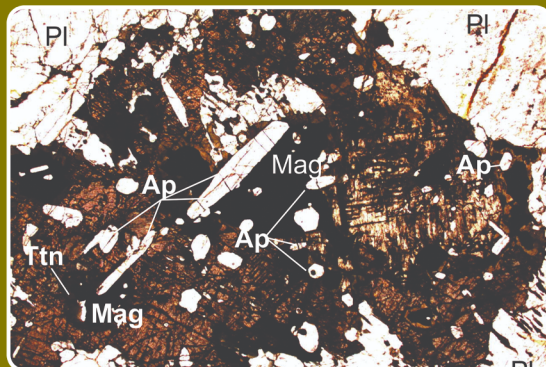


# PROGRAMA GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

## AVALIAÇÃO DOS RECURSOS MINERAIS DO BRASIL



## INFORME DE RECURSOS MINERAIS

Série Minerais Estratégicos, nº 07

Geologia e Avaliação do Potencial para Fosfato e Elementos Terras-Raras da Região de Campos Novos, Roraima

Manaus - 2023

## **MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**

### **Ministro de Estado**

Alexandre Silveira de Oliveira

### **Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral**

Vitor Eduardo de Almeida Saback

## **SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (SGB-CPRM)**

### **DIRETORIA EXECUTIVA**

#### **Diretor-Presidente**

Inácio Cavalcante Melo Neto

#### **Diretor de Geologia e Recursos Minerais**

Francisco Valdir Silveira

#### **Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial**

Alice Silva de Castilho

#### **Diretor de Infraestrutura Geocientífica**

Paulo Afonso Romano

#### **Diretor de Administração e Finanças**

Cassiano de Souza Alves

### **COORDENAÇÃO TÉCNICA**

#### **Chefe do Departamento de Recursos Minerais**

Maisa Bastos Abram

#### **Chefe da Divisão de Projetos Especiais e Minerais Estratégicos**

Ioná de Abreu Cunha

#### **Chefe da Divisão de Geologia Econômica**

Guilherme Ferreira da Silva

#### **Chefe da Divisão de Geoquímica**

Daliane Bandeira Eberhardt

#### **Chefe do Departamento de Geologia**

Marcelo Esteves Almeida

#### **Chefe da Divisão de Geologia Básica**

Patrick Araújo dos Santos

#### **Chefe da Divisão de Sensoriamento Remoto e Geofísica**

Iago Sousa Lima Costa

#### **Chefe do Departamento de Informações Institucionais**

Edgar Shinzato

#### **Chefe da Divisão de Geoprocessamento**

Hiran Silva Dias

#### **Chefe da Divisão de Cartografia**

Fábio Silva da Costa

#### **Chefe da Divisão de Documentação Técnica**

Roberta Pereira da Silva de Paula

#### **Chefe do Departamento de Relações Institucionais e Divulgação**

Patrícia Düringer Jacques

#### **Chefe do Núcleo de Comunicação**

Heber Vieira de Oliveira

#### **Chefe da Divisão de Editoração Geral**

Hemilton Moraes Cunha

## **SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE MANAUS**

### **Superintendente Regional**

Marcelo Batista Motta

### **Gerência de Geologia e Recursos Minerais**

Antonio Charles da Silva Oliveira

### **Supervisores**

Túlio Amós de Araújo Mendes

Miqueas Barroso da Silva

### **Responsável Técnica do Projeto**

Luis Emanuel Alexandre Goulart

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**  
**SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**  
**SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (SGB-CPRM)**  
DIRETORIA DE GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS

I PROGRAMA GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL I

## **AVALIAÇÃO DOS RECURSOS MINERAIS DO BRASIL**

---

# **Geologia e Avaliação do Potencial para Fosfato e Elementos Terras-Raras da Região de Campos Novos, Roraima**

ESTADO DE RORAIMA

### **ORGANIZADORES**

Luís Emanuel Alexandre Goulart

Marcelo Esteves Almeida

Antônio Charles da Silva Oliveira

Lucy Takehara Chemale

### **INFORME DE RECURSOS MINERAIS**

Série Minerais Estratégicos, nº 07



---

Manaus  
2023

## REALIZAÇÃO

Superintendência Regional de Manaus

## ORGANIZAÇÃO

Luís Emanuel Alexandre Goulart  
Marcelo Esteves Almeida  
Antônio Charles da Silva Oliveira  
Lucy Takehara Chemale

## TEXTO EXPLICATIVO

### 1. Introdução

Marcelo Esteves Almeida  
Raimundo Gato D'Antona  
Luís Emanuel Alexandre Goulart

### 2. Características da Área

Raimundo Gato D'Antona

### 3. Contexto Geotectônico

Antônio Charles da Silva Oliveira

### 4. Geologia Local

Antônio Charles da Silva Oliveira  
Marcelo Esteves Almeida

### 5. Caracterização dos Alvos

Luís Emanuel Alexandre Goulart  
Antônio Charles da Silva Oliveira  
Marcelo Esteves Almeida  
Lucy Takehara Chemale

### 6. Conclusões

Luís Emanuel Alexandre Goulart  
Marcelo Esteves Almeida

## Referências

Luís Emanuel Alexandre Goulart  
Antonio Charles da Silva Oliveira  
Marcelo Esteves Almeida

## APOIO TÉCNICO

Levantamento Geoquímico Regional:  
Brasil Explore-Braz Silva Consultoria  
Mineração e Geologia Ltda  
Levantamento Geoquímico dos Alvos:  
Ulisses Antônio Pinheiro Costa  
Marcely Pereira Neves  
Fábio Splendor (*in memoriam*)  
Levantamento Geofísico dos Alvos:  
Miqueas Barroso da Silva

## PROJETO GRÁFICO/EDITORIAÇÃO

### Capa (DIEDIG)

Hemilton Moraes Cunha

### Miolo (DIEDIG)

Andréia Amado Continentino  
Agmar Alves Lopes

### Diagramação (GERINF-BH)

Patrícia Silva Araújo Dias

## NORMALIZAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

Ana Paula da Silva

## REVISÃO DO PROJETO

### Revisão do texto

Basílio Elesbão da Cruz Filho  
Eduardo Duarte Marques  
João Henrique Larizzatti  
Michele Zorzetti Pitarello  
Wilson Lopes de Oliveira Neto

### Revisão linguística

Irinéa Barbosa da Silva

## Revisão final

Tamara Reginatto Manfredi  
Ioná de Abreu Cunha  
Maisa Bastos Abram

## FOTOS DA CAPA

Da esquerda para a direita:

1. Fotomicrografia de leucogabro mostrando cristais de apatita e óxidos de Fe-Ti inclusos em fenocristais piroxênio. Leucogabro-anortosito são os principais metalotectos de fosfato.
2. Nefelina sienito com autólito de fonolito, datado nesse projeto em 110 Ma (U-Pb SHRIMP em zircão), principal metalotecto de ETR.
3. Francisco Valdir Silveira, na ocasião chefe do Departamento de Recursos Minerais, demonstrando procedimento de amostragem de solo.
4. *In memoriam*, Fabio Splendor e João Batista durante levantamento geológico e geofísico, na fotografia descrevendo afloramento de anortosito.

## Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM)

www.sgb.gov.br  
seus@sgb.gov.br

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM) – DIDOTE - Processamento Técnico

G694g Goulart, Luís Emanuel Alexandre.  
Geologia e avaliação do potencial para fosfato e elementos terras-raras da região de Campos Novos, Roraima / Organizadores: Luís Emanuel Alexandre Goulart, Marcelo Esteves Almeida, Antônio Charles da Silva e Lucy Takehara Chemale. – Manaus : CPRM, 2023.  
1 recurso eletrônico : PDF ; il. – (Informe de recursos minerais. Série minerais estratégicos ; 7)

Programa geologia, mineração e transformação mineral. Avaliação dos recursos minerais do Brasil.

ISBN 978-65-5664-424-0

1. Geologia econômica. 2. Recursos minerais.  
I. Almeida, Marcelo Esteves. II. Silva, Antônio Charles da.  
III. Chemale, Lucy Takehara. IV. Título. V. Série.

CDD 553

Ficha Catalográfica elaborada pela bibliotecária Ana Paula da Silva CRB3 - 1441

Direitos desta edição: Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM)  
Permitida a reprodução desta publicação desde que mencionada a fonte.

# APRESENTAÇÃO

---

O Ministério de Minas e Energia, por intermédio do Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM), tem a grata satisfação de disponibilizar à comunidade técnico-científica e aos empresários do setor mineral, em particular aqueles ligados aos minerais para transição energética e ao setor de fertilizantes, os resultados do projeto Avaliação do Potencial para Fosfato e de Terras-Raras no Brasil, área Campos Novos, Roraima. Este é mais um produto realizado a partir do Programa “Geologia, Mineração e Transformação Mineral” e da Ação “Avaliação dos Recursos Minerais do Brasil”.

O presente exemplar da Série “Minerais Estratégicos” concentra informações resultantes da prospecção regional para fosfato e terras-raras numa importante região da Amazônia ocidental. O objetivo principal da pesquisa é definir fontes potenciais para essas *commodities*, permitindo apontar ambientes apropriados para obtenção de insumos para a indústria de fertilizantes (fosfato) e para a indústria de baixo carbono (terras-raras) na região central de Roraima.

A pesquisa busca contribuir no atendimento da demanda brasileira por novos insumos agrícolas e tecnológicos, representando a publicação deste produto mais uma fonte de informações indispensável para a atração de investimentos na mineração, contribuindo para impulsionar a economia regional e nacional.

Com mais este lançamento, o Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM) dá continuidade à política governamental que incentiva o desenvolvimento de trabalhos em todas as regiões geográficas do país, proporcionando o incremento do conhecimento geológico e estimulando investimentos para o setor mineral, contribuindo, dessa forma, para o desenvolvimento nacional, seja fomentando a mineração e apoiando a tomada de decisão dos investidores privados, seja subsidiando a formulação de políticas públicas.

**Inácio Cavalcante Melo Neto**

Diretor-Presidente

**Francisco Valdir Silveira**

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

## RESUMO

---

A região de Campos Novos, em Roraima, possui mineralizações magmatogênicas de fosfato relacionadas à associação do tipo anortosito-mangerito-charnockito-granito (AMCG), além de depósitos magmático-hidrotermais de fosfato e minerais portadores de elementos terras-raras (ETR), vinculados a complexos vulcano-plutônicos alcalinos. As unidades gabroanortosíticas da associação AMCG Mucajá constituem o metalotecto com maior potencial para fosfato da região. As rochas alcalinas da Suíte Apiaú representam um metalotecto com elevada favorabilidade para ETR e potencial menor para fosfato, que também constituem prospecto para ETR, esse sendo o principal metalotecto desse sistema mineral na área. Nesse documento, apresentamos o estudo de sete alvos, previamente selecionados com base em evidências geológico-geofísicas, cujo alvo 3 apresentou o melhor potencial para fosfato, onde um mangerito básico apresentou concentração de P muito alta (13.000 ppm), acompanhado com valores de somatório de ETR baixo (600 ppm) e altos de  $\text{TiO}_2$  (2,1%), e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (12,9%). O saprolito desse litotipo é formado por cobertura de solo residual raso, com grau variado de lixiviação e concentrações de P entre 1.350-8.530 ppm. Por outro lado, as rochas alcalinas da Suíte Apiaú apresentaram valores muito baixos de P ( $\approx$ 130-700 ppm), com a maior concentração em sienito aflorante no alvo 7. Os perfis de intemperismo também indicam concentrações de P relativamente pouco expressivas nos horizontes de solo, com os maiores valores obtidos na linha 2 do alvo 2 (700-2.160 ppm). Na linha 4 do alvo 5, os valores de La ( $\approx$ 1.780 ppm) e Ce ( $>$ 2.000 ppm) comprovam o potencial da Suíte Apiaú como hospedeira de mineralizações de ETR. O somatório de ETR totais em rocha nos alvos avaliados variam entre 100 e 1.800 ppm, com os diques de traquito apresentando os maiores valores (alvo 3). As rochas alcalinas mais pobres em ETR são também as mais enriquecidas em Nb-Ta. Os resultados obtidos em solo demonstram que as concentrações naturais de ETR, Th, U e outros HFSE, se comparadas ao background regional, podem ser importantes guias prospectivos regionais. A relação entre Ba e F sustenta a existência de fases magmático-hidrotermais distintas de mineralizações de ETR, marcadas pela presença barita e/ou fluorita. Os perfis de intemperismo desenvolvidos sobre a Suíte Apiaú mostram, nos solos superficiais, valores máximos de ETR entre 1.700-20.200 ppm. Nos horizontes de solo laterítico, ocasionais mineralizações secundárias de ETR podem ser prospectadas pelo enriquecimento relativo em Ga, ETR, Y e, ocasionalmente, P. Apesar do presente trabalho não ter pesquisado a composição geoquímica da fração argilosa, a hipótese de ETR contidos em argila de adsorção iônica no manto de intemperismo sobre a Suíte Apiaú não deve ser descartada.

## ABSTRACT

---

*The Campos Novos region in Roraima shows magmatic mineralizations of phosphate related to anortosite-mangerite-charnockite-granite (AMCG) association, further magmatic-hydrothermal deposits of phosphate (P) and rare-earth elements (REE) in alkaline volcano-plutonic complexes. The gabbro-anorthositic rocks (AMCG Mucajaí) constitute the metallothect with the greatest potential for phosphate in the region. The alkaline rocks of the Apiaú Suite represent a metallothect with high favorability for ETR and lower potential for phosphate. After analysis of 7 previously selected targets based on geological-geophysical favorable patterns, the target 3 proved to be the best for P, hosted in basic mangerite, showing in whole-rock analysis low REE total contents (600 ppm) and higher values for  $TiO_2$  (2.1%),  $Fe_2O_3$  (12.9%) and P ( $\approx 13,000$  ppm). Saprolite is formed by shallow residual soil cover, with varying degrees of leaching and P concentrations (1,350-8,530 ppm). The Apiaú Suite rocks presented very low values of P ( $\approx 130$ -700 ppm), with the highest concentration in syenite of target 7. The weathering profiles also indicate relatively insignificant P concentrations in the soil horizons, with the highest values obtained in line 2 of target 2 (700-2,160 ppm). In line 4 of target 5, the values of La ( $\approx 1,780$  ppm) and Ce ( $>2,000$  ppm) reinforce the potential of the Apiaú Suite as a host of REE mineralizations. The REE concentrations in whole-rock analysis in the evaluated targets vary between 100 and 1,800 ppm, with alkali-feldspar trachyte dikes presenting the highest values (target 3). The alkaline rocks with lowest REE contents are also the most enriched in Nb-Ta. The results obtained in soil demonstrate that the natural concentrations of REE, Th, U and other HFSE, if compared to the regional background, can be important regional prospective guides. Furthermore, the relationship between Ba and F supports the existence of distinct magmatic-hydrothermal phases of REE mineralizations, marked by the presence of barite and/or fluorite. The weathering profiles developed on the Apiaú Suite show maximum REE values between 1,700-20,200 ppm in the surface soils. In lateritic soil horizons, occasional secondary REE mineralizations can be prospected by relative enrichment in Ga, REE, Y, and occasionally P. Although the present research did not investigate the geochemical composition of the clay fraction, the hypothesis of REE in ion-adsorption clays, in the weathering mantle on the Apiaú Suite, should not be discarded.*

# SUMÁRIO

---

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
1.1. JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS .....	10
1.2. METODOLOGIA EMPREGADA .....	10
1.3. LOCALIZAÇÃO E ACESSO .....	11
1.4. ASPECTOS FISIAGRÁFICOS.....	11
1.4.1. Clima e Vegetação .....	11
1.4.2. Morfologia e Hidrografia.....	12
<b>2. CONTEXTO GEOTECTÔNICO.....</b>	<b>13</b>
<b>3. GEOLOGIA LOCAL .....</b>	<b>15</b>
<b>4. CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES .....</b>	<b>19</b>
4.1. HISTÓRICO DAS MINERALIZAÇÕES ASSOCIADAS .....	19
4.2. ESTUDOS ORIENTATIVOS.....	19
4.2.1. Geoquímica de solo .....	19
<b>5. CARACTERIZAÇÃO DOS ALVOS .....</b>	<b>22</b>
5.1. LEVANTAMENTO PROSPECTIVO DO ALVO 1 .....	22
5.1.1. Geologia.....	22
5.1.2. Geofísica .....	23
5.1.3. Litoquímica .....	23
5.1.4. Geoquímica de solo .....	23
5.2. LEVANTAMENTO PROSPECTIVO DO ALVO 2 .....	27
5.2.1. Geologia.....	27
5.2.2. Geofísica .....	27
5.2.3. Geoquímica de solo.....	29
5.3. LEVANTAMENTO PROSPECTIVO DO ALVO 3 .....	36
5.3.1. Geologia.....	36
5.3.2. Geofísica .....	38
5.3.3. Litoquímica.....	38
5.3.4. Geoquímica de solo.....	40
5.4. LEVANTAMENTO PROSPECTIVO DO ALVO 4 .....	44
5.4.1. Geologia.....	44
5.4.2. Geofísica .....	46
5.4.3. Litoquímica .....	46
5.4.4. Geoquímica de solo.....	46
5.5. LEVANTAMENTO PROSPECTIVO DO ALVO 5.....	49
5.5.1. Geologia.....	49
5.5.2. Geofísica .....	50
5.5.3. Litoquímica .....	51
5.5.4. Geoquímica de solo .....	51
5.6. LEVANTAMENTO PROSPECTIVO DO ALVO 6 .....	64
5.6.1. Geologia.....	64
5.6.2. Geofísica .....	64



5.6.3. Geoquímica de solo .....	65
5.7. LEVANTAMENTO PROSPECTIVO DO ALVO 7 .....	76
5.7.1. Geologia .....	76
5.7.2. Geofísica.....	78
5.7.3. Litoquímica .....	78
5.7.4. Geoquímica de Solo .....	78
<b>6. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES .....</b>	<b>82</b>
6.1. ALVOS DE FOSFATO CORRELACIONADOS A ASSOCIAÇÃO AMCG MUCAJÁI .....	82
6.2. ALVOS DE FOSFATO CORRELACIONADOS A SUÍTE APIAÚ (ROCHAS ALCALINAS) .....	83
6.3. ALVOS DE ETR CORRELACIONADOS À SUÍTE APIAÚ (ROCHAS ALCALINAS) .....	83
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>85</b>

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de alimentos (culturas agrícolas e pecuária), onde o setor agrícola responde por 21% da soma de todas as riquezas produzidas no país, um quinto de todos os empregos e cerca de 40% das exportações brasileiras, chegando a US\$ 96,7 bilhões em 2019. Para manter sua vocação agrícola, o Brasil tem investido no aprimoramento de técnicas de plantio e de colheita e no desenvolvimento de equipamentos em busca constante pelo aumento da produtividade, causando aumento no consumo de fertilizantes inorgânicos a base de nitrogênio, fosfato e potássio (NPK). Esse aumento de demanda não é atendido pela produção nacional de matéria-prima para fertilizantes, gerando dependência internacional no suprimento desses insumos, considerados críticos e estratégicos para o país.

No Brasil, dados históricos mostram que, no acumulado de 2012 a 2022, a importação de fertilizantes (NPK) aumentou 185,6%, passando de US\$ 0,97 bilhão em 2012 para US\$ 2,77 bilhões em 2022 (Fonte: MDIC-SECEX). É importante destacar que os maiores exportadores de fertilizantes inorgânicos para o Brasil são seus principais concorrentes no mercado mundial do setor agrícola, como Estados Unidos e China.

Diante dessa necessidade, o Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM) idealizou o Projeto Fosfato Brasil (2009), voltado para o resgate e consistência de dados sobre conhecimento atual dos depósitos brasileiros e ao mesmo tempo entender os ambientes geológicos e metalogenéticos, em todo o território nacional, favoráveis para descoberta de novos depósitos, objetivando a avaliação do potencial e a ampliação das reservas brasileiras de fosfato (e.g. Abram *et al.*, 2011 e Abram; Cunha; Almeida, 2016). Com o mesmo objetivo, foi criado o Projeto Terras-Raras Brasil (2010), com foco na avaliação do potencial das reservas brasileiras (e.g. Takehara *et al.*, 2015; Takehara, 2019), buscando tornar o país um *player* global nessa *commodity*, além de incentivar o desenvolvimento da cadeia produtiva dos minerais críticos. Em ambos os projetos, foram realizados estudos em subáreas para caracterização geológica e geoquímica e possível definição de alvos favoráveis para mineralizações de fosfato e/ou elementos terras-raras (ETR).

Dentre essas áreas, a região da Serra do Repartimento, onde se inseri a área de Campos Novos, em Roraima, foi selecionada como potencial para mineralizações de fosfato e

ETR no mesmo sistema mineral, onde são descritos depósitos de fosfato associado às rochas alcalinas, com 3,5 milhões de toneladas ( $P_2O_5 \approx 3-5\%$ , Borges, 1990). Também é caracterizado um importante prospecto para ETR, com base em expressivas anomalias gamaespectrométricas positivas associadas a diversos corpos alcalinos, descritos no interflúvio dos rios Mucajá e Apiaú (Brandão; Freitas, 1994).

O objetivo em curto e em médio prazos é que a descoberta de alvos favoráveis possa produzir impactos positivos na agricultura do estado de Roraima e que os minerais tecnológicos e de transição energética, como ETR, auxiliem no desenvolvimento de uma economia de baixo carbono no país e no mundo. No caso específico dos insumos empregados na agricultura (fertilizantes e calcário), atualmente, são provenientes da Venezuela e de outros estados brasileiros que abastecem o mercado estadual com preços elevados, o que encarece os custos da produção agrícola, e, por conseguinte, dificulta as ações voltadas ao desenvolvimento da agricultura no Estado.

## 1.2. METODOLOGIA EMPREGADA

Neste projeto foram assinalados sete alvos com base na interpretação geofísica preliminar e nas informações de campo do mapeamento geológico da Folha NA.20-X-C-VI-2. Em cada alvo selecionado, foi realizado pelo menos um perfil transversal, para levantamento geológico e geoquímico com coleta de solo a cada 50m de distância.

As amostras de solo e rocha foram analisadas no SGS-Geosol Laboratórios Ltda. Após pulverizadas, as amostras de rocha sofreram abertura por metaborato de lítio e foram analisadas por ICP-MS (referência analítica CCR rocha total). A preparação das amostras de solo incluiu secagem, desagregação, peneiramento à 80#, quantificação do retido e do passante, homogeneização e pulverização de 300g de amostra à 150# (referência PREPS80P). Para prospecção de elementos terras-raras, as amostras de solo foram analisadas para 34 elementos (Ba, Be, Ce, Co, Cs, Cu, Dy, Er, Eu, Ga, Gd, Hf, Ho, La, Lu, Mo, Nb, Nd, Ni, Pr, Rb, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Th, Tl, Tm, U, W, Y, Yb, Zr), utilizando abertura por fusão com tetraborato de lítio e finalização por ICP-MS (referência analítica IMS95A). Adicionalmente, F e Cl foram dosados utilizando fusão, dissolução e finalização por eletrodo dos íons específicos (referência analítica ISE03A e ISE03B respectivamente). Na avaliação de alvos para fosfato, o pacote analítico incluiu 54 elementos (Ag, Al, As, Au,

B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Dy, Er, Eu, Fe, Ga, Ge, Gd, Hf, Hg, Ho, In, K, La, Li, Lu, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Nd, Ni, P, Pb, Pr, Rb, Re, S, Sb, Sc, Se, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Te, Th, Ti, Tl, Tm, U, V, W, Y, Yb, Zn e Zr) e as amostras de solo tiveram abertura por digestão em água-régia e finalização com ICP-MS/OES (referência ICM14B).

O tratamento estatístico foi realizado com os softwares Excel© e Statistica 12©. Para fins de prospecção, este trabalho se baseou em uma distribuição paramétrica (normal) de dados. Inicialmente, os resultados brutos passaram por transformação logarítmica para que a distribuição de cada variável aderisse ou apresentasse tendência à normalidade. A distribuição das variáveis foi analisada em teste de normalidade, segundo o método de Shapiro-Wilk (Shapiro; Wilk; Chen, 1968). As variáveis (elementos) com distribuições com grande fuga da normalidade, que mostraram forte escalonamento de dados nos gráficos de probabilidade ou grande quantidade de observações abaixo dos limites analíticos de detecção, foram desconsideradas nas análises estatísticas. Os valores de limiar superior e inferior foram estabelecidos por  $Q(3,1) \pm 1,5(Q3-Q1)$ , sendo Q3 e Q1, respectivamente, valores de terceiro e primeiro quartis (Carranza, 2009). Os valores intermediários aos limiares, superior e inferior, definem a faixa de *background* que neste trabalho considera a subdivisão de alto *background* (valores entre o limiar superior e Q3), *background* (valores entre Q1 e Q3) e baixo *background* (valores entre Q1 e limiar inferior). Valores além dos limiares são considerados *outliers*. As correlações geoquímicas entre P ou ETR e demais elementos foram obtidas pelos índices de correlações de postos de Spearman, por considerar que os dados válidos apresentam uma distribuição não-paramétrica. Índices de correlação foram classificados em muito fortes (1-0,8), fortes (< 0,8-0,6), moderados (< 0,6-0,4), fracos (< 0,4-0,2) e muito fracos (< 0,2-0,1). Índices negativos entre P ou ETR foram desprezados. Análises multivariadas foram utilizadas para estabelecer uma primeira aproximação para assinaturas reliquias das zonas mineralizadas nos horizontes superficiais de solo. Os conjuntos amostrais com número de amostras (n) muito próximo das variáveis válidas, ou que apresentaram índices de correlação entre P ou ETR predominantemente moderados, foram usados em análise de agrupamentos, utilizando o método de Ward, como algoritmo de amalgamação, e distância euclidiana para ligação (Anderberg, 1973; Hartigan, 1975). Conjuntos amostrais maiores, com índices de correlação entre P ou ETR utilizou-se a análise de agrupamentos e/ou análise fatorial (Hair *et al.*, 2010). O número de fatores foi definido pelo método gráfico (método de scree; Cattell, 1966), os fatores foram extraídos pelo método de máxima verossimilhança (Costello; Osborne, 2005) e a matriz fatorial rotacionada pelo método Varimax normalizado (KAISER, 1958).

### 1.3. LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A área estudada localiza-se na porção central do estado de Roraima, a sudoeste da capital Boa Vista, sendo limitada pelos paralelos oeste 61° 45' e 61° 30' e meridianos norte 02° 15' e 02° 30', que coincidem com a articulação da folha cartográfica NA.20-X-C-IV-2, de escala 1:50.000 (Figura 1).

As bases logísticas para o desenvolvimento das atividades de mapeamento foram instaladas no município de Mucajaí e na vila de Campos Novos (município de Iracema). Mucajaí é o principal centro urbano da região, distante cerca de 60km de Boa Vista, contando com aproximadamente 18.500 habitantes, segundo censo do IBGE de 2021, e está situado próximo às margens do rio homônimo. O município dispõe de infraestrutura básica, incluindo dois postos de gasolina, posto de saúde, escolas públicas, supermercado, farmácias, alguns restaurantes e hotéis.

O acesso a partir de Boa Vista é por via rodoviária. Para Mucajaí a viagem de cerca de 50 km, foi realizada pela BR-174, que liga Manaus à Boa Vista. Nos últimos anos, o governo estadual, para promover o assentamento de colonos, abriu várias estradas vicinais não pavimentadas, algumas com tráfego regular apenas na época de estiagem, dentre as quais destacam-se as vicinais 03, 06, 02 e 14, utilizadas com vias de acesso aos alvos deste projeto. O povoado mais próximo da área de estudo é a vila de Campos Novos, que dista cerca de 80km da cidade de Mucajaí, dos quais 50km são realizados por rodovia pavimentada (RR-325) e os demais 30 km em vicinal não pavimentada (vicinal 07, Campos Novos).

### 1.4. ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

#### 1.4.1. Clima e Vegetação

O clima é quente e úmido, com um período chuvoso (regionalmente denominado de inverno) entre os meses de abril e setembro, com ápice em julho, e outro de estiagem (regionalmente denominado de verão), entre outubro e março, quando o clima é mais seco. A precipitação média anual é próxima de 1.800 mm.

A vegetação dominante é de floresta equatorial densa, com árvores de grande porte, que ainda se apresenta bem preservada, porém nas margens das vicinais são observados diversos estágios de degradação. Nessas áreas, a floresta vem sendo sistematicamente substituída por pasto e cultivo agrícola, especialmente plantação de banana e outras culturas de subsistência. Alguns locais apresentam áreas descampadas, constituídas por vegetações arbustivas e gramíneas, principalmente nas zonas alagadiças das planícies de grandes vales e sobre

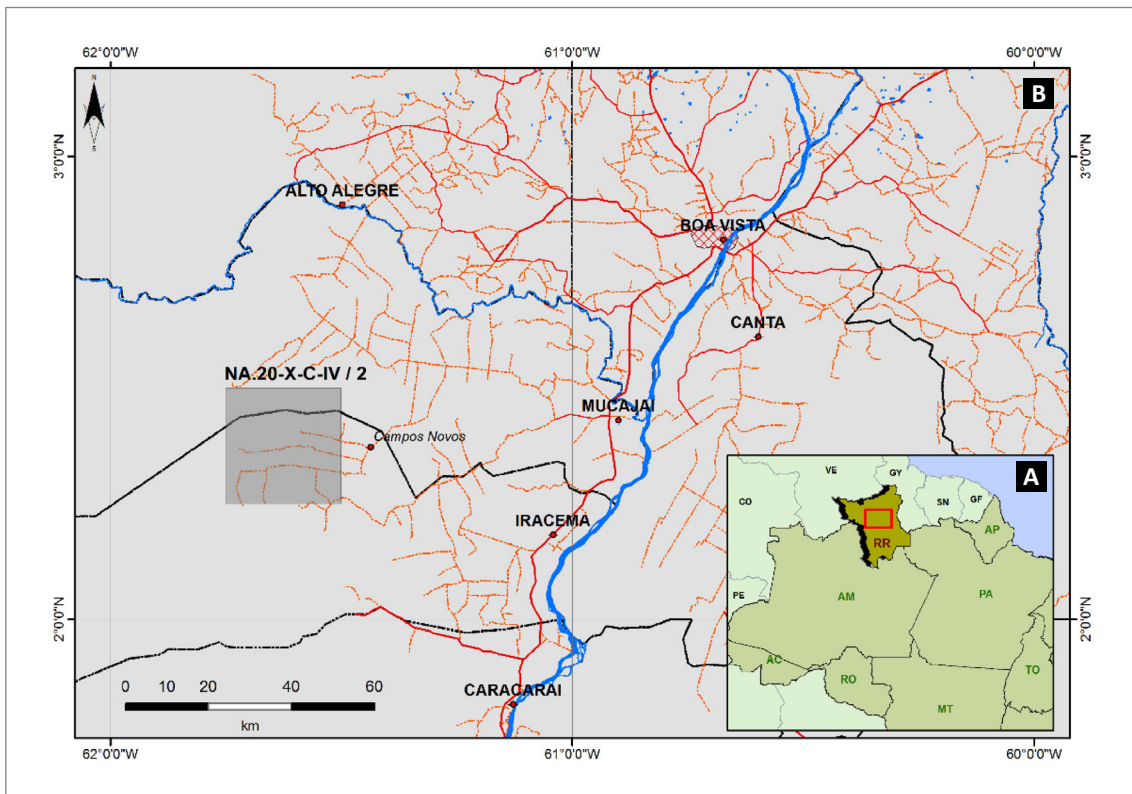
elevações com rocha exposta. Localmente, são observadas pequenas manchas de campos dominados por campinaranas (vegetação do tipo savana).

#### 1.4.2. Morfologia e Hidrografia

A área apresenta relevo relativamente arrasado, com morros por vezes sustentados por cristas de rochas quartzo-feldspáticas ferruginosas, denotando relevo colinoso. Sobre as morfologias, destacam-se algumas serras que constituem maciços residuais, cujas encostas são íngremes e as cristas alongadas segundo

orientação NE-SW, refletindo importante estruturação tectônica da região. A diferença de altitude máxima gira em torno de 800 m e relaciona-se às serras do Apiaú e Mucajá.

A rede de drenagem é numerosa e apresenta caráter intermitente nos cursos menores. Mostra um padrão dendrítico, por vezes com particularizações para um padrão retangular, refletindo a estruturação do substrato rochoso. A rede de drenagem é constituída pelas bacias dos rios Apiaú (afluente pela margem direita do Rio Mucajá) e Ajarani (afluente pela margem direita do Rio Branco).



**Figura 1** - Mapa de localização da área de estudo (NA.20-X-C-IV-2, retângulo cinza), recobrendo partes dos municípios de Mucajá e Iracema, Roraima. Fonte: base planialtimétrica IBGE.

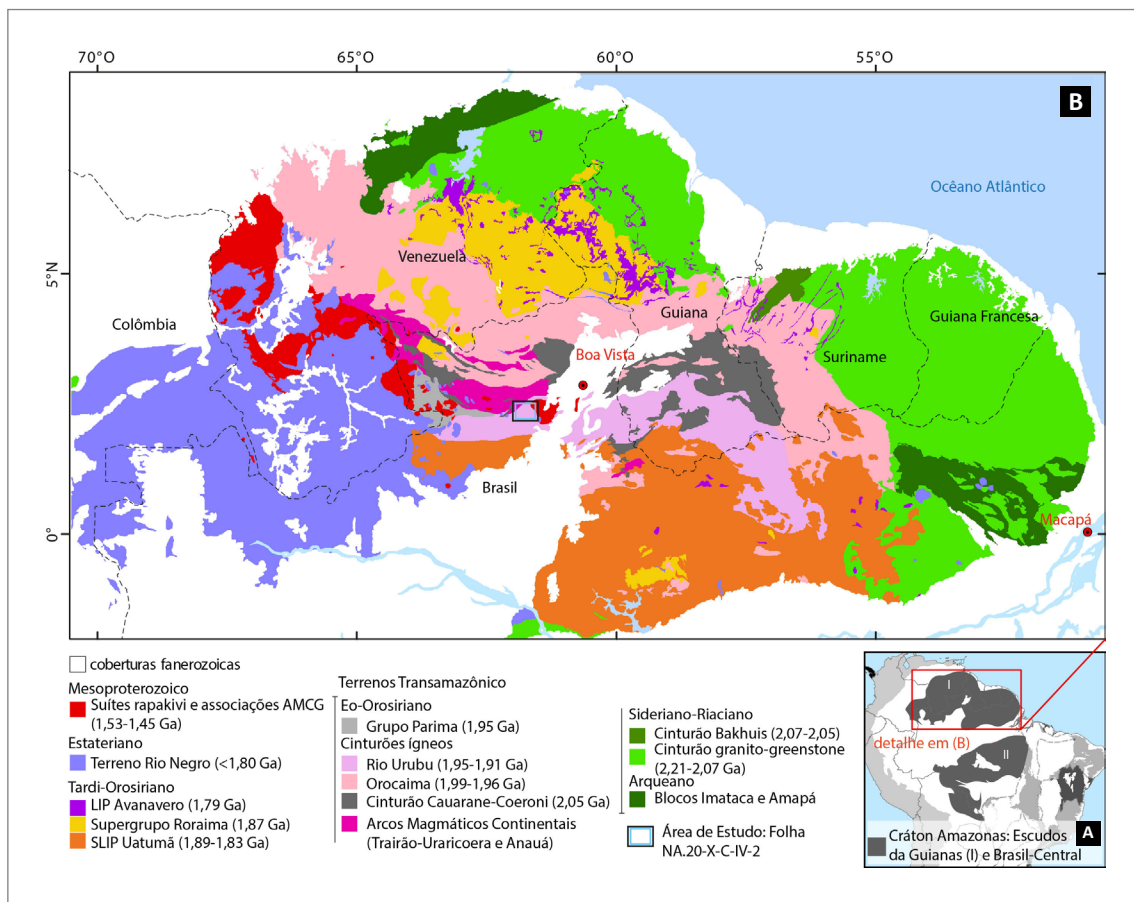
## 2. CONTEXTO GEOTECTÔNICO

O Escudo das Guianas, juntamente com o Escudo Brasil Central, constitui o Cráton Amazônico (CA), núcleo cristalino da Plataforma Sul-Americana (Almeida *et al.*, 1981 – Figura 2). Dentre as diversas propostas de evolução geotectônica do CA, os modelos de Províncias Geocronológicas, a partir da proposta pioneira de Amaral (1974), foram consolidados e vêm sendo constantemente atualizados (*e.g.* Cordani; Teixeira, 2007; Santos *et al.*, 2000, 2008). Porém, nas últimas décadas, revisões multidisciplinares, fornecidas por Gibbs e Barron (1993), Delor *et al.* (2003a,b), Fraga (2002), Fraga, Lafon e Tassinari (2020), Kroonenberg e De Roever (2009), Lopes *et al.* (2021) e Reis *et al.* (2021), mostram modelos geotectônicos mais robustos, com arcabouço geológico e estrutural pré-cambriano do CA mais detalhado (Figura 2), onde é possível identificar vários terrenos no Escudo das Guianas igualmente

delimitados pelos principais intervalos de tempo geológico: (i) Arqueano-Riaciano, (ii) Eo-Orosiriano e (iii) Estateriano.

O terreno Arqueano-Riaciano, no Escudo das Guianas, é formado por núcleos arqueanos Imataca (BI) e Amapá (BA), situados, respectivamente, no noroeste e nordeste, em meio ao cinturão riaciano formado por associações do tipo TTG, gerado durante a colisão entre os crátons Amazônico e Oeste Africano (2,20-1,90 Ga; Vanderhaeghe *et al.*, 1998; Voicu; Bardoux; Stevenson, 2001; Delor *et al.*, 2003a, b; Nomade *et al.*, 2003; Cordani; Teixeira, 2007; Bispo-Santos *et al.*, 2014).

O terreno Eo-Orosiriano domina na porção central do Escudo das Guianas e constitui uma macroestrutura sinuosa (NW-SE, E-W, NE-SW), composta por um conjunto de cinturões orogênicos, denominados de Cauarane-Coerreni, Orocaima e Rio Urubu (Fraga; Lafon; Tassinari, 2020),



**Figura 2** - Mapa simplificado de unidades geotectônicas do Escudo das Guianas, Cráton Amazonas (modificado de Cordani *et al.*, 2016; Fraga *et al.*, 2017; Lopes *et al.*, 2021).

os quais internamente apresentam fragmentos das rochas do embasamento juvenil, formado pelo sistema de arcos magmáticos Trairão, Urariquera e Anauá (2,04-2,03 Ga, Almeida; Macambira; Oliveira, 2007; Fraga *et al.*, 2014), além de sequências de rochas supracrustais de baixo-grau metamórfico do Grupo Parima (1,97-1,94 Ga, Santos, 2003). A sul do terreno, ocorre amplo magmatismo plutono-vulcânico denominado de Uatumã (Montalvão, 1975; Reis *et al.*, 2003), de idade neo-orosiriana a estateriana, interpretado como uma SLIP (1,89-1,87 Ga, *e.g.* Klein; Almeida; Rosa-Costa, 2012). Ainda nesse setor, a cratonização do terreno eo-orosiriano é marcada pela presença de sucessões vulcano-sedimentares do

Supergrupo Roraima (< 1,87 Ga, Reis *et al.*, 2013 e referências) e de magmatismo máfico toleítico continental da LIP Avanavero (1,79-1,78 Ga; Reis *et al.*, 2013).

O terreno Estateriano está localizado na parte mais ocidental do escudo, representado por rochas de alto grau (1,86-1,72 Ga) atribuídas a processos acrescionários relacionados a sistema de arcos magmáticos, que constituem o Cinturão Orogênico Rio Negro, desenvolvido após a cratonização do restante do escudo (Tassinari *et al.*, 1996; Tassinari; Macambira, 1999, 2004; Santos *et al.*, 2000, 2006a; Cordani *et al.*, 2000; Cordani; Teixeira, 2007; Kroonenberg; Reeves, 2012; Kroonenberg, 2014; Almeida *et al.*, 2013, 2022).

### 3. GEOLOGIA LOCAL

A área de estudo (Figura 3) está inserida no Cinturão Ígneo Rio Urubu (CIRU), (Fraga; Lafon; Tassinari, 2020), no contexto geotectônico dos terrenos eo-orosirianos da porção central do Escudo das Guianas. Previamente, esse cinturão recebeu diversas denominações, como “Cinturão Granulítico Guiana Central” (Kronenberg, 1976) ou simplesmente “Cinturão Guiana Central” (Gibbs; Barron, 1993). Mais recentemente foram acrescentadas outras denominações, relacionadas à sua evolução crustal ou particularidades tectonoestruturais, como é o caso, por exemplo, do “Orógeno Intracontinental K’Mudku” (Barron, 1969; Priem *et al.*, 1978; Santos *et al.*, 2000; Oliveira *et al.*, 2019) e do “Domínio Guiana-Central” da Província Tapajós-Parima (Reis *et al.*, 2003; Santos, 2003).

O CIRU é constituído pelas suítes magmáticas deformadas e metamorfizadas Igarapé Branco (1,96-1,92 Ga) e Miracelha (1,93 Ga), compostas por gnaisses e granitoides calcioalcalinos e alcalinos (Figura 4), respectivamente, além dos metacharnockitos Serra da Prata (1,94-1,91 Ga) e corpos de rochas metamáficas (1,91 Ga) subordinados (*e.g.* Fraga *et al.*, 2009; Velasquez, 2015). Essas rochas se dispõem ao longo de uma faixa sinuosa, com direção NE-SW, cruzando o extremo norte do Brasil, com 180km de largura, infletindo para NW-SE, em direção às Guianas. Esse cinturão (meta)ígneo constituiu o embasamento para dois importantes eventos magmáticos na região, um deles de idade calimiana (Mesoproterozoico), representado pelo Complexo Anortosito-Mangerito-Charnockito-Granito (AMCG) Mucajaí (1,53-1,52 Ga, Heinson *et al.*, 2012 e referências citadas), e outro de idade albiana (Cretáceo), responsável pela geração das rochas alcalinas da Suíte Apiaú (~110 Ma, Gaudette *et al.*, 1996; Almeida; Oliveira, 2018; Figueiredo *et al.*, 2013), cujos corpos constituem os *prospectors* dos alvos investigados neste estudo.

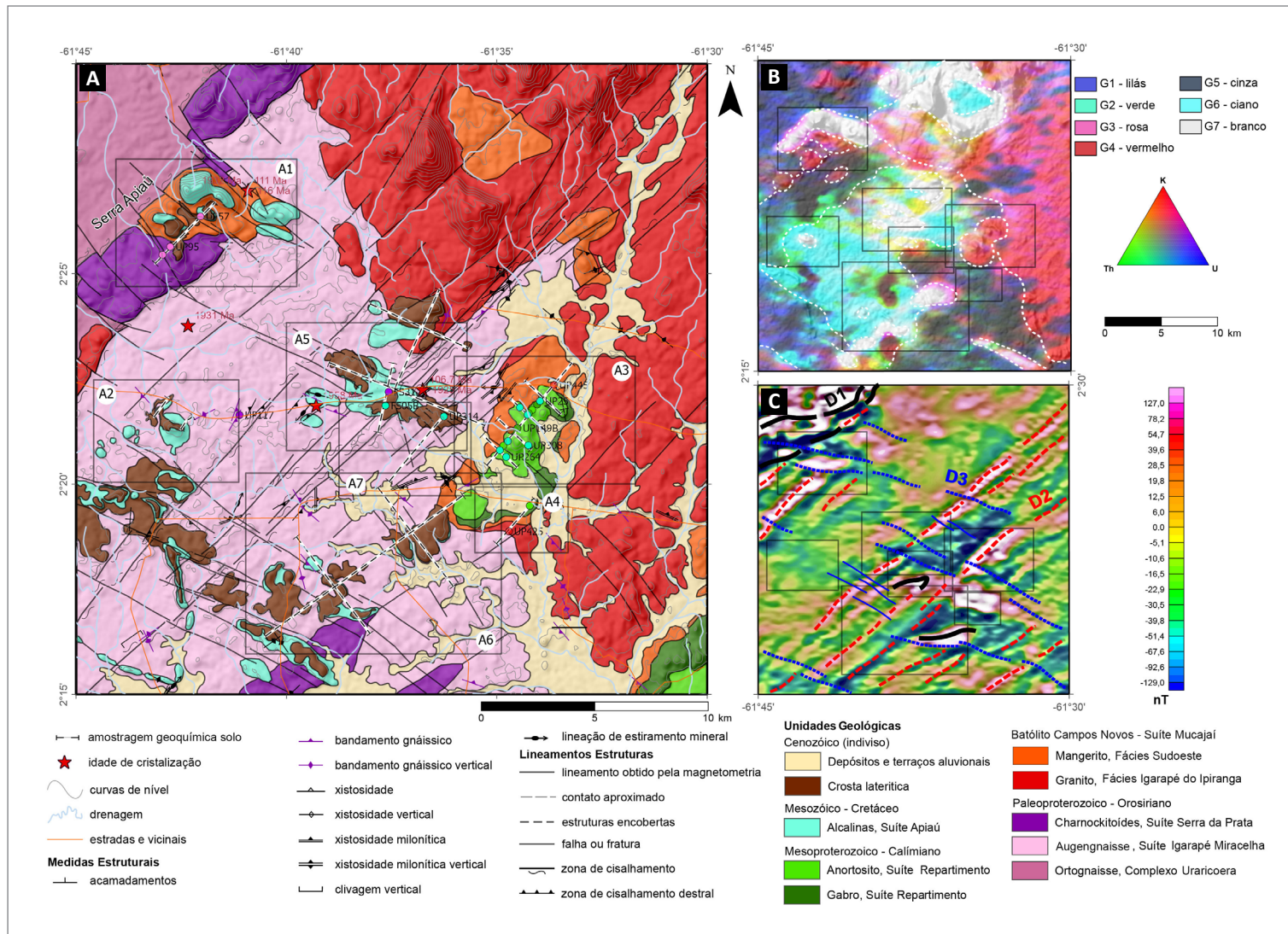
O Complexo AMCG Mucajaí é correlacionado ao Evento Parguaza (1,55-1,53 Ga; Fraga, 2002; Gaudette; Olszewski Jr.; Santos, 1996; Santos *et al.*, 1999; Santos, 2003), ocupando a terminação leste desse cinturão magmático intraplaca. O Complexo Mucajaí compreende um principal batólito e corpos menores de granitos *rapakivi* e de anortositos e gabros aflorantes na região do Rio Repartimento. O Batólito Mucajaí apresenta três litofácies, uma principal e central de biotita-hornblenda granito (pterilitos) e as secundárias de biotita granito e mangerito-sienito (Figura 5), localizados, respectivamente, nas porções nordeste e sudoeste do corpo (Fraga, 2002).

