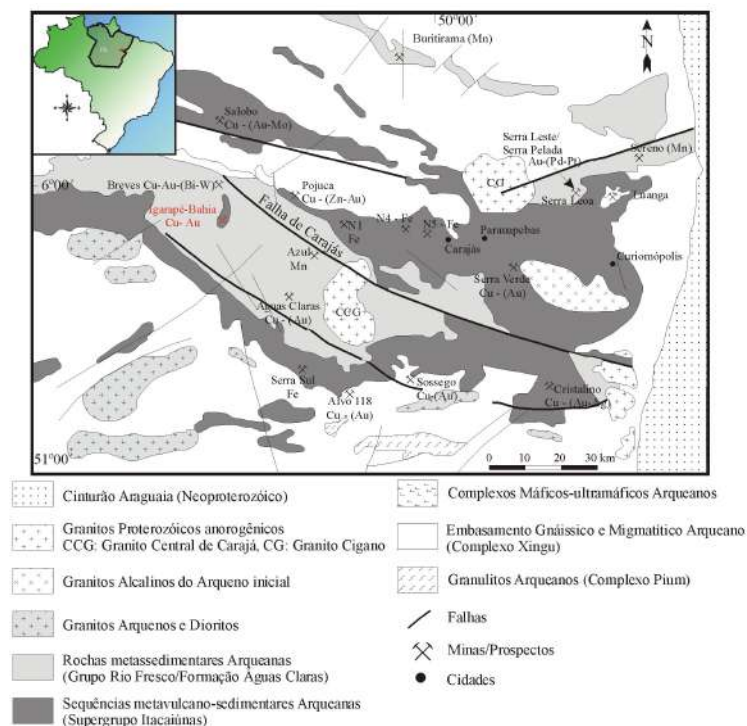
A Província Mineral de Carajás é um dos mais importantes distritos minerais do Brasil e está situada na porção leste do Cratón Amazônico (figura 2). Tem como embasamento os migmatitos e gnaisses tonalíticos e trondhjemíticos do Complexo Xingu e ortogranulitos do Complexo Pium (Silva *et al.*, 1974). Datações em zircões revelaram idade Pb-Pb de 3,0 Ga para o Complexo Pium e U-Pb de 2,86 Ga para o Complexo Xingu (Machado *et al.* 1991). Segundo Tallarico *et al* (2004), as seqüências supracrustais estão inseridas no Supergrupo Itacaiúnas que se subdivide em três grupos (figura 3). Na base deste ocorre o Grupo Igarapé Salobo-Pojuca (Docegeo, 1988) que é composto por quartzitos, anfibolitos e formação ferrífera. Acima ocorre o Grupo Grão Pará, que compreende rochas metavulcânicas de baixo grau e formações ferríferas bandadas e, sobreposto, estão arenitos e siltitos depositados em ambiente marinho raso (Silva, R. B. 2007). Na porção superior do Supergrupo Itacaiúnas encontra-se o Grupo Igarapé Bahia que compreende duas Formações: a Grota do Vizinho, na base, e Sumidouro. A Formação Grota do Vizinho corresponde a um pacote vulcanossedimentar metamorfizado na fácies xisto verde representado por metavulcânicas, metapiroclásticas, formações ferríferas e metarritmitos (Docegeo, 1988). Na parte superior do Grupo Igarapé Bahia, encontra-se a Formação Sumidouro que é de origem sedimentar, constituída por um conjunto de arenitos (Docegeo, 1988). Devido ao alto grau de intemperismo essas rochas estão bastante alteradas formando um espesso manto de intemperismo (Tazava, 1999).

A Bacia de Carajás foi intrudida por rochas graníticas de idade Arqueana, com aproximadamente 2,74 Ga e incluem granitos e dioritos da Suíte Plaqué, granitos alcalinos do Complexo Estrela, com 2,5 Ga (Barros *et al.* 1992) e Granito Velho

Salobo. Ocorreram outras intrusões durante o Proterozóico de idade 1,88 Ga como o granito anorogênico Cigano e Central (Machado *et al.* 1991).



**Figura 2:** Distribuição das províncias geocronológicas do Cráton Amazônico com base em Tassinari e Macambira (1999).



**Figura 3:** Mapa geológico simplificado da região de Carajás (Docegeo 1988, Araújo e Maia 1991, Barros e Barbey 1998 *apud* Tallarico *et al.* 2000). Em destaque, a localização do depósito de Igarapé Bahia.

### 3. GEOLOGIA LOCAL

O depósito de Igarapé Bahia (figura 4) compreende três corpos de minério, que são conhecidos como Acampamento Norte, Acampamento Sul e Furo Trinta e está, espacialmente, em forma de semicírculo, com orientação NE-SW no Acampamento Norte, NW-SE no Acampamento Sul e E-W no corpo de Furo Trinta e apresentam inclinação aproximada de 75° (Tazava, 2000). Este trabalho está relacionado à porção norte do corpo de minério do Acampamento Sul (figura 5).

Segundo Soares *et al* (1999), o depósito compreende três zonas de alteração supergênica sendo uma zona de oxidação ou gossan que vai de 0 a 150 metros de profundidade; uma zona transicional variando de 150 a 200 metros de profundidade e constituída por minerais secundários de cobre e por fim uma zona de minérios primários que estão a profundidades superiores a 250 metros e é constituída por brechas hidrotermais. A estratigrafia do regolito na área do depósito foi mais bem detalhada por Santos (2006) e compreende da base para o topo uma zona de transição a partir da rocha fresca onde ocorrem minerais secundários de cobre. Acima ocorre a zona saprolítica, zona ferruginosa fragmentada, crosta laterítica e latossolo (figura 6). No corpo do Acampamento Sul foi feita, pela CVRD, uma seção geológica, mostrando os cinco furos de sondagem, evidenciando as diferentes unidades regolíticas (figura 7).

A gênese desse depósito tem sido alvo de ampla discussão, de forma que vários modelos foram sugeridos para esclarecer os processos causadores da mineralização. Segundo Lindenmayer *et al* (1998), que descreveu a geoquímica das rochas encaixantes do depósito, os altos teores de La e Nb podem ter sido ocasionados por influência de fluidos graníticos, nos processos de alteração. Segundo Tazava *et al* (2000), o enriquecimento de elementos terras raras ocorre