Os corpos do Repartimento intrudem a litofácies mangerito-sienito, porção sudoeste do Batólito Mucajaí, apresentando um núcleo anortosítico (Figura 6) com litofácies de borda de gabronorito e de monzonito-monzodiorito (Heinson, 2012). Esses corpos são relativamente enriquecidos em fosfato (Fraga, 2002), podendo apresentar mineralizações no sistema mineral Fe-Ti-V-P em anortosito, à semelhança, por exemplo, de depósitos como Allard Lake (Charlier *et al.*, 2015) e Puyjalon (Notholt; Sheldon; Davidson, 1989), este último com teores de 17,9 % Fe, 10,8 % TiO<sub>2</sub> e 3,0 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> @ 230.000 toneladas.

A Suíte Apiaú reúne monzonitos, sienitos, nefelina sienitos (Figuras 7a) e enxames de diques de traquitos e fonolitos, caracterizando um magmatismo intracontinental mesozoico, relacionado ao Rifte do Tacutu, interpretado como um aulacógeno NE-SW associado à abertura do Oceano Atlântico (Reis *et al.*, 2006 e demais referências citadas). Essas rochas alcalinas são isotrópicas e intrusivas nos gnaisses e metagranitos do CIRU, ocorrendo, predominantemente, entre o Batólito Mucajaí e a Serra Apiaú e ao longo da Serra do Repartimento (*e.g.* Montalvão *et al.*, 1975; Borges; Souza, 1990; Brandão; Freitas, 1994; Figueiredo; Santos; Tonetto, 2018). Ocorrem associadas às estruturas extensionais e rúpteis NW-SE (zonas de brecha) e E-W (Falha do Repartimento), possuindo zonas de intensa fenitização, bem marcadas em dados radiométricos (Almeida & Oliveira, 2018). Dados geocronológicos (Figuras 7b) definem a cristalização desses corpos entre 116-107 Ma, com heranças do embasamento CIRU de 1958-1925 Ma (Montalvão *et al.*, 1975; Almeida; Oliveira, 2018; Figueiredo; Santos; Tonetto, 2018). Aguiar *et al.* (2019) descreveram diversos alvos associados a mineralizações de veios de tório (*thorium veins*), as quais se somam a mineralizações de cobre (Bonfim *et al.*, 1974) e ocorrências de Ba, P, Nb, Ti e ETR (Borges; Souza, 1990; Camaro, 2017), associadas a rochas alcalinas e a seus produtos de alteração hidrotermal (fenitização) e lateritização ao longo da Serra do Repartimento. Cálculos preliminares permitem estimar uma reserva (subeconômica) de fosfato da ordem de 3,5 milhões de toneladas, com teor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> entre 3-5 % (Borges; Souza, 1990).

A área de estudo, apresenta registro de três eventos deformacionais:

- (a) D<sub>1</sub> = evento interpretado como reliquiar e transposto pelos eventos posteriores, está restrito aos litotipos do embasamento CIRU, associado à colo-



**Figura 3** - (a) Mapa geológico da Folha NA.20-X-C-VI-2, que engloba os alvos de fosfato e elementos terra-raras 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Em (b) e (c) mapas aerogeofísicos de gamaespectrometria – ternário RGB.KThU, e magnetometria – componente residual do campo magnético anômalo, respectivamente.



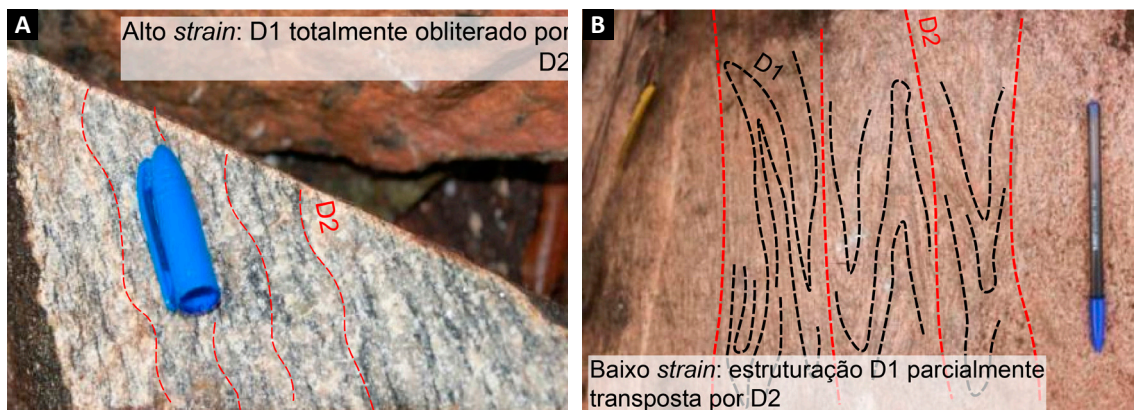
cação sincinemática dos granitoides pós-orogênicos (Fraga, 2002). Quando preservado, é representado por bandamento e foliação gnaiss com atitude geral N60°W subvertical;

(b)  $D_2$  = evento relacionado ao Evento K'mudku (1,4-1,2 Ga, Santos *et al.*, 2006b), que controla a compartimentação geotectônica regional, com *trend* NE-SW, afetando litotipos do embasamento CIRU e do Complexo AMCG Mucajá. Possui domínios de alto *strain*, onde predomina trama de transposição milonítica dextral, com dobras de arrasto (isoclinais e fechadas), clivagem de plano axial e foliação milonítica, e domínios de baixo *strain*, onde são preservadas estruturas prévias da tectônica do embasamento ( $D_1$ ) ou magmática primária ( $S_0$ ) do Complexo AMCG Mucajá (~1,5 Ga);

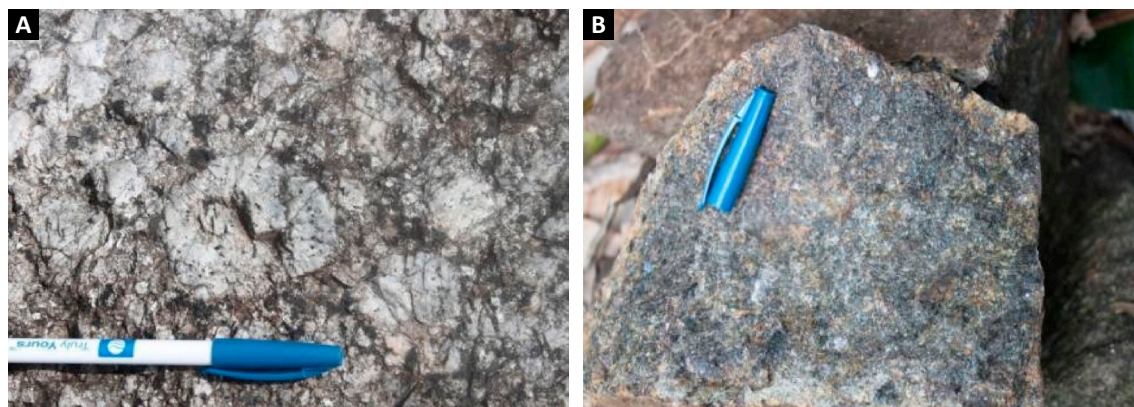
(c)  $D_3$  = evento sobreposto às demais estruturas dúcteis da área, representado por falhas e fraturas que tanto reativam as estruturas pretéritas (NE-SW), quanto geram novas estruturas (NW-SE), esta última

mais intensamente associada à colocação das intrusões alcalinas e a zonas de alteração hidrotermal (Oliveira *et al.*, 2014; Almeida; Oliveira, 2018).

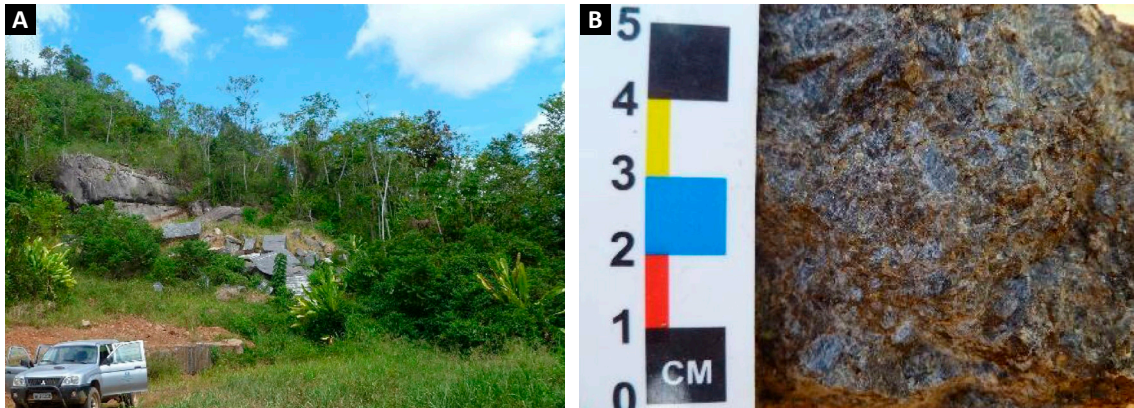
Também, a sul-sudeste da Serra Apiaú, afloram mais raramente brechas hidrotermais, metatufos félsicos silicificados e metariolitos (Figura 8), na forma de escassos blocos de tamanho variado. O primeiro é o litotipo dominante, apresentando matriz de coloração rosada, aspecto maciço, textura equigranular a localmente esferulítica, com matriz microfânica fina, contendo fragmentos/fenocristais de feldspato; recortado por vênulas centimétricas a milimétricas (de 1 mm a 5 mm) de quartzo leitoso, que se entrecortam de modo multidirecional (stockwork). Os metatufos possuem aspecto brechóide, caracterizados por fragmentos de feldspato (10%) subarredondados a subangulosos, de diversos tamanhos, envolvidos por uma matriz bem silicificada, por vezes impregnada por (hidróxido)-óxido de ferro (10%). Também, são observados metatufos de cristal de mesma coloração, apresentando localmente  $S_0$  preservado (N04°E/58°NW).



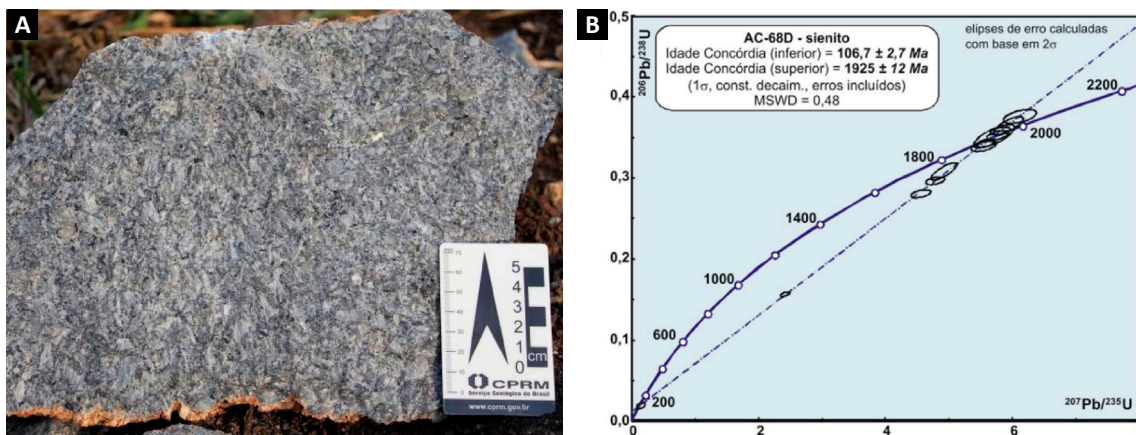
**Figura 4** - Aspecto macroscópico de biotita gnaiss cinza com bandamento local (MA-33). (B) Ortogneiss bandado apresentando dobras intrafoliais e transposição de foliação (plano axial) e locais bolsões graníticos anatéticos (MA-10B).



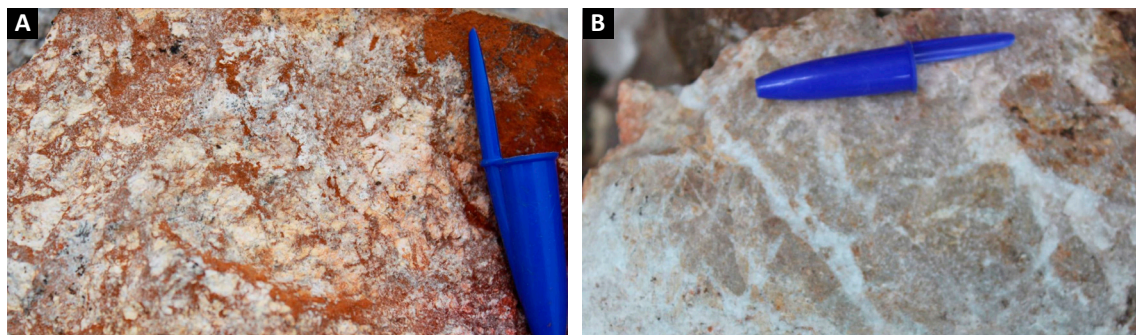
**Figura 5** - A) Granito porfirítico da Suíte Mucajá com textura rapakivi ovóide marcada por abundantes megacristais de alcalifeldspato bem desenvolvidos (MA-07). B) Característica macroscópica de um hiperstênio quartz monzodiorito discretamente foliado (MA-30).



**Figura 6** - Anortositos isotrópicos constituídos por plagioclásio-piroxênio-anfibólio±biotita±magnetita (AC-013-015). Ocorrem na forma de intrusões circulares, na forma de *inselbergs*, circundadas por planícies de inundação (vicinal 14).



**Figura 7** - Aspecto do nefelina sienito e o respectivo diagrama de concórdia (U-Pb em zircão).



**Figura 8** - Aspecto macroscópico de (A) metatufo félsico quartzoso suportado por cristais (MA-15A) e de (B) brecha hidrotermal silicosa com matriz vulcânica/tufo cinerítico (MA-14A).

## 4. CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

### 4.1. HISTÓRICO DAS MINERALIZAÇÕES ASSOCIADAS

A área investigada é marcada por expressivos lineamentos estruturais de direção NE-SW e alguns corpos magnéticos importantes. Esses lineamentos são observados tanto em imagens de radar quanto em mapas aeromagnéticos, registrados em litologias geradas em diferentes estágios da evolução tectônica regional. As rochas alcalinas estão alinhadas, por exemplo, segundo NE-SW, direção também que controla a abertura do *Graben* Tacutu. Essas rochas são descritas desde a região do Rio Essequibo na Guiana (Alcalinas Macarapã), na Serra Tucano (região do *graben do Tacutu*), na foz do Rio Catrimani (Sienito Catrimani), incluindo os *stocks* e diques existentes na região dos rios Apiaú e Ajarani, que constituem alguns dos alvos selecionados para investigação neste trabalho. Já as rochas máficas da associação AMCG Mucajá, aflorantes sobretudo na região a norte da Serra do Repartimento, correspondem a corpos magnéticos subcirculares de poucos quilômetros de extensão, alguns deles contendo fácies enriquecidas em apatita.

Nos últimos anos, destacam-se em nível regional diversos estudos geológicos realizados pelo SGB-CPRM, sobretudo aqueles ligados ao “Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB)”, dentre eles os projetos Serra do Ajarani (1:100.000) – Folha NA.20-X-C-VI (Brandão; Freitas, 1994), e ainda outros realizados em áreas adjacentes, como os projetos Roraima Central (1:500.000) – Folhas NA.20-X e NA.21-V (CPRM, 1999) e Caracará (1:500.000) – Folhas NA.20-Z e NA.21-Y (CPRM, 2000). Além desses, destacam-se os trabalhos de Reis *et al.* (2003) e Fraga (2002), ambos de grande contribuição para um melhor entendimento da geologia da região central do estado de Roraima.

Dentre os estudos mais específicos, cita-se o Projeto Serra do Repartimento, realizado pelo SGB-CPRM (Borges; Souza, 1990), cujo objetivo principal era a investigação dos corpos alcalinos. Nesse trabalho foram identificados sienitos, monzonitos, nefelinitos, basanitos, basaltos, traquibasaltos, fonotefritos, tefritos e foiditos. Diques de composição alcalina e básica/ultrabásica foram observados cortando as rochas do corpo principal. Os trabalhos prospectivos de detalhe foram realizados em uma área de 400m x 600m, situada mais a sudeste da região selecionada no presente estudo, onde foi caracterizado um corpo alcalino fenitizado nas bordas.

Constou de amostragem de solo e abertura de poços e de trincheiras, atingindo principalmente as porções intemperizadas das rochas alcalinas. Vários resultados de análises químicas de rocha mostraram teores anômalos, principalmente, em Ce, La, P, Nb, Sr e Ba, enquanto o levantamento geoquímico de solo evidenciou teores anômalos de P, Ce, La, Yb, Nb, Ti, Ba, Mo, Pb, Sr e F. Foram encontrados teores de 2,0 a 9,5% de  $P_2O_5$ ; 0,5 a 5,0% de  $La_2O_5+CeO_2$ ; 0,3 a 3,0% de  $TiO_2$ ; e 0,1 a 0,5% de  $Nb_2O_5$ . Análises em lateritos mostraram valores elevados em W (50 ppm), Mo (300 ppm), Sr (1.000 ppm), F (1.000 ppm), Ba (5.000 ppm), Y (100 ppm) e V (2.000 ppm). Foram descritos veios milimétricos de carbonato cortando as rochas alcalinas e outras litologias em diversos afloramentos, além de uma dezena de ocorrências de barita na forma de *stockwork*. Apesar do carbonato não ter sido identificado durante a petrografia, a ocorrência de siderita é descrita nos concentrados de bateia (Borges; Souza, 1990). Os dados levantados permitiram quantificar uma reserva da ordem de 3,5 milhões de toneladas de fosfato, com teor variando de 3 a 5% de  $P_2O_5$ .

Outras pesquisas, como as empreendidas pela SOPEMI/De Beers na década de 1980, identificaram 11 corpos de kimberlitos e ou rochas relacionadas, que constituem o *cluster* denominado “Micuim”. Pelas informações disponibilizadas da localização dos corpos, estes mostram-se intrusivos em rochas gnáissicas do embasamento da região, em área próxima a ocorrência das rochas alcalinas e máficas investigadas neste trabalho.

### 4.2. ESTUDOS ORIENTATIVOS

#### 4.2.1. Geoquímica de solo

##### Concentrações regionais de fósforo, elementos terras-raras e Y em horizontes de solo superficiais

Neste trabalho, as concentrações de fósforo dosadas em 710 amostras de solo na região de Campos Novos estão distribuídas em um amplo intervalo, variando entre 50 ppm e 8137 ppm, com mediana  $\approx 792$  ppm (Tabela 1). Esse resultado mostra um enriquecimento neutro a levemente negativo com relação à composição mediana de P na crosta terrestre ( $K \approx 0,44$ ). Os valores de *background* estão limitados entre 153 e 714 ppm, porém o intervalo de alto *background* apresentou maior relevância prospectiva, com concentrações variando entre 714 e 8.137 ppm (Tabela 1).

As concentrações dos elementos terras-raras Ce, La e Yb (obtidas em 1.505 amostras - Tabela 1), Lu, Yb e Tb (obtidas em 1.247 amostras) e Nd, Pr, Gd, Eu, Sm, Tb, Dy, Er, Ho e Tm (obtidas em 795 amostras) apresentaram medianas acima dos valores de referência da crosta terrestre ( $K \approx 1,54-4,68$ ). As concentrações de terras-raras totais (ETRt) atingiram valores notáveis de enriquecimento ( $K \approx 4,75$ ), com variação no intervalo  $\approx 45,4-20.245,9$  ppm. Os valores de *background* naturalmente elevados estão definidos no intervalo  $\approx 299,2-1.043,2$  ppm. Particularmente, o intervalo de alto *background* de  $\approx 1043,21-6736,67$  ppm e a faixa de *outliers* regionais de  $\approx >6.736,67-20.245,93$  ppm merecem destaque. Entretanto, é importante salientar que esses valores estão majoritariamente controlados por um enriquecimento regional em ETRLt ( $\approx 34,9-19.170,5$  ppm), se comparado às concentrações obtidas de ETRMt ( $\approx 2,1-833,3$  ppm) e ETRPt ( $\approx 8,3-242,2$ ). No entanto, ambos ETRLt, ETRMt e ETRPt apresentaram valores maiores que a composição mediana da crosta ( $K \approx 2,46-4,96$ ).

Com valores equiparáveis ou superiores ao ETRPt, o Y apresentou concentração mediana nas amostras analisadas, aproximadamente, 2,5 vezes maior que a mediana da crosta terrestre. No grupo de 1.505 amostras ( $\approx 0,5-545$  ppm), os valores de *background* estão situados em um intervalo de valores de  $\approx 17-81$  ppm, enquanto os valores de alto *background* estão na faixa de  $\approx 81-253$  ppm, com de *outliers* entre 253-545 ppm (Tabela 1).

### **Concentrações regionais de Ti, Nb, Zr, U, Th, Sr e Ba em solos**

Assinatura polimetálica com valores significativos para outros elementos pode ser um resultado esperado

na região, em consequência do desenvolvimento de sistemas magmático-hidrotermais alcalinos, correlacionados à evolução da Suíte Apiaú, importante unidade-alvo deste trabalho.

Nesse sentido, elementos de importância econômica, como Nb ( $\approx 0,27-815$  ppm; mediana  $\approx 54$  ppm), Zr ( $\approx 0,5-9.819$  ppm; mediana  $\approx 987$  ppm), U ( $\approx 0,12-115,8$  ppm; mediana  $\approx 4,8$  ppm) e Th ( $\approx 1,3-2.384$  ppm; mediana  $\approx 30,4$  ppm) apresentaram valores de *background* regionais elevados e acima dos valores medianos crustais ( $K \approx 3,7-7,47$ ; Tabela 1). Adicionalmente, embora com valores medianos iguais ou mais empobrecidos que os valores de referência ( $K \approx 0,04-0,37$ ), os resultados analíticos identificaram concentrações pontualmente significativas de F ( $\approx 5-1.198$  ppm) e Cl ( $\approx 10-10.172$  ppm), marcando a presença de fases hidrotermais correlacionadas ao magmatismo alcalino.

Outra fase hidrotermal tardia e/ou distal pode estar também correlacionada a mineralizações venulares de barita conhecidas na região (e.g. Borges; Souza, 1990) que ocorrem hospedadas em zonas com intenso metasomatismo (e.g. Aguiar *et al.*, 2019). As análises obtidas forneceram concentrações de Ba pontualmente elevadas, situadas entre  $\approx 5$  e 15.000 ppm (mediana  $\approx 275$  ppm), com valores de *background* entre  $\approx 114$  e 530 ppm (Tabela 1). No entanto, o Ba revelou um pequeno empobrecimento com relação a mediana da crosta terrestre (0,60). Da mesma forma, concentrações de Mn ( $\approx 25-20.000$  ppm, mediana  $\approx 498$ , alto *background*  $\approx 1.010-9.668$  ppm), Sr ( $\approx 1-1.210$  ppm, mediana  $\approx 23,2$  ppm) e Ti ( $\approx 100-6000$  ppm, mediana  $\approx 700$  ppm), não menos importantes, definiram localmente anomalias pontuais, porém os conteúdos desses elementos na paisagem local são equiparáveis ou relativamente menores que os valores de referência ( $K \approx 0,07-0,64$ ).

**Tabela 1.** Estimadores estatísticos para elementos com concentrações de interesse econômico comparando com valores de abundância relativa na crosta.

VARIÁVEL	Nº DE OBSERVAÇÕES	MEDIANA (ppm)	MÍNIMO (ppm)	MÁXIMO (ppm)	MÍNIMO NÃO-OUTLIER (ppm)	LIMIAR INFERIOR (ppm)	MÁXIMO NÃO-OUTLIER	LIMIAR SUPERIOR (ppm)	BACKGROUND		ALTO BACKGROUND	ABUNDÂNCIA NA CROSTA (MEDIANA)*	K**
									1º QUARTIL (ppm)	3º QUARTIL (ppm)			
Ce	1505	151,86	3,29	9884,00	7,11	6,74	3519,00	3538,18	69,43	339,80	339,8 - 3538,18	43	3,53
Dy	795	11,77	2,01	114,31	3,22	3,20	47,12	47,18	8,78	17,23	17,23 - 47,18	3,6	3,27
Er	795	8,17	1,97	52,68	2,85	2,43	31,19	31,20	6,35	12,01	12,01 - 31,20	2,1	3,89
Eu	795	1,69	0,18	106,24	0,41	0,41	16,08	16,12	1,09	2,56	2,5 - 16,12	1,1	1,54
Gd	795	9,26	0,98	237,47	2,38	2,32	38,09	38,15	6,65	13,40	13,40 - 38,15	3,7	2,50
Ho	795	2,61	0,51	19,72	0,85	0,85	8,14	9,05	1,94	3,78	3,78 - 9,05	0,77	3,39
La	1505	54,00	1,60	5262,00	2,20	1,62	1474,00	1510,38	23,70	132,90	132,9 - 1510,38	20	2,70
Lu	1247	1,05	0,10	5,76	0,10	0,15	4,60	5,17	0,33	1,56	1,56 - 5,17	0,3	3,50
Nd	795	62,70	3,70	3264,00	7,70	7,47	513,40	514,09	35,90	104,40	104,4 - 514,09	20	3,14
Pr	795	17,15	0,97	899,28	1,66	1,36	158,41	165,05	9,38	31,63	31,63 - 165,05	4,9	3,50
Sm	795	9,90	0,70	465,20	1,70	1,66	53,30	53,62	6,20	14,80	14,80 - 53,62	3,9	2,54
Tb	1247	1,33	0,02	24,34	0,06	0,06	5,43	5,56	1,35	1,94	1,94 - 5,56	0,6	2,22
Tm	795	1,31	0,35	6,95	0,42	0,41	4,19	4,41	1,01	1,84	1,84 - 4,41	0,28	4,68
Yb	1247	6,90	0,05	42,80	0,05	0,05	34,20	35,86	2,20	10,40	10,40 - 35,86	1,9	3,63
ETRLt	795	435,88	34,86	19170,46	34,86	34,71	6722,24	6767,96	253,95	964,43	964,43 - 6767,96	87,9	4,96
ETRMt	795	22,86	2,07	833,25	5,39	5,31	96,83	97,52	15,86	33,13	33,13 - 97,52	9,3	2,46
ETRpt	795	34,47	8,33	242,22	11,57	10,92	103,03	108,54	26,47	50,34	50,34 - 108,54	8,95	3,85
ETRt	795	504,20	45,37	20245,93	58,23	54,83	6736,67	6743,07	299,16	1043,21	1043,21 - 6743,07	106,15	4,75
Y	1505	46,57	0,53	544,74	0,53	0,53	252,67	282,21	17,09	80,51	80,51 - 282,21	19	2,45
Zr	1505	986,50	0,50	9818,80	0,50	0,50	9818,80	18571,10	3,30	2144,50	2144,50 - 18571,10	132	7,47
Nb	1505	53,72	0,27	815,04	0,27	0,27	815,04	1253,16	3,45	129,75	129,75 - 1253,16	8	6,72
Th	1505	30,40	1,30	2384,00	1,30	1,30	2384,00	2391,73	11,50	78,60	78,60 - 2391,73	5,6	5,43
U	1505	4,81	0,12	115,84	0,12	0,12	115,84	117,05	1,33	8,10	8,10 - 117,05	1,3	3,70
P	710	252,00	50,00	8137,00	50,00	50,00	8137,00	8137,00	153,00	774,00	774,0 - 8137	567	0,44
Ti	710	700	100	6000	100	100	3400	3400	400	1100	1100- 3400	4316	0,16
Mn	710	499,00	25,00	20000,00	25,00	9,76	9668,00	9725,39	155,00	1010,00	1010,00 - 9725,39	774,5	0,64
Sr	1505	22,30	1,00	1210,60	1,00	1,00	481,90	337,14	7,60	40,70	40,70 - 337,14	320	0,07
Ba	1505	275,00	5,00	15000,00	12,00	11,77	5226,00	5230,30	114,00	528,00	528,00 - 5230,30	456	0,60
F	795	206,00	15,00	1198,00	39,00	38,53	1198,00	1213,88	142,00	346,00	346,00 - 1213,88	553	0,37
Cl	795	10,00	10,00	10172,00	10,00	10,00	10172,00	10172,00	10,00	121,00	121,00 - 10172,00	244	0,04

\*Valores de Rudnick & Gao (2003). \*\*Mediana resultados/mediana crosta

## 5. CARACTERIZAÇÃO DOS ALVOS

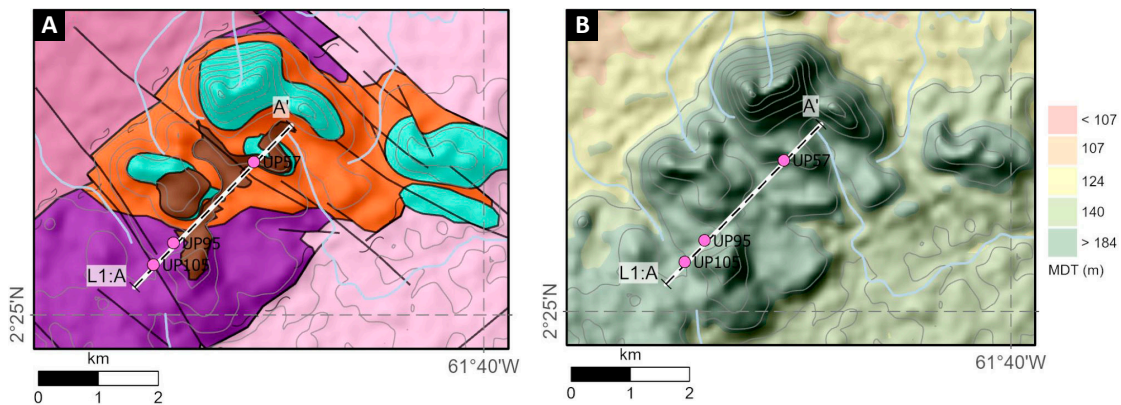
### 5.1. LEVANTAMENTO PROSPECTIVO DO ALVO 1

#### 5.1.1. Geologia

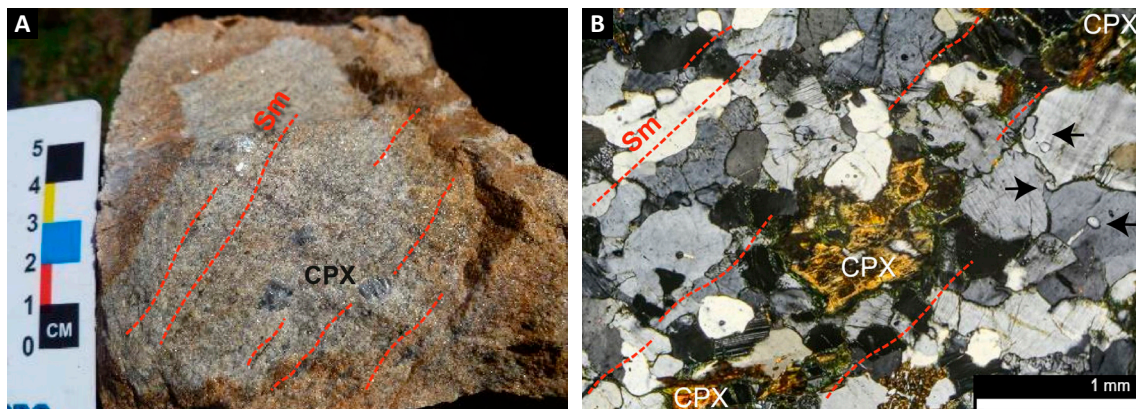
O alvo 1 está localizado na porção noroeste da área de estudo, ao longo da Serra Apiaú (Figura 9a e b). Na região, são encontradas rochas de idade orosiriana, constituídas por ortognaisses (Corpo Fazenda José Pereira) e metagranitoides (Corpo Igarapé do Garimpo) da Suíte Igarapé Miracelha (Lopes *et al.*, 2021), além de charnockitos, gabros e noritos associados, pertencentes à Suíte Serra da Prata (Fraga, 2002). Esse embasamento foi intrudido, no Mesoproterozoico, por corpos da associação AMCG Mucajaí e, no Mesozoico, por corpos e diques alcalinos da Suíte Apiaú, sendo esta última o litotipo hospedeiro, metalotecto do alvo.

Estruturalmente, dois eventos deformacionais superimpostos são distinguidos. O primeiro deles possui estruturação dúctil NE-SW ( $D_n$ ), com importante papel na compartimentação geotectônica regional, representada por foliação e bandamento gnáissicos observados nos litotipos orosirianos (Figura 9) e por zonas de cisalhamento regionais, que também afetam os corpos calimianos (associação AMCG Mucajaí; Figuras 10 e 11).

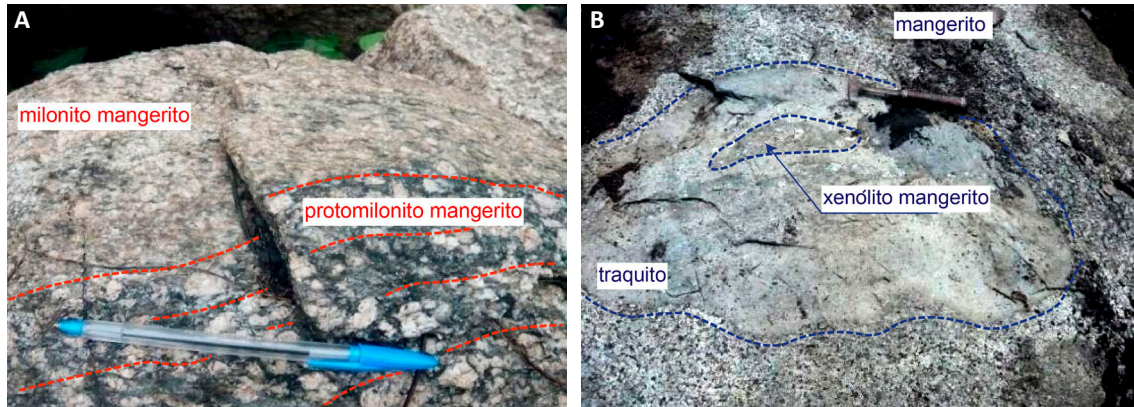
Os litotipos afetados por  $D_n$  mostram metamorfismo compatível com fácies anfibolito (Figura 10a,b). O segundo evento, caracterizado por estruturação rúptil-dúctil NW-SE ( $D_{n+1}$ ), é representado por zonas cataclásticas, falhas e fraturas. As intrusões alcalinas mesozoicas e zonas de fenitização correlacionadas estão associadas a este evento (Figura 11b).



**Figura 9 -** (a) Mapa geológico e (b) Mapa de relevo do Alvo 1, ambos apresentando estações de amostragem para análise geoquímica de solo e de litogeoquímica. Para legenda, vide Figura 3.



**Figura 10 -** (a) Amostra de mangerito deformado com foliação N60°E 70°/SW. (b) Microfotografia da mesma amostra (nicóis cruzados), destacando trama recristalizada quartzo-feldspática poligonal de alta-temperatura e porfiroclastos de orto- e clinopiroxênio (cpx) parcialmente alterados para anfibólio.



**Figura 11** - (a) Zona de cisalhamento NE-SW e (b) Dique traquito com direção NW-SE, que truncam mangeritos da Suíte Mucajaí.

### 5.1.2. Geofísica

No alvo 1, os dados aerogamaespectrométricos, representados pela imagem de composição ternária RGB. KThU, são separados em cinco domínios gamaespectrométricos, os quais possuem boa correlação com os litotipos mapeados (Figura 12a), destacando-se os domínios DG2 e DG3. O domínio a1G7 (cor branca) apresenta valores muito elevados em K, eTh e eU em correlação espacial com corpos alcalinos e zonas de fenitização, enquanto o domínio a1G4 (tons vermelhos) indica enriquecimento em K e correlação com os mangeritos da associação AMCG Mucajaí. Nos dados aeromagnetométricos, representados pela imagem da componente residual do campo magnético anômalo, observa-se trama NE-SW regional (domínios/lineamentos) truncada e deslocada por lineamentos NW-SE (E-W) (Figura 12b), sugerindo uma correlação direta com os eventos D2 e D3.

### 5.1.3. Litoquímica

A litoquímica das amostras coletadas no perfil realizado no alvo 1 mostra gnaisses charnockítico (UP-105) e enderbítico (UP-95) da Suíte Serra da Prata, com anomalias negativas para Ta, Sr e Ti em diagrama de variação multielementar (Figura 13a) normalizado ao condrito de Thompson (1982). Ocorre, ainda, enriquecimento local em Th (~350x o condrito) e valores de P entre 1.450 e 1.400 ppm (~30x o condrito). Essas rochas possuem, ainda, padrões de terras-raras similares ao de rochas calcioalcalinas, com anomalias negativas de Eu e fracionamento moderados, além de somatório total inferior a 500 ppm (490-430 ppm, Figura 13b).

No mesmo alvo, uma amostra de mangerito (UP-57), pertencente à associação AMCG Mucajaí, também, apresenta anomalias negativas para Ta, Sr e Ti em diagrama de variação multielementar (Figura 14a), à semelhança dos gnaisses de mesma composição da Suíte Serra da Prata,

mostrando igualmente algum enriquecimento em Th. São observados enriquecimento em Zr e Hf (~100x a 150x o condrito), indicando maior presença de fases acessórias como zircão. O padrão de terras-raras (Figura 14b) e seu somatório (~400 ppm) mostram muita semelhança com aqueles dos gnaisses de composição similar, pertencentes à Suíte Serra da Prata. O valor de P atinge 1.800 ppm, equivalendo a cerca de 40x os valores condriticos. A relação entre o P e os elementos terras-raras nas rochas analisadas pode ser observada também no diagrama da Figura 15.

### 5.1.4. Geoquímica de solo

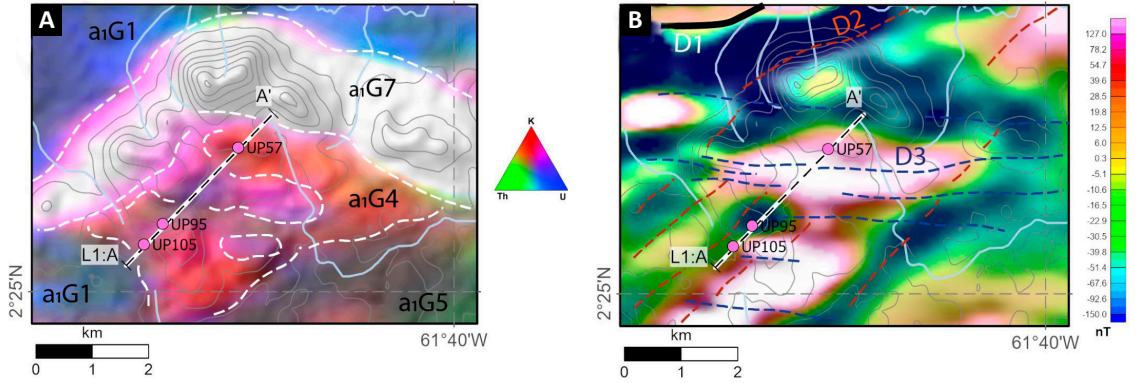
#### Prospecção de fosfato

#### Linha 1

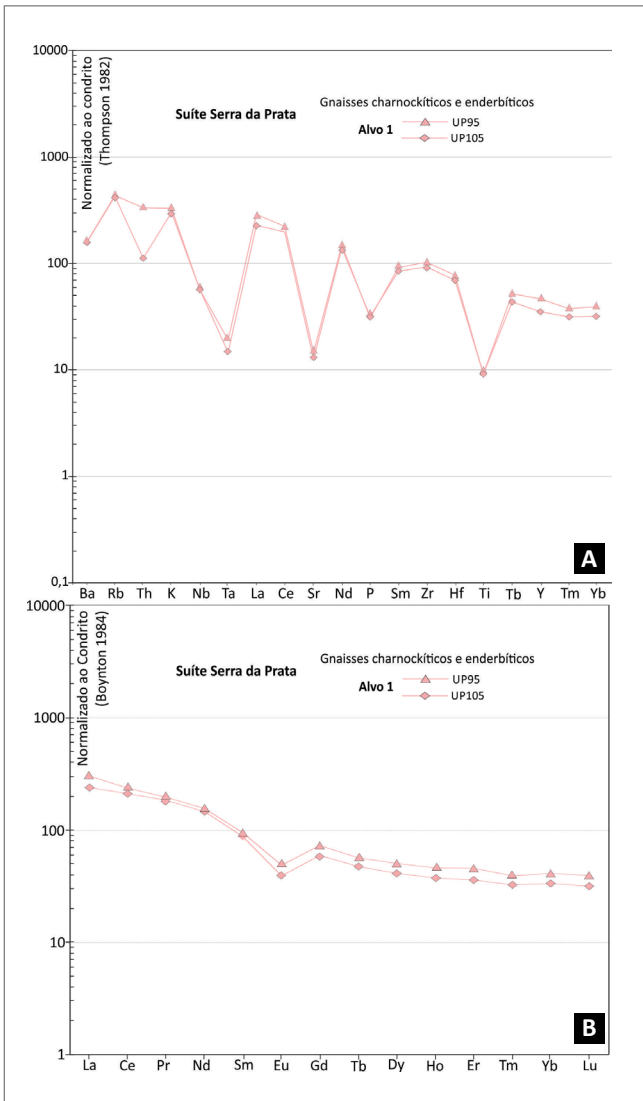
As amostras na linha 1 foram coletadas em horizontes de solos residuais com variado grau de latossolização, desenvolvidos majoritariamente sobre o regolito da Suíte Apiaú e, subordinadamente, sobre a associação AMCG Mucajaí e a Suíte Serra da Prata. Os resultados obtidos não demonstraram favorabilidade para mineralizações de fosfato, ou qualquer outro mineral associado, em nenhuma dessas unidades.

As análises revelaram concentrações de P inexpressivas (57–298 ppm), com valores situados entre os intervalos de *background* e baixo *background* regionais (Tabela 2 e Figura 16; comparar com Tabela 1 – Estudos orientativos).

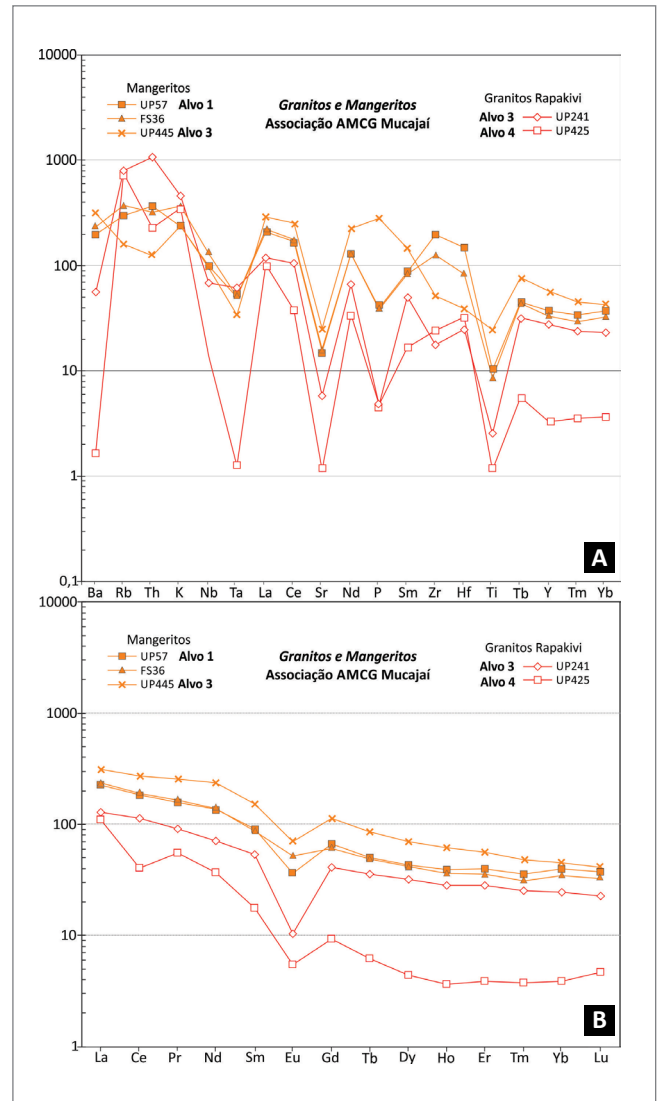
Os demais elementos analisados apresentaram concentrações muito baixas nos horizontes de solo analisados, quer seja devido aos *backgrounds* herdados do substrato litológico, quer seja devido aos processos de lixiviação ligados à evolução do regolito. Para alguns elementos mais susceptíveis a mobilidade química (e.g. Na, Se, B, Bi, Cd, Ge, As, Ag, K, In, Mg e Ca), possivelmente a lixiviação do perfil de intemperismo pode ter sido o mecanismo controlador das baixas concentrações encontradas.



**Figura 12** - Mapas aerogeofísicos do alvo 1: (a) imagem de componente residual do campo magnético anômalo e (b) imagem gamaespectrométrica de composição ternária RGB.KThU, com relevo sombreado do MDT.SRTM. Ambos apresentando estações de amostragem para análise geoquímica de solo e de litogeoquímica. Para legenda, vide Figura 3.



**Figura 13** - Suíte Serra da Prata: (a) Diagrama de variação multielementar, normalizado ao condrito de Thompson (1982); (b) Diagrama de elementos terras raras, normalizado ao condrito de Boynton (1984).



**Figura 14** - Granitos rapakivi e mangeritos da associação AMCG Mucajaí: (a) Diagrama de variação multielementar, normalizado ao condrito de Thompson (1982); (b) Diagrama de elementos terras-raras, normalizado ao condrito de Boynton (1984).



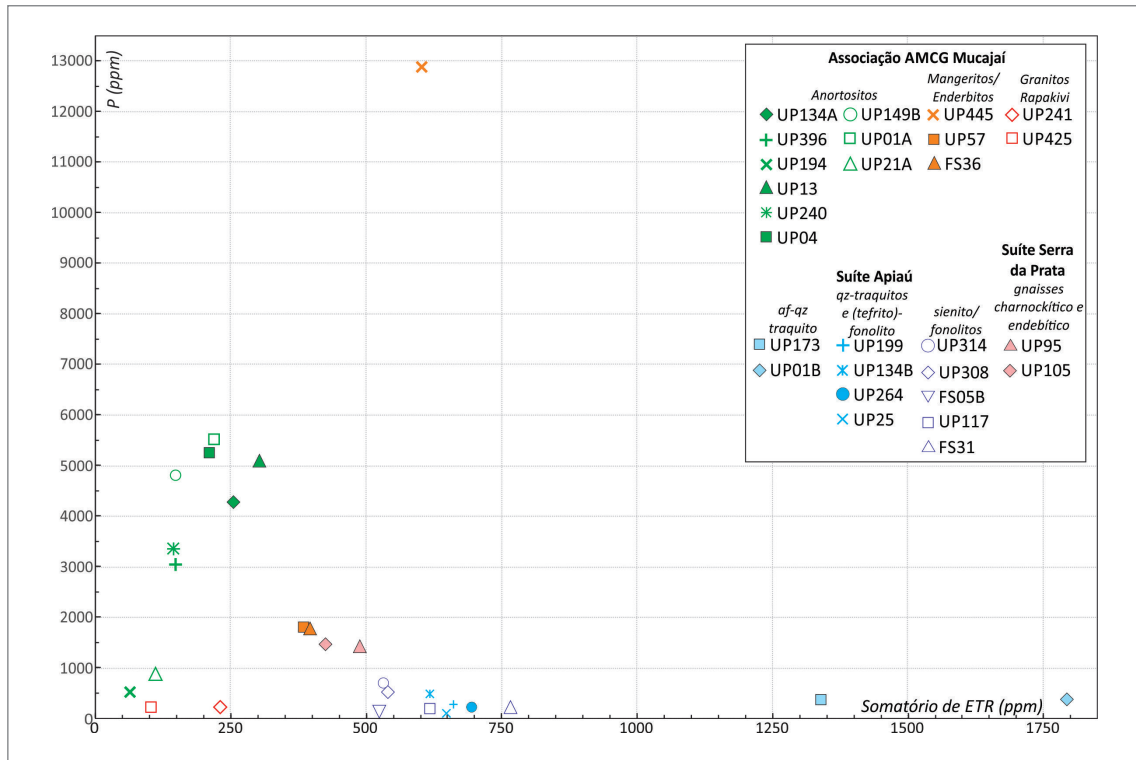


Figura 15 - Diagrama de P versus somatório de elementos terras-raras para as rochas coletadas nos perfis realizados nos alvos 1 a 5.

Tabela 2. Estatística descritiva para concentrações de fósforo na linha 1, alvo 1.

VARIÁVEL	Nº DE OBSERVAÇÕES	MEDIANA (ppm)	MÍNIMO (ppm)	MÁXIMO (ppm)	MÍNIMO NÃO-OUTLIER	LIMIAR INFERIOR (ppm)	MÁXIMO NÃO-OUTLIER (ppm)	LIMIAR SUPERIOR (ppm)	BACKGROUND		BACKGROUND SUPERIOR (ppm)
									1º QUARTIL (25%) (ppm)	3º QUARTIL (75%) (ppm)	
P	74	136	57	298	57	34	298	313	103	183	183–313

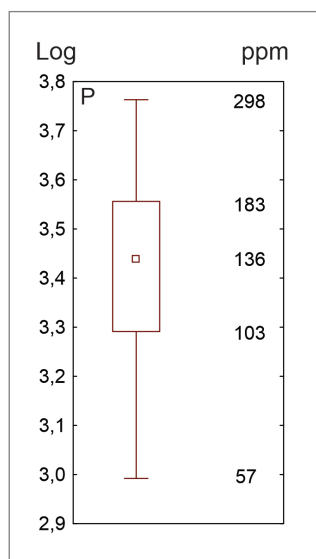


Figura 16 - Diagrama de caixa para concentrações de P. Valores com transformação logarítmica. Na direita do diagrama, valores originais em ppm para comparação.

Por consequência, concentrações de elementos nas proximidades dos limites de detecção, com distribuição de valores em patamares, definirão índices de correlação com P inconsistentes ou de interpretação duvidosa (Tabela 3).

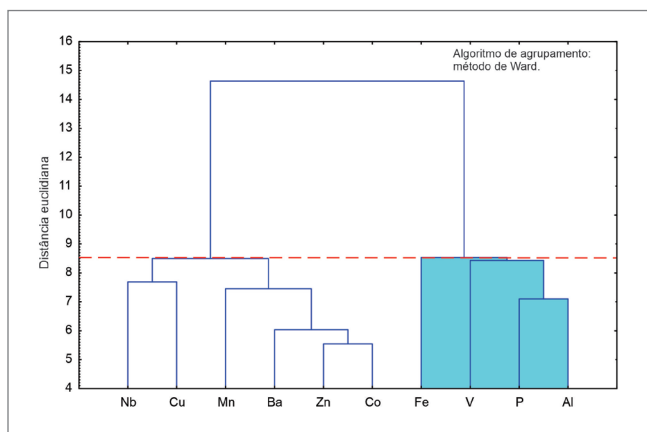
Uma análise de agrupamentos foi realizada considerando as variáveis que apresentaram com fósforo índices de correlação >0,57. Nesse modelo, o P apresentou afinidade geoquímica com Fe, V e Al (Figura 17) com os quais formou agrupamento na distância de ligação de ≈8,5.

Confrontado com um modelo de análise fatorial a dois fatores (Tabela 4) e utilizando as mesmas variáveis, o resultado foi satisfatoriamente confirmado. Considerando significativas as cargas das variáveis nos fatores > 0,7, o fator 2 definiu a associação geoquímica Fe-P e o fator 1 a associação geoquímica Co-Zn-Ba-Mn.

Um incremento nos valores da curva de P marca o corpo alcalino a NW do perfil geológico-geoquímico (Figura 18). Uma parte desse domínio é marcada por picos isolados de Fe, V, Al, Co, Ba, Zn e Cu.

**Tabela 3.** Índices de correlação de Spearman para variáveis selecionadas no alvo 1, linha 1. Índices de correlação > 0,57 (fortes a moderados) entre P e demais variáveis estão destacados em vermelho.

Nº DE OBSERVAÇÕES	ÍNDICES DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN	
	ELEMENTOS	P
74	Ag	-0,33
74	Al	0,57
74	As	0,28
74	Ba	0,57
74	Be	0,61*
74	Bi	-0,15
74	Ca	0,37
74	Cd	0,40
74	Ce	0,34
74	Co	0,68
74	Cr	0,58*
74	Cs	0,44
74	Cu	0,59
74	Fe	0,63
74	Ga	0,54
74	Ge	0,37
74	Hf	0,03
74	Hg	0,12
74	In	0,50
74	K	0,37
74	La	0,33
74	Li	0,41
74	Mg	0,49
74	Mn	0,59
74	Mo	0,41
74	Nb	0,62
74	Ni	0,55*
74	P	1,00
74	Pb	0,40
74	Rb	0,48
74	S	0,67*
74	Sb	0,48
74	Sc	0,47
74	Se	-0,03
74	Sn	-0,07
74	Sr	0,54
74	Th	0,30
74	Ti	0,54
74	U	0,41
74	V	0,65
74	W	0,21
74	Y	0,37
74	Zn	0,67
74	Zr	-0,18



**Figura 17** - Diagrama de P versus somatório de elementos terras-raras para as rochas coletadas nos perfis realizados nos alvos 1 a 5.

**Tabela 4.** Resultado da análise fatorial no conjunto amostral do alvo 1. Nesse modelo, as cargas das variáveis nos fatores >0,7 foram consideradas significativas .

VARIÁVEL	F1	F2
Co	0,8588	0,2979
Cu	0,6578	0,3667
Fe	0,0351	0,7815
Nb	0,6366	0,3818
P	0,5119	0,7813
V	0,3581	0,6003
Zn	0,8220	0,3054
Ba	0,8658	0,0793
Mn	0,7017	0,3140
Al	0,3396	0,6000
Autovalores	5,5071	1,0016
% de variância total	55,0711	10,0157
Autovalores acumulados	5,5071	6,5087
% de variância total acumulada	55,0711	65,0868

Método de extração dos fatores: principais componentes  
 Método de análise dos principais fatores: máxima verossimilhança entre fatores  
 Rotação: Varimax normalizada

Apesar das evidências geoquímicas, as concentrações inexpressivas de P, fornecidas pelos resultados analíticos, não justificam, nem demonstram favorabilidade desse alvo ou das unidades geológicas envolvidas nos levantamentos para hospedarem mineralizações de fosfato (Figura 18). Concentrações de Ce (<200 ppm), La (<30 ppm) e Y (<17 ppm), obtidas nesse alvo, também não indicam, nessa primeira avaliação, relevância prospectiva para ETR (ver Figura 18). A SE dos perfis geológico-geoquímicos, picos isolados de P, Nb, Fe e V, sobre a Suíte Serra da Prata, sugerem possíveis lentes de minerais pesados, depositados em planície colúvio-aluvionar,

não identificadas em campo. Esses depósitos sedimentares podem ser favoráveis para formação de concentrações econômicas de minerais de terras-raras e óxidos, como ilmenita e rutilo. Na porção NW dos perfis geológico-geoquímicos, incrementos pontuais de Ti, nos latossolos e couraças lateríticas desenvolvidos sobre a associação AMCG Mucajá (granitos rapakivi/mangeritos), acompanhados de incrementos menos expressivos em Al, Mn, Co e Zn, podem estar associados à formação de depósitos supergênicos de titânio (anatásio).

## 5.2. LEVANTAMENTO PROSPECTIVO DO ALVO 2

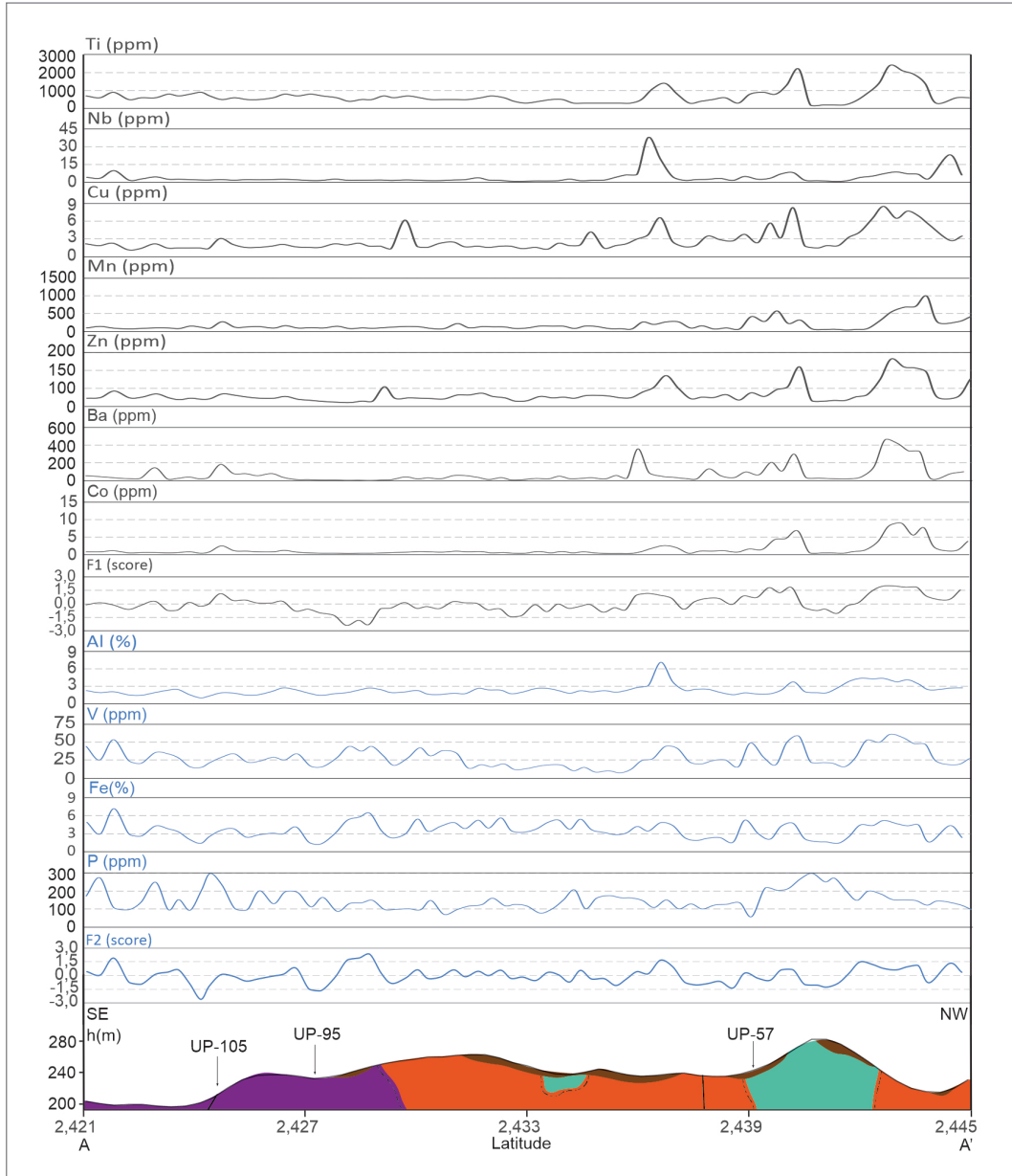
### 5.2.1. Geologia

O alvo 2 está localizado na porção oeste da área de estudo (Figura 19a,b), onde ocorrem diversos pequenos corpos plutônicos a subvulcânicos sieníticos, sequências vulcanoclástica e de brechas vulcânicas e diques de composição fonolítica a traquítica. Todos esses litotipos alcalinos são reunidos no magmatismo mesozoico da Suíte Apiaú, intrusivo nos ortognaisses da Suíte Igarapé Miracelha. Ocorrem, ainda, amplos horizontes lateríticos predominantemente associados aos litotipos alcalinos.

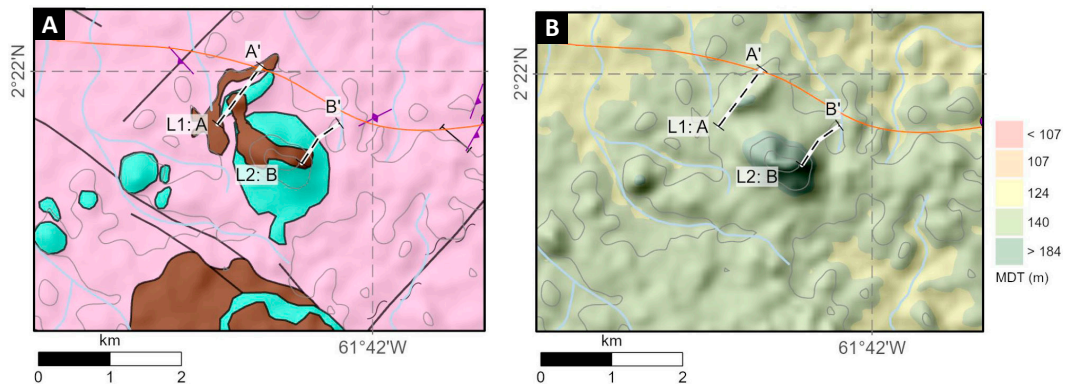
O embasamento Igarapé Miracelha apresenta augen gnaisses granodioríticos com estruturação dúctil NE-SW ( $D_n$ ), representada por foliação de atitude  $N70^\circ-50^\circ E 80^\circ/SW$  e zonas de cisalhamento de alta temperatura, que é sobreposta por falhas e fraturas tardias com direção predominante NW-SE ( $D_{n+1}$ ). Nas rochas alcalinas não há registro de deformação dúctil, sendo observada apenas deformação rúptil (rúptil-dúctil), com atitude predominantemente NW-SW e subordinadamente NE-SW. Essa fase deformacional é materializada por zonas cataclásticas, algumas com alteração hidrotermal associada, e diques alcalinos com direção preferencial NE-SW. Comumente, esses litotipos alcalinos deformados apresentam estágio de intemperismo avançado, com formação de horizontes de lateritos maduros nodulares.

### 5.2.2. Geofísica

Na área do alvo 2, os dados aerogamaespectrométricos, representados pela imagem de composição ternária RGB.KThU, são separados em três domínios gamaespectrométricos, os quais possuem boa correlação com os litotipos mapeados (Figura 20a), com destaque para os domínios a2G7 e a2G3. O domínio a2G6 (tons ciano) indica enriquecimento de eTh e eU em relação a K e correlação com rochas alcalinas alteradas (zonas de fenitização) e, comumente, com desenvolvimento de solo e até horizonte laterítico, por outro lado, o domínio a2G7 (cor branca) apresenta valores muito elevados em K, eTh e eU, e correlação com corpos alcalinos aflorante.



**Figura 18** - Perfis geológico-geoquímicos, linha 1, alvo 1. Legenda do perfil geológico, conforme mapa regional (Figura 3). Setas no perfil geológico correspondem a amostras de rocha mencionadas no texto.



**Figura 19** - (a) Mapa geológico e (b) Mapa de relevo do Alvo 2, ambos apresentando estações de amostragem para análise geoquímica de solo e de litogeoquímica. Para legenda, vide Figura 3.

Nos dados aeromagnetométricos, representados pela imagem da componente residual do campo magnético anômalo, o contraste magnético é muito baixo, sendo discreta uma trama NW-SE, de baixo magnético cruzando a área, possivelmente associada às zonas de fenitização que percolam falhas e fraturas  $D_{n+1}$  (Figura 20b).

### 5.2.3. Geoquímica de solo

#### Prospecção de Elementos Terras-Raras

##### Linha 1

As amostras de solo coletadas na linha 1 do alvo 2 revelaram concentrações de elementos de terras-raras totais (ETRt) variando no intervalo entre  $\approx 354$ - $2.472$  ppm (Tabela 5, Figura 21).

Os elementos terras-raras leves (ETRL) mostraram ser mais abundantes, apresentando concentrações entre  $\approx 837$ - $2.425$  ppm. As concentrações de elementos terras-raras médias e pesadas, obtidas na linha 1,

são subordinadas e relativamente inexpressivas (ETRMt  $\approx 15$ - $44$  ppm e ETRPt  $\approx 18$ - $46$  ppm). As amostras analisadas forneceram concentrações de Y igualmente baixas ( $\approx 40$ - $111$  ppm), porém nominalmente maiores que as concentrações de ETRPt. As amostras na linha 1, também, apresentaram concentrações significativas de Zr ( $\approx 758$ - $3.059$  ppm) e Ba ( $\approx 526$ - $1.541$  ppm). As concentrações de Th ( $\approx 57$ - $144$  ppm), U ( $\approx 3$ - $8$  ppm), Nb ( $\approx 96$ - $263$  ppm) e F ( $\approx 440$ - $650$  ppm) obtidas são moderadas, porém merecem atenção pela associação espacial com ETRL. Entre os elementos analisados, Tl e Cl não foram validados, pois apresentaram concentrações iguais ou menores que o valor do limite de detecção da metodologia utilizada.

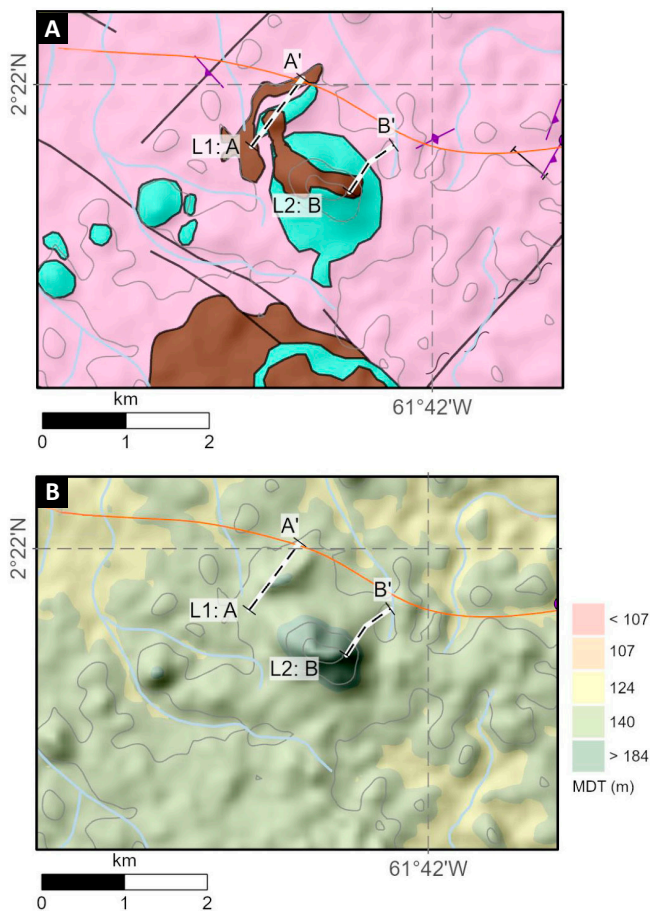
Com relação às variáveis validadas para análise estatística, os ETRL apresentaram índices de correlação muito fortes com Be, Ba, U, com a maioria dos ETRM, com Th, Nb, Ta e alguns ETRP como Yb, Tm, Lu. Os ETRM apresentaram índices de correlação fortes a muito fortes com Y e W e fortes a moderados com Sr, Th, U e Ba (Tabela 6). Os ETRP apresentaram índices de correlação fortes a muito fortes entre si e com Y, Ba, Sr, Ta, Nb, Th, U e W.

Associações geoquímicas entre ETRLt, ETRMt e ETRPt e elementos com os quais estas variáveis apresentaram índices de correlação fortes ou muito fortes foram testadas por análise de agrupamentos (Figura 22).

Os resultados dessa análise indicam que nos horizontes de solos amostrados, os ETRL apresentam afinidades geoquímicas com outros elementos, distintas dos ETRM e ETRP. Com relação aos ETRL, nas distâncias de ligação 3,0 e 3,9, os agrupamentos formados (em roxo e azul médio) esboçam a associação geoquímica ETRLt-U-( $\pm$ Ba $\pm$ Ta). Nas distâncias de ligação 3,2, 4,4 e 4,8 os agrupamentos em roxo, azul médio e azul-claro indicam a associação geoquímica ETRPt-ETRMt-Y-Be-( $\pm$ Sr $\pm$ W $\pm$ Th).

No regolito desenvolvido sobre as rochas alcalinas da Suíte Apiaú, na parte central dos perfis geológico-geoquímicos (Figura 23), o incremento nas concentrações de F, sugere que o enriquecimento em voláteis seria uma assinatura geoquímica reliquiar. Pelo menos localmente, a assinatura geoquímica dessas rochas é complementada pelo enriquecimento em ETRMt, ETRPt, Y, Be, Sr, W e Th.

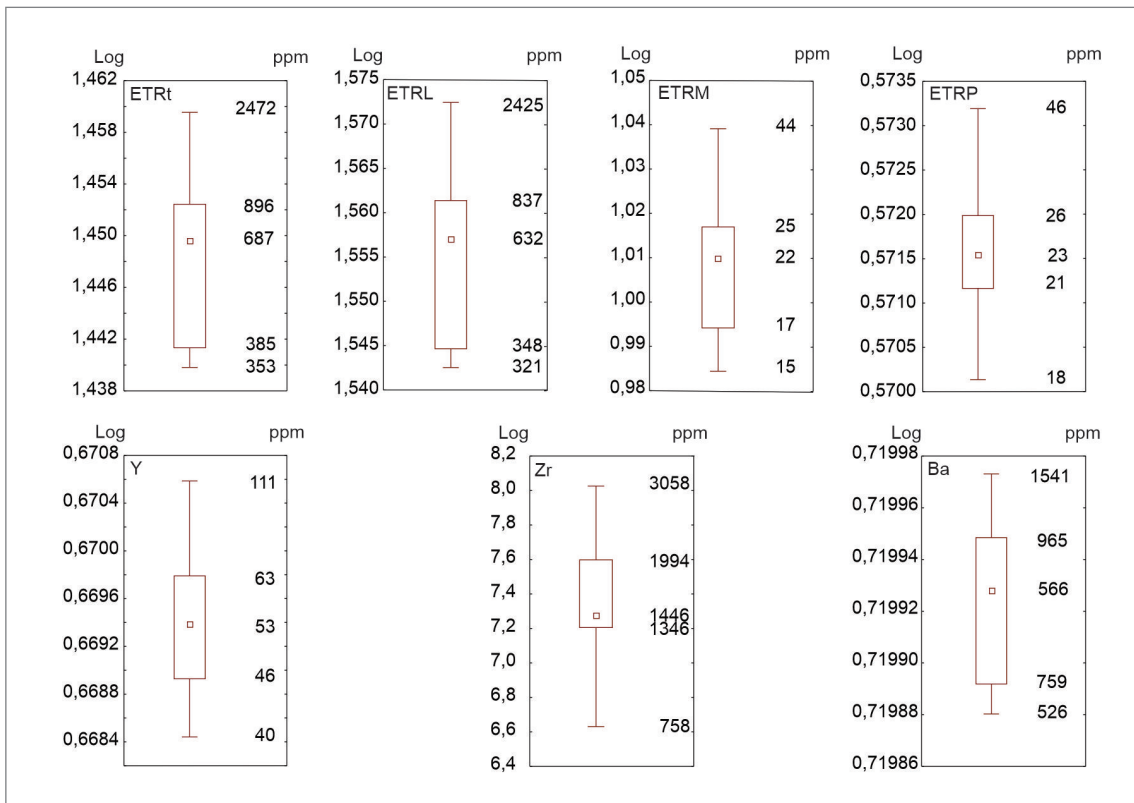
Próximo à extremidade SE dos perfis geológico-geoquímicos (Figura 23), um incremento nas concentrações de ETLt, U, Ta, Nb, Zr, Ba e F remete à herança geoquímica de uma fase magmático-hidrotermal tardia, que teria produzido o metassomatismo das rochas encaixantes. Essa fase, supostamente, controlou a gênese de mineralizações de barita conhecidas na região e, possivelmente, favoreceu a remobilização e precipitação de novas assembléias de minerais portadores de ETR. A forma de relevo local, caracterizada por colina com suave inclinação, pode ter controlado uma parcela do enriquecimento em Zr e Nb ( $\pm$ Ta), com a formação de depósitos secundários de minerais pesados, durante transporte e acúmulo secular de sedimentos. Parte desses solos transportados foram posteriormente lateritizados, dificultando sua identificação em campo.



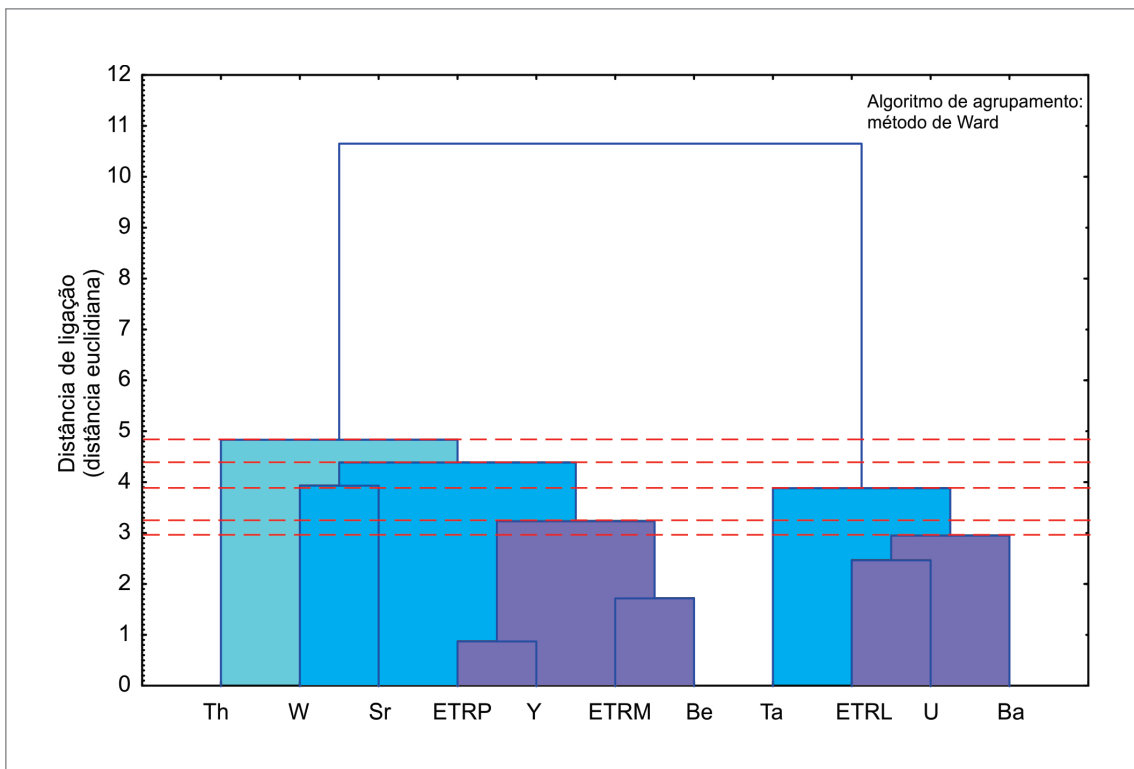
**Figura 20** - Mapas aerogeofísicos do alvo 2: (a) imagem de componente residual do campo magnético anômalo e (b) imagem de composição ternária RGB.KThU, com relevo sombreado do MDT.SRTM. Ambos apresentando estações de amostragem para análise geoquímica de solo e de litogeoquímica. Para legenda, vide Figura 3.

**Tabela 5.** Estatística descritiva para concentrações de ETR, Y e demais elementos com concentrações significativas no alvo2, Linha 1.

	Nº DE OBSERVAÇÕES	MEDIANA (ppm)	MÍNIMO (ppm)	MÁXIMO (ppm)	MÍNIMO NÃO-OUTLIER (ppm)	LIMIAR INFERIOR ppm)	MÁXIMO NÃO-OUTLIER (ppm)	LIMIAR SUPERIOR ppm)	BACKGROUND		ALTO BACKGROUND (ppm)
									1º QUARTIL (ppm)	3º QUARTIL (ppm)	
Ce	21	290,70	156,90	1780,00	156,90	154,35	1780,00	1823,30	176,30	490,00	490-1823,30
La	21	188,60	104,70	464,00	104,70	97,76	464,00	502,33	112,00	265,00	265-502,33
Pr	21	23,10	12,90	46,30	12,90	7,73	46,30	65,63	15,20	33,70	33,7-65,62
Nd	21	82,80	45,60	158,30	45,60	30,93	158,30	207,63	49,50	118,60	118,6-207,62
ETRL	21	632,40	320,60	2425,00	320,60	315,84	2425,00	2477,18	348,40	836,60	836,6-2477,17
Sm	21	9,90	6,10	20,00	6,10	4,39	20,00	26,30	6,70	12,70	12,7-26,29
Eu	21	2,30	1,50	4,90	1,50	0,43	4,90	8,13	1,70	2,60	2,6-8,12
Gd	21	7,90	5,90	16,50	5,90	5,83	16,50	17,44	7,10	9,80	9,8-17,44
Tb	21	1,22	1,04	2,55	1,04	1,00	2,55	5,30	1,16	1,56	1,56-5,29
ETRM	21	21,70	14,90	44,00	14,90	14,53	44,00	46,54	16,90	24,80	24,8-46,53
Dy	21	8,40	6,30	16,30	6,30	6,20	16,30	17,11	7,30	10,10	10,1-17,11
Ho	21	1,80	1,40	3,50	1,40	0,81	3,50	5,57	1,50	2,10	2,1-5,56
Er	21	5,50	4,20	11,10	4,20	4,18	11,10	11,92	5,00	6,20	6,2-11,92
Tm	21	0,89	0,60	1,72	0,72	1,11	1,10	18,84	0,77	0,91	0,91-18,83
Yb	21	6,10	4,10	11,80	4,10	4,05	11,80	14,02	5,30	6,90	6,9-14,02
Lu	21	0,90	0,61	1,76	0,61	0,69	1,76	7,04	0,79	1,05	1,05-7,03
ETRP	21	23,16	17,87	46,23	17,87	17,86	46,23	46,50	21,45	26,30	26,3-46,50
ETRT	21	687,31	353,32	2471,95	353,32	349,23	2471,95	2500,15	384,90	896,44	896,44-2500,15
Y	21	53,24	40,08	111,13	40,08	40,03	111,13	111,53	45,70	63,11	63,11-111,52
Zr	21	1446,70	758,00	3058,50	758,00	756,21	3058,50	3692,84	1345,70	1993,70	1993,7-3692,83
Ba	21	566,00	526,00	1541,00	526,00	525,93	1541,00	1541,19	759,00	965,00	965-1541,18
Th	21	78,60	57,10	144,20	57,10	57,09	144,20	144,94	70,80	88,50	88,5-144,94
U	21	4,38	3,50	8,03	3,50	3,35	8,03	8,95	4,13	6,55	6,55-8,95
Nb	21	120,74	96,07	262,80	96,07	96,06	262,80	262,85	110,92	190,39	190,39-262,84
F	21	369,00	184,00	650,00	184,00	57,69	650,00	997,41	284,00	440,00	440-997,40
Be	21	1,80	1,10	3,20	1,10	1,00	3,20	4,18	1,40	2,20	2,2-4,18
Ga	21	13,00	1,50	20,90	6,70	2,26	19,20	20,19	10,80	14,70	14,7-20,19
Rb	21	45,80	27,20	66,40	27,20	24,02	66,40	68,97	37,60	49,70	49,7-66,4
Sr	21	148,40	83,10	436,50	83,10	81,57	436,50	442,87	103,70	211,90	211,9-442,86



**Figura 21** - Diagramas de caixa para concentrações de ETR totais, ETRL, ETRM e ETRP, Y, Zr e Ba no alvo2.



**Figura 22** - Dendrograma para variáveis selecionadas no alvo 2, linha 1. As linhas horizontais pontilhadas indicam as análises dos agrupamentos para distâncias de ligação analisadas, conforme exposto no texto.

**Tabela 6.** Índices de correlação de postos de Spearman para variáveis válidas.

	CE	DY	ER	EU	GD	HO	LA	LU	ND	PR	SM	TB	TM	YB	ETRLT	ETRMT	ETRPT	ETRT
Ba	0,78	0,13	0,34	0,68	0,51	0,23	0,78	0,67	0,81	0,79	0,74	0,26	0,49	0,67	0,79	0,7	0,34	0,81
Be	0,69	0,73	0,9	0,9	0,93	0,81	0,75	0,85	0,75	0,74	0,83	0,84	0,89	0,86	0,71	0,9	0,89	0,72
Ce	1	0,17	0,49	0,81	0,59	0,29	0,95	0,77	0,95	0,96	0,89	0,33	0,64	0,78	0,99	0,8	0,48	0,99
Co	0,57	-0,29	-0,06	0,25	0,09	-0,18	0,56	0,41	0,58	0,56	0,43	-0,18	0,08	0,38	0,56	0,26	-0,04	0,54
Cs	-0,4	-0,3	-0,45	-0,49	-0,4	-0,33	-0,44	-0,47	-0,39	-0,4	-0,46	-0,36	-0,49	-0,5	-0,4	-0,46	-0,41	-0,4
Cu	-0,43	-0,07	-0,29	-0,27	-0,22	-0,18	-0,47	-0,48	-0,33	-0,43	-0,34	-0,16	-0,37	-0,44	-0,43	-0,29	-0,27	-0,45
Dy	0,17	1	0,91	0,65	0,86	0,97	0,22	0,5	0,3	0,27	0,5	0,98	0,78	0,53	0,21	0,68	0,91	0,22
Er	0,49	0,91	1	0,83	0,92	0,95	0,56	0,78	0,58	0,57	0,73	0,96	0,95	0,8	0,53	0,84	1	0,54
Eu	0,81	0,65	0,83	1	0,88	0,71	0,82	0,82	0,87	0,85	0,96	0,75	0,89	0,85	0,84	0,98	0,83	0,84
Ga	-0,4	0,22	-0,11	-0,21	0	0,06	-0,57	-0,59	-0,42	-0,48	-0,3	0,12	-0,26	-0,55	-0,43	-0,17	-0,1	-0,44
Gd	0,59	0,86	0,92	0,88	1	0,9	0,61	0,72	0,69	0,67	0,8	0,93	0,87	0,75	0,61	0,92	0,94	0,62
Hf	0,28	-0,39	-0,2	-0,04	-0,19	-0,27	0,36	0,38	0,3	0,35	0,14	-0,32	0	0,33	0,29	-0,01	-0,18	0,3
Ho	0,29	0,97	0,95	0,71	0,9	1	0,36	0,64	0,42	0,41	0,59	0,98	0,86	0,67	0,33	0,75	0,97	0,35
La	0,95	0,22	0,56	0,82	0,61	0,36	1	0,87	0,95	0,97	0,89	0,38	0,7	0,88	0,97	0,81	0,55	0,97
Lu	0,77	0,5	0,78	0,82	0,72	0,64	0,87	1	0,83	0,86	0,84	0,62	0,89	0,99	0,81	0,83	0,78	0,82
Nb	0,5	-0,04	0,22	0,32	0,17	0,12	0,65	0,71	0,55	0,61	0,43	0,06	0,4	0,69	0,54	0,34	0,22	0,55
Nd	0,95	0,3	0,58	0,87	0,69	0,42	0,95	0,83	1	0,98	0,95	0,44	0,72	0,85	0,96	0,88	0,59	0,97
Ni	-0,23	0,17	-0,07	0	0,08	0,03	-0,32	-0,36	-0,15	-0,25	-0,06	0,08	-0,2	-0,32	-0,26	0	-0,05	-0,28
Pr	0,96	0,27	0,57	0,85	0,67	0,41	0,97	0,86	0,98	1	0,93	0,42	0,73	0,88	0,97	0,86	0,58	0,98
Rb	-0,26	0,32	0,3	0,02	0,14	0,29	-0,08	0,13	-0,18	-0,2	-0,07	0,29	0,18	0,1	-0,2	-0,04	0,27	-0,21
Sm	0,89	0,5	0,73	0,96	0,8	0,59	0,89	0,84	0,95	0,93	1	0,61	0,83	0,87	0,91	0,95	0,73	0,91
Sn	0,32	0,11	0,15	0,24	0,2	0,19	0,3	0,35	0,33	0,4	0,32	0,14	0,3	0,38	0,34	0,32	0,17	0,36
Sr	0,17	0,9	0,84	0,64	0,82	0,87	0,2	0,38	0,28	0,23	0,45	0,91	0,7	0,43	0,2	0,65	0,83	0,22
Ta	0,55	0,03	0,27	0,38	0,27	0,2	0,67	0,7	0,59	0,67	0,48	0,14	0,43	0,7	0,59	0,42	0,27	0,61
Tb	0,33	0,98	0,96	0,75	0,93	0,98	0,38	0,62	0,44	0,42	0,61	1	0,86	0,65	0,36	0,78	0,96	0,38
Th	0,64	0,42	0,53	0,72	0,59	0,45	0,58	0,52	0,65	0,62	0,71	0,51	0,63	0,54	0,66	0,72	0,52	0,68
Tm	0,64	0,78	0,95	0,89	0,87	0,86	0,7	0,89	0,72	0,73	0,83	0,86	1	0,91	0,69	0,89	0,95	0,69
U	0,82	0,38	0,67	0,77	0,67	0,53	0,89	0,93	0,87	0,89	0,82	0,52	0,78	0,93	0,85	0,78	0,67	0,85
W	0,37	0,64	0,68	0,61	0,73	0,71	0,45	0,54	0,55	0,51	0,6	0,66	0,61	0,57	0,41	0,66	0,71	0,44
Y	0,38	0,94	0,99	0,77	0,89	0,97	0,45	0,71	0,47	0,46	0,64	0,97	0,91	0,73	0,42	0,78	0,98	0,44
Yb	0,78	0,53	0,8	0,85	0,75	0,67	0,88	0,99	0,85	0,88	0,87	0,65	0,91	1	0,82	0,86	0,8	0,83
Zr	0,33	-0,37	-0,17	0	-0,15	-0,23	0,4	0,41	0,35	0,4	0,19	-0,29	0,04	0,37	0,34	0,03	-0,15	0,34
F	0,47	0,17	0,32	0,44	0,35	0,2	0,47	0,24	0,41	0,41	0,45	0,24	0,33	0,27	0,47	0,41	0,29	0,47
ETRLt	0,99	0,21	0,53	0,84	0,61	0,33	0,97	0,81	0,96	0,97	0,91	0,36	0,69	0,82	1	0,82	0,52	1
ETRMT	0,8	0,68	0,84	0,98	0,92	0,75	0,81	0,83	0,88	0,86	0,95	0,78	0,89	0,86	0,82	1	0,85	0,83
ETRPT	0,48	0,91	1	0,83	0,94	0,97	0,55	0,78	0,59	0,58	0,73	0,96	0,95	0,8	0,52	0,85	1	0,54
ETRT	0,99	0,22	0,54	0,84	0,62	0,35	0,97	0,82	0,97	0,98	0,91	0,38	0,69	0,83	1	0,83	0,54	1

*Prospecção de fosfato*

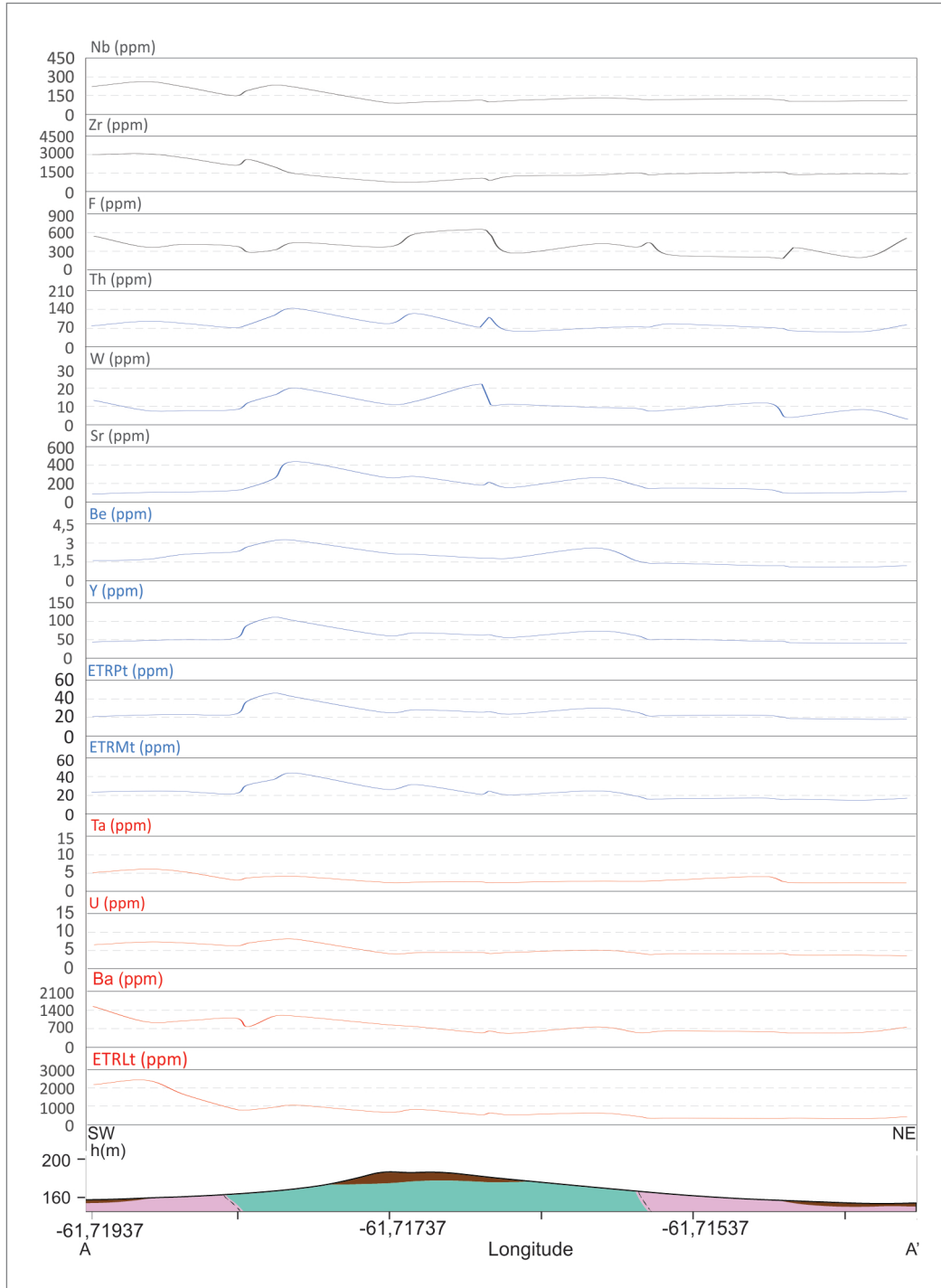
**Linha 2**

As amostras de solo na linha 2 foram coletadas, prioritariamente, no regolito desenvolvido sobre as rochas alcalinas da Suíte Apiaú e gnaisses da Suíte Igarapé Miracelha. Nas cotas mais elevadas da linha de amostragem, o regolito da Suíte Apiaú apresentou variados graus de latossolização,

ocasionalmente com desenvolvimento de horizontes late- ríticos, com ou sem presença de couraça, onde concen- trações máximas expressivas de Mn ( $\approx 2.019\text{-}3.787$  ppm), Th ( $\approx 244\text{-}1.014$  ppm) e Ti ( $\approx 1.000\text{-}1.700$  ppm) foram obtidas (ver resultados na Tabela 7).