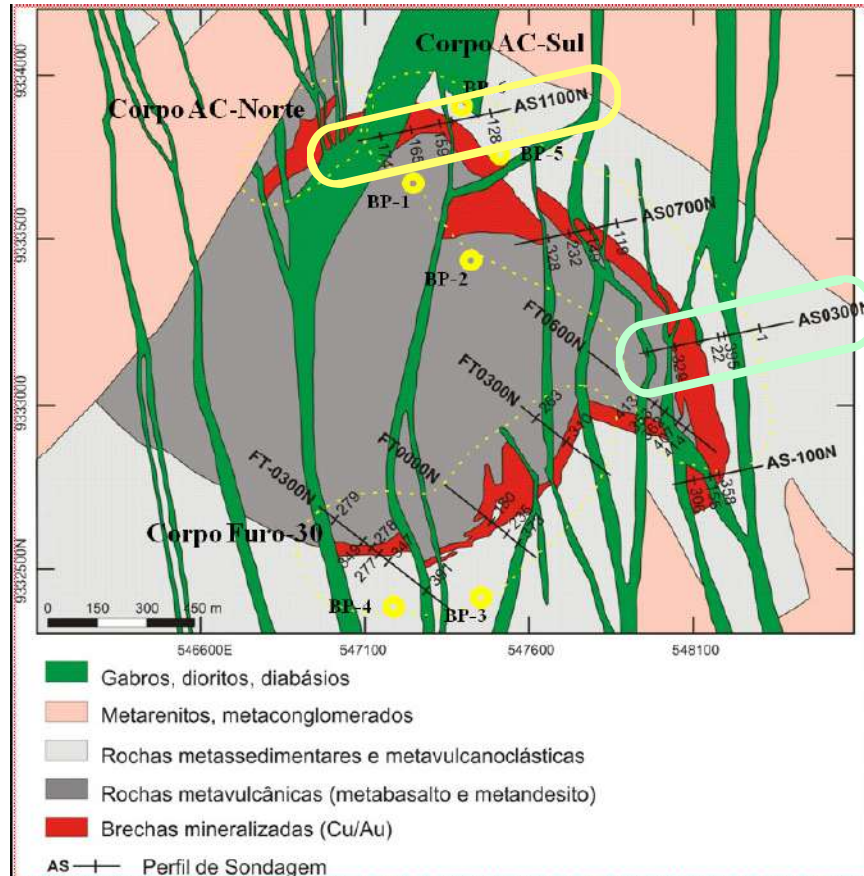


nas brechas magnéticas e carbonáticas, sendo a razão La/Lu nas rochas encaixantes menores que 30 e nas brechas mineralizadas essa razão possui valores superiores a 1300 e esta mineralização ocorre em resposta a intensos fluidos hidrotermais salinos e de alta temperatura. Segundo Tallarico *et al* (2004), a razão La/Lu das metavulcânicas das encaixantes, ou seja as brechas sideríticas e magnetíticas são de 70-250 e esta mesma razão nas brechas mineralizadas variam de 1000-2500, o que indica que os elementos terras raras estiveram concentrados seletivamente durante a alteração e mineralização hidrotermal.

Dados geocronológicos obtidos pelo método de U-Pb em SHRIMP (Tallarico *et al.*, 2004) relacionaram o evento mineralizador com o de magmatismo granítico alcalino de idade Paleoproterozóica (1.88 Ga), embora na área do depósito ainda não tenham sido identificadas rochas graníticas.



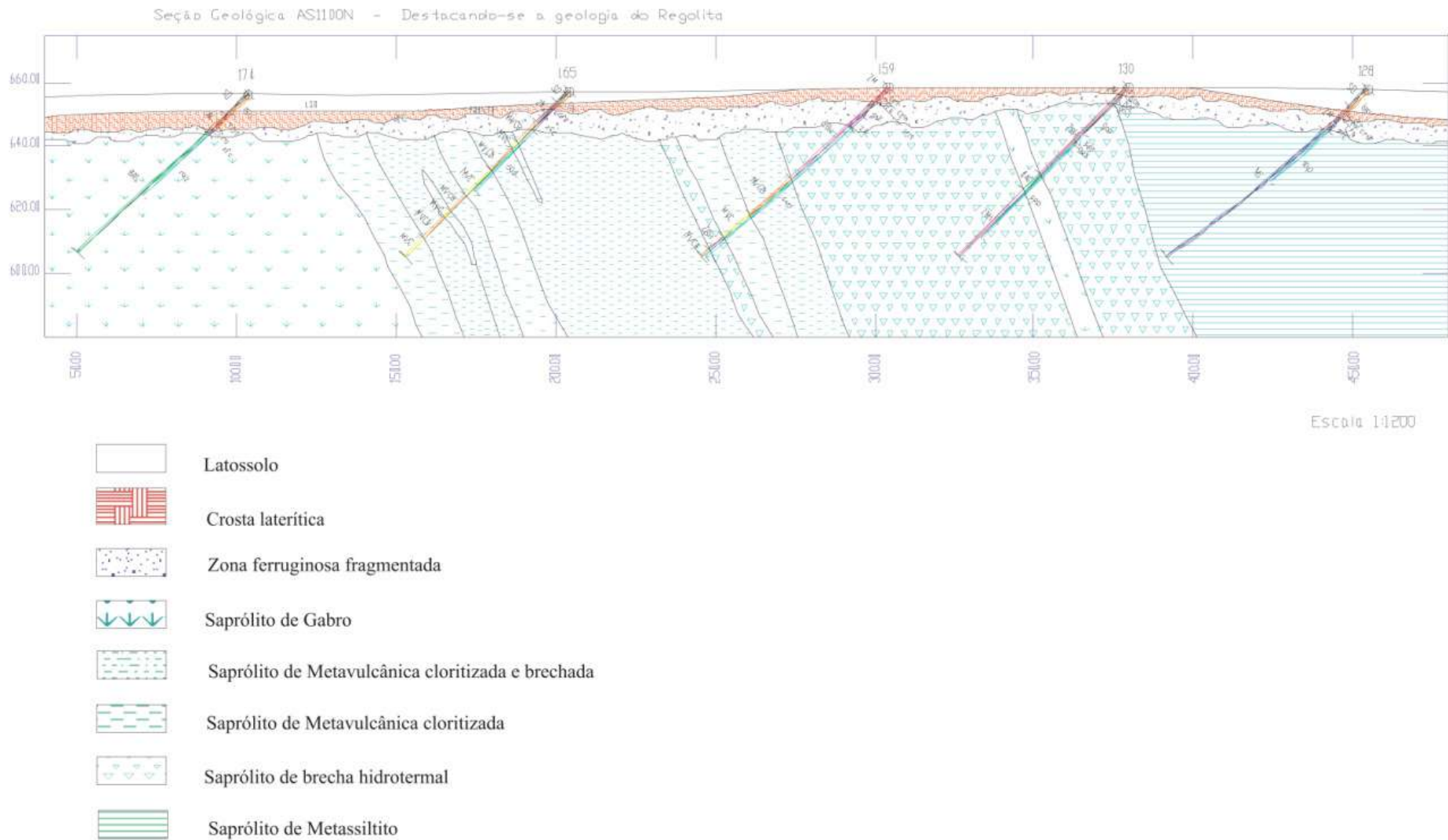
**Figura 4:** *Visão geral da mina do Igarapé Bahia.*



**Figura 5:** Mapa geológico de Igarapé Bahia. Em destaque verde está a seção AS0300N que possui o furo de sondagem 395 e em destaque amarelo a seção AS1100N com os cinco furos de sondagem analisados (modificado de Tallarico et al 2000).