As concentrações de P na linha 2 apresentaram valo- res entre 659 e 2.161 ppm, correspondendo ao intervalo de alto *background* regional (resultados na Tabela 7 e Figura 24; comparar com a Tabela 1 – Estudos orientativos).





**Figura 23** - Perfis geológico-geoquímicos, linha 1, alvo 2. Legenda do perfil geológico conforme mapa regional (Figura 3).

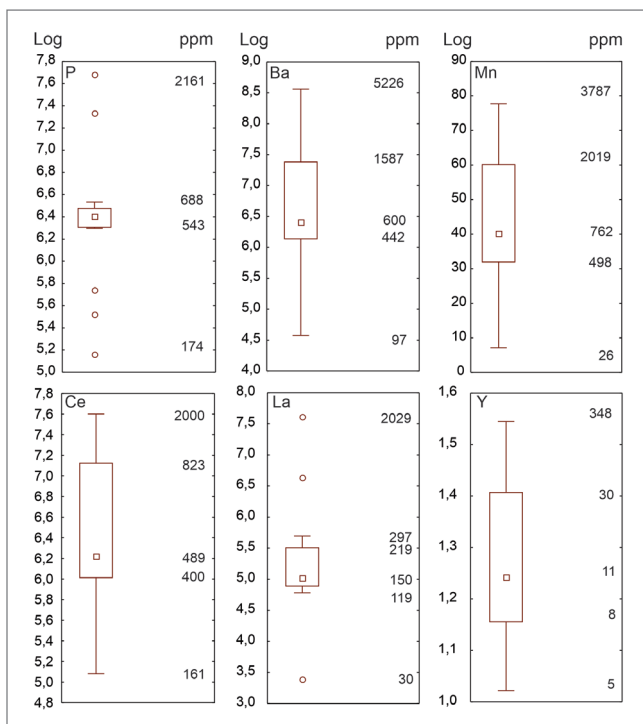
**Tabela 7.** Estatística descritiva para concentrações de fósforo no alvo 2, linha L2.

VARIÁVEL	Nº DE OBSERVAÇÕES	MEDIANA (ppm)	MÍNIMO (ppm)	MÁXIMO (ppm)	MÍNIMO NÃO-OUTLIER	LIMIAR INFERIOR (ppm)	MÁXIMO NÃO-OUTLIER	LIMIAR SUPERIOR (ppm)	BACKGROUND		BACKGROUND SUPERIOR (ppm)
									1º QUARTIL (25%) (ppm)	3º QUARTIL (75%) (ppm)	
P	16	603	174	2161	543	521,93	688	709	552	659	659 –709
Mn	16	762	26	3787	26	25,00	3787	4990*	498	2019	2019-4990

**Tabela 7.** Estatística descritiva para concentrações de fósforo no alvo 2, linha L2 (continuação).

VARIÁVEL	Nº DE OBSERVAÇÕES	MEDIANA (ppm)	MÍNIMO (ppm)	MÁXIMO (ppm)	MÍNIMO NÃO-OUTLIER	LIMIAR INFERIOR (ppm)	MÁXIMO NÃO-OUTLIER	LIMIAR SUPERIOR (ppm)	BACKGROUND		BACKGROUND SUPERIOR (ppm)
									1º QUARTIL (25%) (ppm)	3º QUARTIL (75%) (ppm)	
									Ba	16	
Ce	16	489	160,93	2000	160,93	137,74	2000	2312*	399,56	823	823-2312
La	16	150,03	29,50	2029	119,40	98,99	297,20	336	131,29	219	219-336
Y	16	11,23	5,16	348,30	5,16	3,93	348,30	402*	7,89	30	30-402
Th	16	220	49,30	1014	121,50	44	503,7	505	131	244	244-505
Ti	16	500	50	1700	50	30	1700	2028	400	1000	1000-2027

\*Valores prováveis calculados.



**Figura 24** - Diagrama de caixa para concentrações de P e elementos relevantes na linha 2, alvo 2.

Esses resultados podem estar correlacionados com a presença de fosfatos reliquiais portadores de ETR no regolito, além de apatita, conforme sugere enriquecimento em Ce ( $\approx 161$ -2.000 ppm), La ( $\approx 30$ -2.029 ppm) e Y ( $\approx 5,2$ -348 ppm) identificado nas análises. Valores elevados de Ba (97-5.226 ppm) fornecidos pelas análises assinalam a presença de mineralizações de barita, já conhecidas na região (Borges; Souza, 1990).

Outros elementos analisados apresentaram concentrações insignificantes, de interesse apenas prospectivo. A totalidade ou quase totalidade das amostras apresentaram concentrações de Au, B, Ta, Te, Re e Na abaixo ou nos limites inferiores de detecção. A lixiviação do perfil de intemperismo pode ter remobilizado totalmente o

conteúdo de elementos mais susceptíveis como Na, Te, Se, Ag, Ge, In, W, Ca e Mg. Esses elementos ocorrem abaixo do limite inferior de detecção em pelo menos 30% das amostras.

A afinidade geoquímica entre fósforo e elementos mais abundantes foram avaliadas em uma matriz de correlações (Tabela 8). O fósforo apresentou correlações fortes a muito fortes com As, Ba, Be, Ce, Co, Cr, Cs, Ga, Ge, K, La, li, Mg, Mn, Ni, Pb, Rb, Sb, Sr, Th, Ti, V, Y e Zn.

No dendrograma apresentado na Figura 25, agrupamentos formados por P, Sr, La e P, Sr, La, Zn, Ni, Ti e Ba, respectivamente para as distâncias de ligação 1,9 e 4,4, indicam prováveis associações geoquímicas com fósforo.

Os perfis geológico-geoquímicos, apresentados na Figura 26, mostram um enriquecimento relativo de P, Sr, La, Zn, Ni, Ti e Ba no regolito desenvolvido no domínio da Suíte Apiaú, com possível incremento creditado à evolução de latossolos.

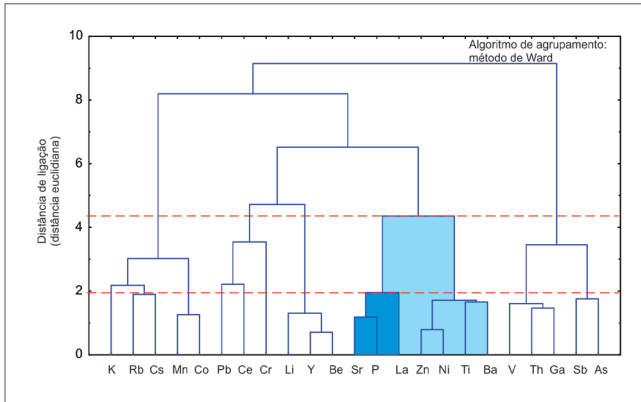
As relações estatísticas sugerem que a gênese de fosfatos pode estar correlacionada com uma fase magmático-hidrotermal rica em barita, com quantidades subordinadas de sulfetos e óxidos, cuja assinatura geoquímica teria sido herdada pelo regolito. Nos horizontes superficiais de solo do domínio da Suíte Apiaú, o enriquecimento em P, Sr, Ce, La, Y, Th, e de certa forma U, suporta, além de apatita, a presença de fosfatos portadores de ETR e elementos radiativos como a monazita.

O enriquecimento em Nb pode ser um marcador para as rochas alcalinas. Porém, nas cotas mais baixa do relevo, como na planície localizada entre o centro e a extremidade NE do perfil geológico, o incremento de Nb, Zr, U, acompanhado de anomalia pontual de Ce, é indicativo de possíveis depósitos sedimentares de minerais pesados, com favorabilidade para hospedar concentrações econômicas de minerais portadores de ETR, zircão e óxidos de Nb e Ti.

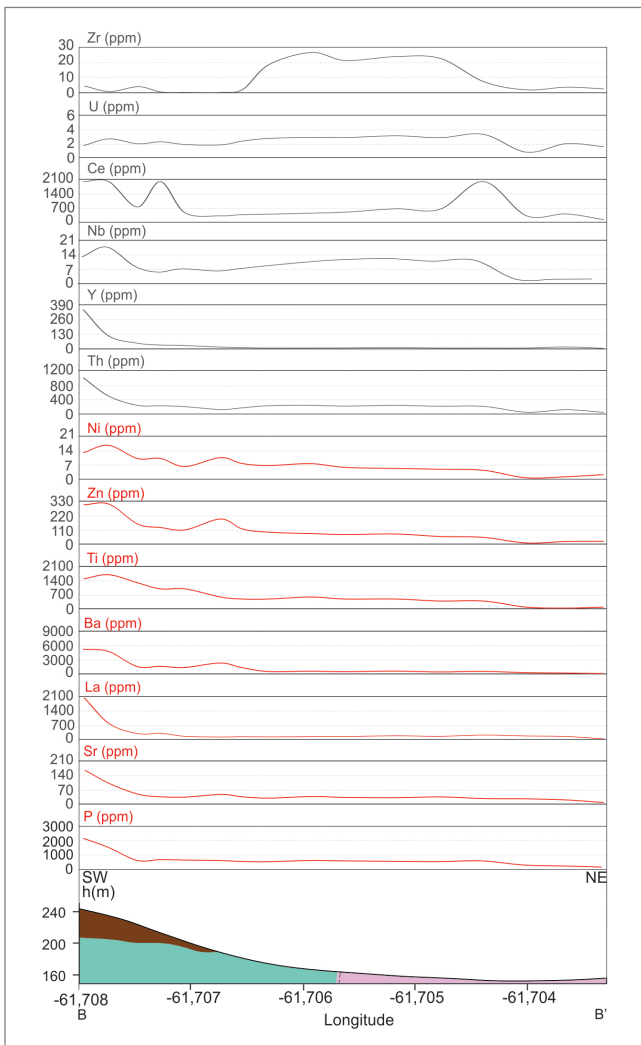
**Tabela 8.** Índices de correlação de Spearman para variáveis válidas no alvo 2, linha 2. Na terceira coluna, índices de correlação >0,6 (fortes a muito fortes) entre P e demais variáveis estão destacados em vermelho.

Nº DE OBSERVAÇÕES	ÍNDICES DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN	
		P
16	Ag*	0,49
16	Al	0,19
16	As	0,89
16	Ba	0,89
16	Be	0,81
16	Bi	0,42
16	Ca*	0,67
16	Cd	0,59
16	Ce	0,69
16	Co	0,85
16	Cr	0,62
16	Cs	0,70
16	Cu	0,41
16	Fe	0,43
16	Ga	0,68
16	Ge*	0,70
16	Hf*	0,54
16	Hg	-0,03
16	In*	0,54
16	K	0,76
16	La	0,61
16	Li	0,80
16	Mg*	0,76
16	Mn	0,87
16	Mo	0,46
16	Nb	0,50
16	Ni	0,82
16	P	1,00
16	Pb	0,64
16	Rb	0,77
16	S	0,54
16	Sb	0,62
16	Sc	0,51
16	Se*	0,87
16	Sn	0,57
16	Sr	0,85
16	Th	0,74
16	Ti	0,94
16	U	0,04
16	V	0,65
16	Y	0,79
16	W*	0,32
16	Zn	0,82
16	Zr	-0,22

\* elementos que apresentaram concentrações abaixo ou no limite de detecção em volume de amostras  $\geq 30\%$ .



**Figura 25** - Dendrograma para variáveis selecionadas na linha 2, alvo 2. As linhas tracejadas em vermelho indicam análises dos agrupamentos realizadas nas distâncias de ligação de 4,3 (agrupamento em azul-claro) e 1,9 (agrupamento em azul-médio).



**Figura 26** - Perfis geológico-geoquímicos, linha 2, alvo 2. Legenda do perfil geológico conforme mapa regional (Figura 3).

### 5.3. LEVANTAMENTO PROSPECTIVO DO ALVO 3

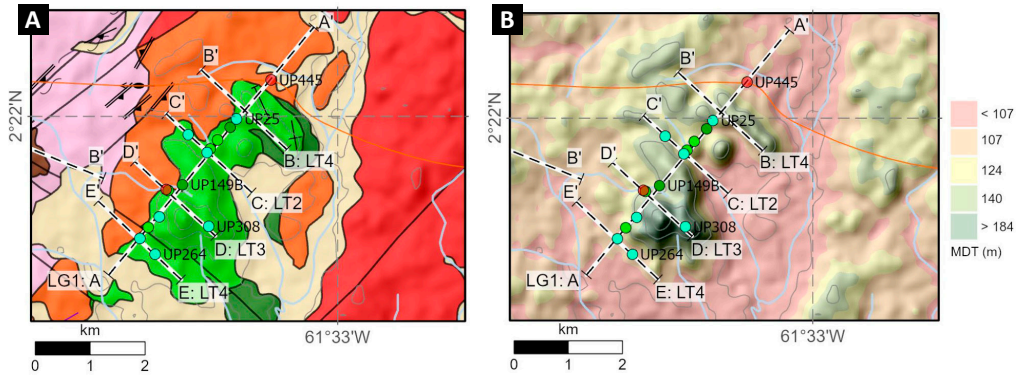
#### 5.3.1. Geologia

O alvo 3 está localizado na porção leste da área de estudo, na borda oeste do Batólito Mucajaí. Os litotipos do metalotecto são as rochas da associação AMCG formadas pela Suíte Repartimento (gabro e anortosito) e demais litotipos da Suíte Mucajaí (granitos rapakivi e mangerito).

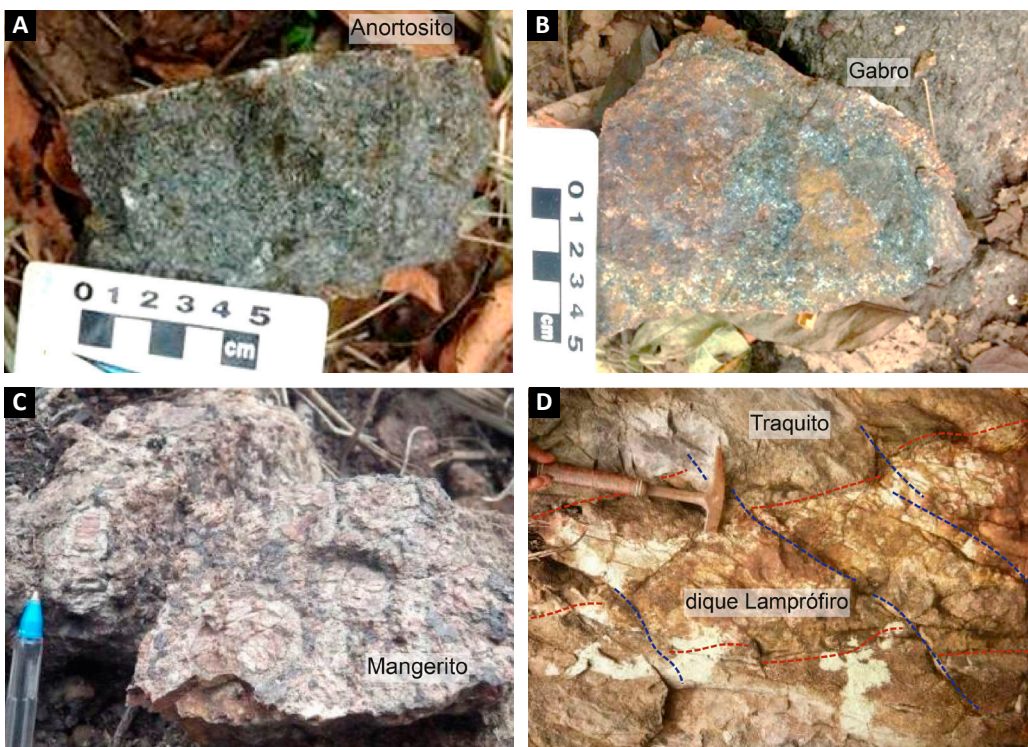
O corpo em estudo possui forma semi-elíptica, alongada na direção NE-SW (7x3 km), e ocorre em contato intrusivo no embasamento regional, representado pelo ortogneisse da Suíte Igarapé Miracelha. No entorno desse corpo, são observadas intrusões alcalinas, como diques de fonolito, traquitos, além de terraços e depósitos aluvionares ao longo de planícies de inundação dos rios que contornam o corpo gabroanortosítico (Figura 27a,b).

O litotipo predominante é um anortosito de cor verde a cinza-escuro, com textura fanerítica grossa, composta essencialmente por cristais tabulares de plagioclásio (<4cm). Piroxênio é o principal mineral máfico e junto com minerais acessórios, como magnetita e apatita, somam cerca de <3% da rocha (Figura 28a). Uma fácies de composição gabroica ocorre na borda do corpo (Figura 28b). Horizontes gabroicos semelhantes, também, ocorrem associados aos anortositos, onde apresentam contatos difusos e interdigitados, demonstrando a natureza comagmática desses litotipos. Os litotipos são aparentemente isotrópicos, no entanto, em microescala, é possível observar recristalização parcial de cristais de plagioclásio, exibindo feições de média-alta temperatura, como extinção ondulante, maclas em cunha e/ou deformadas e bordas com recristalização por rotação de subgrãos (Figura 29a). Localmente, essa trama de média temperatura é sobreposta por uma trama cataclástica, típica de milonitos de baixa temperatura (Figura 29b). A formação desse anortosito deve ser coeva a dos granitos rapakivi e mangeritos, como evidenciado pelos megaenclaves (autólitos?) e/ou *roof-pendants* dessas rochas, encontrados no interior desse corpo. Os mangeritos da associação AMCG Mucajaí são porfiríticos e se apresentam muito alterados (Figura 28c). Essas rochas são foliadas e, localmente, deformadas por zonas de cisalhamento NE-SW.

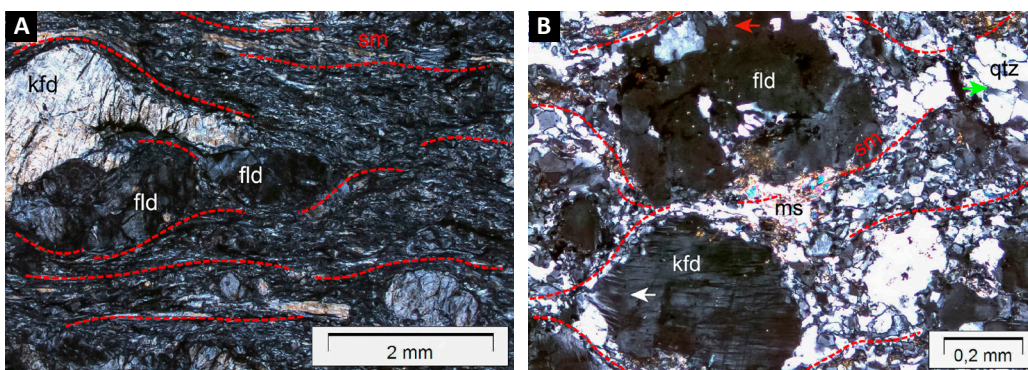
Por toda a extensão, o anortosito é cortado por um enxame de diques álcali-quartzo traquito com direção geral N30°W, afanítico, de cor cinza-esverdeado. Intrusões de lamprófiros, afaníticos, cinza-escuro, com direção geral N45°E, também estão encaixadas na Suíte Repartimento. Esses litotipos ocorrem em quantidades subordinadas e parecem cortar as intrusões traquíticas (Figura 28d).



**Figura 27** - Mapa geológico e (b) Mapa de relevo do alvo 1, ambos apresentando estações de amostragem para análise geoquímica de solo e de litogeoquímica. Para legenda, vide Figura 3.



**Figura 28** - Aspecto textural mesoscópico dos anortositos (a) e gabros (b) do corpo estudado da Suíte Repartimento, além de mangeritos associados (c). Diques de lamprófiro que localmente cortam traquitos (d) e granitos rapakivi.



**Figura 29** - Microfotografias de litotipos da Suíte Repartimento, mostrando trama de fluxo vulcânico (a) e deformacional cataclástica (b). Obs: kfd. K-feldspato; fld. feldspatoide.

### 5.3.2. Geofísica

Na área do alvo 3, os dados aerogamaespectrométricos, representados pela imagem de composição ternária RGB.KThU, são separados em cinco domínios gamaespectrométricos, os quais possuem boa correlação com os litotipos mapeados (Figura 30a). Com destaque para o domínio a3G2, correlacionado ao corpo gabroanortosítico, que apresenta enriquecimento em K (cor vermelha), e internamente mostra pequenos domínios a3G5, com valores altos nos três canais gamaespectrométricos (cor branca a ciano), correlacionado às intrusões alcalinas. Outro domínio que merece destaque é o a3G1, com concentrações enriquecidas em K e eU (cor magenta) com domínios mais enriquecidos em eU (cor lilás), que é correlacionado aos granitos *rapakivi* e mangeritos da associação AMCG Mucajaí. Nos dados aeromagnetométricos, representados pela imagem da componente residual do campo magnético anômalo, observa-se uma trama magnética NE-SW, representada por anomalias e lineamentos magnéticos, que é concordante com a estruturação desses litotipos. O corpo anortosito apresenta resposta magnética positiva, sugerindo sua continuidade para NE e a possibilidade de outros corpos anortosíticos ocorrerem a sul do alvo 3 (Figura 30b).

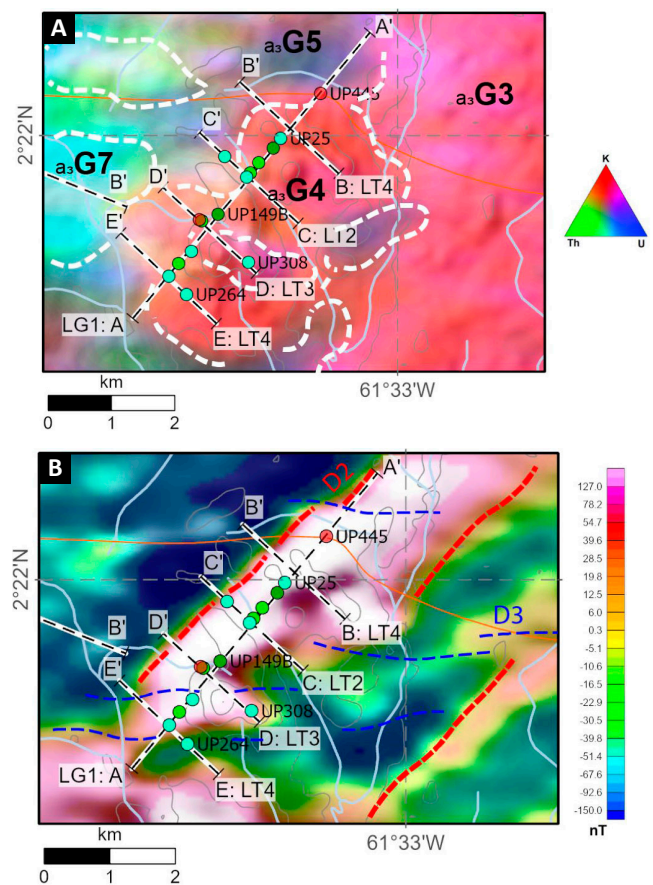
### 5.3.3. Litoquímica

A litogeoquímica confirma a presença de unidades e fácies distintas no alvo 3, marcado por uma ampla diversidade de litotipos, refletindo em padrões variados de enriquecimento/empobrecimento. Uma amostra de mangerito analisada (UP-445) possui 48% de sílica (correspondente ao campo do monzograbro), equivalendo ao limite composicional de andesitos e andesito basaltos (Winchester; Floyd, 1977). Nos diagramas de variação multielementar (Figura 14a), anomalias negativas de Rb, Th, Ta, Zr e Hf, além de Sr e Ti, são observadas. As concentrações de Sr e Ti, obtidos nessa amostra, apresentaram valores não muito expressivos (Sr ~300 ppm; Ti ~15.200 ppm), porém são superiores aos resultados obtidos nos demais mangeritos associados (Sr 180-190 ppm; Ti 5.200-6.300 ppm). A amostra possui valores importantes de Ba (2.200 ppm), Y (115 ppm), ETR (600 ppm), Co (22 ppm), Nb (35 ppm) e principalmente P, o qual apresenta o valor de ~12.800 ppm (Figuras 14a e 15) ou o equivalente a 30x o valor condritico, confirmando a elevada concentração de apatita na rocha. Apesar de apresentar somatório de terras-raras elevado, se comparado aos demais mangeritos, possui padrão de curva de ETR similar, indicando um discreto fracionamento em ETRp (Figura 14b).

Um exemplar de granito *rapakivi* (UP-241), da associação AMCG, foi analisado, resultando em anomalias

negativas para Ba, Sr, P e Ti e positivas de Ta, Zr, Hf, ETR e, sobretudo, Th (Figura 14a com enriquecimento da ordem de ~1000x o condrito (45 ppm)). O padrão de curva de ETR é típico de granitos tipo A (asa de gaivota), com acentuada anomalia negativa para Eu ( $Eu_n/Eu^* 0,2$ ) e somatório da ordem de 230 ppm (Figura 14b). A avaliação preliminar mostra que, no geral, esses granitos *rapakivi* são marcados por valores de P (~220 ppm) e ETR (< 250 ppm) relativamente baixos (Figura 14b).

Completando a associação AMCG Mucajaí, essa unidade apresenta corpos gabroanortosíticos com variação de sílica entre 48% e 52% e padrão geral de empobrecimento tanto em HFSE, quanto em LILE. Nos diagramas de variação multielementar (Figura 31a,b) normalizados ao MORB de Pearce (1983), por exemplo,  $P_2O_5$  e  $TiO_2$  dos anortositos apresentam, respectivamente, enriquecimento de até 10x e 1x, enquanto outros, como o Ta, apresentam amplas variações (0,15x a 20x). A amostra UP-194 (micronorito) é a mais empobrecida em HFSE e LILE (Figura 31a), contrastando com os valores significativos existentes para Ni (58 ppm), Cu (109 ppm) e Co (37 ppm), além de MgO (6%).

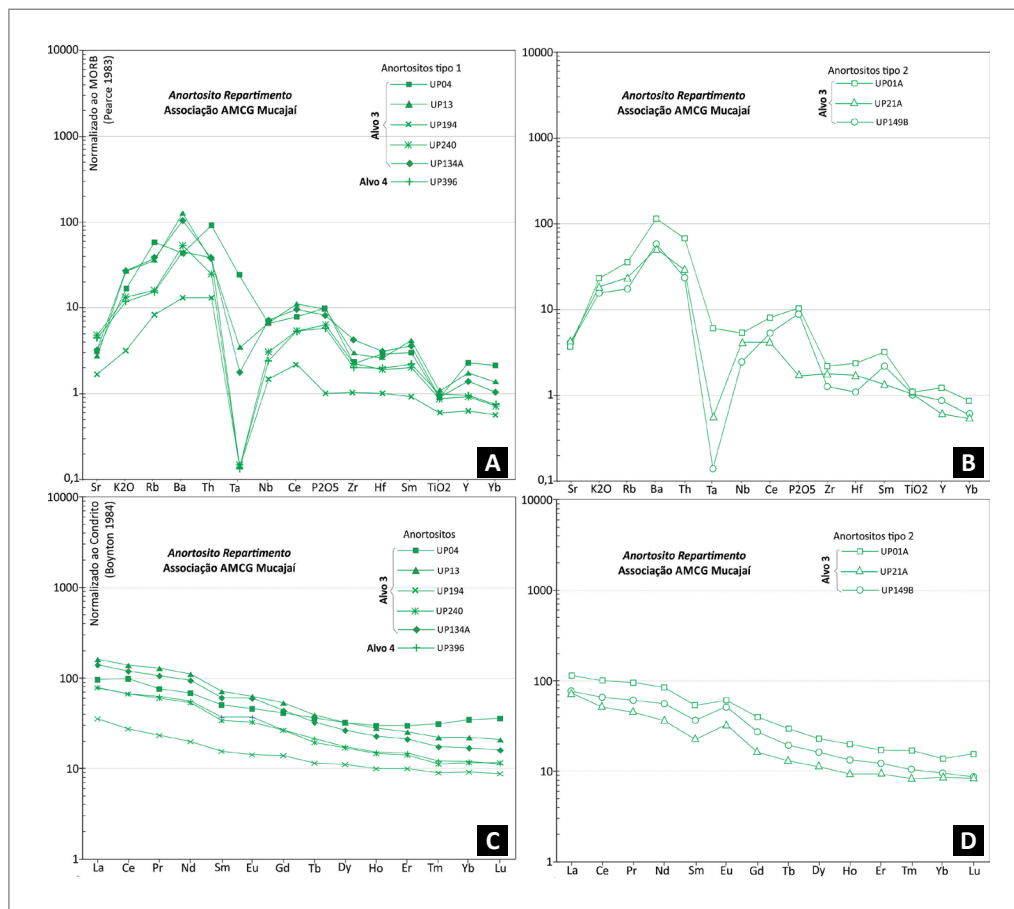


**Figura 30** - Mapas aerogeofísicos do alvo 3: (a) imagem de componente residual do campo magnético anômalo e (b) imagem de composição ternária RGB.KThU, com relevo sombreado do MDT.SRTM. Ambos apresentando estações de amostragem para análise geoquímica de solo e de litoquímica. Para legenda, vide Figura 3.

O valor de MgO dos demais anortositos varia de 0,9% a 1,6%, enquanto Ni, Cu e Co mostram intervalos de <5-9 ppm, 8-31 ppm e 12-16 ppm, respectivamente.

Com relação ao comportamento dos padrões de ETR (Figura 31c,d), as rochas podem ser subdivididas em dois grupos principais. O grupo 1 é caracterizado por rochas classificadas quimicamente como andesitos e andesito basaltos (Winchester; Floyd, 1977), apresentando padrão de curvas de ETR pouco fracionadas (Figura 31c), caracterizadas por anomalias positivas discretas (ou ausentes) de Eu ( $Eu_n/Eu^*$  1,0-1,2) e baixo somatório (145-300 ppm). A amostra UP-04 possui padrão de ETR ainda menos fracionado (*flat*), com local enriquecimento em ETRP, enquanto a amostra UP-194 possui baixíssimo somatório de ETR (65 ppm). O grupo 2 é marcado também por somatório de ETR muito baixo (110-220 ppm) e padrões de ETR (Figura 31d) pouco fracionados, associados a anomalias positivas de Eu ( $Eu_n/Eu^*$  1,3-1,7), indicando presença de possível plagioclásio cumulático. No geral, os gabros, anortositos e micronorito possuem variação de P entre 500 ppm e 5.500 ppm e ETR entre 60 ppm e 300 ppm (Figura 31).

As rochas alcalinas da Suíte Apiaú, presentes no alvo 3, estão representadas essencialmente por alcalifeldspato quartzo traquitos (UP-01B, 173), traquitos (UP-308) e fonolitos (UP-25, 134B, 199, 264). Os alcalifeldspato quartzo traquitos, com ~59% de sílica e 2,0-2,4% de CaO, são aqueles que se apresentam mais enriquecidos em Ba (50x), Zr-Hf (15x), Y (5x) e ETR (4-60x) em relação ao MORB (Pearce, 1983), conforme mostra o diagrama de variação multielementar (Figura 32a). Em contrapartida, também são os que possuem os valores mais baixos para  $Al_2O_3$  (~16%), álcalis (~10%), Nb-Ta (45-65x) e Rb (80-100x), além de U (5,5-6,5 ppm) e Th (28-90 ppm). No caso particular dos ETR, estes podem apresentar valores totais entre 1.340 ppm e 1.800 ppm, com Nd chegando a 640 ppm, constituindo os valores mais elevados encontrados até então na região. O enriquecimento em ETR totais está refletido no seu padrão de curva, que indica ainda anomalia negativa significativa de Eu ( $Eu_n/Eu^*$  0,3) e fracionamento moderado (Figura 32b). Na amostra UP-01B há uma queda abrupta no valor de La e Ce, podendo estar relacionada à ação de processos hidrotermais mais intensos e de caráter local.



**Figura 31** - Gabros e anortositos da associação AMCG Mucajaí: (a,b) Diagramas de variação multielementar normalizados ao condrito de Thompson (1982); (c,d) Diagramas de elementos terras-raras normalizados ao condrito de Boynton (1984).

Com exceção da rocha sienítica do alvo 7 (UP-314), as demais rochas alcalinas da região são caracterizadas por concentrações mais baixas de sílica (52-54%), de ETR (530-760 ppm), e Y (15-38 ppm) e mais altas em álcalis (14-16%),  $Al_2O_3$  (19-21%), Nb (250-350 ppm), Ta (14-20 ppm), U (20-28 ppm) e Th (24-80 ppm). No diagrama de variação multielementar (Figura 32a), normalizado ao MORB (Pearce, 1983), essas rochas mostram anomalias negativas para  $TiO_2$  (0,04-1,3x), Ba (1-9x) e ampla variação de Sr (0,2-2,8x), além de enriquecimento em Nb-Ta (70-100x) e Th (100-400x). Do conjunto foram identificados dois grupos principais tendo por base o comportamento dos ETR (Figura 32b). O primeiro deles corresponde ao tipo mais empobrecido em Y e Zr-Hf (UP-308), o qual possui concentrações mais baixas em ETRp e anomalias negativas de Eu mais discretas ( $Eu_n/Eu^* 0,5-0,6$ ). O segundo grupo (UP-25, 134B, 199 e 264) possui valores intermediários de Y e Zr-Hf, apresentando discreto enriquecimento em ETRp e anomalias negativas de Eu moderadas ( $Eu_n/Eu^* 0,3-0,4$ ). Em regra geral, as rochas alcalinas estudadas possuem baixas concentrações de P (<700 ppm) e, com exceção dos alcalifeldspato-quartzo traquitos, o total de ETR varia entre 530-770 ppm (Figura 32b).

### 5.3.4. Geoquímica de solo

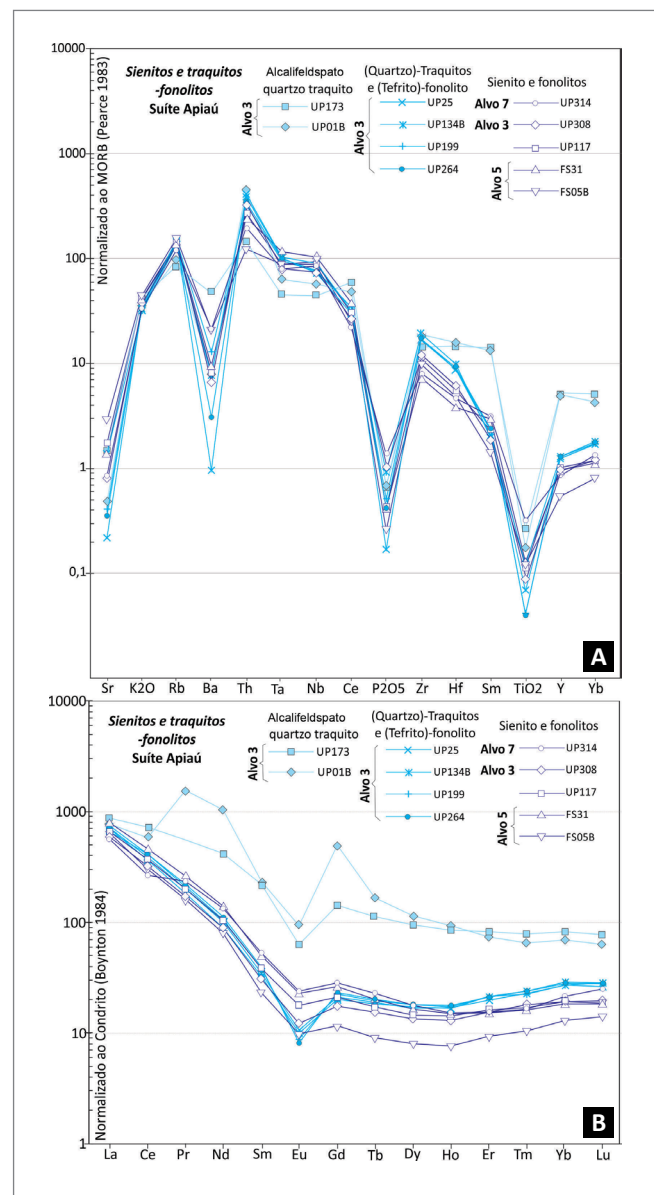
#### Prospecção de fosfato

O levantamento geoquímico de solo no alvo 3 foi realizado em cinco linhas de amostragem. As amostras foram obtidas majoritariamente em horizontes de solos residuais, localmente rasos e com variado grau de lixiviação, desenvolvidos sobre as rochas das suítes Repartimento e Mucajaí. As análises forneceram concentrações de fósforo entre  $\approx 55-8.137$  ppm (ver Tabela 9; Figura 33). Os dados revelaram que o *background* de fósforo local nos horizontes de solo superficiais é naturalmente elevado ( $P \approx 385-1.590$  ppm) e formam uma faixa sobreposta aos valores do *background* regional. Em adição, o intervalo de alto *background* local, definido por concentrações de P entre 1590 e 8137 ppm, agregam as maiores concentrações obtidas em âmbito regional durante este levantamento (comparar com Tabela 1 - Estudos orientativos).

O Ti apresentou um intervalo de auto-*background* em solo de  $\approx 1.500-4.700$  ppm, com valor máximo atingindo 6.000 ppm. Concentrações significativas de Ag (variação  $\approx 0,10-4,22$  ppm, mediana  $\approx 0,94$  ppm; Tabela 9), de gênese incerta, foram detectadas nas amostras de solo. Domínios enriquecidos em Ba (29-1.529; mediana  $\approx 223$  ppm) e Mn (71->10.000 ppm; mediana  $\approx 812$  ppm), incomuns em solos residuais desenvolvidos sobre associações AMCG, completam o cenário geoquímico.

Os demais elementos analisados apresentaram concentrações pouco expressivas, com relevância apenas

prospectiva. Concentrações de Au, As, B, Be, Bi, Cd, Ge, In, Hf, Hg, Li, Se, Sn, Ta, Te, W e Zr nas proximidades ou abaixo dos limites de detecção do método analítico adotado, obtidas na totalidade ou parte das amostras analisadas, remetem a concentrações naturais da unidade geológica que foram herdadas pelo regolito e, possivelmente, intensificadas pela lixiviação, durante evolução do perfil de intemperismo. Baixas concentrações de Ca, Cr, K, Mg, Na e K detectadas em parte das amostras são creditadas exclusivamente à lixiviação. Outros elementos no regolito sobre o alvo 3 são menos suscetíveis ou foram preservados da mobilidade química nos horizontes de solo amostrados (Ba, Ce, Co, Cs, Cu, Fe, La, Ga, Mo, Nb, Ni, P, Rb, Sc, Sr, Th, U, V, Y, Zn).

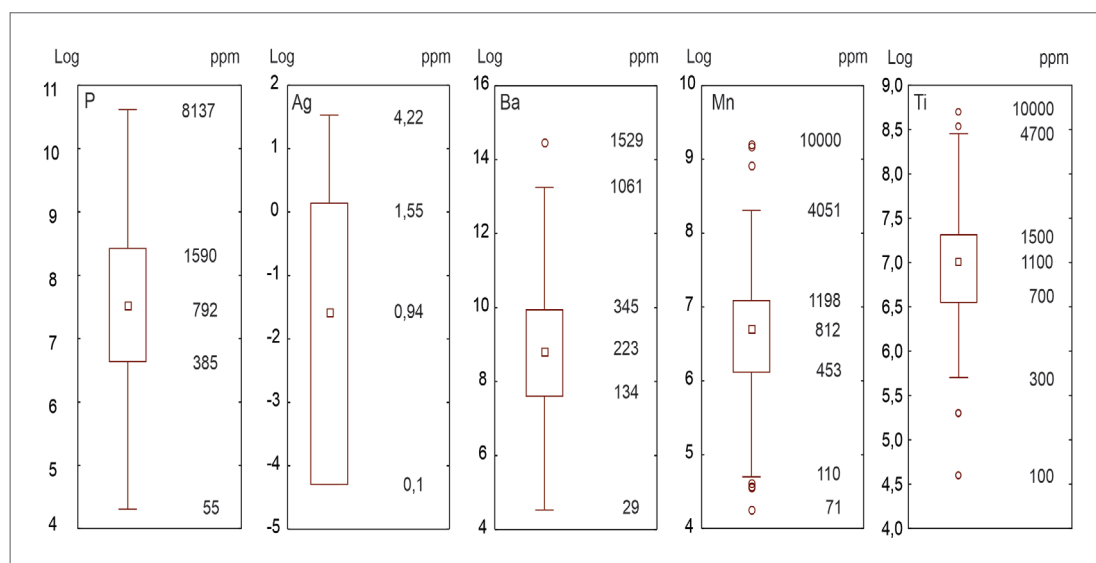


**Figura 32 -** Suíte Apiaú: (a) Diagrama de variação multielementar normalizado ao condrito de Thompson (1982); (b) Diagrama de elementos terras-raras normalizado ao condrito de Boynton (1984).