**Figura 6:** Contato entre o latossolo (parte superior) e a crosta laterítica.



**Figura 5:** Seção Geológica do depósito do Igarapé Bahia na extremidade norte do corpo de minério Acampamento Sul.

#### 4. METODOLOGIA

Para o presente estudo foram analisadas 184 amostras oriundas de testemunhos de sondagens e das respectivas zonas pedogenéticas, identificadas no depósito de Igarapé Bahia. Essas amostras foram analisadas nos laboratórios ACME, através de ICP-MS, com o ataque das amostras procedido através de fusão por metaborato de lítio e digestão por ácido nítrico em amostras de 0.2g nos laboratórios ACME (Vancouver, Canadá).

A partir dos resultados analíticos, foi elaborado um banco de dados, no qual foram adicionadas 27 análises de amostras obtidas de trabalhos anteriores (Tallarico *et al*, 2004; Tazava, 2000; Lindenmayer, 1998). Neste banco de dados os resultados foram agrupados em planilhas representativas e posteriormente processados com o auxílio do software *Minpet*. Nesse software, as análises foram plotadas em diagramas específicos para elementos terras raras e normalizadas para condrito (Nakamura, 1974) a fim de ser comparado com os dados da rocha fresca. Com a análise dos diagramas, foram retiradas as amostras anômalas (*outliers*) e calculadas as medianas para cada grupo, sendo estas plotadas nos diagramas normalizados e, com isso, ter uma visão maior do comportamento dos ETR em cada ambiente.

## 5. GEOQUÍMICA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS NO AMBIENTE INTEMPÉRICO

Segundo Formoso *et al* (1988), o comportamento dos ETR nos processos intempéricos está condicionado a diversos fatores, sendo estes dependentes da distribuição das fases minerais formadoras das rochas, da estabilidade dessas fases em relação ao intemperismo, da natureza das soluções de alteração, como o pH, Eh e da natureza dos íons nas soluções.

Os ETR que foram liberados das estruturas cristalinas dos minerais primários passam para as soluções de alteração como íons trivalentes, formando hidróxidos quando associados a OH<sup>-</sup> e formam complexos, principalmente carbonatados. O cério e o európio são exceções visto que podem apresentar mudanças no seu grau de alteração, podendo ficar na superfície sob a forma de Ce<sup>+4</sup> e Eu<sup>+2</sup>.

Nas soluções em meios laterizantes contendo somente CO<sub>2</sub> dissolvido, os ETR dependem da constante da acidez desses elementos (pKA) e do valor do pH da própria solução.

## 6. COMPORTAMENTO GEOQUÍMICO DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS NO DEPÓSITO DO IGARAPÉ BAHIA

Para este estudo foram analisadas as amostras referentes aos testemunhos de sondagem, que foram antes mostrados na seção geológica (vide página 8) sendo retirados dos furos de sondagem (BF), e das respectivas zonas pedogenéticas (BP). As amostras foram analisadas e plotadas em diagramas específicos. Esses diagramas foram interpretados e, de acordo com a unidade litológica ou regolítica, se comportam de forma diferente, sendo na zona mineralizada os teores de elementos terras raras maiores do que nas zonas estéreis.

Ao analisar os dados, o que é mais evidente o efeito homogeneizador que o intemperismo ocasiona neste depósito. As razões ETRL/ETRP são mais elevadas nos saprólitos (SAP), e mais baixas nos níveis mais alterados, como na zona ferruginosa fragmentada (ZFF), crostas lateríticas (CL) e latossolo (LSO). A Tabela 1 evidencia isso, mostrando os intervalos de variação das medianas no somatório dos ETR e nas razões ETRL/ETRP de diferente litotipos identificadas no regolito.

Tabela 1: Dados provenientes das análises químicas das cinco principais ambientes litológicos do Igarapé Bahia.

UNIDADES REGOLÍTICAS	n	ΣETR	ΣETRL (La-Eu)	ΣETRP (Gd-Lu)	ΣETRL/ ΣETRP
<b>I - Zona de brecha hidrotermal</b>					
i) ZBH-LIT	8	1610,5	1577,2	33,3	47,4
ii) ZBH-395	6	1456,4	1417,2	39,2	36,1
iii) ZBH-159-130-SAP	15	2929,4	2889,2	40,2	71,9
iv) ZBH-159-130-ZFF	5	475,3	459,9	15,4	29,8
v) ZBH-159-130-CRR	8	316,2	298	18,2	16,4
<b>II - Metavulcânica no halo do minério</b>					
i) MV-HALO-BRECHA-LIT	3	256,1	245,7	10,4	23,7
ii) MV-HALO-LIT	3	101,9	94,3	7,6	12,4

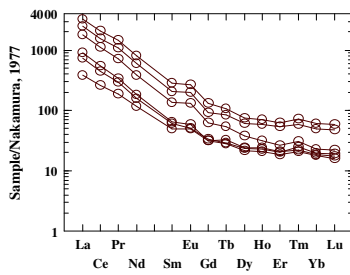
iii) MV-HALO-395	4	118,8	104,9	13,9	7,6
iv) MV-HALO-SAP	4	169,8	155,8	14	11,1
v) MV-HALO-ZFF	4	183,2	171,6	11,6	14,9
vi) MV-HALO-CRM	2	114,3	104,9	9,4	11,1
vii) MV-HALO-CRR	8	122,3	108,5	13,8	7,9
viii) MV-HALO-CRA	5	120,2	108,9	11,4	9,6
ix) MV-HALO-CRO	4	186,5	172,9	13,6	12,7
x) MV-HALO-CROSTA-TODAS	19	124,1	111,5	12,6	8,9
xi) MV-HALO-LSO	33	129,4	114,6	14,8	7,7
<b>III - Metavulcânica mineralizada</b>					
i) MV-165-SAP	5	1251,4	1211,8	39,7	30,5
ii) MV-165-ZFF	4	352,9	335,1	17,8	18,8
iii) MV-165-CRR	2	253,8	239,4	14,4	16,6
iv) MV-165-LSO	5	138,6	123,1	15,5	8,0
<b>IV - Rochas básicas</b>					
i) BAS-174-LIT	8	54,5	45,9	8,6	5,4
ii) BAS-174-SAP	4	87,2	83,1	4,1	20,5
iii) BAS-174-ZFF	1	147	138,8	8,3	16,8
iv) BAS-174-CRM	3	112,4	104,7	7,7	13,6
v) BAS-174-LSO	7	110,8	97,1	13,7	7,1
<b>V –Metassilito</b>					
i) MS-LIT	5	105,4	99,6	5,8	17,1
ii) MS-128-SAP	4	130,7	118,7	11,9	9,9
iii) MS-128-ZFF	3	206	193	13	14,8
iv) MS-128-CRR	3	324,6	312,2	12,4	25,1
v) MS-128-LSO	22	142,5	128,6	13,9	9,3

As análises químicas do regolito do depósito do Igarapé Bahia foram plotadas em diagramas representativos (círculos marrons), assim como suas respectivas medianas (quadrados verdes), para a visualização do comportamento dos ETR e estão apresentados abaixo, conforme as suas zonas pedogenéticas.

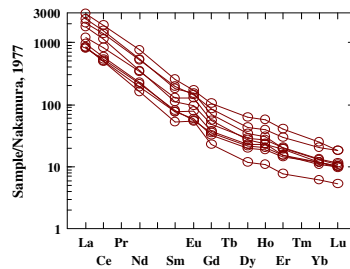
## I – Zona de brecha hidrotermal.

Estes diagramas foram elaborados a partir de análises de amostras retiradas dos furos de sondagem BF-159 e BF-130 da seção geológica (AS1100N, página 8), do furo de sondagem BF-395 e dados de Tallarico (2004). Estes diagramas (figura 8) mostram que no regolito os ETR tendem a diminuir progressivamente da base do regolito para o topo do perfil laterítico, ou seja, do saprólito até a crosta roxa. Já no furo BF-395, de onde foram retiradas as amostras intituladas de ZBH-395, mostram que os teores de ETR são semelhantes às amostras de Tallarico (2004).

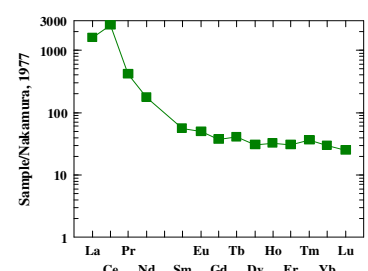
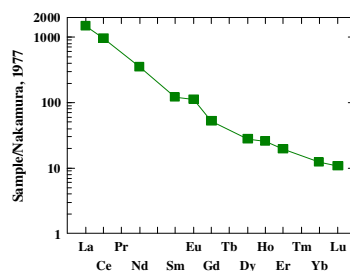
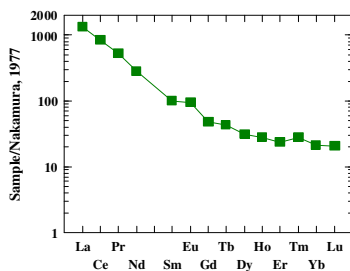
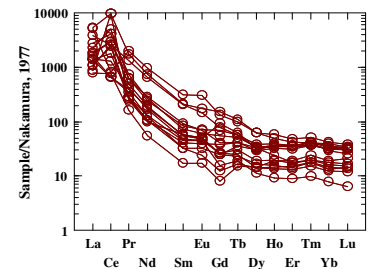
i) ZBH – 395



ii) ZBH – LIT (Tallarico, 2004)



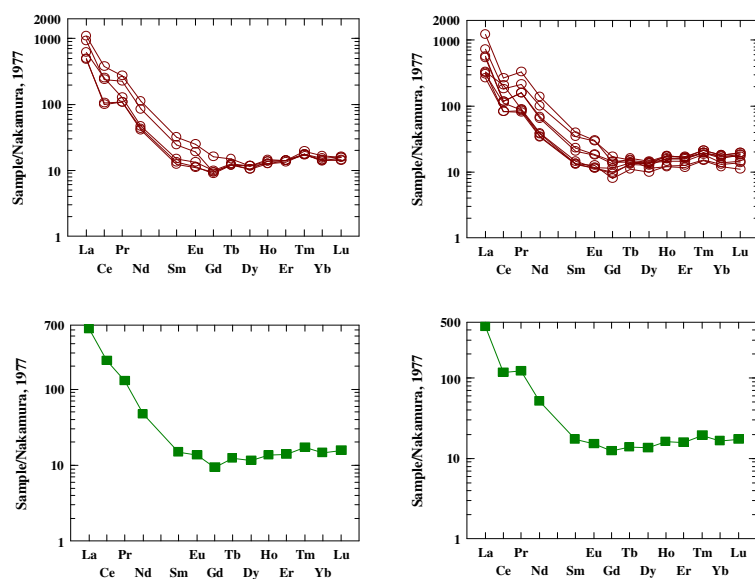
iii) ZBH -159-130-SAP





iv) ZBH – 159-130-ZFF

v) ZBH – 159-130-CRR

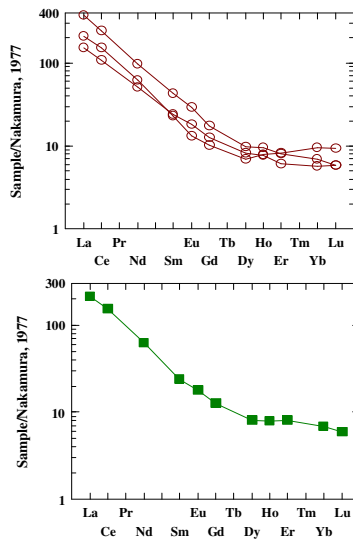


**Figura 8:** Diagramas de ETR normalizados para condrito de Nakamura (1974) das análises químicas das amostras retiradas na zona de brecha hidrotermal (círculo marrom) e suas respectivas medianas (quadrados verdes).

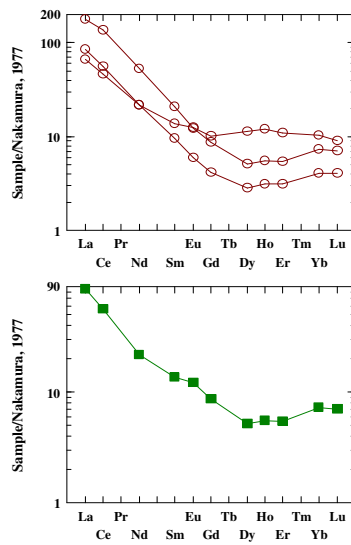
## II - Metavulcânica no halo do minério.

Os diagramas a seguir foram feitos a partir de análises de amostras retiradas de Tallarico (2004), do furo de sondagem BF – 395, e de amostras retiradas nas metavulcânicas localizadas fora do ambiente mineralizado, que são representadas pelos BP (ver localização no mapa geológico, página 7). Observa-se que, de caráter geral, essas amostras encontram-se empobrecidas nos ETR, em comparação com as amostras que estão sobre a mineralização, sendo que as análises provenientes da rocha fresca e nas provenientes dos furos de sondagem 395, possuem teores mais baixos do que no regolito (figura 9).