**Tabela 9.** Estatística descritiva para concentrações de fósforo e elementos de abundância significativa no alvo 3.

VARIÁVEL	Nº DE OBSERVAÇÕES	MEDIANA (ppm)	MÍNIMO (ppm)	MÁXIMO (ppm)	MÍNIMO NÃO-OUTLIER (ppm)	LIMIAR INFERIOR (ppm)	MÁXIMO NÃO-OUTLIER (ppm)	LIMIAR SUPERIOR (ppm)	BACKGROUND		ALTO BACKGROUND SUPERIOR (ppm)
									1º QUARTIL (25%) (ppm)	3º QUARTIL (75%) (ppm)	
P	309	792	55	8137	55	51	8137	8514	385	1590	1590–8514
Ag	309	0,94	0,1	4,22	0,05	0,13	4,22	5,38	0,39	1,55	1,55–5,38
Ba	309	223	29	1529	29	26	1061	1077	134	345	345–1077
Mn	309	812	71	>10000	110	109	4051	4168	453	1198	1198–4168
Ti	309	1100	100	6000	300	284	4700	4701	700	1500	1500–4701



**Figura 33 -** Diagrama de caixa para concentrações de P, Ag, Mn, Ba e Ti no alvo 3.

O fósforo apresentou índices de correlação majoritariamente fracos a muito fracos com a maioria elementos analisados, exceto com Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cu, K, La, Li, Mg, Mn, Na, Sr e Y, com os quais apresentou índices de correlação fortes a moderados (Tabela 10). Com exceção de Cd, Li e Na, que apresentaram maiores evidências de mobilidade química, as relações entre os demais elementos do conjunto e P foram testadas em análise de agrupamentos (Figura 34). O P apresenta importante afinidade geoquímica com Mg, Sr, Ca, K, sugerida por agrupamento formado na distância de ligação de  $\approx 16,2$ . Na distância de ligação de 27, o agrupamento é acrescido de Co, Mn, Ba e Cu. O fósforo não apresentou afinidade geoquímica com ETR nessa análise.

O resultado foi confirmado satisfatoriamente por análise fatorial, em um modelo de três fatores (Tabela 11). Considerando apenas as cargas das variáveis nos fatores  $>0,66$ , o fator 1 definiu a associação geoquímica Ca-Sr-Mg-P, que é uma assinatura esperada para zonas de unidades gabroanortosíticas enriquecidas em apatita. O fator 2 definiu a associação geoquímica La-Y, que indica a presença de minerais resistentes portadores de ETR nos horizontes de solo amostrados ou adsorção de ETR em

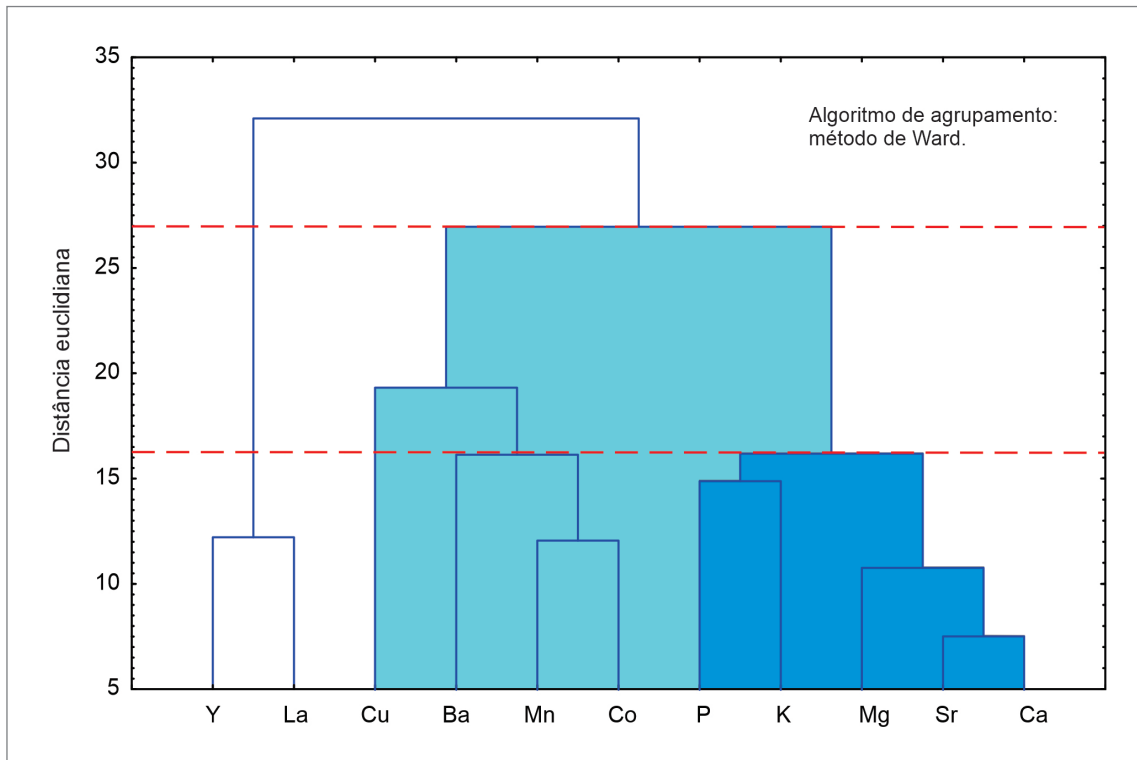
fases argilosas do solo. O fator 3 apontou a concentração de Co e Mn durante lixiviação dos solos residuais (associação Co-Mn).

Nos perfis geológico-geoquímicos (Figura 35), o enriquecimento em P, Ca, Sr e Mg caracteriza o regolito desenvolvido sobre o substrato de rochas gabroanortosíticas (linhas L1 a L5). Um incremento nas concentrações de Ti e Co, também, é observado no domínio. Nos perfis geológico-geoquímico, picos de Ti (linhas L1, L3 e L5) e Co (linhas L1, L2, L3 e L4) sobrepostos às cotas mais baixas do relevo marcam a influência de possíveis depósitos de minerais pesados associados a planícies colúvio-aluvionares, não identificados durante amostragens.

Apesar dos valores elevados obtidos, o enriquecimento em Mn e Ba é errático, marcando pontual e isoladamente domínios do regolito desenvolvido tanto sobre as rochas gabroanortosíticas, quanto sobre as rochas mangeríticas (associação AMCG Mucajá). A distribuição espacial apresentada por Mn e Ba reforça uma correlação entre esses elementos e halos de alteração hidrotermal produzidos nas imediações de intrusões alcalinas atribuídas à Suíte Apiaú. Nas linhas L1, L3 e L4, picos de Mn e Ba sobrepostos a diques alcalinos corroboram a interpretação.

**Tabela 10.** Tabela com índices de correlação de Spearman entre P e demais variáveis. Os resultados foram obtidos com transformação logarítmica dos dados. Índices em vermelho indicam correlações fortes ( $\geq 0,6-0,8$ ) a moderadas ( $\geq 0,4-0,6$ ) entre fósforo e variáveis selecionadas.

Nº DE OBSERVAÇÕES	ÍNDICES DE CORRELAÇÃO	
		P
322	Ag	0,10
322	Al	0,31
322	As	0,17
322	Ba	0,63
322	Be	0,45
322	Bi	-0,05
322	Ca	0,77
322	Cd	0,68
322	Ce	0,30
322	Co	0,72
322	Cr	-0,01
322	Cs	-0,09
322	Cu	0,58
322	Fe	0,36
322	Ga	-0,12
322	Ge	0,35
322	Hf	-0,02
322	Hg	-0,29
322	In	-0,19
322	K	0,66
322	La	0,45
322	Li	0,55
322	Mg	0,72
322	Mn	0,51
322	Mo	-0,25
322	Na	0,54
322	Nb	0,03
322	Ni	0,34
322	P	1,00
322	Pb	-0,30
322	Rb	0,31
322	Sb	0,03
322	Sc	0,16
322	Se	0,15
322	Sn	-0,35
322	Sr	0,76
322	Ta	0,15
322	Te	-0,01
322	Th	-0,48
322	Ti	0,07
322	U	-0,19
322	V	0,15
322	W	0,19
322	Y	0,42
322	Zn	0,36
322	Zr	-0,08



**Figura 34** - Dendrograma para variáveis selecionadas no alvo 3, por critério de normalidade e índices de correlação com  $P > 0,4$ . As linhas tracejadas em vermelho indicam as análises dos agrupamentos realizadas para distâncias de ligação, respectivamente, de 16,2 (agrupamento em cor azul-médio) e 27 (agrupamentos em cor azul-claro).

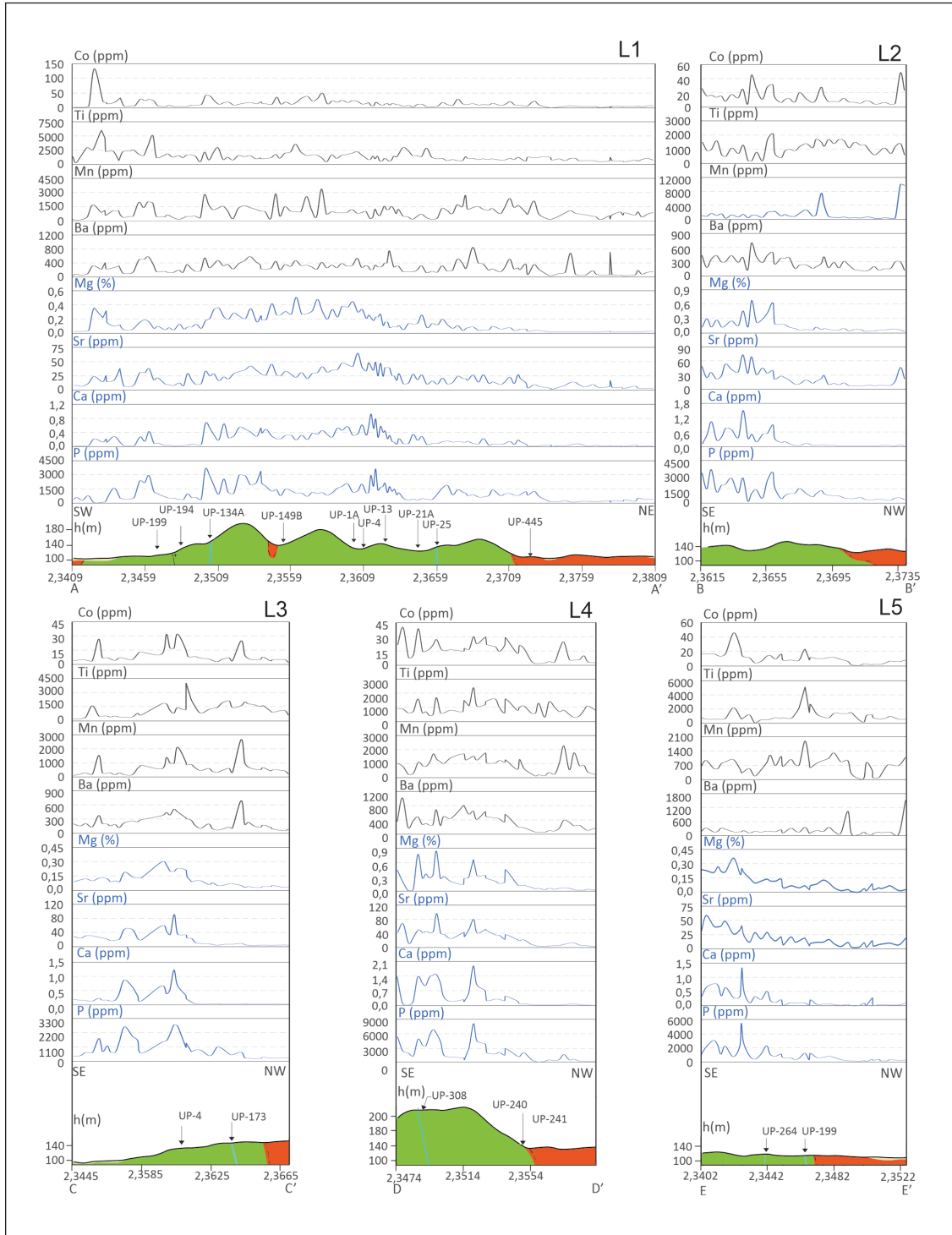
**Tabela 11.** Resultado da análise fatorial para variáveis selecionadas no alvo 3 com quatro fatores. Cargas dos fatores significativos (em vermelho):  $> 0,66$ .

VARIÁVEIS	F1	F2	F3
Ca	0,9101	0,1589	0,2189
Co	0,4971	0,1623	0,7751
Cu	0,4286	0,2412	0,4295
K	0,5649	0,4903	0,2857
La	0,2817	0,8559	0,0947
Mg	0,8154	0,3054	0,2731
Mn	0,1545	0,1304	0,8681
P	0,6674	0,3354	0,3266
Sr	0,8943	0,1701	0,2833
Y	0,1374	0,8228	0,1768
Ba	0,5351	0,1815	0,5366
Autovalores	6,2064	1,1245	0,8681
% de variância total	56,4217	10,2225	7,8922
Autovalores acumulados	6,2064	7,3309	8,1990
% de variância total acumulada	56,4217	66,6442	74,5363

Método de extração dos fatores: principais componentes

Método de análise dos principais fatores: máxima verossimilhança entre fatores

Rotação: Varimax normalizada



**Figura 35** - Perfis geológico-geoquímicos do alvo 3, discriminado por linhas de amostragem (L1 a L5).  
 Legenda do perfil geológico conforme mapa regional (Figura 3). Amostras indicadas com setas no perfil geológico correspondem às amostras de rocha mencionadas no texto.

## 5.4. LEVANTAMENTO PROSPECTIVO DO ALVO 4

### 5.4.1. Geologia

O alvo 4 está localizado na porção centro-sudeste da área de estudo, em contexto geológico semelhante ao do alvo 3, tendo o anortositito da Suíte Repartimento

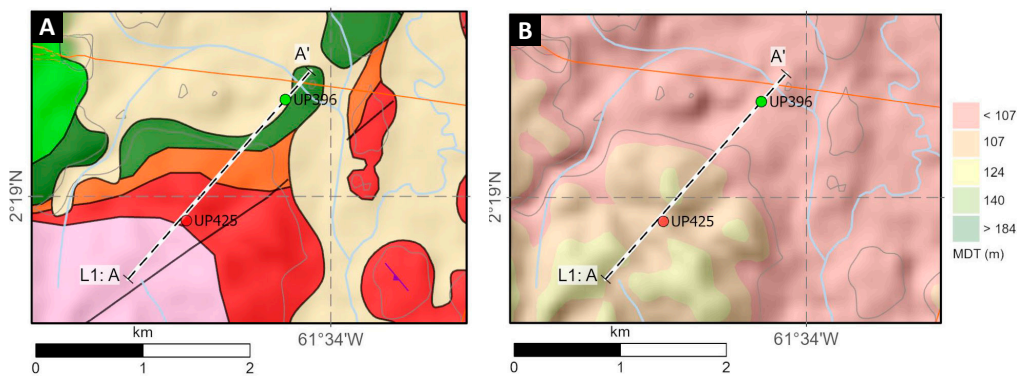
como litologia hospedeira da mineralização no meta-totecto, além de assinaturas geofísicas semelhantes (Figura 36a,b).

Ao longo da linha de amostragem, foram mapeados, de norte a sul, anortositos e gabros isotrópicos, leucocráticos a melanocráticos, esverdeados, com textura fanerítica média a grossa (Figura 37a). A fase mineral principal

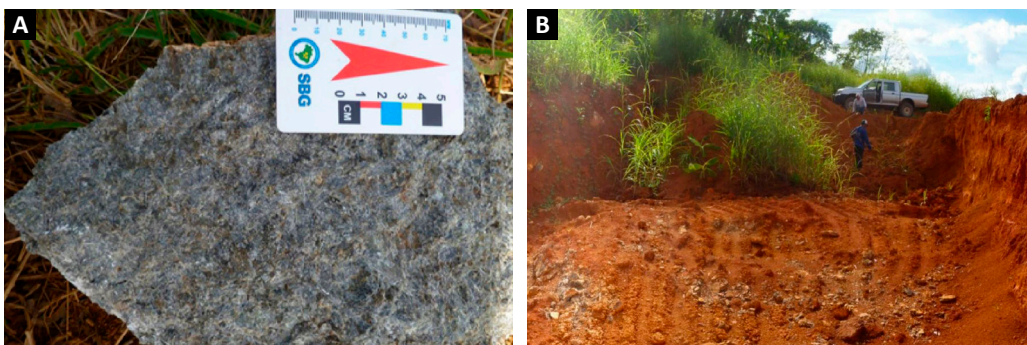
é o plagioclásio, cujos cumulatos comumente apresentam orientação de fluxo magmático. Secundariamente, ocorrem agregados finos de piroxênio+biotita+magnetita, que atingem até 5% da rocha. A presença de apatita é sugerida pela forte reação com molibdato de amônia em escala de afloramento. Esses litotipos apresentam avançado estágio de intemperismo, estando associado com solo marrom-avermelhado (Figura 37b).

Monzonitos, monzogranitos e charnockitoides, com textura grossa e tênue foliação subvertical com direção N50°E,

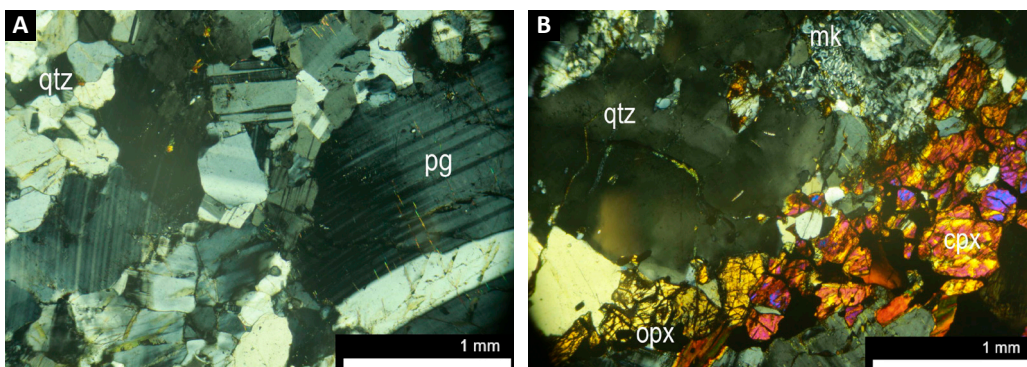
compõem o arcabouço geológico. Ao microscópio, esses litotipos mostram textura porfiroblástica com matriz recristalizada poligonal, de composição quartzo-feldspática (Figura 38a), indicando alta-temperatura, compatível com condições de fácies anfibolito, a qual é superposta por trama cataclástica (Figura 38b). Uma parte do alvo é afetada por uma planície de inundação com coberturas aluvionares recentes, onde afloram blocos dispersos de augen gnaisse de composição granodiorítica a monzogranítica, atribuídos a Suíte Igarapé Miracelha.



**Figura 36** - (a) Mapa geológico e (b) Mapa de relevo do alvo 4, ambos apresentando estações de amostragem de solo e rocha. Para legenda, vide Figura 3.



**Figura 37** - No alvo 4, ocorrem blocos e matacões de anortositos e gabros da Suíte Repartimento (a) dispersos em amplos e espessos horizontes superficiais de solo (b).



**Figura 38** - Microfotografias de metamonzonito (a) e metamangerito (b) da associação AMCG Mucajá, apresentando texturas recristalizadas, porfiroblástica a granoblástica, com feições microestruturais de alta-temperatura, em (a) plagioclásio porfiroclastos com maclas arqueadas e em cunha e na matriz recristalizados poligonais, e (b) quartzo extinção em tabuleiro de xadrez e piroxênios parcialmente recristalizados. pg= plagioclásio, qtz= quartzo, cpx= clinopiroxênio, opx= ortopiroxênio, mk= mimerquita).

### 5.4.2. Geofísica

No alvo 4, os dados aerogamaespectrométricos, em imagem de composição ternária RGB.KThU, mostram, predominantemente, valores baixos em todos canais, representados por cores escuras, que podem ser relacionadas como a resposta das coberturas aluvionares e áreas alagadas. Internamente, ocorrem domínios mais enriquecidos em eTh (tons verdes), os quais podem ser correlacionados ao regolito desenvolvido sobre rochas gabroanortosíticas (Figura 39a). Por outro lado, os dados aeromagnetométricos destacam um corpo magnético subaflorante, que coincide espacialmente com afloramentos de gabros e anortositos da Suíte Repartimento (Figura 39b).

### 5.4.3. Litoquímica

Neste alvo foram coletadas duas amostras de rochas da associação AMCG Mucajaí, sendo uma de granito e outra de anortosito correlacionado à Suíte Repartimento.

O exemplar de alcalifeldspato leucogranito (UP-425) é caracterizado por sílica elevada (~72%), além de  $Fe_2O_3$  (~1%) e P (220 ppm) muito baixos. No diagrama de variação multielementar (Figura 14a), normalizado ao condrito de Thompson (1982), o leucogranito apresenta acentuadas anomalias negativas para Ba (1,6x), Sr (1,15x), P (4,8x), Ta (1,25x), Th (225x) e Ti (1,15x). O padrão de curva de ETR (Figura 14b) é bastante fracionado ( $La_n/Yb_n \sim 28$ ), apresentando somatório bastante baixo (~100 ppm) e anomalia negativa moderada para Eu ( $Eu_n/Eu^* 0,4$ ).

O exemplar de anortosito analisado no alvo 4 (UP-396) possui sílica de ~50%, além de elevados valores de  $Al_2O_3$  (~19%),  $Fe_2O_3$  (~9%) e Sr (530 ppm) e padrão geral para HFSE e LILE bastante empobrecido, conforme observado no diagrama de variação multielementar (Figura 31a) normalizados ao MORB de Pearce (1983). O padrão de curva de ETR (Figura 31c) da amostra UP-396 é pouco fracionado ( $La_n/Yb_n \sim 6,5$ ), sendo marcado por discreta anomalia positiva de Eu ( $Eu_n/Eu^* 1,2$ ), além de apresentar baixíssimo somatório de ETR (150 ppm).

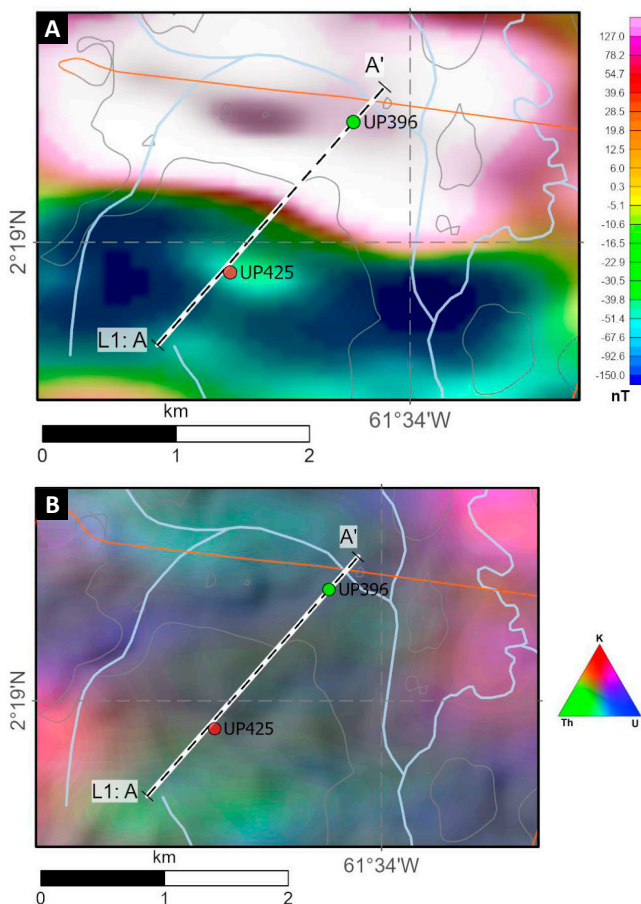
### 5.4.4. Geoquímica de solo

#### Prospecção de fosfato

#### Linha 1

As amostragens de solo no alvo 4 foram realizadas em horizontes de solo superficiais desenvolvidos nos regolitos da Suíte Igarapé Miracelha e da associação AMCG Mucajaí. Parte das amostras foi obtida em relevo sujeito a inundações, com solos superficiais com características anóxicas, trazendo possíveis implicações para elementos mais susceptíveis à mobilidade química. O conjunto amostral apresentou um empobrecimento relativo em P, se comparado ao alvo 3, situado a pouco mais de mil metros a norte. As concentrações de P estão contidas, majoritariamente, no intervalo de *background* regional (Tabela 1 – Estudos orientativos), com valores situados entre 56-2.151ppm (Tabela 12, Figura 40), demonstrando o potencial menor desse alvo para mineralizações de fosfato. Concentrações de Ti, no intervalo 300-3.900 ppm (mediana ≈1.000 ppm), apontam para uma potencialidade da região para óxidos de Fe-Ti. Concentrações significativas de Ag apresentaram intervalo mais amplo, com valor máximo obtido de 1,69 ppm (Tabela 12, Figura 40). Os demais elementos analisados apresentaram concentrações irrelevantes.

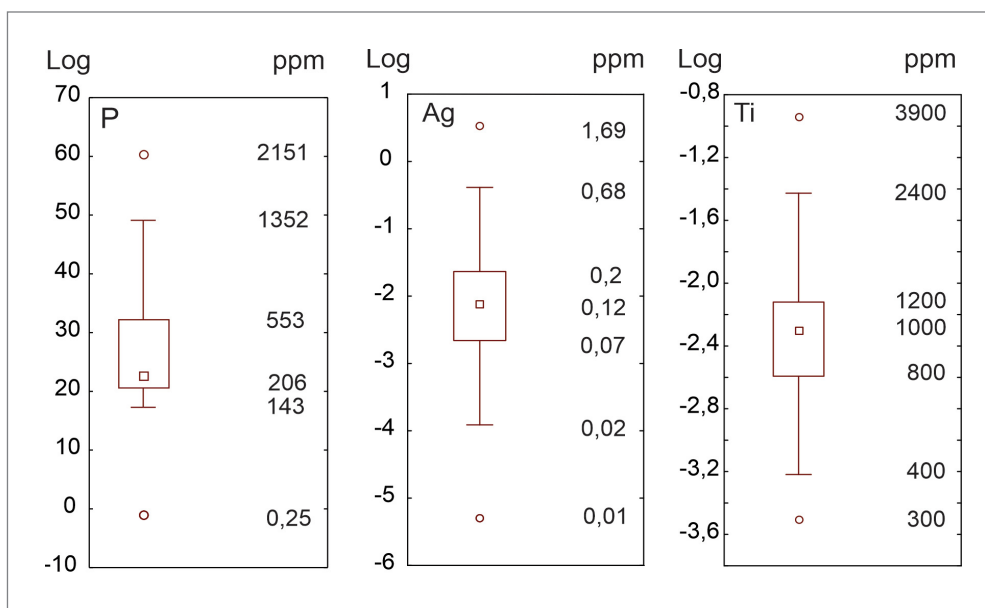
Alguns elementos como Ag, As, Au, B, Ca, Ce, Cu, Ge, Na, K, Cs, Se, In, La, Li, Hf, Mo, Mg, Pb, Ni, Re, Se, Ta, Te, Tl e U exibiram, na maioria das amostras analisadas, concentrações próximas ou abaixo dos limites de detecção do método analítico utilizado. Além da disponibilidade natural, a escassez de alguns dos elementos nos horizontes analisados pode ser atribuída à lixiviação.



**Figura 39** - Mapas aerogeofísicos do alvo 4: (a) imagem de componente residual do campo magnético anômalo e (b) imagem de composição ternária RGB.KThU, com relevo sombreado do MDT.SRTM. Para legenda, vide Figura 3.

**Tabela 12.** Estatística descritiva para concentrações de fósforo, prata e titânio no alvo 4.

VARIÁVEL	Nº DE OBSERVAÇÕES	MEDIANA (ppm)	MÍNIMO (ppm)	MÁXIMO (ppm)	MÍNIMO NÃO-OUTLIER (ppm)	LIMIAR INFERIOR (ppm)	MÁXIMO NÃO-OUTLIER (ppm)	LIMIAR SUPERIOR (ppm)	BACKGROUND		BACKGROUND SUPERIOR (ppm)
									1º QUARTIL (25%) (ppm)	3º QUARTIL (75%) (ppm)	
P	56	253,5	0,25	2151	143	26	1352	1365	206	553	553-1352
Ti	56	1000	300	3900	400	390	2400	3859	800	1200	2400-3859
Ag	56	0,12	< 0,01	1,69	0,02	0,02	0,68	0,85	0,07	0,2	0,20-0,68



**Figura 40** - Diagrama de caixa para concentrações de P, Ti e Ag no alvo 4.

Esses elementos produziram correlações com P irrelevantes ou sem significado geológico. Elementos imóveis, que tendem a permanecer nos solos lixiviados (Al, Ga) ou na estrutura de minerais resistentes (Ti, V), também tendem a refletir em correlações fracas ou negativas com P.

Discrepâncias nas correlações entre P e demais variáveis válidas (Al, Ag, Ba, Ca, Ce, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, Hg, In, La, Lu, Mn, Mo, Nb, Ni, Sn, Sr, Tb, Th, Ti, Tl, U, V, Y, Yb e Zn) foram minimizadas pela matriz de correlação de postos (Tabela 13). O fósforo apresentou Índices de correlação fortes a muito fortes com as variáveis Co, Fe, Lu, Mg, Sc, Tb, Y, Yb. Índices de correlação moderados foram observados entre P e Ca, Cs, Ga, In, Mn, Sn, Sr, V, Zn. Com relação aos demais elementos válidos, o fósforo apresentou índices de correlação fracos, muito fracos ou negativos.

O dendrograma (Figura 41) foi elaborado com elementos que apresentaram índices de correlação com fósforo >0,4 (moderados). Na análise, o fósforo apresentou maior afinidade geoquímica com Fe, Sc, Sr, conforme demonstrado pelo agrupamento definido na distância de ligação de  $\approx 7,3$ . Na distância de ligação de  $\approx 9,2$ , os

elementos V, Mn e Co são incorporados ao agrupamento. Os elementos Ga, Zn, Tb, Yb, e Y estão agrupados com P apenas na distância de ligação de  $\approx 11,9$ .

As relações entre os elementos que apresentaram índices de correlação com P consistentes (considerando significativos valores >0,4) foram avaliadas por análise fatorial (Tabela 14). Três fatores foram extraídos e analisados. As associações geoquímicas foram definidas considerando cargas das variáveis nos fatores > 0,6.

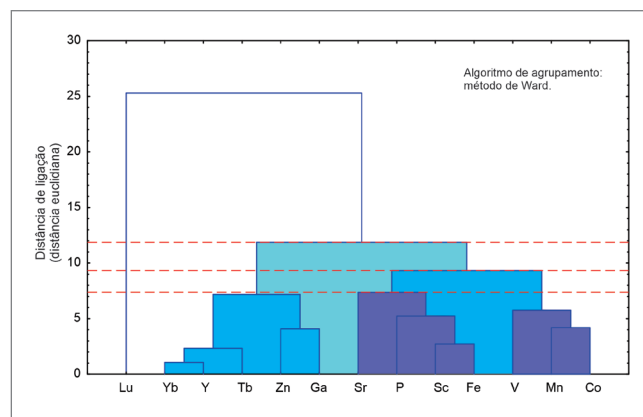
O fator 1 revelou a assinatura de minerais portadores de ETR (Lu-Tb-Yb-Y) nos horizontes de solo superficiais, embora as concentrações obtidas não tenham revelado importância econômica. O fator 2 definiu a associação geoquímica P-Fe-Sc-Sr, considerada uma assinatura esperada em solos residuais desenvolvidos sobre unidades gabroanortosíticas que correlaciona mineralizações de apatita com óxidos de Fe. A retenção de Co e Mn nos horizontes de solos mais lixiviados é indicada no fator 3, com a associação geoquímica Co-Mn. Os perfis geológico-geoquímicos (Figura 42) demonstram que Co alcança maior enriquecimento no domínio do regolito desenvolvido sobre as rochas gabroanortosíticas, enquanto o Mn apresenta enriquecimento

**Tabela 13.** Matriz com índices de correlação de Spearman entre P e variáveis válidas. Os resultados foram obtidos após transformação logarítmica das variáveis. Índices de correlação de Spearman em vermelho indicam correlações positivas muito fortes a moderadas (>0,4) entre fósforo e variáveis selecionadas.

Nº DE OBSERVAÇÕES	ÍNDICES DE CORRELAÇÃO	
		P
56	Ag	0,16
56	Al	0,35
56	Ba	0,39
56	Ca*	0,44
56	Cd*	0,45
56	Ce	0,1
56	Co	0,64
56	Cr	0,14
56	Cs*	0,45
56	Cu	0,08
56	Fe	0,80
56	Ga	0,43
56	Hg	-0,12
56	In*	0,46
56	La	0,2
56	Lu	0,73
56	Mn	0,45
56	Mo	0,34
56	Mg*	0,62
56	Nb	-0,29
56	Ni	0,22
56	P	1
56	Pb	-0,21
56	Sc	0,70
56	Sn	0,55
56	Sr	0,58
56	Tb	0,60
56	Ti	-0,39
56	Th	-0,22
56	Tl	-0,04
56	U	0,21
56	V	0,54
56	Y	0,68
56	Yb	0,71
56	Zn	0,54
56	Zr	0,35

\*Elementos com correlação linear duvidosa com P em diagramas bivariantes.

relativo nas cotas mais elevadas do relevo, com formação de zonas mais empobrecidas intercaladas, algumas coincidentes com calhas de drenagem e planícies colúvio-aluvionares. Observar a porção NW dos perfis geológico-geoquímicos (Figura 42).



**Figura 41** - Dendrograma para variáveis selecionadas no alvo 4, por critério de normalidade e índices de correlação com P > 0,4. As linhas tracejadas em vermelho indicam as análises dos agrupamentos formados nas distâncias de ligação respectivamente em 11,9 (agrupamentos em azul-claro), 9,2 (agrupamentos em azul-médio), 7,3 (agrupamentos em azul-escuro).

**Tabela 14.** Resultado da análise fatorial sobre o conjunto amostral do alvo 4 mostrando a carga das variáveis nos fatores extraídos.

	F1	F2	F3
Co	0,405142	0,542340	0,633783
Fe	0,452577	0,849695	0,232873
Lu	0,861099	0,398608	0,294698
Mn	0,408815	0,225270	0,871500
P	0,366632	0,765500	0,154992
Sc	0,611042	0,679227	0,304940
Sr	0,111423	0,622634	0,430581
Tb	0,853149	0,306458	0,334448
V	0,419573	0,445998	0,416637
Y	0,886018	0,295547	0,328921
Yb	0,879862	0,360013	0,276823
Zn	0,577276	0,447187	0,520623
Autovalores	8,688189	0,823562	0,798898
% de variância total	72,40	6,86	6,66
Autovalores acumulados	8,68819	9,51175	10,31065
% de variância total acumulada	72,40	79,26	85,92

Método de extração dos fatores: principais componentes  
Método de análise dos principais fatores: máxima verossimilhança entre fatores  
Rotação: Varimax normalizada



O fósforo alcançou as maiores concentrações nos horizontes superficiais desenvolvidos no domínio da Suíte Repartimento, também marcados por enriquecimento relativo em Fe, Co, Sr (Figura 42).

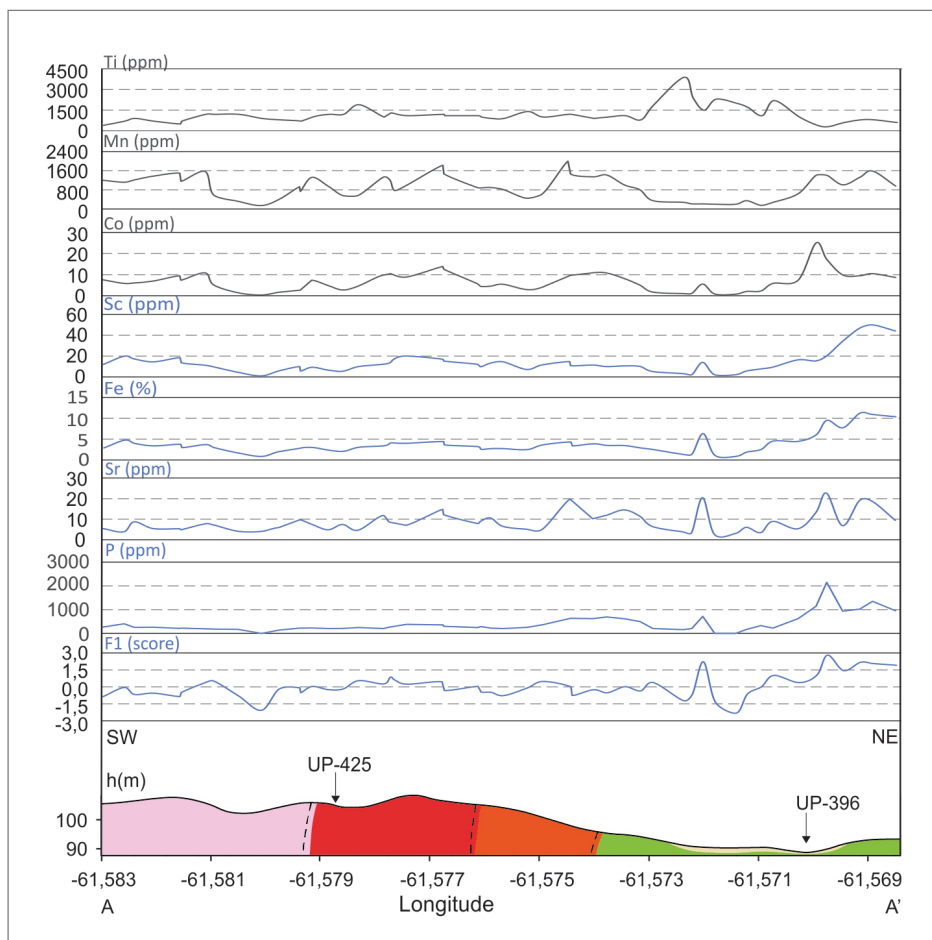
Na extremidade NW dos perfis geológico-geoquímicos, os resultados indicaram uma zona enriquecida em Ti sobreposta a uma planície colúvio-aluvionar que tem como substrato o regolito da Suíte Repartimento (Figura 42). Apesar de haver claro controle do relevo para a formação de depósitos sedimentares de minerais pesados, a Suíte Repartimento desponta como a principal unidade-fonte para óxidos de Ti-Fe e outros minerais pesados depositados no domínio.

## 5.5. LEVANTAMENTO PROSPECTIVO DO ALVO 5

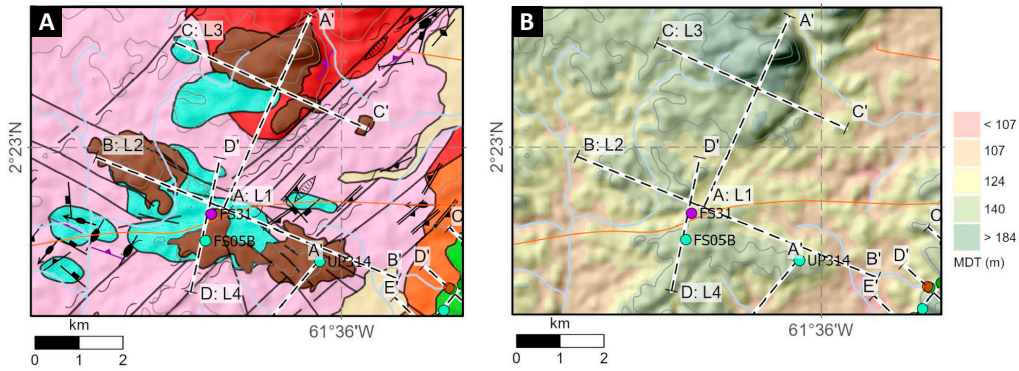
### 5.5.1. Geologia

O alvo 5 está localizado na porção central da área de estudo, tendo, como litologia hospedeira da mineralização no metalotecto, os corpos alcalinos mesozoicos intrusivos no embasamento orosiriano (Figura 43a,b).

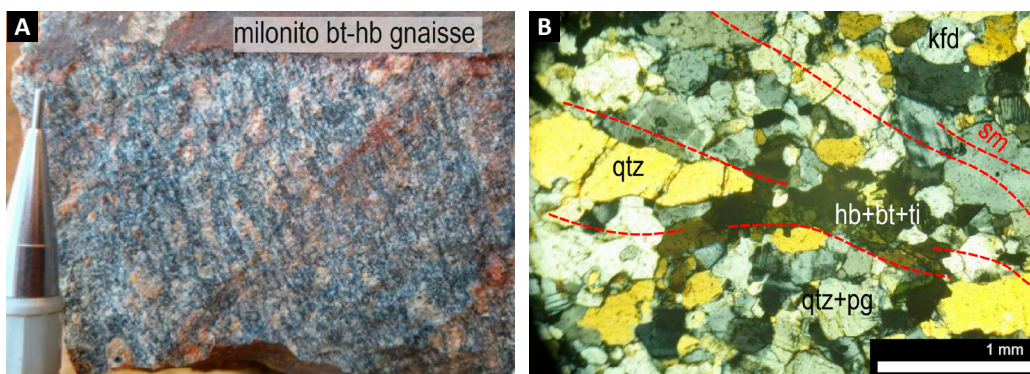
Localmente, o embasamento é representado pelo Ortognaisse Miracelha. Os litotipos são leucocráticos e possuem composições de granodiorítica a sienogranítica, com concentrações variáveis de alcalifeldspato, quartzo e plagioclásio, além de hornblenda, biotita e magnetita como minerais máficos. Comumente, os litotipos apresentam textura augen e bandamento com direção N70°W ( $D_{n-1}$ ). Essa trama é parcialmente obliterada pelo desenvolvimento de uma foliação milonítica e xistosidade com atitude geral N55°E/SW ( $D_n$ ) (Figura 44a,b). Próximo ao contato com os corpos alcalinos, ocorre intensa alteração hidrotermal (femitização), controlada por estruturação cataclástica com direção geral NW-SE ( $D_{n+1}$ ). Nessa área, os corpos alcalinos são representados por corpos sieníticos plutônicos a subvulcânicos isotrópicos alongados na direção NW-SE e enxames de diques de traquito e fonolito, com direção predominante NE-SW. A presença de xenólitos de traquitos em diques de fonolitos indica que existiram sucessivos pulsos ao longo da evolução do magmatismo alcalino na área (Figura 45a,b).



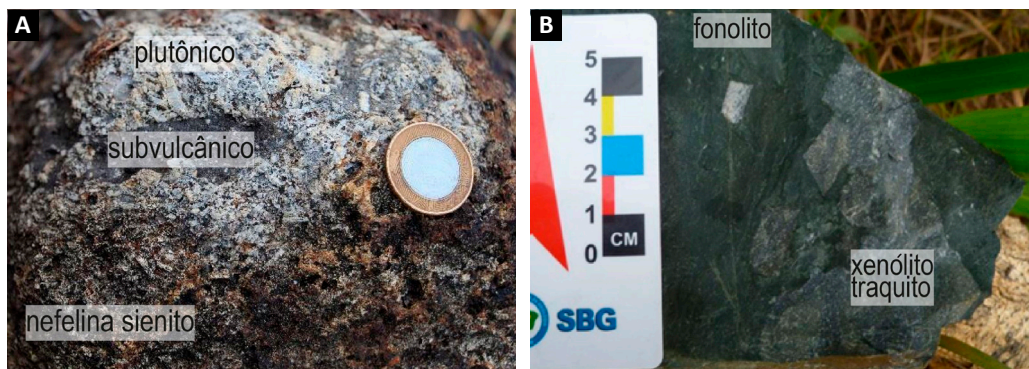
**Figura 42** - Perfis geológico-geoquímicos da linha 1, alvo 4. Legenda do perfil geológico conforme mapa regional (Figura 3). Amostras indicadas com setas no perfil geológico correspondem a amostras de rocha mencionadas no texto.



**Figura 43** - (a) Mapa geológico e (b) Mapa de relevo do alvo 5, ambos apresentando estações de amostragem para análise geoquímica de solo e de litogeoquímica. Para legenda, vide Figura 3.



**Figura 44** - Aspecto textural de ortognaiss e rochas alcalinas do alvo 5: (a) milonito de protólito ortognaiss sienogranítico com foliação N55°E 70°/SW e (b) microfotografia do milonito mostrando textura granoblástica poligonal quartzo-feldspática de alta-temperatura. Obs: hb. hornblenda; bt. biotita; qtz. quartzo; ti. titanita; pg. plagioclásio; kfd. K-feldspato.