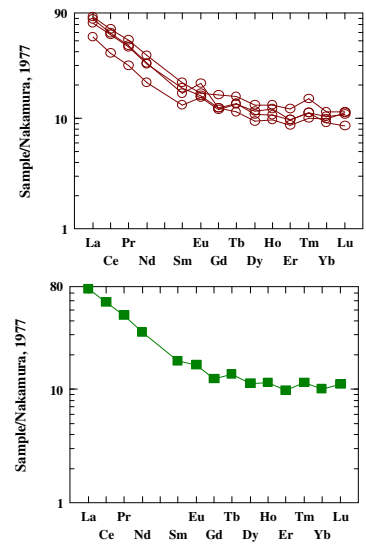
i) MV-HALO-BRECHA-LIT



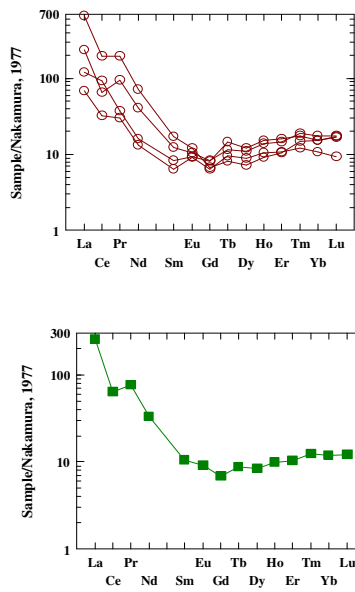
ii) MV-HALO- LIT



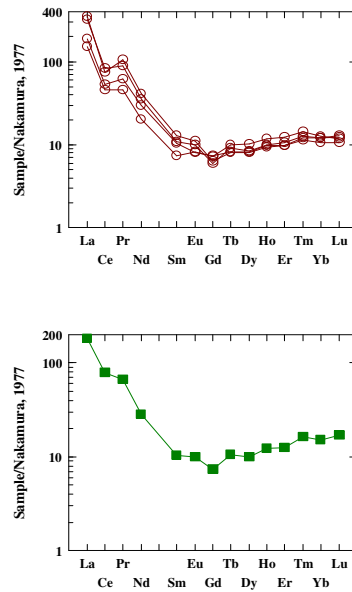
iii) MV – HALO-395



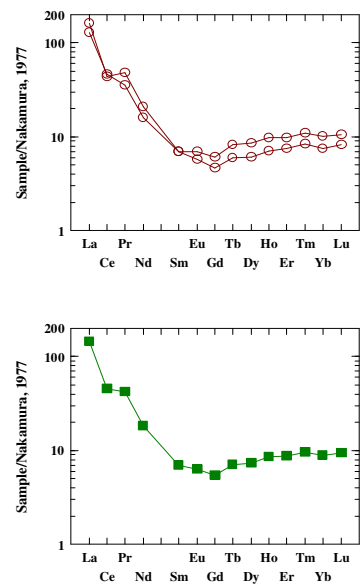
iv) MV – HALO – SAP



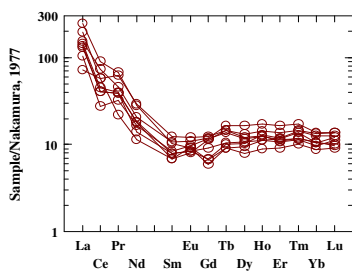
v) MV- HALO - ZFF



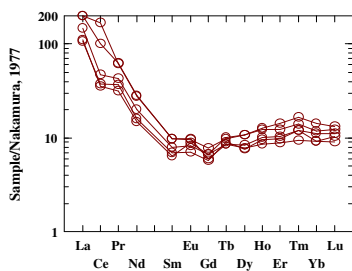
vi) MV – HALO - CRM



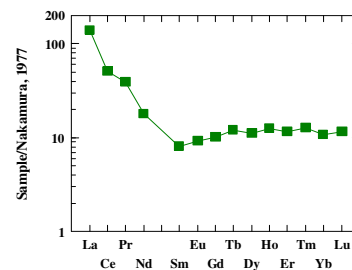
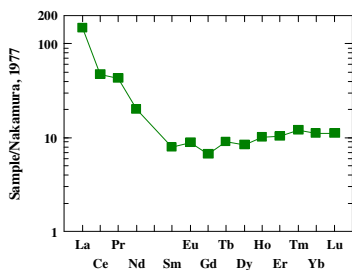
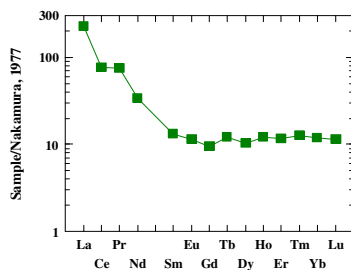
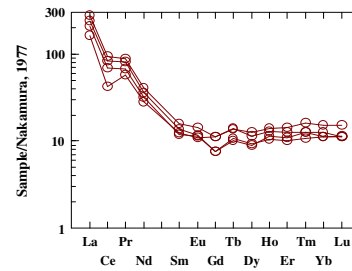
vii) MV – HALO – CRR



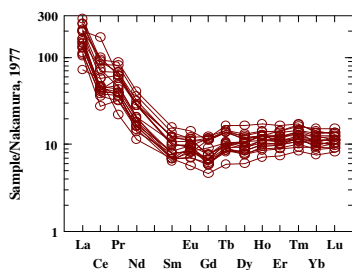
viii) MV – HALO- CRA



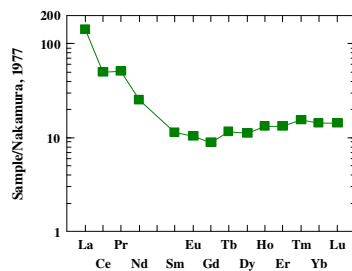
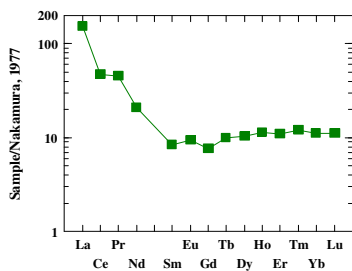
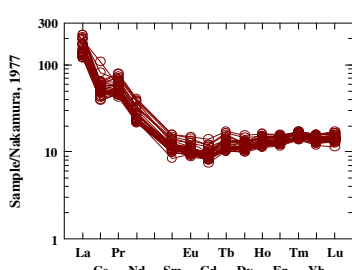
ix) MV –HALO – CRO



x) MV – HALO-CROST-TODAS



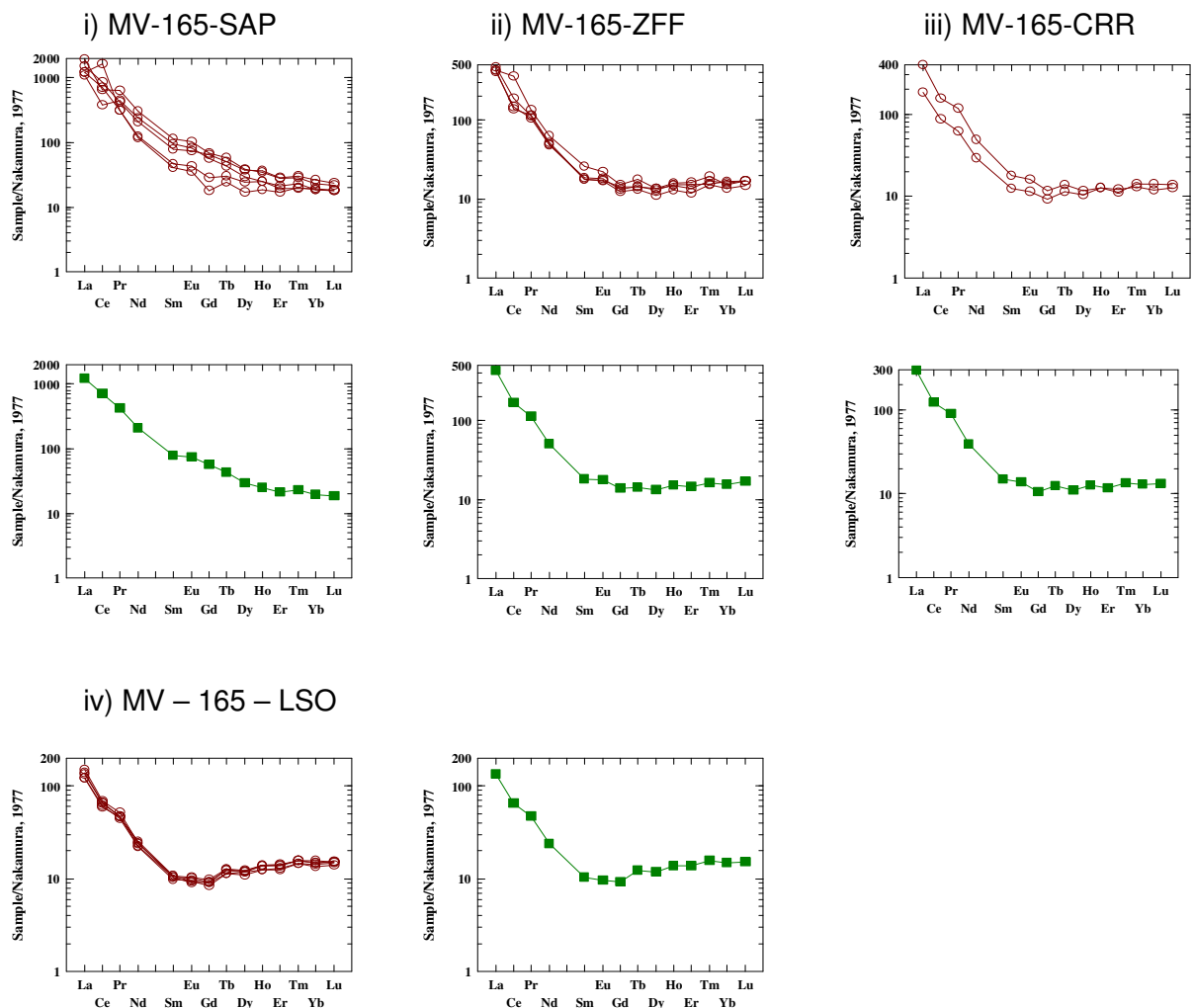
xi) MV – HALO - LSO



**Figura 9:** Diagramas de ETR normalizados para condrito de Nakamura (1976) das análises químicas das amostras retiradas nas metavulcânicas localizadas no halo da zona mineralizada (círculo marrom) e suas respectivas medianas (quadrados verdes).

### III - Saprólito Metavulcânicas

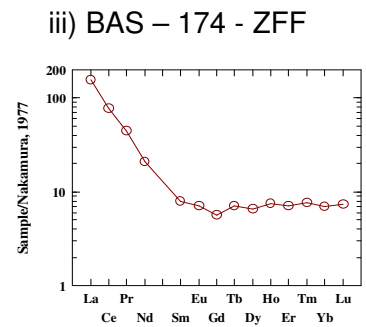
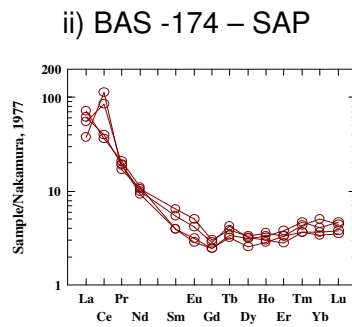
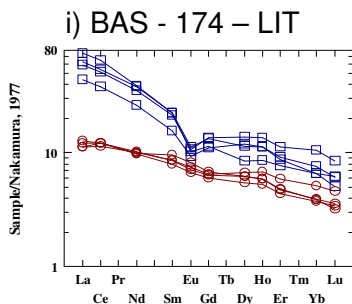
As análises das amostras das metavulcânicas, que são provenientes do furo de sondagem BF-165 e encontram-se no ambiente mineralizado possui teores de elementos terras raras elevados, sendo maiores nos ETRL, semelhantes aos encontrados na zona de brecha hidrotermal. Observa-se que da base para o topo do perfil laterítico ocorre uma perda destes elementos, sendo mais acentuada do saprólito à zona ferruginosa fragmentada (figura 10).



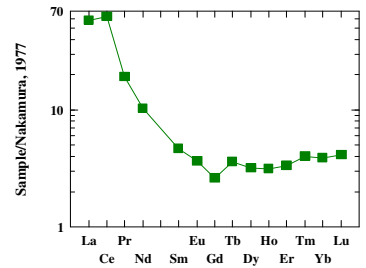
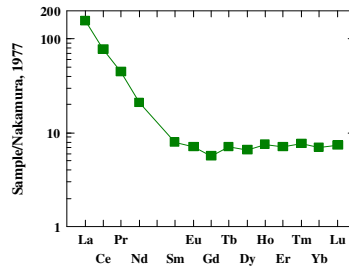
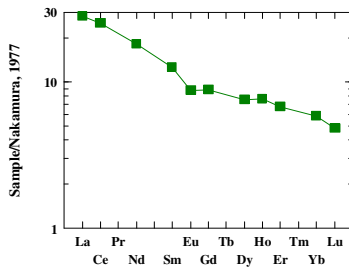
**Figura 10:** Diagramas de ETR normalizados para condrito de Nakamura (1976) das análises químicas das amostras retiradas nas metavulcânicas localizadas na zona mineralizada (círculo marrom) e suas respectivas medianas (quadrados verdes).

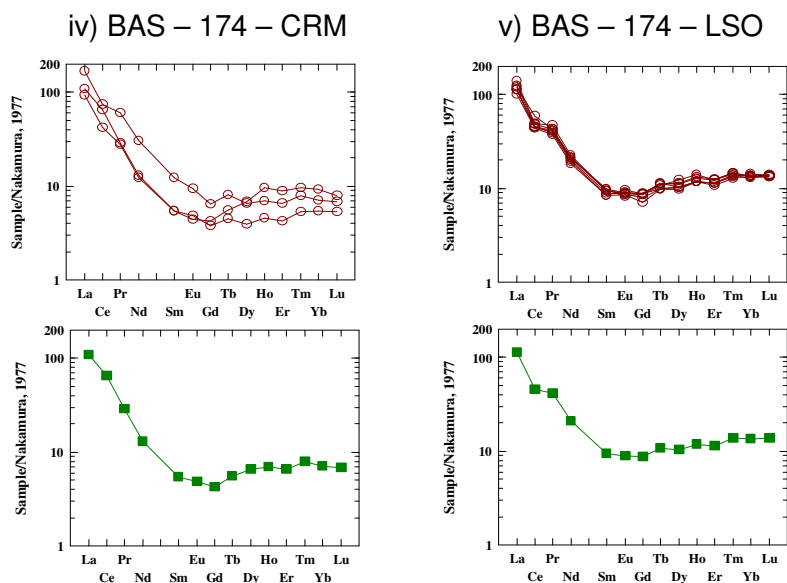
#### IV - Saprólito das rochas básicas

As análises destas rochas foram retiradas do furo de sondagem BF-174 e de Lindenmayer (1991). Nesta zona, que está fora do ambiente mineralizado, os teores de ETR são menores, quando comparados com os outros litotipos, porém têm padrão semelhante aos ambientes observados anteriormente que apresentam enriquecimento dos ETRL em relação aos ETRP (figura 11).