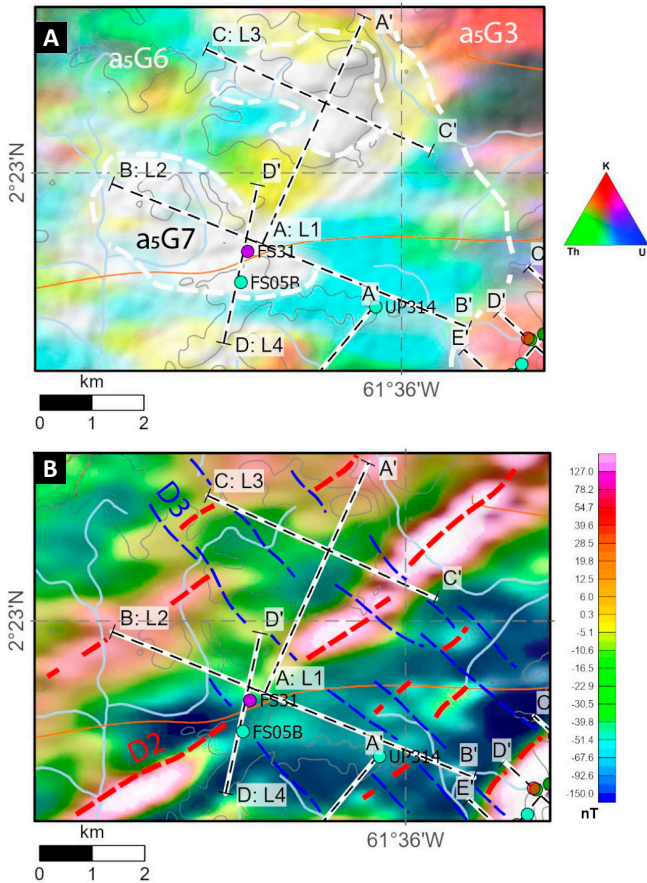
**Figura 45** - Aspecto textural das rochas alcalinas no alvo 5: (a) nefelina sienito e (b) dique fonolito com xenólito de traquito.

### 5.5.2. Geofísica

No alvo 5, a imagem de composição ternária RGB. KThU dos dados aerogamaespectrométricos (Figura 46a) mostrou valores muito altos em todos os canais, com predomínio da cor branca, em relação direta com corpos de nefelina-sienito mapeados, onde um grande corpo é destacado na porção central da área. Outros domínios

em tons quentes mostraram a relação com o embasamento formado por ortognaisses, preservado (tons vermelhos) ou metassomatizado pelas intrusões alcalinas (tons amarelos e ciano). Nos dados aeromagnetométricos (Figura 46b), representados pela imagem da componente residual do campo magnético anômalo, observa-se uma trama magnética NE-SW, que coincide com a estruturação  $D_n$  do embasamento. Essa estruturação é seccionada

por um domínio de baixo magnético, que coincide espacialmente com os corpos alcalinos. Concordante com essa anomalia, observa-se lineamentos não magnéticos, interpretados com falhas e fraturas associadas a um evento deformacional  $D_{n+1}$ .



**Figura 46** - Mapas aerogeofísicos do alvo 5: (a) imagem de composição ternária RGB.KThU, com relevo sombreado do MDT.SRTM. e (b) imagem de componente residual do campo magnético anômalo. Para legenda, vide Figura 3.

### 5.5.3. Litoquímica

As duas amostras da Suíte Apiaú analisadas no alvo 5 correspondem a um fonolito (FS-31) e a um quartzo traquito (FS-05B), que, se comparados aos álcali-feldspato-quartzo-traquitos do alvo 3 (UP-173, 01B), caracterizam-se por concentrações mais baixas de sílica (53,5-54,0%), de ETR (530-770 ppm) e Y (16-28 ppm), e mais altas em álcalis (15-16 %),  $Al_2O_3$  (~20 %), Nb (320-355 ppm), Ta (15-20 ppm), U (24-26 ppm) e Th (24-48 ppm). Estes valores são similares aos encontrados no fonolito (UP-308) descrito no alvo 3.

No diagrama de variação multielementar (Figura 32a) normalizado ao MORB (Pearce, 1983), as rochas mostram anomalias negativas para  $TiO_2$  (0,12-0,13x),  $P_2O_5$  (0,25-0,42x), Sr (1,4-2,8x) e Ba (9,3-20,7x), além de enriquecimento em Nb-Ta (86-114x) e Th (120-240x). Essas amostras fazem parte de um tipo de rochas alcalinas mais empobrecidas em Y e Zr-Hf, que possuem concentrações mais baixas em ETRp (Figura 32b) e anomalias negativas de Eu mais discretas ( $Eu_n/Eu^* 0,6$ ).

### 5.5.4. Geoquímica de solo

#### Prospecção de Elementos Terras-Raras

#### Linha 1

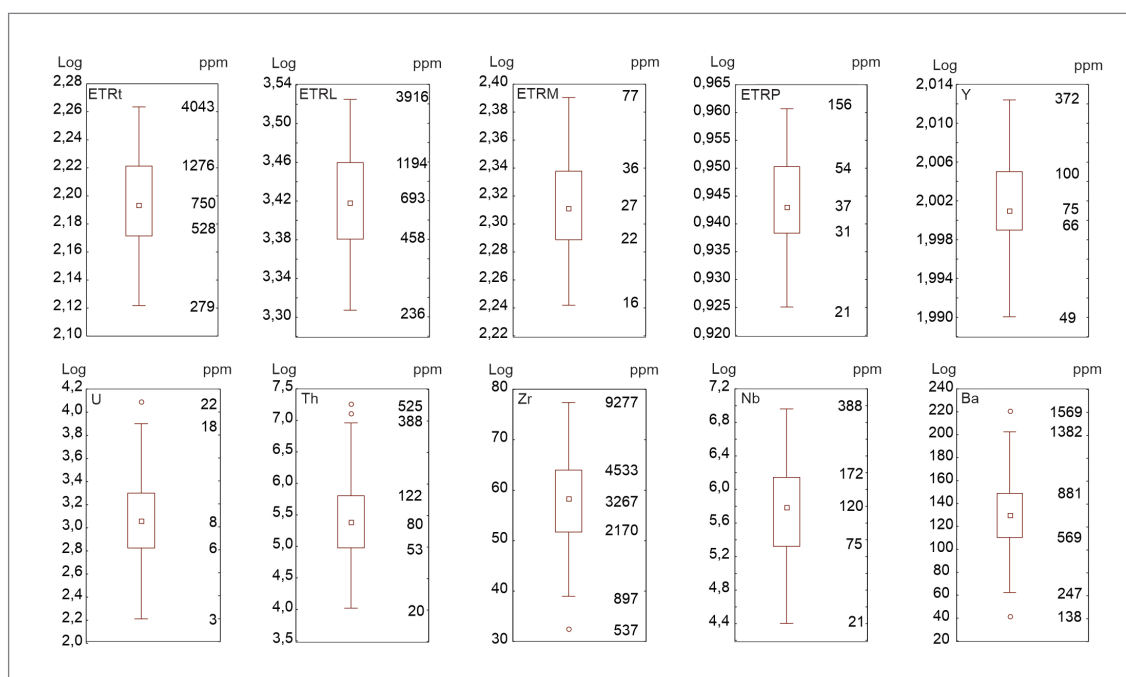
As amostras obtidas na linha 1 do alvo 5 forneceram concentrações de ETRt entre 279 e 4.043 ppm, definindo uma faixa de alto *background* entre 1.275 e 4.043 ppm (Tabela 15; Figura 47). As concentrações de ETRLt são expressivas nas amostras analisadas, revelando, localmente, *background* entre ≈458 e 1.194 ppm e alto *background* entre ≈1.194 e 3.916 ppm (concentração máxima).

**Tabela 15.** Estatística descritiva para concentrações de ETR, Y e demais elementos com concentrações significativas na Linha1 do alvo 5.

VARIÁVEL	Nº DE OBSERVAÇÕES	MEDIANA (ppm)	MÍNIMO (ppm)	MÁXIMO (ppm)	MÍNIMO NÃO OUTLIER	LIMIAR INFERIOR (ppm)	MÁXIMO NÃO OUTLIER	LIMIAR SUPERIOR	BACKGROUND		ALTO BACKGROUND
									1º QUARTIL (ppm)	3º QUARTIL (ppm)	
Ce	105	400,6	257,2	3405	128,6	253	3405,00	3460,1	271,9	748,5	748,5-3460
La	105	132	42,3	635,8	42,3	29	635,8	737,7	84,4	286,3	286,3-738
Pr	105	23,51	9,39	85,61	9,39	7	85,61	91,0	15,33	35	35-91
Nd	105	76,7	36,8	265,5	36,8	36	265,5	271,0	59,6	113,3	113,3-271
ETRLt	105	692,81	236,87	3915,88	236,87	234	3915,88	3975,0	457,69	1194,33	1194,33-3975
Sm	105	12,2	6,7	36,7	6,7	6	36,7	38,0	9,6	16,6	16,6-38
Eu	105	1,95	1,09	6,48	1,09	1	6,48	7,0	1,59	2,59	1,09-7
Gd	105	10,27	6,08	29,21	6,08	6	29,21	29,5	8,7	13,23	13,23-29,5

**Tabela 15.** Estatística descritiva para concentrações de ETR, Y e demais elementos com concentrações significativas na Linha1 do alvo 5 (continuação).

VARIÁVEL	Nº DE OBSERVAÇÕES	MEDIANA (ppm)	MÍNIMO (ppm)	MÁXIMO (ppm)	MÍNIMO NÃO OUTLIER	LIMIAR INFERIOR (ppm)	MÁXIMO NÃO OUTLIER	LIMIAR SUPERIOR	BACKGROUND		ALTO BACKGROUND
									1º QUARTIL (ppm)	3º QUARTIL (ppm)	
Tb	105	1,83	1,01	6,22	1,01	1	6,22	7,0	1,5	2,41	2,41-7
ETRMt	105	26,88	15,66	76,54	15,66	15	76,54	77,0	22,06	35,38	35,38-77
Dy	105	12,28	6,52	49,46	6,52	6	49,46	50,0	10,21	17,35	17,35-50
Ho	105	2,73	1,48	11,91	1,48	1	11,91	12,0	2,29	3,79	3,79-12
Er	105	8,97	5,08	40,2	5,08	5	40,2	41,0	7,51	13,13	13,13-41
Tm	105	1,39	0,83	6,56	0,83	1	6,56	7,0	1,2	2	2-7
Yb	105	10	6,4	42,2	6,4	6	42,2	44,0	8,6	14,9	14,9-44
Lu	105	1,45	0,94	5,72	0,94	1	5,72	6,0	1,28	2,1	2,1-6
ETRPt	105	37,27	21,26	156,05	21,26	21	156,05	157,0	31,08	54,21	54,21-157
ETRt	105	750,15	279,2	4043,13	279,2	276	4043,13	4101,0	527,61	1275,7	1275,7-4101
Y	105	74,88	49,43	372,09	49,43	49	372,09	372,0	65,97	100,27	100,27-372
Zr	105	3267,3	537,08	9277,1	897,4	550	9277,1	9877,0	2169,7	4533,1	4533,1-9877
Hf	105	65,22	12,23	189,31	18,81	13,69	189,31	194,38	88,08	128,56	88,08-194,38
Ba	105	720	138	1569	247	174	1382	1468,0	569	881	881-1468
Nb	105	119,72	30,01	387,85	30,01	28	387,85	411,0	75,37	171,5	171,5-411
Ta	105	5,91	1,35	19,62	1,35	1,10	19,62	21,57	3,68	8,42	8,42-21,57
Th	105	80,3	20,5	525,3	20,5	19	387,8	509,0	53,4	122	122-509
U	105	7,85	3,36	22,03	3,36	3	18,19	22,0	6,2	9,97	9,97-22
F	105	298	62	1198	62	57	1198	1262,0	184	443	443-1262
Cl	105	10	10	2281	10	9	2281	2786,0	10	195	195-2786



**Figura 47 -** Diagramas de caixa para concentrações de ETR totais, ETRL, ETRM e ETRP e demais elementos com concentrações significativas no alvo 5, linha 1.

As concentrações de ETRMt e ETRPt são em geral menos proeminentes, com valores nos intervalos ≈16-76 ppm e entre ≈22-56 ppm r, respectivamente (ver valores na Tabela 15). O ítrio ocorre em concentrações equiparáveis aos ETRPt, com valores entre 42,4 e 372 ppm. Aproximadamente, 43% dos resultados obtidos na linha 1 do alvo 5 estão sobrepostos com a faixa de alto *background* regional, incluindo o valor máximo regional obtido.

Concentrações significativas de Zr (≈537-9.277 ppm), Ba (≈138-1.569 ppm), U (≈10-18 ppm), Th (≈20,5-525 ppm) e Nb (≈30-388 ppm) também foram identificadas nas amostras analisadas. Essas concentrações estão sobrepostas com as respectivas faixas de alto *background* regional (comparar valores regionais da Tabela 1 - Estudos orientativos). O cloro apresentou anomalias erráticas ao longo da linha 1, aparentemente devido a efeitos da lixiviação intempérica. As concentrações de Cl e F estão situadas nos intervalos ≈10-2.281 ppm ≈62-1.198 ppm, respectivamente.

A lixiviação, aparentemente, pode ter remobilizado as concentrações originais de Cu, Ni, Mo, Tl, Be e alguns ETRL, como La e Ce. Índices de correlação entre ETR e os elementos analisados mais abundantes são apresentados na Tabela 16.

As variáveis W, Be, Nb, Sn, Ta, Th, U, Y, Co, Cl e F apresentaram índices de correlação fortes a moderados com pelo menos um ETRL e/ou ETRM. Os ETRP exibiram maior afinidade geoquímica com Y, Hf, Nb, Ta e Zr, com os quais apresentaram índices de correlação variando entre fortes a muito fortes. O cloro apresentou índices de correlação negativos ou muito fracos com todos os ETRs. O flúor não apresentou um índice de correlação forte com La, Pr e moderado a fraco com demais ETR.

As relações multielementares entre os elementos que apresentaram índices de correlação fortes ou muito fortes com pelo menos um ETR foram testadas por análise fatorial, em modelo de quatro fatores (Tabela 17).

**Tabela 16.** Índices de correlação de postos de Spearman, para variáveis da linha 1 do alvo 5.

	CE	DY	ER	EU	GD	HO	LA	LU	ND	PR	SM	TB	TM	YB	ETRLT	ETRMT	ETRPT	ETRT
Ba	0,13	0,00	0,03	-0,29	-0,15	-0,02	-0,33	0,10	-0,24	-0,32	-0,19	-0,09	0,01	0,10	-0,04	-0,19	0,04	-0,04
Be	0,34	0,48	0,46	0,65	0,56	0,50	0,72	0,39	0,58	0,65	0,54	0,57	0,49	0,40	0,48	0,56	0,45	0,50
Ce	1,00	0,55	0,49	0,54	0,58	0,50	0,65	0,47	0,69	0,66	0,68	0,56	0,46	0,47	0,96	0,63	0,51	0,96
Co	0,14	0,05	0,07	0,28	0,13	0,09	0,44	0,05	0,24	0,34	0,16	0,14	0,13	0,05	0,26	0,15	0,05	0,26
Cs	0,12	0,23	0,19	0,35	0,32	0,23	0,33	0,11	0,28	0,30	0,28	0,30	0,20	0,14	0,18	0,30	0,18	0,19
Cu	0,03	-0,27	-0,34	0,28	0,03	-0,29	0,43	-0,38	0,31	0,40	0,17	-0,13	-0,32	-0,39	0,18	0,10	-0,34	0,17
Dy	0,55	1,00	0,97	0,67	0,86	0,98	0,52	0,90	0,62	0,56	0,72	0,97	0,93	0,92	0,57	0,81	0,98	0,61
Er	0,49	0,97	1,00	0,54	0,76	0,99	0,45	0,95	0,50	0,46	0,59	0,91	0,97	0,97	0,50	0,69	1,00	0,53
Eu	0,54	0,67	0,54	1,00	0,88	0,59	0,84	0,45	0,91	0,89	0,95	0,78	0,51	0,46	0,68	0,93	0,56	0,70
Ga	0,21	0,29	0,23	0,04	0,25	0,21	-0,19	0,20	0,07	-0,07	0,19	0,22	0,14	0,22	0,09	0,22	0,25	0,10
Gd	0,58	0,86	0,76	0,88	1,00	0,80	0,69	0,66	0,86	0,79	0,91	0,92	0,70	0,68	0,66	0,98	0,78	0,69
Hf	0,32	0,43	0,53	-0,04	0,19	0,46	-0,06	0,66	0,04	-0,02	0,07	0,32	0,54	0,64	0,21	0,13	0,54	0,22
Ho	0,50	0,98	0,99	0,59	0,80	1,00	0,49	0,94	0,54	0,51	0,63	0,94	0,97	0,96	0,52	0,74	0,99	0,55
La	0,65	0,52	0,45	0,84	0,69	0,49	1,00	0,37	0,90	0,96	0,81	0,62	0,43	0,38	0,81	0,77	0,45	0,81
Lu	0,47	0,90	0,95	0,45	0,66	0,94	0,37	1,00	0,41	0,38	0,50	0,84	0,98	0,99	0,45	0,60	0,96	0,48
Mo	0,77	0,55	0,51	0,61	0,59	0,53	0,80	0,48	0,71	0,75	0,65	0,59	0,51	0,48	0,83	0,64	0,51	0,84
Nb	0,66	0,61	0,62	0,30	0,45	0,58	0,33	0,68	0,39	0,34	0,41	0,53	0,62	0,68	0,59	0,43	0,64	0,60
Nd	0,69	0,62	0,50	0,91	0,86	0,54	0,90	0,41	1,00	0,98	0,94	0,72	0,45	0,42	0,82	0,92	0,52	0,82
Ni	-0,35	-0,30	-0,32	-0,01	-0,15	-0,28	0,03	-0,36	-0,08	-0,01	-0,16	-0,22	-0,28	-0,37	-0,24	-0,15	-0,33	-0,24
Pr	0,66	0,56	0,46	0,89	0,79	0,51	0,96	0,38	0,98	1,00	0,89	0,67	0,43	0,38	0,82	0,87	0,47	0,82
Rb	0,17	0,18	0,18	-0,16	0,05	0,14	-0,27	0,21	-0,11	-0,23	-0,03	0,09	0,13	0,21	0,02	0,00	0,19	0,02
Sm	0,68	0,72	0,59	0,95	0,91	0,63	0,81	0,50	0,94	0,89	1,00	0,81	0,54	0,51	0,78	0,97	0,62	0,79
Sn	0,73	0,60	0,54	0,58	0,62	0,54	0,63	0,50	0,66	0,65	0,64	0,60	0,51	0,51	0,76	0,64	0,55	0,77
Sr	0,17	0,16	0,17	0,28	0,18	0,18	0,41	0,14	0,25	0,30	0,18	0,20	0,20	0,16	0,24	0,18	0,16	0,24
Ta	0,63	0,62	0,64	0,28	0,44	0,60	0,29	0,69	0,35	0,30	0,39	0,54	0,63	0,70	0,55	0,42	0,65	0,57
Tb	0,56	0,97	0,91	0,78	0,92	0,94	0,62	0,84	0,72	0,67	0,81	1,00	0,88	0,85	0,62	0,88	0,92	0,65
Th	0,56	0,60	0,57	0,70	0,63	0,60	0,77	0,49	0,67	0,72	0,66	0,64	0,58	0,51	0,67	0,66	0,56	0,68
Tl	0,30	0,45	0,49	0,08	0,23	0,47	0,12	0,52	0,08	0,06	0,12	0,39	0,52	0,53	0,23	0,17	0,49	0,24

Nesse modelo, com valor de corte de 0,5 para a carga das variáveis nos fatores, os ETR foram caracterizados nos fatores 1 e 4, onde são definidas, respectivamente, as associações geoquímicas ETRMt-ETRPt-Y e ETRLt-ETRMt-Sn-W. Esse resultado, além de apresentar elementos farejadores como W e Sn, reflete a assinatura de assembleias de diferentes minerais portadores de ETRL e ETRP, com destaque para a variável ETRMt, que está correlacionada tanto com ETRLt, quanto com ETRPt. No fator 3, a associação geoquímica Nb-Zr indica a presença de zircão e columbita na assembleia de minerais resistentes dos solos residuais. A associação geoquímica Be-Th-U-F, definida no fator 2, aponta para paragênese hidrotermais.

O incremento na curva geoquímica desses elementos (Figura 48) mostra uma sobreposição espacial com os valores mais altos nas curvas de ETR. Os valores mais elevados de ETRLt, ETRMt e ETRPt e Y em solo foram obtidos no saprolito sobre o contato entre as rochas da Suíte Apiaú e associação AMCG Mucajá, localizados na parte central dos perfis geológico-geoquímicos. Nesse segmento do perfil geológico-geoquímico, as curvas definem um domínio também caracterizado pelo enriquecimento em Be, Th, U, W, Sn, Nb, Zr e F.

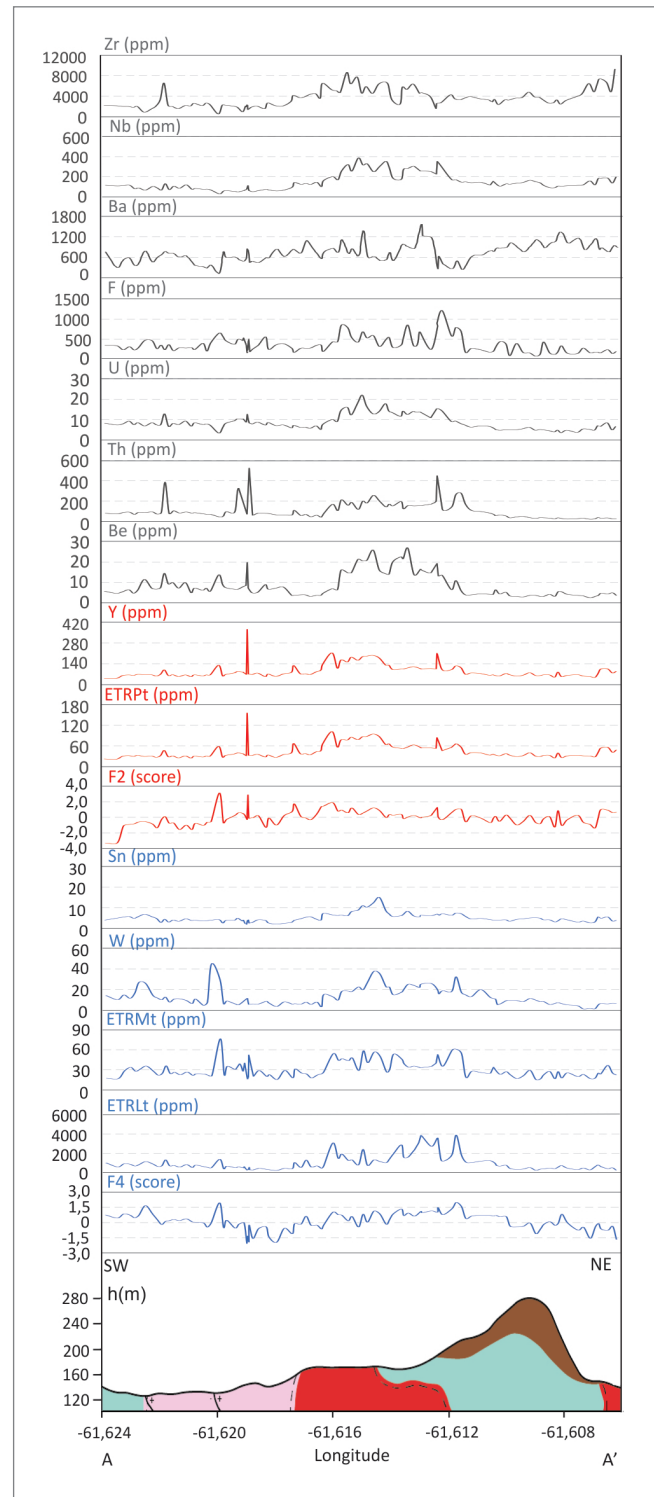
Apesar da curva de ETRLt atingir valores máximos nos solos superficiais sobre o domínio, os valores máximos de ETRMt, ETRPt e Y foram alcançados somente em um ponto anômalo mais a SW da linha de amostragem (ver Figura 48), associada a uma zona de interferência de

falhas direcionais e fraturas rúpteis. Nesse ponto, também, ocorrem picos de Nb, Zr, Ba e Th. Regionalmente, essas zonas de falhas serviram de controle para migração de fluidos hidrotermais, não raramente promovendo o metassomatismo das encaixantes (por exemplo, zonas com fenitização).

**Tabela 17.** Resultado da análise fatorial para o conjunto amostral da linha 1, alvo 5. Em destaque, carga das variáveis nos fatores > 0,5 (em vermelho).

VARIÁVEL	F1	F2	F3	F4
Be	0,2848	<b>0,7775</b>	-0,0327	0,3063
Sn	0,1699	0,2100	0,4587	<b>0,6744</b>
Nb	0,1878	0,1986	<b>0,8326</b>	0,3723
Th	0,3120	<b>0,7515</b>	0,0006	0,3760
U	0,2276	<b>0,8894</b>	0,2872	0,1796
W	0,1696	0,4263	0,1201	<b>0,6012</b>
Y	<b>0,8445</b>	0,3865	0,2866	0,1963
Zr	0,2047	-0,0829	<b>0,8952</b>	0,0088
F	0,1376	<b>0,5099</b>	-0,0705	0,4664
ETRLt	0,1815	0,2764	0,2117	<b>0,8322</b>
ETRMt	<b>0,5856</b>	0,3291	0,0182	0,6170
ETRPt	<b>0,8267</b>	0,2927	0,3967	0,2316
Autovalor	5,1401	2,2782	1,3706	0,9777
% variância total	42,8344	18,98495	11,4215	8,1475
Autovalor acumulado	5,14013	7,4183	8,7889	9,7666
% variância total acumulada	42,8344	61,8193	73,2408	81,3883

Método de extração dos fatores: principais componentes  
 Método de análise dos principais fatores: máxima verossimilhança entre fatores  
 Rotação: Varimax normalizada



**Figura 48 -** Perfis geológico-geoquímicos da linha 1, alvo 5. Legenda do perfil geológico conforme mapa regional (Figura 3).

## Linha 2

As amostras de solo da linha 2 apresentaram concentrações de ETRt variando entre ≈127 e 6.098 ppm. O intervalo de *background* local de ETRt está situado entre ≈445 e 1.110 ppm e coincide com a faixa de *background* regional (Tabela 18, Figura 49). A expressividade das concentrações de ETRt é devida ao componente de elementos terras-raras leves. As concentrações locais ETRLt variam entre 100 e 6.000 ppm, com *background* no intervalo de ≈399-1.053 ppm. Cério é o ETRL mais abundante (Ce ≈49,6-4.391 ppm, seguido de lantânio (La ≈99-1.022 ppm). As concentrações dos demais ETRL são sensivelmente mais empobrecidas (Nd ≈17-280 ppm; Pr ≈4-108 ppm), assim como as concentrações totais de elementos terras-raras médias (ETRMt ≈8-64 ppm) e pesadas (ETRPt ≈38-175 ppm).

Concentrações relevantes de Zr (≈554-9.819 ppm; mediana ≈1.855), Ba (≈118-3.957 ppm; mediana ≈384 ppm) e F (≈31-944 ppm; mediana ≈307 ppm) também foram identificadas nas amostras de solo da Linha 2 (comparar com valores regionais; Tabela 1 – Estudos orientativos).

Mais de 40% das amostras apresentaram concentrações de Cl e Tl iguais ou abaixo dos limites inferiores de detecção, decorrentes da lixiviação nos horizontes mais superficiais de solo. Algumas observações erráticas apresentaram concentrações de Cl relativamente elevadas (valor máximo de ≈768 ppm), mas com significado geológico comprometido pela lixiviação. A lixiviação pode também ter remobilizado as concentrações Cu, Mo e Ni em um número restrito de amostras. As correlações geoquímicas entre os ETR e os elementos dosados mais preservados ou aparentemente não afetados

**Tabela 18.** Estatística descritiva para concentrações de ETR, Y e demais elementos com concentrações de interesse econômico na linha 2 do alvo 5.

VARIÁVEL	CASOS VÁLIDOS	MEDIANA (ppm)	MÍNIMO (ppm)	MÁXIMO (ppm)	MÍNIMO NÃO OUTLIER (ppm)	LIMIAR INFERIOR (ppm)	MÁXIMO NÃO OUTLIER (ppm)	LIMIAR SUPERIOR (ppm)	BACKGROUND		ALTO BACK-GROUND (ppm)
									1º QUARTIL (ppm)	3º QUARTIL (ppm)	
Ce	149	379,2	49,6	4391	49,6	48,19	1836	1928,79	207	588,7	588,7 -1928,79
La	149	174,3	29	1222	29	24,36	1222	1286,28	89,4	301,8	301,8-1286,28
Nd	149	83,3	16,9	279,1	16,9	15,75	223	230,83	57,6	111,8	111,8-230,83
Pr	149	26,12	4,36	108,19	4,36	3,77	67,16	73,71	17,25	36,21	36,21-73,71
ETRLt	149	705,34	99,86	6000,29	99,86	98,65	2238,09	2417,85	399,41	1052,88	1052,88-2417,85
Eu	149	1,693147	0,78	5,05	0,78	0,77	5,05	5,15	1,59	2,58	2,58-5,15
Gd	149	9,35	3,62	22,3	5,15	4,81	18,87	19,33	7,79	11,53	11,53-19,33
Sm	149	11,08	3,2	33,4	3,9	3,81	28,3	28,37	9,2	15,1	15,1-28,37
Tb	149	1,5	0,64	3,24	0,89	0,62	3,24	3,26	1,23	1,82	1,82-3,26
ETRMt	149	24,51	8,27	63,56	11,69	11,31	50,03	51,54	19,9	30,6	30,6-51,54
Dy	149	10,01	3,97	19,28	4,83	4,80	17,84	18,23	8,49	11,92	11,92-18,23
Er	149	6,99	2,85	13,82	3,77	3,53	12,71	12,95	5,99	8,41	8,41-12,95
Ho	149	2,11	0,85	4,09	1,05	0,92	4,09	4,18	1,77	2,58	2,58-4,18
Lu	149	1,19	0,43	2,73	0,58	0,56	2,06	2,06	1,01	1,38	1,38-2,06
Tm	149	1,1	0,42	2,31	0,56	0,51	1,83	1,94	0,95	1,31	1,31-1,94
Yb	149	8,1	3	19,1	4,1	4,04	13,9	13,99	6,9	9,4	9,4-13,99
ETRPt	149	91,26	37,66	175,39	47,72	47,19	175,39	177,46	77,23	110,38	110,38-177,46
ETRt	149	787,6	127,22	6098,47	127,22	124,15	2289,07	2480,26	445,31	1109,95	1109,95-2480,26
Y	149	61,27	25,51	122,4	31,96	31,57	122,4	123,19	51,84	74,21	74,21-123,19
Zr	149	1855,1	553,9	9818,8	913,9	912,63	3242,1	3280,28	1519,1	2147,2	2147,2-3280,28
Hf	149	35,77	12,14	204,04	17,99	16,61	67,1	67,74	28,87	41,27	41,27-67,74
Nb	149	99,98	44,18	249,24	44,18	42,88	249,24	252,24	79,69	129,75	129,75-252,24
Ta	149	4,79	1,63	11,98	1,71	1,67	11,98	12,53	3,72	6,33	6,33-12,53
Th	149	85,4	12,4	201,7	12,4	5,90	175,7	193,27	60,3	110,9	110,9-193,27
U	149	8	2,96	14,5	2,96	2,65	14,5	15,45	6,11	9,54	9,54-15,45
Ba	149	384	118	3957	118	114,50	1209	1235,50	274	528	528-1235,50
F	149	307	31	944	53	38,00	852	865	207	403	403-865

pela lixiviação foram analisadas na matriz de postos de Spearman (Tabela 19). Índices de correlação negativos foram desconsiderados.

Os ETRLt e ETRL apresentaram índices de correlação fortes a muito fortes entre Si, Nb, Mo, Th, U e pelo menos um ETRM. Os ETRM e ETRMt apresentaram índices de correlação fortes a muito fortes entre si, com Y e ETRP.

Os ETRP apresentaram índices de correlação muito fortes com Y. Os índices de correlação obtidos entre as demais variáveis e ETR são moderados a muito fracos.

A afinidade geoquímica entre os ETR e os elementos com os quais apresentaram índices de correlação fortes a muito fortes foi testada satisfatoriamente por análise fatorial em um modelo de três fatores (Tabela 20).

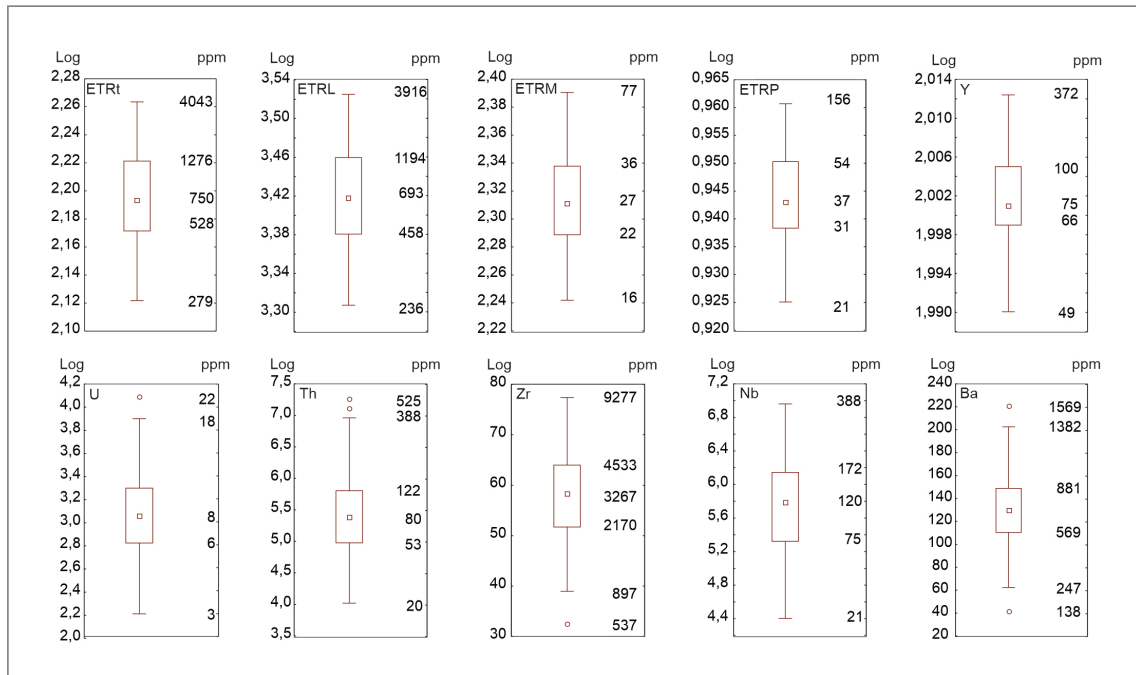


Figura 49 - Diagramas de caixa para concentrações de ETR totais, ETRLt, ETRMt, ETRPt e demais elementos com concentrações significativas no alvo 5, linha 1.

Tabela 19. Matriz de correlação de postos de Spearman para variáveis selecionadas da linha 2 (alvo 5).

	CE	DY	ER	EU	GD	HO	LA	LU	ND	PR	SM	TB	TM	YB	ETRLt	ETRMt	LTRPT	ETRT
Ba	0,31	0,11	0,06	0,5	0,3	0,12	0,29	0,12	0,36	0,36	0,39	0,24	0,1	0,06	0,34	0,38	0,06	0,35
Be	0,51	0,1	0,09	0,24	0,14	0,07	0,58	0,19	0,45	0,5	0,33	0,13	0,13	0,19	0,53	0,24	0,1	0,53
Ce	<b>1</b>	0,15	0,16	0,35	0,26	0,12	<b>0,88</b>	0,28	<b>0,73</b>	<b>0,8</b>	0,57	0,21	0,2	0,28	<b>0,98</b>	0,43	0,12	<b>0,98</b>
Co	0,51	-0,13	-0,08	0,05	-0,08	-0,14	0,31	0,05	0,2	0,24	0,08	-0,14	-0,04	0,05	0,46	0,01	-0,13	0,45
Cs	0,36	0,02	-0,01	0,22	0,2	0,01	0,51	0	0,47	0,5	0,35	0,1	-0,01	-0,01	0,41	0,29	0	0,4
Dy	0,15	<b>1</b>	<b>0,97</b>	<b>0,63</b>	<b>0,81</b>	<b>0,99</b>	0,23	<b>0,88</b>	0,48	0,39	<b>0,67</b>	<b>0,96</b>	<b>0,94</b>	<b>0,88</b>	0,21	<b>0,75</b>	<b>0,98</b>	0,23
Er	0,16	<b>0,97</b>	<b>1</b>	0,5	<b>0,7</b>	<b>0,98</b>	0,2	<b>0,94</b>	0,39	0,32	0,56	<b>0,89</b>	<b>0,99</b>	<b>0,95</b>	0,2	<b>0,63</b>	<b>0,99</b>	0,22
Eu	0,35	<b>0,63</b>	0,5	<b>1</b>	<b>0,83</b>	0,58	0,48	0,46	<b>0,75</b>	<b>0,67</b>	<b>0,9</b>	<b>0,76</b>	0,47	0,41	0,43	<b>0,92</b>	0,52	0,44
Ga	-0,04	0,24	0,16	0,21	0,26	0,21	-0,04	0,12	0,11	0,03	0,24	0,25	0,12	0,1	-0,06	0,26	0,2	-0,06
Gd	0,26	<b>0,81</b>	<b>0,7</b>	<b>0,83</b>	<b>1</b>	<b>0,78</b>	0,38	<b>0,62</b>	<b>0,73</b>	<b>0,62</b>	<b>0,85</b>	<b>0,89</b>	<b>0,67</b>	0,59	0,34	<b>0,95</b>	<b>0,73</b>	0,36
Ho	0,12	<b>0,99</b>	<b>0,98</b>	0,58	<b>0,78</b>	<b>1</b>	0,18	<b>0,89</b>	0,42	0,33	<b>0,62</b>	<b>0,94</b>	<b>0,96</b>	<b>0,89</b>	0,16	<b>0,7</b>	<b>0,99</b>	0,19
La	<b>0,88</b>	0,23	0,2	0,48	0,38	0,18	<b>1</b>	0,29	<b>0,87</b>	<b>0,93</b>	<b>0,69</b>	0,31	0,23	0,28	<b>0,94</b>	0,55	0,18	<b>0,94</b>
Lu	0,28	<b>0,88</b>	<b>0,94</b>	0,46	<b>0,62</b>	<b>0,89</b>	0,29	<b>1</b>	0,43	0,38	0,56	<b>0,79</b>	<b>0,97</b>	<b>0,99</b>	0,3	0,59	<b>0,91</b>	0,33
Mo	<b>0,84</b>	0,06	0,08	0,19	0,11	0,01	<b>0,82</b>	0,19	<b>0,6</b>	<b>0,69</b>	0,42	0,08	0,11	0,21	<b>0,85</b>	0,27	0,03	<b>0,84</b>
Nb	<b>0,61</b>	0,09	0,14	0,07	0,01	0,07	0,53	0,3	0,35	0,41	0,22	0,04	0,2	0,31	0,58	0,11	0,1	0,58
Nd	<b>0,73</b>	0,48	0,39	<b>0,75</b>	<b>0,73</b>	0,42	<b>0,87</b>	0,43	<b>1</b>	<b>0,98</b>	<b>0,9</b>	0,58	0,39	0,4	<b>0,82</b>	<b>0,85</b>	0,39	<b>0,83</b>
Pr	<b>0,8</b>	0,39	0,32	<b>0,67</b>	<b>0,62</b>	0,33	<b>0,93</b>	0,38	<b>0,98</b>	<b>1</b>	<b>0,84</b>	0,49	0,33	0,35	<b>0,88</b>	<b>0,76</b>	0,31	<b>0,88</b>
Rb	0,33	0,17	0,12	0,4	0,33	0,17	0,38	0,18	0,43	0,43	0,43	0,27	0,15	0,13	0,35	0,4	0,13	0,36



**Tabela 19.** Matriz de correlação de postos de Spearman para variáveis selecionadas da linha 2 (alvo 5) (continuação).

	CE	DY	ER	EU	GD	HO	LA	LU	ND	PR	SM	TB	TM	YB	ETRLT	ETRMt	LTRPt	ETRt
Sm	0,57	<b>0,67</b>	0,56	<b>0,9</b>	<b>0,85</b>	<b>0,62</b>	<b>0,69</b>	0,56	<b>0,9</b>	<b>0,84</b>	<b>1</b>	<b>0,8</b>	0,55	0,52	<b>0,64</b>	<b>0,96</b>	0,57	<b>0,66</b>
Sn	0,18	0,33	0,26	0,39	0,43	0,34	0,27	0,28	0,39	0,36	0,46	0,43	0,26	0,21	0,23	0,46	0,27	0,24
Sr	0,48	-0,06	-0,1	0,32	0,11	-0,12	0,59	-0,03	0,45	0,5	0,31	0	-0,08	-0,03	0,52	0,24	-0,11	0,51
Ta	0,55	-0,01	0,05	-0,02	-0,1	-0,04	0,48	0,2	0,26	0,33	0,12	-0,07	0,1	0,23	0,52	0	0	0,52
Tb	0,21	<b>0,96</b>	<b>0,89</b>	<b>0,76</b>	<b>0,89</b>	<b>0,94</b>	0,31	<b>0,79</b>	0,58	0,49	<b>0,8</b>	<b>1</b>	<b>0,85</b>	<b>0,77</b>	0,28	<b>0,86</b>	<b>0,91</b>	0,3
Th	<b>0,72</b>	0,36	0,39	0,31	0,31	0,34	<b>0,67</b>	0,47	0,59	<b>0,62</b>	0,49	0,36	0,43	0,5	<b>0,71</b>	0,41	0,36	<b>0,72</b>
Tm	0,2	<b>0,94</b>	<b>0,99</b>	0,47	<b>0,67</b>	<b>0,96</b>	0,23	<b>0,97</b>	0,39	0,33	0,55	<b>0,85</b>	<b>1</b>	<b>0,97</b>	0,23	<b>0,6</b>	<b>0,97</b>	0,26
U	<b>0,76</b>	0,18	0,2	0,24	0,2	0,15	<b>0,77</b>	0,35	<b>0,6</b>	<b>0,68</b>	0,45	0,21	0,25	0,34	<b>0,78</b>	0,33	0,16	<b>0,78</b>
W	0,11	0	0,1	-0,3	-0,21	0	0,14	0,11	-0,07	-0,01	-0,16	-0,13	0,12	0,18	0,09	-0,22	0,07	0,09
Y	0,08	<b>0,97</b>	<b>0,98</b>	0,51	<b>0,73</b>	<b>0,99</b>	0,14	<b>0,89</b>	0,36	0,28	0,55	<b>0,91</b>	<b>0,96</b>	<b>0,89</b>	0,12	<b>0,64</b>	<b>1</b>	0,14
Yb	0,28	<b>0,88</b>	<b>0,95</b>	0,41	0,59	<b>0,89</b>	0,28	<b>0,99</b>	0,4	0,35	0,52	<b>0,77</b>	<b>0,97</b>	<b>1</b>	0,3	0,55	<b>0,92</b>	0,32
Zr	0,01	-0,09	0,05	-0,19	-0,26	-0,04	-0,11	0,18	-0,24	-0,2	-0,24	-0,17	0,12	0,2	-0,04	-0,26	0	-0,04
F	0,46	0,02	-0,02	0,25	0,16	-0,02	0,53	0,06	0,46	0,48	0,34	0,09	0,01	0,05	0,48	0,27	-0,01	0,47
ETRLt	<b>0,98</b>	0,21	0,2	0,43	0,34	0,16	<b>0,94</b>	0,3	<b>0,82</b>	<b>0,88</b>	<b>0,64</b>	0,28	0,23	0,3	<b>1</b>	0,51	0,16	<b>1</b>
ETRMt	0,43	<b>0,75</b>	<b>0,63</b>	<b>0,92</b>	<b>0,95</b>	<b>0,7</b>	0,55	0,59	<b>0,85</b>	<b>0,76</b>	<b>0,96</b>	<b>0,86</b>	<b>0,6</b>	0,55	0,51	<b>1</b>	<b>0,65</b>	0,53
ETRPt	0,12	<b>0,98</b>	<b>0,99</b>	0,52	<b>0,73</b>	<b>0,99</b>	0,18	<b>0,91</b>	0,39	0,31	0,57	<b>0,91</b>	<b>0,97</b>	<b>0,92</b>	0,16	<b>0,65</b>	<b>1</b>	0,18
ETRt	<b>0,98</b>	0,23	0,22	0,44	0,36	0,19	<b>0,94</b>	0,33	<b>0,83</b>	<b>0,88</b>	<b>0,66</b>	0,3	0,26	0,32	<b>1</b>	0,53	0,18	<b>1</b>

**Tabela 20.** Resultado da análise fatorial para o conjunto amostral da linha 2, alvo 5. a carga das variáveis nos fatores >0,55 foram consideradas significativas (em vermelho).