Sendo  
Azul: gabro granofírico  
Vermelho: diabásio.

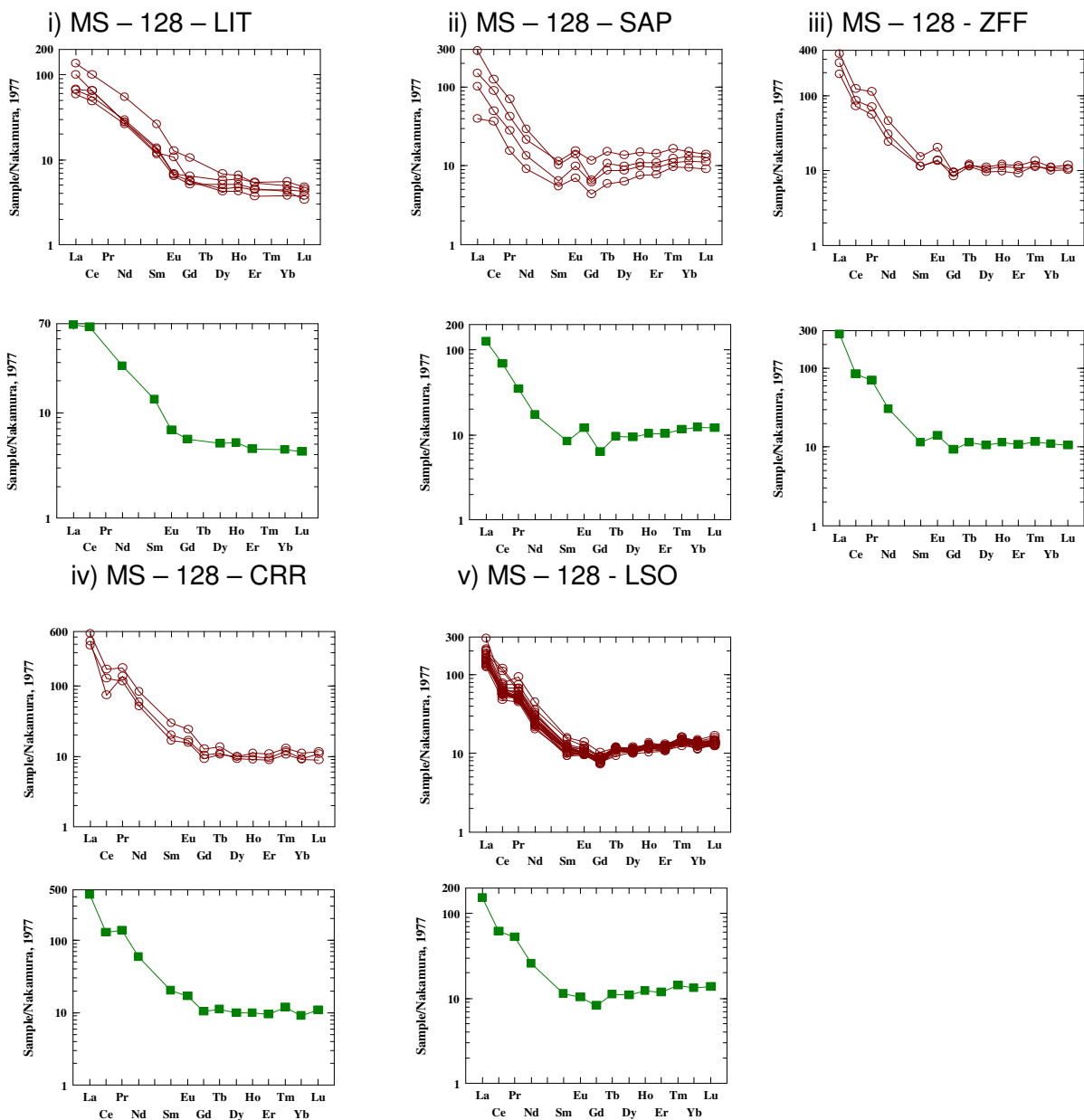




**Figura 11:** Diagramas de ETR normalizados para condrito de Nakamura (1976) das análises químicas das amostras retiradas nas rochas básicas, fora do ambiente mineralizado (círculo marrom) e suas respectivas medianas (quadrados verdes).

## V - Saprólito de Metassilito

As análises deste ambiente são provenientes de amostras retiradas do furo de sondagem BF-128 e de Lindenmayer (1998). Observou-se que os teores de ETR são bastante baixos, sendo menores nas rochas encaixantes da mineralização, que são representadas pela sigla MS-128-LIT. No regolito, apesar de possuir o mesmo padrão, ou seja, mais enriquecidos de ETRL do que ETRP, os diagramas demonstram que os saprolitos possuem menos ETR do que as análises das crostas roxas (figura 12).



**Figura 12:** Diagramas de ETR normalizados para condrito de Nakamura (1976) das análises químicas das amostras retiradas nos metassiltitos, fora do ambiente mineralizado (círculo marrom) e suas respectivas medianas (quadrados verdes).

## 7. RESULTADOS

Na zona de brecha mineralizada ocorre perda de ETR durante a alteração, e essa perda é mais acentuada para os ETR leves, o que é mostrado pela análise dos diagramas das medianas e principalmente pela razão ETRL/ETRP, sendo esta razão no saprólito 71,9; na zona ferruginosa fragmentada 29,8 e na crosta roxa 16,4 (Tabela 1, página 11). Os dados para rocha sã e para as amostras retiradas do furo de sondagem 395 ficam fora dessa tendência, com ETR e ETRL/ETRP inferiores aos encontrados no saprólito, mas bem superiores aos encontrados na zona ferruginosa e na crosta ferruginosa.

As análises das amostras das metavulcânicas do halo de alteração da zona mineralizada, representadas pela sigla MV-HALO apresentam teores de ETR relativamente baixo e homogêneo nas unidades estudadas. O grau de fracionamento entre ETRL e ETRP também é baixo e relativamente constante.

As amostras estudadas das rochas metavulcânicas, que foram retiradas referentes do furo de sondagem BF-165 e representadas pela sigla MV-165, encontram-se na zona mineralizada. Seus teores de ETR são também bastante elevados, semelhantes aos encontrados na zona de brecha hidrotermal, sendo que ocorre uma perda mais intensa da base para o topo do perfil laterítico, sendo esta maior do saprólito à zona ferruginosa fragmentada.