VARIÁVEL	F1	F2	F3
Mo	-0,0985	0,4636	<b>0,7541</b>
Nb	0,0624	0,0294	<b>0,8713</b>
Th	0,3357	0,4411	<b>0,6067</b>
U	0,1257	0,2687	0,8724
Y	<b>0,9862</b>	0,0692	0,0524
ETRLt	0,1020	<b>0,8044</b>	0,5714
ETRMt	<b>0,6152</b>	<b>0,5960</b>	0,1011
ETRPt	<b>0,9816</b>	0,0927	0,0891
Autovalor	2,6336	3,1714	0,9650
% de variância total	32,9204	39,6428	12,0622
Autovalor acumulado	2,6336	5,8051	6,7700
Variância total acumulada	32,9204	72,5632	84,6254

Método de extração dos fatores: principais componentes, método de Scree

Método de análise fatorial: máxima verossimilhança entre fatores  
Rotação: Varimax normalizada

Nos fatores 1 e 2, estão definidas a associação geoquímicas entre ETR e Y (respectivamente, ETRPt-ETRMt-Y e ETRLt-ETRMt). Esse resultado reflete a presença de assembleias diferentes para minerais portadores de ETRP+Y e ETRL. Considerando cargas de variáveis nos fatores > 0,5, o fator 3 indica uma afinidade geoquímica entre os ETRL e os elementos farejadores Mo, Nb, U e Th. A associação geoquímica Mo-Nb-U-Th-ETRLt pode ser indicativa de mineralizações hidrotermais.

Nesse sentido, as curvas de Nb, U, Mo e Th indicam um acréscimo nos valores de solo sobre o regolito no contato entre as rochas da Suíte Apiaú com as unidades encaixantes do embasamento, nas proximidades da porção central dos perfis geológico-geoquímicos (Figura 50). Particularmente, a curva de Mo atinge o ápice das concentrações em solo nesta região (≈120 ppm), em ponto também anômalo para Ba. As maiores concentrações de F em solo igualmente ocorrem em um domínio entre esta região e o extremo SW do perfil geológico, indicando uma possível herança geoquímica no regolito de um substrato metassomatizado.

Apesar desta região ser enriquecida em ETRL, a curva de ETRLt apresentou as maiores concentrações em cobertura de solos lateríticos no regolito das encaixantes gnáissicas, em uma anomalia isolada a pouco mais a SE do perfil levantado. Essa relação pode ser creditada a halos de alteração metassomática.

Os perfis geoquímicos de ETRMt, ETRPt e Y exibiram uma variação de concentrações mais homogênea, marcada por picos erráticos ao longo de todo o perfil geológico-geoquímico. Picos isolados de Zr, Nb, Th, com sutil aumento nos valores das curvas de ETRMt e ETRPt, sobrepostos a planície colúvio-aluvionar no extremo SE dos perfis geológico-geoquímico, completam o cenário, sugerindo um possível depósito sedimentar de minerais pesados.

### Linha 3

As concentrações de ETRt em solo, obtidas na linha 3, variam entre 175,92 e 4.321,53 ppm, com destaque para

as concentrações de ETRLt (134,81-4.223,1 ppm), conforme Tabela 21 e Figura 51 (comparar com os valores de *background* regional na Tabela 1 – Estudos orientativos. As concentrações de Ce e La são predominantes (60,03-3.717 ppm e 43,7-1.451 ppm, respectivamente) e mostram um enriquecimento relativo sobre as concentrações de Nd (24-437,7 ppm) e Er (6,62-26,05 ppm).

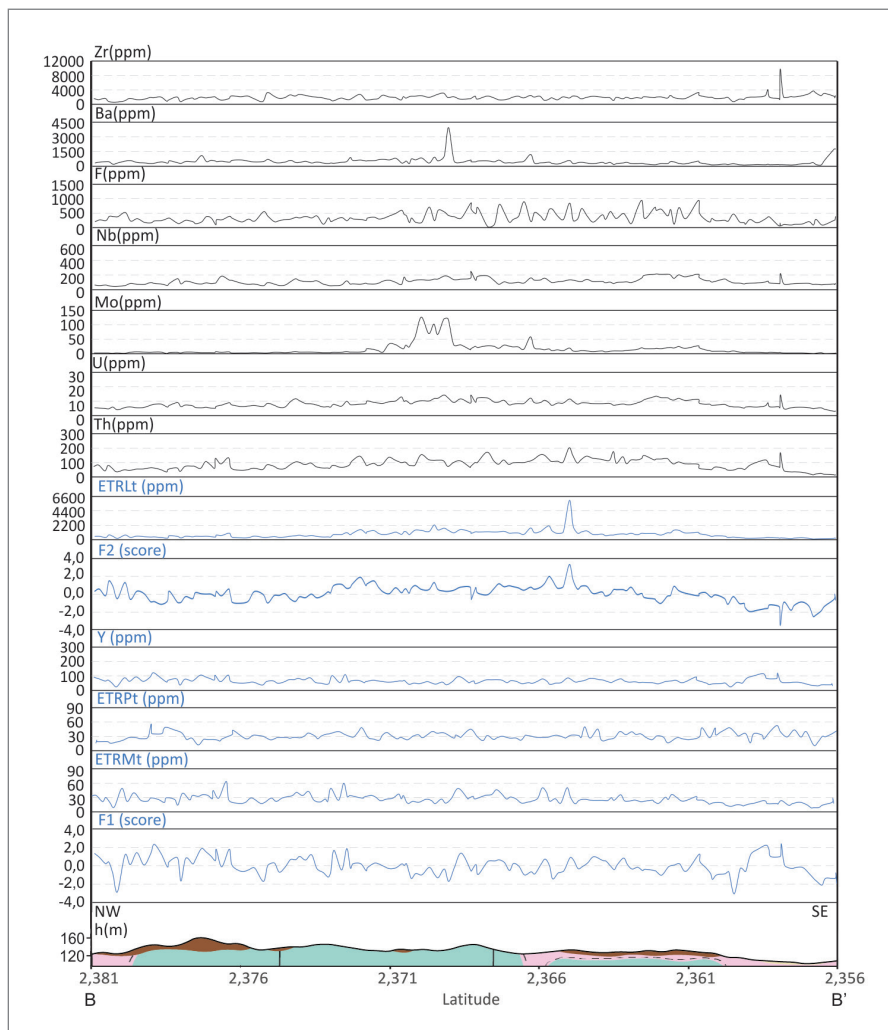
Sensivelmente menores que os valores de ETRLt, as concentrações de ETRMt e ETRPt ocorrem em faixas de valores bastante próximas, respectivamente 11,31-107,73 ppm e 26,23-103,03 ppm. O Y apresentou concentrações significativamente maiores que ETRPt e ETRMt, com valores no intervalo 52,66-252,67 ppm.

As análises geoquímicas na linha 3 apresentaram concentrações relevantes de Nb (74,96-541,52 ppm), Th (27,7-685,6 ppm) e U (5,03-22,09 ppm), todas abrangendo uma faixa com valores iguais ou maiores que os valores de referência do *background* regional. Com igual importância, concentrações elevadas de F (≈111-1135 ppm), Zr (≈974,7-6.799,9 ppm) e Ba (≈133-2.449 ppm) (Tabela 20) definem domínios espacialmente associados

ou sobrepostos aos domínios enriquecidos em ETR. As concentrações de Cl podem ter sido intensamente lixiviadas, conforme revelaram grande quantidade de amostras com valores abaixo dos limites de detecção. Baixas concentrações de Ni, Tl e Mo, obtidas em algumas amostras, também sugerem remobilização química durante lixiviação intempérica, produzindo correlações geoquímicas esdrúxulas com os demais elementos.

Índices de correlação fortes a muito fortes (Tabela 22) foram obtidos entre as variáveis Nb, Ta, Sr, Th, W, Y e a maioria dos ETRM, ETRP e ETRL. Bário e flúor apresentaram índices de correlação moderados a fracos com ETRL e ETRM (Sm e Eu) (Tabela 22). Os demais elementos não apresentaram índices de correlações significativos com qualquer ETR.

As associações geoquímicas entre ETR, Y, W, Th, Nb, Ta e Sr foram avaliadas por análise fatorial, em modelo de três fatores (Tabela 23). Os fatores 2 e 3 definem as associações geoquímicas com ETRL e ETRP (respectivamente, ETRLt-ETRMt e ETRPt-ETRMt-Y), identificadas nas demais linhas de amostragem.



**Figura 50** - Perfis geológico-geoquímicos da linha 2, alvo 5. Legenda do perfil geológico conforme mapa regional (Figura 3).

**Tabela 21.** Estatística descritiva para concentrações de ETR, Y e demais elementos com concentrações significativas na linha 3 do alvo 5.

VARIÁVEL	OBSERVAÇÕES VÁLIDAS	MEDIANA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO NÃO OUTLIER	LIMIAR INFERIOR	MÁXIMO NÃO OUTLIER	LIMIAR SUPERIOR	BACKGROUND		ALTO BACKGROUND
									1º QUARTIL	3º QUARTIL	
Ce	86	883,5	60,3	3717,0	60,3	60,0	3717,0	4753,9	316,8	1588,0	1588-4753,8
La	86	254,2	43,7	1451,0	43,7	32,2	1451,0	1568,5	95,3	371,3	371,3-1568,4
Nd	86	103,0	24,0	437,7	24,0	23,6	437,7	442,7	68,1	142,8	142,8-442,7
Pr	86	34,3	6,8	142,5	6,8	6,4	142,5	142,9	19,1	42,9	42,9-142,90
ETRLt	86	1311,0	134,8	4223,0	134,8	134,0	4223,0	5491,2	523,0	2261,4	2261,4-5491,2
Eu	86	2,6	0,8	9,6	0,8	0,8	5,5	6,1	1,9	3,3	3,27-6,14
Gd	86	189,3	4,8	38,1	5,3	5,1	28,3	29,8	10,3	17,0	16,96-29,8
Sm	86	15,9	4,7	56,8	4,8	4,8	31,7	36,2	11,6	21,1	21,1-36,2
Tb	86	2,4	1,1	5,6	1,2	1,1	5,2	5,3	2,0	3,0	2,97-5,3
ETRMt	86	33,5	11,3	107,7	12,0	11,7	67,0	73,1	25,5	43,8	43,78-73,1
Dy	86	17,7	7,2	37,7	7,2	6,9	34,8	35,7	14,4	21,9	21,89-35,7
Er	86	13,6	6,6	26,1	6,6	6,1	26,1	27,3	10,5	16,4	16,43-27,4
Ho	86	3,9	1,9	7,6	1,9	1,7	7,6	7,8	3,3	4,8	4,8-7,8
Lu	86	2,2	1,2	4,0	1,2	1,0	4,0	4,2	1,7	2,5	2,53-4,2
Tm	86	2,2	1,1	4,0	1,1	0,9	4,0	4,4	1,7	2,6	2,59-4,4
Yb	86	15,6	8,1	29,1	8,1	7,4	29,1	30,3	11,9	18,3	18,3-30,3
ETRPt	86	56,0	26,2	103,0	26,2	22,5	103,0	107,7	42,8	66,0	66,02-107,7
ETRt	86	1390,8	175,9	4321,5	175,9	11,2	4321,5	5560,2	614,2	2392,1	2392,1-5560,2
Y	86	110,2	52,7	252,7	52,7	51,7	252,7	254,7	91,4	140,1	140,1-254,7
Ba	86	849,9	133,0	2449,0	133,0	114,3	2449,0	2474,7	569,0	1157,0	1157-2474,7
Zr	86	3945,2	974,7	6799,9	974,7	753,0	6799,9	7676,5	3095,5	4914,9	4914,9-7676,5
Nb	86	187,5	75,0	541,5	75,0	68,7	541,5	566,1	134,8	268,4	268,4-566,1
U	86	9,0	5,0	22,1	5,0	4,7	22,1	23,0	6,7	11,5	11,46-23,0
Th	86	137,0	27,7	685,6	38,6	38,3	480,3	487,8	101,2	197,3	197,3-487,8
F	86	412,4	111,0	1135,0	111,0	105,0	1135,0	1207,2	268,0	571,0	571,0-1207,2
Cl	86	10	10	705	10	10	705	777	10	59	

O fator 1 representa uma associação de metais e elementos radioativos (Nb-Ta-Sr-W-Th), esperada em rochas alcalinas.

Na porção central dos perfis geológico-geoquímicos (Figura 52), no domínio do regolito desenvolvido entre as rochas alcalinas e as suítes Mucajaí e Rio Urubu, as curvas de ETRLt, ETRMt, ETRPt e Y atingem valores máximos nos solos superficiais. Os perfis geoquímicos nesse domínio também são marcados por pronunciado incremento nas concentrações de reconhecidos elementos indicadores de ETR, como Nb, Ta, W, Sr, Th, U, Zr, Ba e F.

Em direção à extremidade SE dos perfis geológico-geoquímicos, o enriquecimento em ETR, no regolito sobre as rochas encaixantes, reflete uma zona de alteração hidrotermal controlada por sistema de estruturas rúpteis. O incremento discreto em F, U, Zr, W, com picos proeminentes de Th e ETRM, completam a herança geoquímica do substrato metassomatizado. Concentrações de ETR, Th, U, em alguns

segmentos do perfil, podem ter sido enriquecidas durante processos supergênicos, conforme sugere a sobreposição das curvas geoquímicas com horizontes de solos lateríticos.

No extremo NW dos perfis geológico-geoquímicos, o horizonte superficial de solo no regolito da Suíte Apiaú registra uma assinatura singular, marcada por concentrações relativamente elevadas de Ba, com incremento nas concentrações de Zr e depleção em ETR, Nb, Th, U, W, Nb, Ta e F. De forma inconclusiva, acredita-se que essa assinatura reflita uma fase magmático-hidrotermal rica em Ba, correlacionada à evolução do magmatismo alcalino, já descrita anteriormente.

#### Prospecção de Fosfato

#### Linha 4

As amostras na linha 4 do alvo 5 foram coletadas em horizontes de solos residuais desenvolvidos no

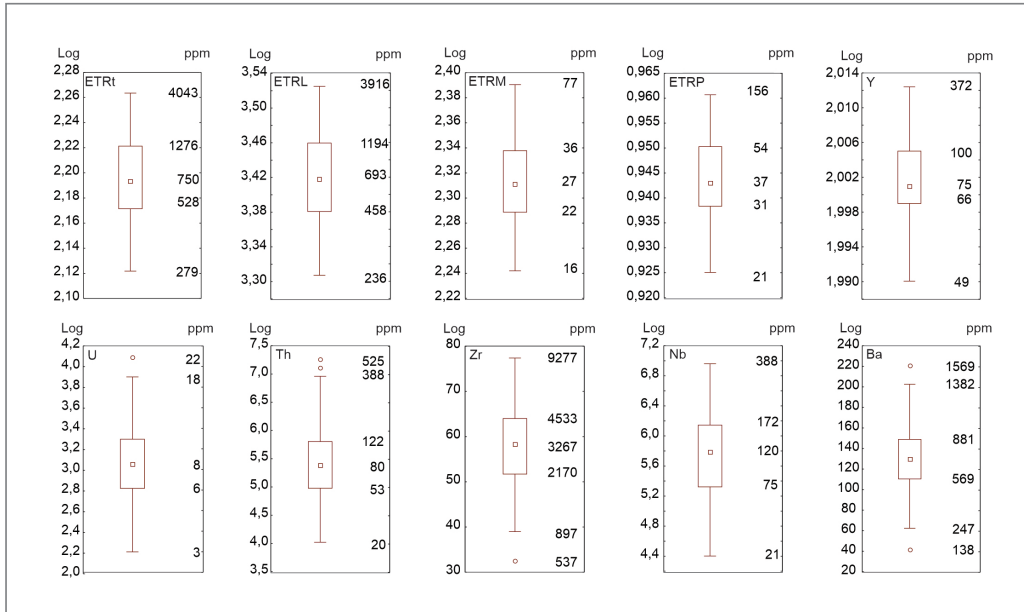


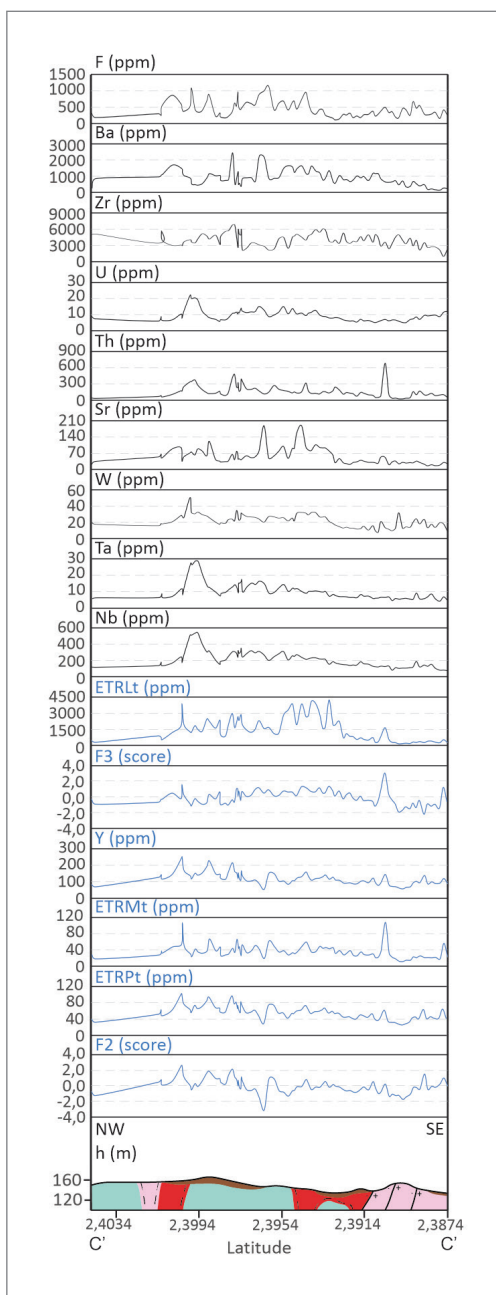
Figura 51 - Diagramas de caixa para concentrações de ETR totais, ETRLt, ETRMt, ETRPt e demais elementos com concentrações significativas no alvo 5, linha 1.

Tabela 22. Matriz de correlação de postos de Spearman para variáveis selecionadas da linha 3, alvo 5.

	CE	DY	ER	EU	GD	HO	LA	LU	ND	PR	SM	TB	TM	YB	ETRLT	ETRMT	ETRPT	ETRT
Ba	0,56	0,33	0,25	0,38	0,4	0,25	0,45	0,13	0,47	0,46	0,42	0,36	0,19	0,21	0,57	0,41	0,24	0,56
Be	0,53	0,5	0,49	0,54	0,51	0,45	0,59	0,46	0,54	0,56	0,52	0,49	0,49	0,49	0,55	0,51	0,49	0,55
Ce	1	0,62	0,59	0,59	0,6	0,54	0,81	0,56	0,74	0,77	0,67	0,59	0,57	0,61	0,99	0,64	0,61	0,99
Co	0,39	0,09	0,03	0,17	0,16	0,03	0,18	-0,01	0,16	0,17	0,14	0,14	0,04	0,02	0,36	0,14	0,04	0,35
Cs	0,28	0,25	0,23	0,32	0,31	0,21	0,28	0,23	0,3	0,3	0,34	0,28	0,25	0,24	0,26	0,33	0,23	0,26
Dy	0,62	1	0,94	0,87	0,89	0,98	0,81	0,86	0,83	0,83	0,85	0,96	0,91	0,88	0,66	0,88	0,96	0,68
Er	0,59	0,94	1	0,75	0,74	0,97	0,81	0,95	0,75	0,77	0,73	0,83	0,98	0,98	0,63	0,75	0,99	0,64
Eu	0,59	0,87	0,75	1	0,96	0,8	0,81	0,65	0,91	0,89	0,95	0,91	0,72	0,67	0,65	0,97	0,78	0,66
Ga	-0,04	0,26	0,3	0,28	0,29	0,27	0,21	0,29	0,26	0,24	0,31	0,25	0,27	0,28	-0,04	0,31	0,29	-0,04
Gd	0,6	0,89	0,74	0,96	1	0,81	0,78	0,65	0,91	0,88	0,96	0,96	0,71	0,66	0,65	0,99	0,78	0,66
Hf	0,16	0,1	0,18	-0,03	-0,05	0,12	0,13	0,2	0,06	0,06	-0,04	-0,01	0,15	0,21	0,15	-0,04	0,15	0,15
Ho	0,54	0,98	0,97	0,8	0,81	1	0,76	0,91	0,74	0,75	0,76	0,91	0,96	0,91	0,59	0,8	0,98	0,6
La	0,81	0,81	0,81	0,81	0,78	0,76	1	0,74	0,92	0,95	0,85	0,76	0,76	0,8	0,86	0,82	0,81	0,86
Lu	0,56	0,86	0,95	0,65	0,65	0,91	0,74	1	0,66	0,69	0,66	0,74	0,98	0,97	0,59	0,67	0,95	0,61
Mo	0,84	0,56	0,6	0,53	0,52	0,51	0,77	0,59	0,68	0,72	0,61	0,5	0,59	0,64	0,83	0,57	0,6	0,82
Nb	0,71	0,58	0,7	0,48	0,44	0,58	0,74	0,7	0,6	0,65	0,52	0,47	0,69	0,76	0,7	0,49	0,69	0,7
Nd	0,74	0,83	0,75	0,91	0,91	0,74	0,92	0,66	1	0,99	0,97	0,85	0,69	0,71	0,8	0,95	0,77	0,81
Pr	0,77	0,83	0,77	0,89	0,88	0,75	0,95	0,69	0,99	1	0,95	0,83	0,71	0,74	0,83	0,92	0,79	0,83
Rb	0,19	0,24	0,17	0,24	0,32	0,19	0,26	0,11	0,34	0,32	0,35	0,27	0,13	0,14	0,2	0,33	0,17	0,2
Sm	0,67	0,85	0,73	0,95	0,96	0,76	0,85	0,66	0,97	0,95	1	0,9	0,69	0,67	0,73	0,99	0,76	0,74
Sn	0,47	0,37	0,35	0,31	0,39	0,33	0,43	0,37	0,47	0,46	0,45	0,37	0,32	0,37	0,46	0,42	0,35	0,45
Sr	0,7	0,57	0,54	0,6	0,57	0,5	0,7	0,43	0,65	0,67	0,58	0,55	0,5	0,51	0,71	0,58	0,53	0,71
Ta	0,7	0,54	0,66	0,47	0,42	0,54	0,72	0,68	0,58	0,63	0,51	0,44	0,66	0,72	0,7	0,47	0,65	0,69
Tb	0,59	0,96	0,83	0,91	0,96	0,91	0,76	0,74	0,85	0,83	0,9	1	0,81	0,75	0,64	0,94	0,86	0,65
Th	0,65	0,66	0,67	0,57	0,58	0,62	0,67	0,67	0,65	0,69	0,63	0,61	0,67	0,71	0,65	0,61	0,69	0,65
Tm	0,57	0,91	0,98	0,72	0,71	0,96	0,76	0,98	0,69	0,71	0,69	0,81	1	0,97	0,6	0,71	0,98	0,61
Yb	0,61	0,88	0,98	0,67	0,66	0,91	0,8	0,97	0,71	0,74	0,67	0,75	0,97	1	0,65	0,68	0,97	0,66

**Tabela 22.** Matriz de correlação de postos de Spearman para variáveis selecionadas da linha 3, alvo 5.

	CE	DY	ER	EU	GD	HO	LA	LU	ND	PR	SM	TB	TM	YB	ETRLt	ETRMt	ETRPt	ETRt
W	0,59	0,6	0,68	0,52	0,49	0,6	0,68	0,65	0,54	0,58	0,49	0,53	0,68	0,71	0,61	0,5	0,67	0,61
U	0,55	0,35	0,44	0,33	0,28	0,35	0,48	0,53	0,37	0,42	0,34	0,3	0,5	0,53	0,54	0,32	0,46	0,54
Y	0,55	0,95	0,97	0,75	0,74	0,97	0,76	0,88	0,71	0,72	0,69	0,85	0,94	0,92	0,59	0,73	0,96	0,6
Zr	0,24	0,15	0,25	0,02	-0,01	0,17	0,22	0,28	0,11	0,13	0,01	0,03	0,22	0,29	0,24	0,01	0,22	0,23
F	0,38	0,35	0,33	0,42	0,39	0,3	0,44	0,29	0,43	0,45	0,41	0,35	0,34	0,35	0,39	0,4	0,34	0,4
ETRLt	0,99	0,66	0,63	0,65	0,65	0,59	0,86	0,59	0,8	0,83	0,73	0,64	0,6	0,65	1	0,7	0,65	1
ETRMt	0,64	0,88	0,75	0,97	0,99	0,8	0,82	0,67	0,95	0,92	0,99	0,94	0,71	0,68	0,7	1	0,78	0,71
ETRPt	0,61	0,96	0,99	0,78	0,78	0,98	0,81	0,95	0,77	0,79	0,76	0,86	0,98	0,97	0,65	0,78	1	0,66
ETRt	0,99	0,68	0,64	0,66	0,66	0,6	0,86	0,61	0,81	0,83	0,74	0,65	0,61	0,66	1	0,71	0,66	1



**Figura 52** - Perfis geológico-geoquímicos da linha 3, alvo 5. Legenda do perfil geológico conforme mapa regional (Figura 3).

**Tabela 23.** Análise fatorial para o conjunto amostral da linha 3, alvo 5. No modelo, apenas carga das variáveis nos fatores > 0,55 foram consideradas significativas (em vermelho).

VARIÁVEL	F1	F2	F3
Nb	0,9412	0,2533	0,1761
Sr	0,5768	0,1232	0,4408
Ta	0,9279	0,2247	0,2134
Th	0,5536	0,4150	0,4298
W	0,6580	0,3722	0,1675
Y	0,2724	0,9114	0,2599
ETRLt	0,4965	0,3249	0,6153
ETRMt	0,1397	0,5764	0,7395
ETRPt	0,3624	0,8641	0,3206
Autovalor	5,6583	1,0853	0,5822
% variância total	62,8703	12,0584	6,4693
Autovalor acumulado	5,6583	6,7436	7,3258
% variância total acumulada	62,8703	74,9286	81,3979

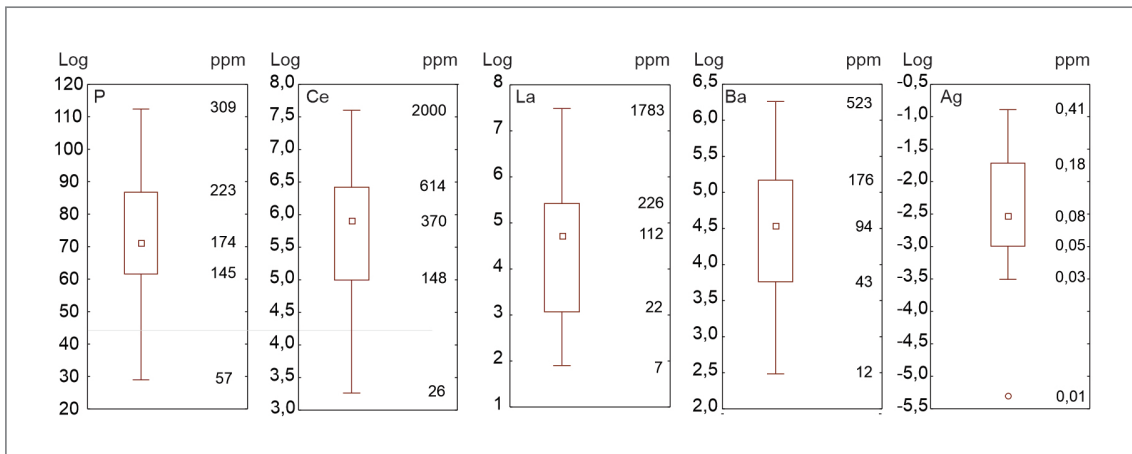
Extração dos fatores: principais componentes, método de Scree  
 Análise fatorial: máxima verossimilhança entre fatores  
 Rotação: Varimax normalizada

regolito das rochas alcalinas da Suíte Apiaú e gnaisses da Suíte Igarapé Miracelha. As concentrações de P nos horizontes de solo superficiais não indicaram valores relevantes em nenhuma das unidades geológicas (223-309 ppm - Tabela 24, Figura 53), refletindo apenas o intervalo de valores do *background* regional (ver Tabela 1). No entanto, os resultados forneceram valores muito relevantes de La ( $\approx 6,7$ -1.783 ppm) e Ce ( $\approx 26,12$ -2.000 ppm), reafirmando o potencial prospectivo da região para ETR.

O flúor não foi dosado no conjunto de amostras coletadas, mas as concentrações de Ba ( $\approx 12$ -523 ppm) obtidas estão situadas na faixa de valores de *background* regional, apesar da representatividade do regolito das rochas alcalinas da Suíte Apiaú, no perfil geológico-geoquímico da linha 4 do alvo 5.

**Tabela 24.** Estatística descritiva para concentrações de fósforo e elementos com concentrações relevantes na linha 4, alvo 5.

VARIÁVEL	Nº DE OBSERVAÇÕES	MEDIANA (PPM)	MÍNIMO (PPM)	MÁXIMO (PPM)	MÍNIMO NÃO OUTLIER	LIMIAR INFERIOR (PPM)	MÁXIMO NÃO OUTLIER	LIMIAR SUPERIOR (PPM)			BACKGROUND SUPERIOR (PPM)
									1º QUANTIL (25%) (PPM)	3º QUANTIL (75%) (PPM)	
P	55	174,00	57,00	309,00	57,00	46,80	309,00	342,46	145,00	223,00	223-309
Ce	55	370,22	26,12	2000	26,12	22,90	2000,00	2251,00	147,81	613,91	613,91-2251
La	55	111,9	6,7	1783,0	6,7	5,1	1783,0	2132,0	21,5	226,2	226,2-2132
Ba	55	94	12	523	12	8	523	609	43	176	176-609
Ag	55	0,08	0,01	0,41	0,03	0,02	0,41	0,51	0,05	0,18	0,18-0,51



**Figura 53** - Diagrama de caixa para concentrações de P e elementos de relevante interesse no alvo 5.

As concentrações de Ag em solo variam no intervalo ≈ 0,01–0,41 ppm, porém a relação de amostras com valores representativos e com valores no limite de detecção analítica revela uma distribuição errática de picos creditada a lixiviação. A presença em solo de valores pontuais, porém significativos, provoca incertezas se existe herança das encaixantes ou uma assinatura metálica relacionada ao metassomatismo causado por fases magmático-hidrotermais. A lixiviação nos horizontes de solo amostrados remobilizou completamente o conteúdo de Au, Ge, Na, Re, B, Se e Te, revelado pela totalidade ou quase totalidade de amostras com valores iguais ou abaixo do limite inferior de detecção. O conteúdo de As, Be, Bi, Cd, Cr, Hg, In, Li, Mg, Ti e W foi lixiviado em graus, gerando concentrações abaixo, iguais ou próximo aos limites inferiores de detecção em volume do conjunto amostral igual ou superior a 30% e valores fortemente escalonados. Entre as amostras válidas, o P apresentou índices de correlação fortes a muito fortes com Co, La, Y, Ba, Ce, Mn, Nb, Pb, Mo, Sr, Th, U, V, e Zn (Tabela 25).

A análise do dendrograma elaborado com esses elementos (Figura 54) indica expressiva afinidade geoquímica entre P e U, Pb, Mo, Ce, Th, V, Y, La e Nb, conforme demonstrado por agrupamento formado para distância de ligação de ≈7,24. Uma associação

geoquímica mais expressiva com P, U, Pb, Mo, Ce é sugerida para agrupamento formado para distâncias de ligação de ≈5,24.

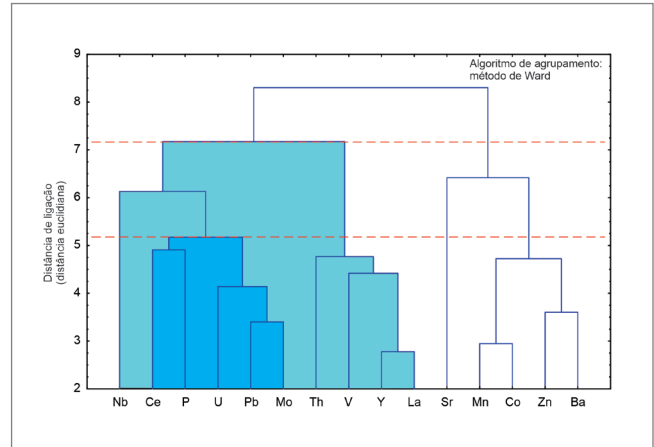
Apesar dos valores pouco significativos nos resultados analíticos, os perfis geológico-geoquímicos (Figura 55) demonstram que a curva de P alcança as maiores concentrações no regolito sobre as rochas alcalinas da Suíte Apiaú. Nesse domínio, anomalias relevantes de Ce, La e Y são observadas acompanhando um enriquecimento relativo em Ba, Th, U, Zr, Nb, V, Pb e Mo.

Em geral, as anomalias de Ce, La e Y estão relacionadas aos domínios de solos lateríticos, nas cotas mais elevadas do relevo, sugerindo a contribuição de processos supergênicos na concentração desses elementos nos horizontes de solo superficiais. A presença de fosfatos contendo ETR, Th e U entre os minerais resistatos do regolito, como monazita, xenotima e apatita, é sugerida neste resultado juntamente com columbita e zircão.

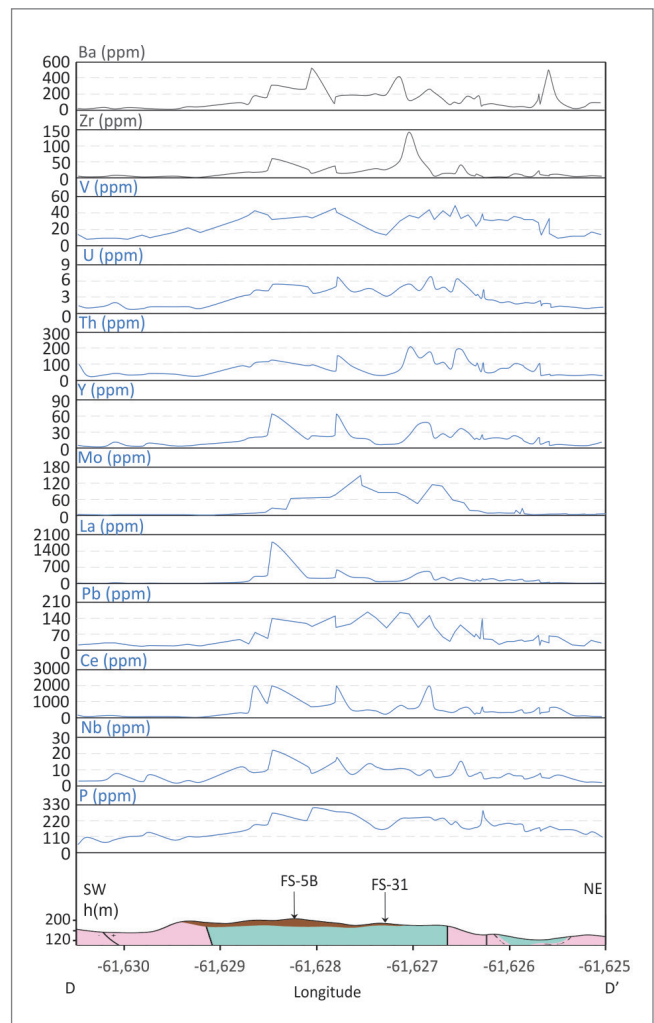
As setas indicadas no perfil geológico correspondem ao local de coleta das amostras de rocha mencionadas no texto. As associações geoquímicas sugeridas corroboram os resultados obtidos nas demais linhas do alvo 5, com destaque para o regolito no domínio da Suíte Apiaú e suas adjacências (Figura 55). Nas coberturas de latossolos, os resultados apontam significativo potencial para ETR, sendo as concentrações de fósforo no alvo 5 de importância subordinada.

**Tabela 25.** Matriz de índices de correlação de postos de Spearman. Os resultados na tabela foram obtidos após transformação logarítmica. Os valores em vermelho indicam índices de correlação positivos e > 0,6 com as variáveis selecionadas.

Nº DE OBSERVAÇÕES	ÍNDICES DE CORRELAÇÃO	
		P
55	Ag	0,63
55	Al	0,15
55	As	-0,21
55	Ba	0,63
55	Be	0,75
55	Bi	0,82
55	Cd	0,71
55	Ce	0,81
55	Co	0,88
55	Cr	0,31
55	Cs	0,48
55	Cu	0,65
55	Fe	0,48
55	Ga	0,52
55	Hf	0,77
55	Hg	0,07
55	In	-0,06
55	K	0,44
55	La	0,76
55	Li	0,78
55	Mg	0,57
55	Mn	0,88
55	Mo	0,82
55	Nb	0,61
55	Ni	0,54
55	P	1,0
55	Pb	0,77
55	Rb	0,45
55	Sb	0,24
55	Sc	0,38
55	Sn	0,75
55	Sr	0,66
55	Ti	0,51
55	Th	0,65
55	U	0,80
55	V	0,75
55	W	0,18
55	Y	0,81
55	Zn	0,74
55	Zr	0,51



**Figura 54 -** Dendrograma para variáveis selecionadas na linha 4, alvo 5. As linhas tracejadas em azul-claro e vermelho indicam análises dos agrupamentos realizados para distâncias de ligação mencionadas no texto.



**Figura 55 -** Perfis geológico-geoquímicos, linha 4, alvo 5. Legenda do perfil geológico conforme mapa regional (Figura 3).

## 5.6. LEVANTAMENTO PROSPECTIVO DO ALVO 6

### 5.6.1. Geologia

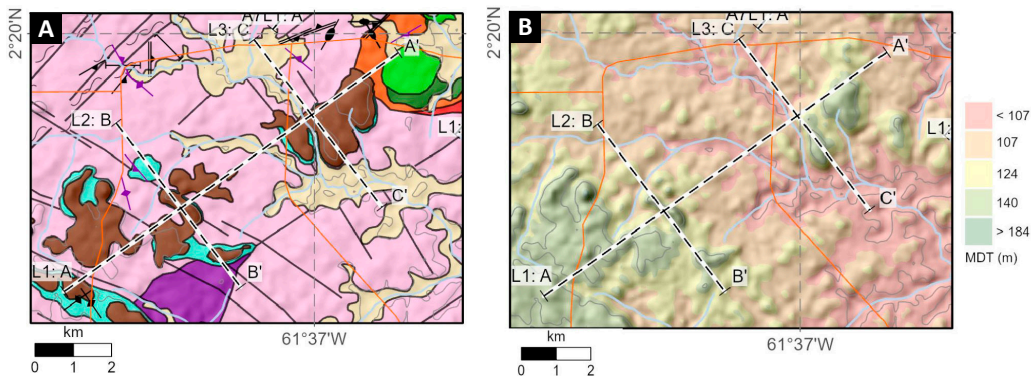
O alvo 6 está localizado na porção sul da área de estudo (Figura 56a,b) e foi definido integrando aerogeofísica e conhecimento geológico de corpos alcalinos e gabroanortosíticos intrusivos no embasamento, semelhante aos alvos 3 e 4.

Ao longo da linha base (LB), predominam rochas do embasamento representadas por ortognaisses da Suíte Igarapé Miracelha, cujos litotipos predominantes são biotita-hornblenda-gnaiss e granodioritos de coloração cinza e textura fanerítica média-grossa a porfírica. As rochas estão eventualmente milonitizadas e exibem o desenvolvimento de foliação/bandamento milonítico ( $S_n$ , Figura 57a), com atitude  $N60^\circ E/80^\circ SW$ , por vezes sobrepondo o bandamento gnáissico reliquiar ( $S_{n-1}$ ), com atitude  $N80^\circ W/80^\circ SE$ . Uma zona de alteração hidrotermal está associada às zonas cataclásticas (Figura 58c,d), exibindo trama com atitude geral NW-SE ( $S_{n+1}$ ), marcada por leituras gamaespectrométricas totais extremamente elevadas.

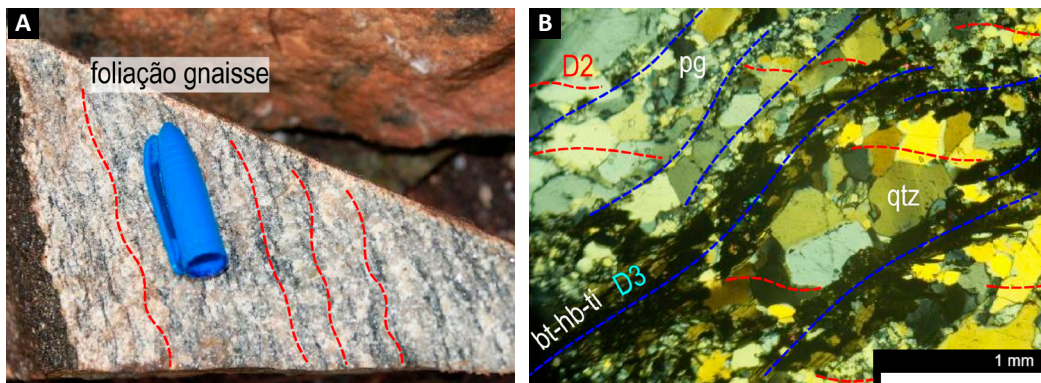
Ao microscópio, os ortognaisses do embasamento mostram trama granoblástica, e mineralogia composta por plagioclásio + quartzo + álcali-feldspato + piroxênio ( $S_{n-1}$ ), sobreposta por uma trama milonítica de média temperatura ( $S_n$ ), com foliação definida por assembleia formada por biotita + epidoto + opacos. A biotita pode ter sido gerada pela alteração de hornblenda e clinopiroxênio (Figura 57b). Rochas alcalinas como corpos de sienito e diques de traquito correlacionados com a Suíte Repartimento (Figura 58a), mangeritos e anortositos correlacionados com a associação AMCG Mucajá (Figura 58b) e coberturas lateríticas também foram mapeados nas linhas de amostragem.

### 5.6.2. Geofísica

Os dados aerogamaespectrométricos sobre o alvo 6 forneceram uma imagem de composição ternária RGB. KThU (Figura 59a), marcada por domínios em tons claros, com contagem elevada nos canais de eTh e eU (ciano) e com contagem elevada nos canais de K, eTh e eU (branco). Concentrações mais elevadas em eTh e eU têm correlação



**Figura 56** - (a) Mapa geológico e (b) Mapa de relevo do alvo 6, ambos apresentando estações de amostragem para análise geoquímica de solo e de litogeoquímica. Para legenda, ver Figura 3.



**Figura 57** - Aspecto textural ortognaisse alvo 6 (a) augen gnaiss granodiorítico milonitizado (gnaisse fitado) com foliação  $N60^\circ E/70^\circ SW$  ( $S_n$ ) e (b) microfotografia da mesma amostra, mostrando textura granoblástica poligonal quartzo-feldspática de alta-temperatura ( $S_{n-1}$ ), sobreposta por trama milonítica (cominuída) com foliação bem definida por biotita + epidoto + opacos ( $S_n$ ). Obs: qtz. quartzo, bt. biotita, hb. hornblenda, pg. plagioclásio.



direta com corpos plutono-vulcânicos sieníticos e zonas do embasamento com alteração hidrotermal (femitização). Domínios enriquecidos em eTh (tons de verde) correspondem ao embasamento gnáissico parcialmente alterado e os domínios em tons vermelhos mostram relação com o embasamento gnáissico preservado. O embasamento metassomatizado é marcado por valores muito altos em todos os canais, com predomínio da cor branca, apresentando relação direta com corpos de nefelina sienito mapeados. Nesse sentido, merece destaque um grande corpo identificado na porção central da área. Os domínios em tons mais escuros, com baixas concentrações nos canais gamaespectrométricos, correspondem às áreas alagadiças com depósitos aluvionares e terraços recentes, que recobrem parcialmente corpos grabro-anortosíticos e mangeríticos da associação AMCG Mucajá. Esses corpos apresentam assinatura gamaespectrométrica em tons escuros e magenta, respectivamente.