Nas amostras das rochas básicas retiradas do furo de sondagem BF-174, representadas pela sigla BAS-174, os teores de ETR caem da zona ferruginosa fragmentada ao latossolo, semelhante ao que ocorre nos outros ambientes.



No ambiente de metassilito, que foi analisado a partir de amostras retiradas do furo de sondagem BF-128, e estão localizados fora do ambiente mineralizado os teores de ETR são, em geral, baixos. Também foi observado que nesse ambiente que o comportamento dos ETR é diferente dos outros, visto que apresentam razões de ETRL/ETRP maiores na crosta roxa em comparação com o saprolito, sendo na crosta 25,1 e nos saprolitos 9,9. Isso pode indicar que os ETR podem ter sido carregados por fluidos durante os processos intempéricos.

## **8. CONCLUSÕES**

Uma das características marcantes dos elementos pertencentes ao grupo dos lantanídeos é a sua baixa mobilidade nos processos pós-magmáticos (metamorfismo, hidrotermalismo e intemperismo). Contudo, os dados apresentados demonstram, em geral, uma intensa lixiviação desses elementos nos perfis de alteração do depósito laterítico Igarapé Bahia. Vários trabalhos têm demonstrado que nos processos intempéricos sob condições de clima úmido (laterização) a mobilidade dos ETR é fortemente controlada pelo pH do meio, sendo estes extremamente móveis sob condições ácidas ( $\text{pH} < 5$ ), podendo precipitar na forma de óxidos-hidróxidos ou fosfatos em condições levemente alcalinas e como complexos carbonatados em condições alcalinas (Formoso *et al.*, 1989).

Os solos lateríticos da Província Mineral de Carajás são predominantemente ácidos com pH entre 3,9 e 5,0 favorecendo a lixiviação dos ETR. Contudo em todas as unidades regolíticas verificou-se uma lixiviação relativamente maior dos ETRL em relação aos ETRP e aos ETRM, com uma concentração especial em La-Ce, sugerindo precipitação de hidróxidos ou fosfatos de La-Ce. Os baixíssimos teores de

ETRM podem estar relacionados ao fato desses elementos precipitarem quase que exclusivamente na forma de óxidos/hidróxidos em condições neutras.

O comportamento dos ETR varia também dentro do perfil de alteração, observando-se uma redução nos teores desses elementos da base para o topo, devido ao aumento de soluções percolantes e diminuição do pH.

Podemos concluir que os elementos terras raras estão mais concentrados no ambiente mineralizado, em relação às rochas fresca, sendo o saprólito que vai possuir os maiores teores, e nos latossolos os elementos terras raras estão bastante homogêneos.

Em uma campanha de prospecção geoquímica, nesse local, não é aconselhado amostrar este latossolo porque este possui um caráter homogêneo em todos os ambientes, sendo aconselhado fazer um estudo nas porções mais profundas, onde a mineralização de Au é mais demonstrada pelos teores mais altos de ETR.

Localmente os elementos terras raras podem ser usados como farejadores da mineralização, por estar mais concentrado na zona mineralizada, porém não é aconselhado utilizar esses elementos para farejar a mineralização em âmbito regional, visto que o ouro nem sempre está associado aos ETR.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barros, C.E.M.; Dall'Agnol, R.; Lafon, J.M., Teixeira, N.P; and Ribeiro, J.W., 1992 – Geologia e geocronologia Rb-Sr do Gnaiss Estrela, Curionópolis, PA. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Ciências da Terra 4, 83-104.
- Docegeo, 1988. Revisão Litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás. In: SBG, 35° Congresso Brasileiro de Geologia, Belém, PA. *Anexo dos Anais*, Província Mineral de Carajás - Litoestratigrafia e principais depósitos minerais, 165p.
- Formoso, M. L. L.; Melfi, A J; Kronberf, B I. 1988. Comportamento dos Elementos Terras Raras no Intemperismo Tropical. *In*: Formoso, M. L. L.; L. V. S.Nardi; L. A. Hartmann (Org.). *Geoquímica dos Elementos Terras Raras no Brasil*, CPRM/DNPM, SBGq, pp.109-122.
- <http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2002-161-00.pdf>, no dia 14/02/2008, às 14h45min
- Lindenmayer, Z. G., Rochi, L.H., Laux, J.H. Geologia e Geoquímica da mineralização de Cu Au primária da mina de Au do Igarapé Bahia, Serra dos Carajás. *Rev. Bras. Geoc*, 28(3): 257-268, setembro de 1998.
- Machado, N., Lindenmayer, Z, Krogh, T.E. 1991. U-Pb geochronology of Archean magmatismo and basement reactivation in the Carajás area, Amazon Shield, Brazil. *Precambrian Res.*, 49:329-354.
- Sachs, L.L.B. O Magmatismo associado ao depósito cupro-aurífero do Igarapé Bahia, PA, Brasil. Dissertação de mestrado. UNICAMP/ Instituto de Geociências / Pós Graduação em geociências/ Área de metalogênese, 151p.
- Santos, P. F. 2006. Abordagem Estratigráfica dos Regolitos na Mina de Igarapé-Bahia, Província Mineral de Carajás (PA), Brasil. Dissertação de Mestrado. PPGL/IGEO/UFRJ, 115p.
- Silva G.G. et al. 1974. Geologia. in: Brasil, Projeto Radambrasil, folhas SB-22, Araguaia e parte do SC-22 Tocantins. Rio de Janeiro, DNPM. pg 1-143 (Série de levantamentos de Recursos Naturais, 4)
- Soares A.D.V.et al. 1999. Geologia e mineralizações do depósito Cu-Au Alemão, Província Mineral de Carajás, PA. *In*: SBG, 6 ° Simpósio de Geologia da Amazônia, Manaus, AM. *Resumos Expandidos*, pp.144-147.
- Tallarico, H.B., Figueiredo, R.B., Groves, D.I., Kositicin, N., McNaughton, N.J, Fletcher, I. 2003. Geology and SHRIMP U-Pb Geochronology of the Igarapé Bahia Deposit, Carajás Copper-Gold Belt, Brazil: An Archean (2.57 Ga) Example of Iron-Oxide Cu-Au-(U-REE) Mineralization. *Economic Geology*, v. 100, pp. 7.28.
- Tallarico, C.B., Oliveira, C.G., Figueiredo, R.B. 2000. The Igarapé Bahia Cu-Au mineralization, Carajás Province. *Rev. Bras. Geoc.*, 30(2):230-233.

Tassinari, C.C.G., and Macambira, M.J.B. 1999. Geochronological provinces of the Amazonian craton: Episodes v. 22, p. 174-182.

Tazava, E. & de Oliveira, C.G., 2000. The Igarapé Bahia Au-Cu-(REE-U) Deposit, Carajás Mineral Province, Northern Brazil. In Porter, T.M. (Ed.), *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & Related Deposits: A Global Perspective*, Volume 1; PGC Publishing, Adelaide, pp 203-212.

[WWW.VALE.COM.BR](http://WWW.VALE.COM.BR), no dia 14/02/2008, às 14h45min.