Quanto aos dados aeromagnetométricos, a imagem da componente residual do campo magnético anômalo (Figura 59b) registra feições magnéticas positivas contínuas de direção NE-SW, associadas a trama estrutural de alta temperatura gerada em zonas de cisalhamento ( $S_n$ ), o qual oblitera parcialmente uma trama pretérita, marcada por baixa intensidade magnética e direção geral WNW-ESE. Ocorrem, ainda, anomalias magnéticas

semicirculares e uma trama linear NW-SW, que truncam as demais tramas magnéticas. Essas feições são correlacionadas a corpos intrusivos (gabros e anortositos) e uma estruturação tardia de caráter rúptil a rúptil-dúctil.

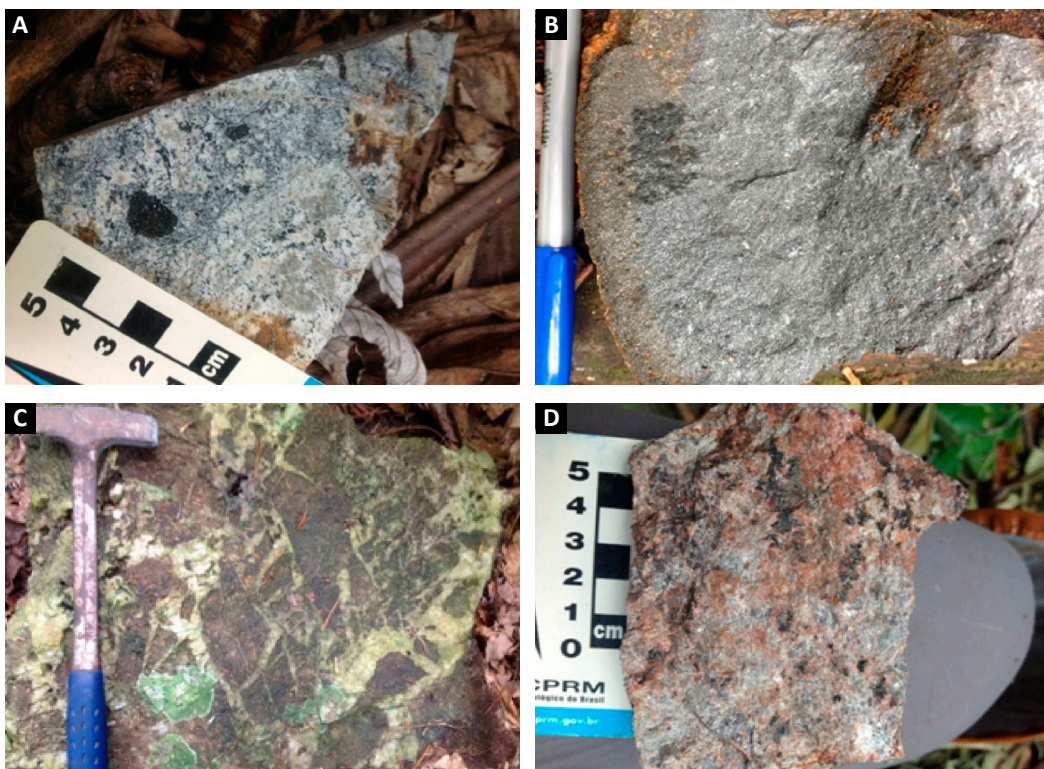
### 5.6.3. Geoquímica de solo

#### *Prospecção de Elementos Terras-Raras*

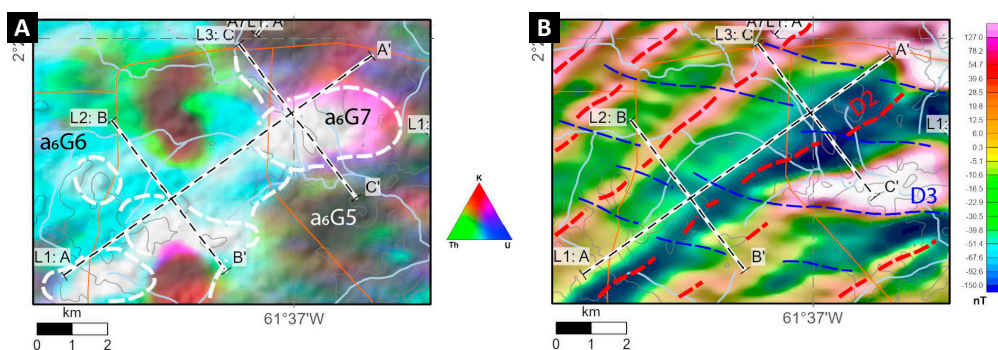
#### **Linha 1**

As amostras obtidas na linha 1 forneceram concentrações de ETRt entre  $\approx 58$  e 20.246 ppm. Esse intervalo de valores inclui algumas das maiores concentrações obtidas neste trabalho (valores entre 2.566 ppm e 20.245 ppm). Os resultados são decorrentes das concentrações elevadas de ETRLt, cujos valores estão situados no intervalo  $\approx 36$ -19.170 ppm (mediana  $\approx 254$  ppm) (Tabela 26; Figura 60).

As concentrações de ETRMt e ETRPt apresentaram valores menos proeminentes, conforme já observado nos demais alvos. Os ETRMt apresentaram concentrações de alto *background* ( $\approx 22,1$ -110 ppm) semelhantes aos valores regionais de referência (ver Tabela 1). *Outliers* de ETRMt, entre 111 e 833 ppm, representam os maiores valores regionais identificados neste levantamento.



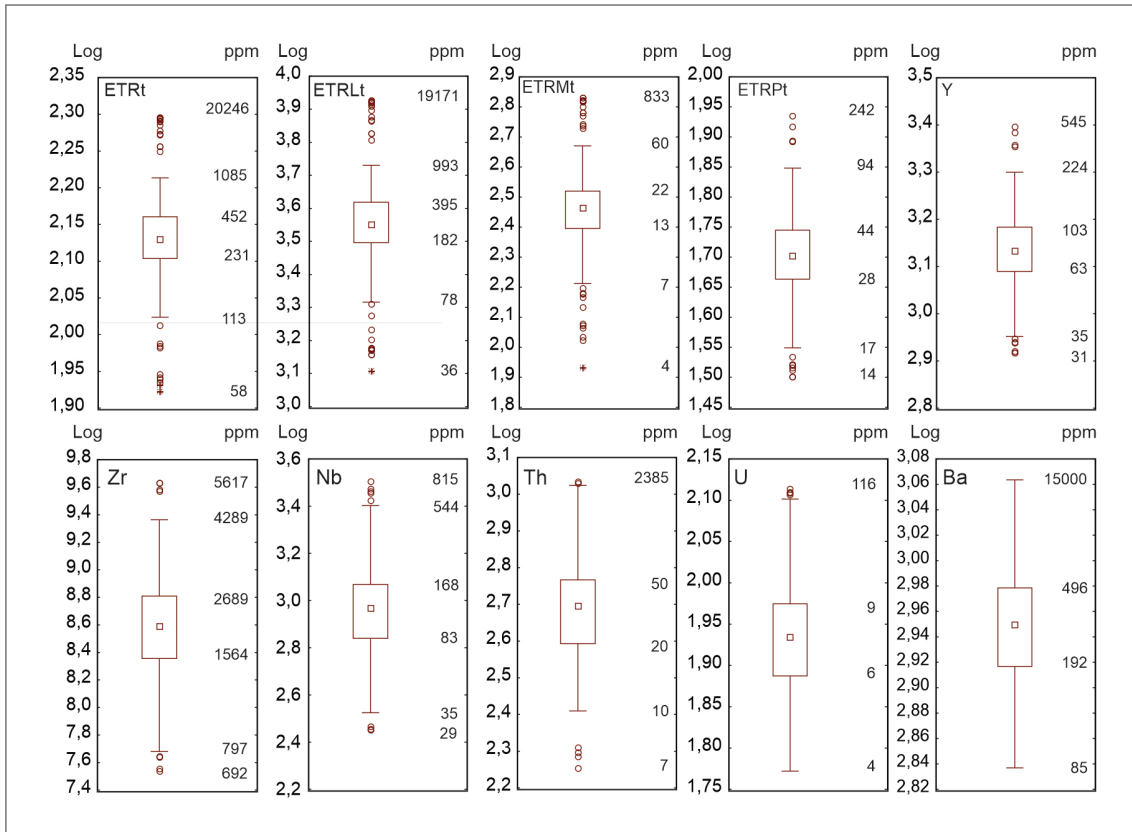
**Figura 58** - Aspecto textural de litotipos observados no alvo 6 (a) quartzo sienito, com agregados máficos subcirculares, ripas de piroxênio e cristais manteados de feldspato alcalino; (b) gabro fanerítico fino; (c) brecha cataclástica em ortognaisse do embasamento; e (d) mangerito hidrotermalizado e intemperizado, com valores elevados gamaespectrométricos totais (K, eTh, eU).



**Figura 59** - Mapas aerogeofísicos do alvo 6: (a) imagem de composição ternária RGB.KThU, com relevo sombreado do MDT.SRTM. Legenda como na Figura 3. e (b) imagem de componente residual do campo magnético anômalo.

**Tabela 26.** Estatística descritiva para ETR, Y e demais elementos com concentrações relevantes na linha 1 do alvo 6.

	OBSERVAÇÕES VÁLIDAS	MEDIANA (ppm)	MÍNIMO (ppm)	MÁXIMO (ppm)	MÍNIMO NÃO OUTLIER (ppm)	LIMIAR INFERIOR (ppm)	MÁXIMO NÃO OUTLIER (ppm)	LIMIAR SUPERIOR (ppm)	BACKGROUND		ALTO BACKGROUND (PPM)
									1º QUANTIL (ppm)	3º QUANTIL (ppm)	
Ce	216	157,1	16,7	9884	39,6	39,5	1182	1187,2	102	229,5	229,5–1187,2
La	216	57,3	11,2	5262	19,9	19,8	278	283,2	41,5	87,3	87,3-278
Nd	216	34,8	5,4	3264	19,7	19,4	178,9	182,7	25,6	53,4	53,4-178,9
Pr	216	8,8	1,4	899,3	3,1	3	43,1	44,9	6,5	13,4	13,4-43,1
ETRLt	216	254	36,2	19170,5	77,6	77,5	993,3	1012,5	181,7	395,5	395,5-993,3
Eu	216	1,2	0,3	106,2	0,3	0,5	30,5	30,9	0,7	1,7	1,7-30,5
Gd	216	7,7	1,8	237,5	3,3	3,3	26,4	26,8	5,7	9,7	9,7-26,4
Sm	216	6,3	1	465,2	2,6	2,5	25,1	26	4,7	8,9	8,9-25,1
Tb	216	1,6	0,5	24,3	0,8	0,7	4,8	4,9	1,3	2	2 -4,9
ETRMt	216	16,9	3,6	833,3	7	7	59,8	60,6	12,6	21,9	21,9-59,8
Dy	216	11,8	4	114,3	5,8	5,7	36,9	36,9	9,2	14,5	14,5-36,9
Er	216	8,2	3,3	52,7	3,7	3,7	22	22,6	6,7	10,9	10,9-22
Ho	216	2,6	0,9	19,7	1,2	1,2	7,3	7,5	2,1	3,4	3,4-7,3
Lu	216	1,4	0,7	5,8	0,7	0,6	3,6	3,6	1,1	1,7	1,7-3,6
Tm	216	1,3	0,6	7	1,6	1,5	3,2	3,5	1,1	1,7	1,7-3,2
Yb	216	9,1	4,2	42,8	4,2	4,2	25,5	25,7	7,2	11,3	11,3-25,5
ETRpt	216	34,4	14,2	242,2	17	16,9	93,7	94,7	28,1	43,7	43,7-93,7
ETRt	216	303	58,2	20245,9	113,4	113,1	1084,5	1100,3	230,9	451,5	451,5-1084,5
Y	216	77,7	30,6	544,7	34,8	34,8	223,6	225,2	62,5	102,9	102,9-223,6
Ba	216	2,9	85	15000	85	84,6	15000	15037,9	191,5	496	496 -15037,9
Zr	216	1976,3	692,3	5617	796,5	795,9	4289,3	4347,2	1563,6	2688,6	2688,6-4289,3
Hf	216	47,9	10,3	134,5	17,6	17,4	93,2	94,1	39,5	59	59-94,1
Sr	216	30	9	1210,6	10,3	10,2	1210,6	1225,9	20	46,2	46,2-1210,6
Nb	216	121,7	29,5	815	35,4	35	544,4	545,8	83	168,3	168,3-544,4
Ta	216	3,1	0,8	14,8	0,8	0,3	14,8	15,8	3,3	7,1	7,1-15,8
Th	216	2,7	6,8	2384	10,5	10,2	1609	1610,7	20,3	50,5	50,5-1609
U	216	7,2	3,7	115,8	3,7	3,6	60,8	60,9	5,7	9,4	9,4-60,8
F	216	157	37	651	70	68,6	380	382,1	126,5	199	199 -382,1



**Figura 60** - Diagramas de caixa para concentrações de ETR totais, ETRLt, ETRMt, ETRPt e demais elementos com concentrações significativas no alvo 6, linha 1.

Apesar do relativo empobrecimento em ETRPt com relação aos ETRLt, as análises forneceram concentrações com relevância prospectiva (ETRPt  $\approx$  145-242 ppm). As concentrações de Y apresentaram comportamento semelhante aos ETRP, com valores relativamente elevados, definindo uma faixa de alto *background*  $\approx$  102,9-223,6 ppm e *outliers*  $\approx$  354-545 ppm.

De relevante significado prospectivo, destacam-se anomalias importantes de Zr ( $\approx$  5.279-5.317 ppm), além de elevadas concentrações de Nb ( $\approx$  593-815 ppm), Th ( $\approx$  2.097-2.384 ppm) e U ( $\approx$  78-116 ppm). As amostras de Ba, na linha 1 do alvo 6, contém as máximas concentrações obtidas neste trabalho (5.951-15.000 ppm), fornecendo valores de *background* local de 191,5-496 ppm (Tabela 26). Uma concentração pontual de Sr, com 1.210 ppm, merece destaque.

Uma possível lixiviação sobreposta às concentrações naturalmente baixas da rocha matriz pode ter sido o mecanismo responsável por valores escalonados de Cl, Cu, Mo, Ni e Tl no conjunto amostral e concentrações nas proximidades dos limites de detecção.

Os ETRL, ETRM e ETRP apresentaram índices de correlação fortes a muito fortes com Nb, Ta, Sr, Th, U, Y (Tabela 27) e moderados a fracos com Ni, Ba e F. Os demais elementos dosados apresentaram com os

ETR apenas índices de correlação fracos, negativos ou de significado duvidoso (no caso dos elementos que sofreram maior mobilidade química).

Associações geoquímicas mais robustas entre Th, W, Sr, Y e ETR foram obtidas por análise fatorial, com modelo de três fatores (Tabela 28). O fator 1 representa a associação geoquímica ETRPt-Y. O fator 2 representa a associação geoquímica ETRLt-ETRMt-Th-Sr, consistindo em uma boa aproximação para a assinatura das mineralizações do tipo ETR-*thorium* veins descritas na região (Aguiar *et al.*, 2019).

Na Figura 61, as curvas dos fatores F1 e F2 exibem trechos com scores elevados sobre longos domínios geológicos, indicando as regiões com maior correlação geoquímica entre ETR, Y, Sr e Th. Individualmente, os perfis geoquímicos destacaram uma anomalia polimetálica única, desenvolvida sobre o regolito de rochas alcalinas, onde ETRLt, ETRMt, ETRPt, Y, Sr, Nb, Ta, Th, U, Ba e F atingem valores máximos e o Zr apresenta uma depleção local. Um incremento em Zr é observado na região central da linha de amostragem, onde a topografia é caracterizada por uma depressão do relevo, situada no domínio do substrato síalico. O incremento nas concentrações de Zr nos horizontes superficiais de solo, sobre o segmento do perfil geológico-geoquímico, sugere uma acumulação mecânica condicionada por solos colúvio-aluvionares.

**Tabela 27.** Matriz de correlação de postos de Spearman.

	CE	DY	ER	EU	GD	HO	LA	LU	ND	PR	SM	TB	TM	YB	ETRL	ETRM	ETRPt	ETRT
Ba	0,44	0,31	0,24	0,42	0,37	0,26	0,50	0,20	0,44	0,46	0,40	0,35	0,21	0,21	0,46	0,40	0,27	0,45
Be*	0,50	0,33	0,30	0,36	0,39	0,31	0,52	0,35	0,50	0,51	0,43	0,37	0,31	0,33	0,54	0,42	0,34	0,53
Ce	1,00	0,63	0,56	0,43	0,66	0,58	0,84	0,53	0,78	0,80	0,74	0,67	0,54	0,54	0,97	0,70	0,60	0,96
Co	-0,03	-0,24	-0,32	0,21	0,04	-0,29	0,01	-0,34	0,11	0,07	0,13	-0,13	-0,34	-0,35	0,00	0,08	-0,31	-0,01
Cs	0,17	-0,02	-0,07	0,05	0,14	-0,05	0,11	-0,10	0,18	0,16	0,21	0,06	-0,08	-0,09	0,17	0,16	-0,06	0,16
Dy	0,63	1,00	0,96	0,41	0,79	0,98	0,63	0,86	0,62	0,63	0,64	0,96	0,93	0,89	0,65	0,73	0,97	0,71
Er	0,56	0,96	1,00	0,19	0,62	0,99	0,48	0,95	0,45	0,46	0,46	0,84	0,99	0,98	0,55	0,55	0,99	0,60
Eu	0,43	0,41	0,19	1,00	0,78	0,29	0,73	0,04	0,78	0,75	0,81	0,61	0,13	0,07	0,56	0,82	0,25	0,57
Ga	0,40	0,29	0,29	-0,09	0,26	0,29	0,27	0,29	0,30	0,30	0,29	0,29	0,30	0,30	0,38	0,26	0,29	0,39
Gd	0,66	0,79	0,62	0,78	1,00	0,70	0,84	0,48	0,92	0,90	0,93	0,92	0,57	0,52	0,77	0,99	0,67	0,81
Hf	-0,04	0,00	0,14	-0,41	-0,30	0,07	-0,19	0,34	-0,29	-0,26	-0,35	-0,11	0,20	0,28	-0,11	-0,32	0,12	-0,10
Ho	0,58	0,98	0,99	0,29	0,70	1,00	0,54	0,92	0,52	0,53	0,53	0,90	0,97	0,95	0,59	0,63	1,00	0,64
La	0,84	0,63	0,48	0,73	0,84	0,54	1,00	0,39	0,95	0,96	0,92	0,77	0,43	0,41	0,93	0,89	0,53	0,93
Lu	0,53	0,86	0,95	0,04	0,48	0,92	0,39	1,00	0,35	0,36	0,33	0,72	0,97	0,99	0,49	0,41	0,94	0,54
Nb	0,75	0,79	0,79	0,25	0,56	0,79	0,62	0,79	0,53	0,56	0,48	0,73	0,79	0,79	0,72	0,54	0,81	0,74
Nd	0,78	0,62	0,45	0,78	0,92	0,52	0,95	0,35	1,00	1,00	0,97	0,78	0,41	0,38	0,89	0,95	0,51	0,90
Ni*	0,15	0,10	-0,06	0,51	0,40	0,01	0,36	-0,20	0,39	0,37	0,43	0,24	-0,11	-0,16	0,24	0,42	-0,03	0,23
Pr	0,80	0,63	0,46	0,75	0,90	0,53	0,96	0,36	1,00	1,00	0,95	0,77	0,42	0,39	0,91	0,94	0,52	0,91
Rb	0,26	0,10	0,20	-0,42	-0,09	0,15	-0,01	0,29	-0,05	-0,03	-0,07	0,02	0,24	0,28	0,15	-0,10	0,18	0,15
Sm	0,74	0,64	0,46	0,81	0,93	0,53	0,92	0,33	0,97	0,95	1,00	0,81	0,41	0,37	0,84	0,97	0,51	0,86
Sn	0,55	0,43	0,45	0,05	0,33	0,44	0,37	0,48	0,37	0,38	0,36	0,40	0,47	0,48	0,50	0,33	0,47	0,51
Sr	0,49	0,47	0,32	0,76	0,62	0,39	0,69	0,24	0,64	0,65	0,61	0,57	0,29	0,26	0,58	0,64	0,37	0,58
Ta	0,62	0,49	0,60	-0,17	0,19	0,55	0,33	0,69	0,26	0,29	0,20	0,37	0,64	0,67	0,53	0,19	0,60	0,53
Tb	0,67	0,96	0,84	0,61	0,92	0,90	0,77	0,72	0,78	0,77	0,81	1,00	0,80	0,76	0,74	0,88	0,88	0,79
Th	0,83	0,64	0,52	0,64	0,70	0,57	0,84	0,46	0,75	0,78	0,71	0,71	0,49	0,48	0,85	0,72	0,57	0,85
Tm	0,54	0,93	0,99	0,13	0,57	0,97	0,43	0,97	0,41	0,42	0,41	0,80	1,00	0,99	0,52	0,50	0,98	0,57
U	0,75	0,60	0,67	0,02	0,37	0,64	0,51	0,74	0,43	0,46	0,37	0,53	0,69	0,73	0,67	0,37	0,68	0,68
W	0,27	0,35	0,25	0,60	0,41	0,30	0,40	0,22	0,37	0,37	0,36	0,41	0,24	0,22	0,32	0,41	0,29	0,33
Y	0,57	0,96	0,99	0,23	0,64	0,99	0,50	0,94	0,47	0,48	0,47	0,86	0,98	0,96	0,56	0,57	0,99	0,61
Yb	0,54	0,89	0,98	0,07	0,52	0,95	0,41	0,99	0,38	0,39	0,37	0,76	0,99	1,00	0,51	0,45	0,97	0,56
Zr	-0,05	-0,03	0,06	-0,25	-0,27	0,01	-0,16	0,25	-0,26	-0,23	-0,32	-0,11	0,11	0,18	-0,11	-0,28	0,05	-0,10
F*	0,38	0,36	0,39	0,06	0,25	0,38	0,27	0,38	0,24	0,25	0,23	0,32	0,38	0,39	0,34	0,24	0,39	0,34
ETRL	0,97	0,65	0,55	0,56	0,77	0,59	0,93	0,49	0,89	0,91	0,84	0,74	0,52	0,51	1,00	0,81	0,59	1,00
ETRM	0,70	0,73	0,55	0,82	0,99	0,63	0,89	0,41	0,95	0,94	0,97	0,88	0,50	0,45	0,81	1,00	0,60	0,83
ETRPt	0,60	0,97	0,99	0,25	0,67	1,00	0,53	0,94	0,51	0,52	0,51	0,88	0,98	0,97	0,59	0,60	1,00	0,65
ETRT	0,96	0,71	0,60	0,57	0,81	0,64	0,93	0,54	0,90	0,91	0,86	0,79	0,57	0,56	1,00	0,83	0,65	1,00

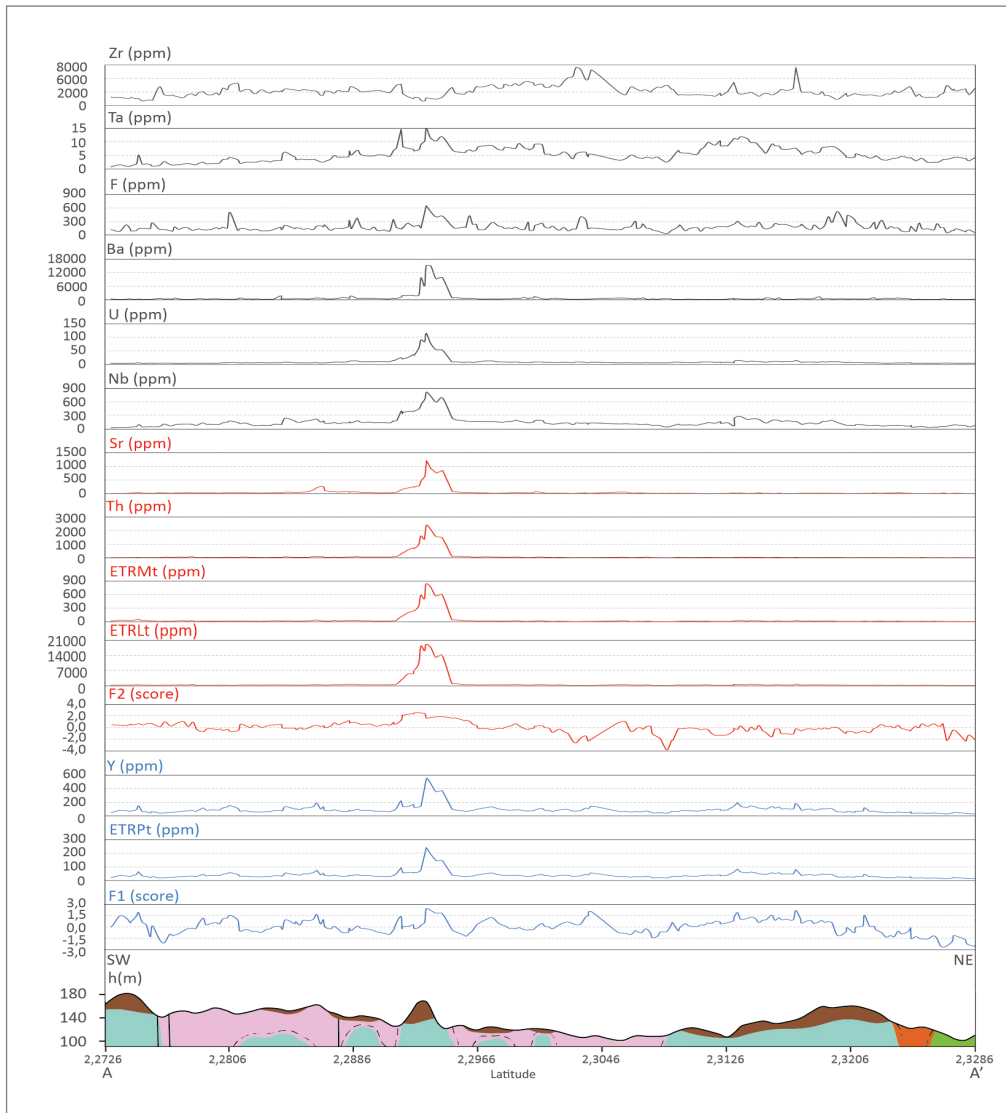
**Tabela 28.** Resultado da análise fatorial para o conjunto amostral da linha 1, alvo 6, mostrando a carga das variáveis nos fatores. Apenas as cargas das variáveis nos fatores > 0,6 foram consideradas significativas (em vermelho).

	F1	F2	F3
Nb	0,4517	0,3592	0,7974
Sr	0,1684	0,6615	0,3164
Th	0,3480	0,7351	0,4749
U	0,4251	0,2546	0,7027
Y	0,8725	0,3055	0,3542

**Tabela 28.** Resultado da análise fatorial para o conjunto amostral da linha 1, alvo 6, mostrando a carga das variáveis nos fatores. Apenas as cargas das variáveis nos fatores > 0,6 foram consideradas significativas (em vermelho) (continuação).

	F1	F2	F3
W	0,0435	0,4158	0,3151
ETRLt	0,3610	0,8429	0,2642
ETRMt	0,4630	0,8738	0,0519
ETRPt	0,8709	0,3304	0,3356
Autovalor	5,1688	1,2057	0,9124
% de variância total	57,4309	13,3972	10,1379
Autovalor acumulado	5,1688	6,3745	7,2869
% de variância total acumulada	57,4309	70,8281	80,9660

Método de extração dos fatores: principais componentes  
 Método de análise fatorial: máxima verossimilhança entre fatores  
 Rotação: Varimax normalizada



**Figura 61** - Perfis geológico-geoquímicos, linha 1, alvo 6. Legenda do perfil geológico conforme Figura 3.

## Linha 2

Na linha 2, as concentrações de ETRt variam entre 121-8.366 ppm. As análises reafirmam o enriquecimento relativo de ETRLt ( $\approx 85,7-7.930$  ppm), com relação aos demais ETR, observado na linha de amostragem anterior. As concentrações de ETRMt e ETRPt apresentaram valores subordinados, situados, respectivamente, nos intervalos de  $\approx 8-352$  ppm e  $\approx 14-85$  ppm (Tabela 29, Figura 62). Os valores de Y obtidos estão posicionados no intervalo de  $\approx 27$  e 233 ppm. As análises forneceram ainda concentrações relevantes de Ba ( $\approx 174-4.509$  ppm), Nb ( $\approx 47-474$  ppm), Th ( $\approx 10-1.057$  ppm), U ( $\approx 4,3-46,5$  ppm) e Zr ( $\approx 661-5.070$  ppm).

Os elementos Cl, Tl, Mo, que são muito susceptíveis a lixiviação, não foram detectados em grande parte das amostras ou apresentaram concentrações próximas aos limites inferiores de detecção. O enriquecimento de

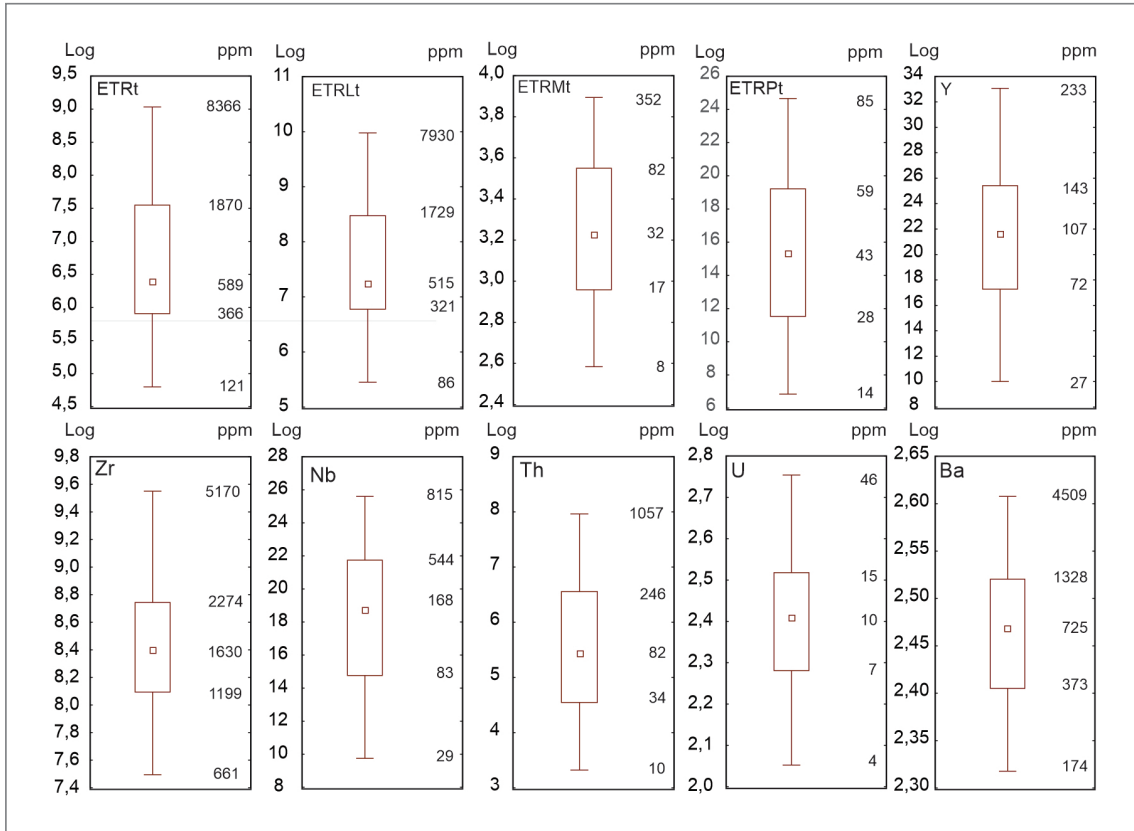
outros elementos como Ga, Co e Ni pode ter ocorrido de forma diferencial, controlado por graus diferentes de lateritização nos horizontes de solos amostrados.

Os ETRL, ETRM e ETRP apresentaram índices de correlação fortes a muito fortes com Ba, Be, Ga, Nb, Mo, Sr, Th, U, Nb, Y e entre si, conforme apresentado na Tabela 30. Nas relações multivariadas entre esses elementos, duas associações geoquímicas distintas para ETRL e ETRP foram identificadas por análise fatorial. O fator 1 demonstrou a associação ETRPt-Y-U, enquanto o fator 2 demonstrou a associação geoquímica ETRLt-ETRMt-Ba-Th-Sr (Tabela 31).

As curvas dos fatores 1 e 2 atingem os escores mais elevados, aproximadamente, no segmento central dos perfis geológico-geoquímicos (Figura 63), sobre o regolito desenvolvido nas rochas da Suíte Apiaú, decrescendo sensivelmente em direção às extremidades NW e SE, onde rochas do embasamento regional são predominantes.

**Tabela 29.** Estatística descritiva para concentrações de ETR, Y e demais elementos com concentrações significativas na linha 2 do alvo 6.

	OBSERVAÇÕES VÁLIDAS	MEDIANA (ppm)	MÍNIMO (ppm)	MÁXIMO (ppm)	MÍNIMO NÃO OUTLIER (ppm)	LIMIAR INFERIOR (ppm)	MÁXIMO NÃO OUTLIER (PPM)	LIMIAR SUPERIOR (ppm)	BACKGROUND		ALTO BACKGROUND (ppm)
									1º QUARTIL (ppm)	3º QUARTIL (ppm)	
Ce	104	307,2	41,5	3904,0	41,5	39,9	3904,0	4184,1	176,5	910,9	910,9-176,5
La	104	126,7	26,4	2223,0	26,4	23,6	2223,0	2452,3	80,1	514,0	514,0-80,1
Nd	104	74,8	12,5	1396,0	12,5	11,5	1396,0	1549,2	46,3	277,0	277,0-46,3
Pr	104	20,7	3,8	421,2	3,8	3,4	421,2	494,8	13,2	80,5	80,5-13,2
ETRLt	104	514,9	85,7	7930,2	85,7	66,5	7930,2	8763,1	320,7	1729,0	1729,0-320,7
Eu	104	2,8	0,8	43,7	0,8	0,8	43,7	60,9	1,7	10,5	10,5-1,7
Gd	104	13,9	3,9	98,6	3,9	1,2	98,6	116,9	7,0	30,2	30,2-7,0
Sm	104	13,4	2,1	201,1	2,1	1,0	201,1	247,4	7,0	38,9	38,9-7,0
Tb	104	2,8	0,9	11,8	0,9	-0,5	11,8	14,9	1,4	4,6	4,6-1,4
ETRMt	104	32,0	8,1	351,9	8,1	6,5	351,9	401,0	16,8	81,5	81,5-16,8
Dy	104	18,3	4,9	41,3	4,9	1,6	41,3	47,8	9,1	22,1	22,1-9,1
Er	104	9,5	3,2	17,3	3,2	0,0	17,3	21,6	6,8	12,7	12,7-6,8
Ho	104	3,5	1,1	7,2	1,1	1,1	7,2	8,7	2,2	4,6	4,6-2,2
Lu	104	1,5	0,6	2,7	0,6	0,1	2,7	3,2	1,1	1,9	1,9-1,1
Tm	104	1,6	0,5	2,7	0,5	-0,1	2,7	3,3	1,1	2,0	2,0-1,1
Yb	104	9,7	3,7	17,4	3,7	1,6	17,4	21,2	9,5	12,9	12,9-9,5
ETRPt	104	42,6	14,1	85,4	14,1	-0,1	85,4	106,5	28,2	59,0	59,0-28,2
ETRt	104	589,3	121,4	8366,4	121,4	87,2	8366,4	9271,5	366,4	1870,2	1870,2-366,4
Y	104	106,9	27,3	233,0	27,3	13,8	233,0	265,1	71,6	143,3	143,3-71,6
Ba	104	725,4	174,0	4509,0	174,0	167,6	4509,0	4657,1	373,3	1327,8	1327,8-373,3
Nb	104	249,3	47,4	474,1	47,4	20,8	474,1	596,8	123,5	316,8	316,8-123,5
Th	104	81,8	10,2	1057,0	10,2	4,7	1057,0	1270,6	33,8	246,3	246,3-33,8
U	104	10,3	4,3	46,5	4,3	4,1	46,5	48,5	7,3	15,0	15,0-7,3
Zr	104	1629,7	661,3	5169,9	661,3	628,1	5169,9	5260,5	1199,3	2274,0	2274,0-1199,3
F	104	190,0	15,0	672,0	39,0	30,3	584,0	608,1	136,0	291,0	291,0-136,0



**Figura 62** - Diagramas de caixa para concentrações de ETR totais, ETRLt, ETRMt, ETRPt e demais elementos com concentrações significativas no alvo 6, linha 2.

**Tabela 30.** Matriz de correlação de postos de Spearman. Índices de correlação em vermelho são > 0,6.

	CE	DY	ER	EU	GD	HO	LA	LU	ND	PR	SM	TB	TM	YB	ETRLT	ETRMt	ETRPt	ETRT
Ba	0,74	0,65	0,47	0,79	0,72	0,6	0,79	0,23	0,77	0,78	0,74	0,72	0,42	0,31	0,75	0,74	0,53	0,76
Be	0,55	0,38	0,23	0,62	0,51	0,34	0,64	-0,02	0,62	0,63	0,58	0,48	0,19	0,08	0,58	0,56	0,26	0,58
Ce	1,00	0,8	0,63	0,93	0,91	0,75	0,95	0,35	0,95	0,95	0,94	0,89	0,57	0,46	0,99	0,93	0,70	0,99
Co	-0,32	-0,43	-0,32	-0,36	-0,4	-0,4	-0,37	-0,2	-0,37	-0,37	-0,36	-0,42	-0,27	-0,23	-0,35	-0,38	-0,37	-0,35
Cs	-0,27	-0,27	-0,14	-0,22	-0,31	-0,21	-0,21	0,01	-0,24	-0,23	-0,26	-0,29	-0,07	-0,04	-0,26	-0,28	-0,21	-0,26
Cu	0,02	-0,13	-0,2	0,07	-0,03	-0,15	0,06	-0,29	0,05	0,06	0,04	-0,04	-0,2	-0,24	0,03	0,01	-0,19	0,02
Dy	0,80	1,00	0,93	0,82	0,93	0,99	0,8	0,72	0,83	0,82	0,88	0,96	0,88	0,82	0,82	0,90	0,97	0,85
Er	0,63	0,93	1,00	0,64	0,79	0,97	0,62	0,89	0,66	0,64	0,71	0,83	0,98	0,96	0,66	0,75	0,99	0,69
Eu	0,93	0,82	0,64	1,00	0,95	0,77	0,96	0,36	0,98	0,98	0,98	0,92	0,58	0,47	0,96	0,97	0,71	0,96
Ga	0,70	0,68	0,49	0,73	0,78	0,61	0,72	0,18	0,77	0,76	0,79	0,75	0,4	0,31	0,74	0,78	0,57	0,75
Gd	0,91	0,93	0,79	0,95	1,00	0,89	0,91	0,51	0,95	0,94	0,98	0,99	0,71	0,63	0,94	0,99	0,85	0,95
Hf	-0,59	-0,37	-0,08	-0,65	-0,58	-0,26	-0,65	0,31	-0,66	-0,66	-0,64	-0,52	0,05	0,14	-0,62	-0,61	-0,17	-0,61
Ho	0,75	0,99	0,97	0,77	0,89	1,00	0,75	0,80	0,78	0,77	0,83	0,93	0,94	0,88	0,78	0,86	0,99	0,81
La	0,95	0,8	0,62	0,96	0,91	0,75	1,00	0,33	0,98	0,99	0,95	0,89	0,55	0,44	0,98	0,94	0,68	0,98
Lu	0,35	0,72	0,89	0,36	0,51	0,80	0,33	1,00	0,37	0,35	0,42	0,57	0,95	0,97	0,37	0,46	0,85	0,4
Mo	0,77	0,65	0,45	0,78	0,75	0,6	0,80	0,21	0,80	0,81	0,79	0,73	0,4	0,3	0,79	0,78	0,53	0,79
Nb	0,84	0,89	0,77	0,85	0,92	0,86	0,84	0,53	0,86	0,85	0,89	0,93	0,71	0,63	0,86	0,91	0,83	0,87
Nd	0,95	0,83	0,66	0,98	0,95	0,78	0,98	0,37	1,00	1,00	0,99	0,92	0,59	0,48	0,98	0,98	0,72	0,98
Ni	0,04	-0,09	-0,08	0,04	-0,04	-0,08	0,03	-0,10	0,04	0,04	0,03	-0,06	-0,05	-0,07	0,03	0,01	-0,1	0,02

**Tabela 30.** Matriz de correlação de postos de Spearman. Índices de correlação em vermelho são > 0,6 (continuação).

	CE	DY	ER	EU	GD	HO	LA	LU	ND	PR	SM	TB	TM	YB	ETRLT	ETRMt	ETRPT	ETRT
Pr	0,95	0,82	0,64	0,98	0,94	0,77	0,99	0,35	1,00	1,00	0,98	0,91	0,57	0,46	0,98	0,97	0,71	0,98
Rb	-0,19	-0,02	0,17	-0,19	-0,11	0,04	-0,17	0,27	-0,15	-0,15	-0,13	-0,12	0,21	0,29	-0,16	-0,12	0,09	-0,15
Sm	0,94	0,88	0,71	0,98	0,98	0,83	0,95	0,42	0,99	0,98	1,00	0,95	0,64	0,54	0,97	1,00	0,78	0,97
Sn	0,14	0,3	0,26	0,18	0,31	0,27	0,12	0,14	0,18	0,18	0,26	0,3	0,21	0,21	0,16	0,27	0,29	0,18
Ta	0,26	0,47	0,48	0,31	0,43	0,47	0,25	0,42	0,32	0,31	0,39	0,43	0,47	0,46	0,29	0,40	0,49	0,31
Tb	0,89	0,96	0,83	0,92	0,99	0,93	0,89	0,57	0,92	0,91	0,95	1,00	0,77	0,68	0,91	0,97	0,89	0,93
Th	0,94	0,9	0,75	0,94	0,97	0,85	0,94	0,46	0,96	0,95	0,97	0,96	0,67	0,59	0,96	0,98	0,81	0,97
Tm	0,57	0,88	0,98	0,58	0,71	0,94	0,55	0,95	0,59	0,57	0,64	0,77	1,00	0,97	0,67	0,96	0,96	0,62
U	0,77	0,93	0,84	0,78	0,89	0,9	0,76	0,66	0,8	0,79	0,84	0,91	0,79	0,74	0,79	0,87	0,89	0,82
W	0,38	0,16	-0,03	0,37	0,26	0,12	0,41	-0,19	0,35	0,36	0,31	0,29	-0,06	-0,18	0,37	0,30	0,03	0,35
Y	0,79	0,97	0,93	0,8	0,88	0,98	0,78	0,75	0,81	0,8	0,84	0,93	0,9	0,83	0,81	0,86	0,95	0,83
Yb	0,46	0,82	0,96	0,47	0,63	0,88	0,44	0,97	0,48	0,46	0,54	0,68	0,97	1,00	0,49	0,58	0,93	0,52
Zr	-0,54	-0,3	-0,01	-0,59	-0,51	-0,19	-0,59	0,37	-0,59	-0,6	-0,58	-0,46	0,11	0,21	-0,56	-0,55	-0,1	-0,55
F	-0,13	-0,25	-0,3	-0,07	-0,16	-0,28	-0,04	-0,4	-0,05	-0,05	-0,09	-0,2	-0,34	-0,35	-0,09	-0,12	-0,3	-0,1
ETRLt	0,99	0,82	0,66	0,96	0,94	0,78	0,98	0,37	0,98	0,98	0,97	0,91	0,59	0,49	1,00	0,96	0,72	1,00
ETRMt	0,93	0,9	0,75	0,97	0,99	0,86	0,94	0,46	0,98	0,97	1	0,97	0,67	0,58	0,96	1,00	0,81	0,97
ETRPT	0,7	0,97	0,99	0,71	0,85	0,99	0,68	0,85	0,72	0,71	0,78	0,89	0,96	0,93	0,72	0,81	1,00	0,75
ETRT	0,99	0,85	0,69	0,96	0,95	0,81	0,98	0,4	0,98	0,98	0,97	0,93	0,62	0,52	1,00	0,97	0,75	1,00

**Tabela 31.** Resultado da análise fatorial para o conjunto amostral da linha 2, alvo 6, mostrando a carga das variáveis nos fatores extraídos. Apenas as cargas das variáveis nos fatores >0,69 foram consideradas significativas (em vermelho).

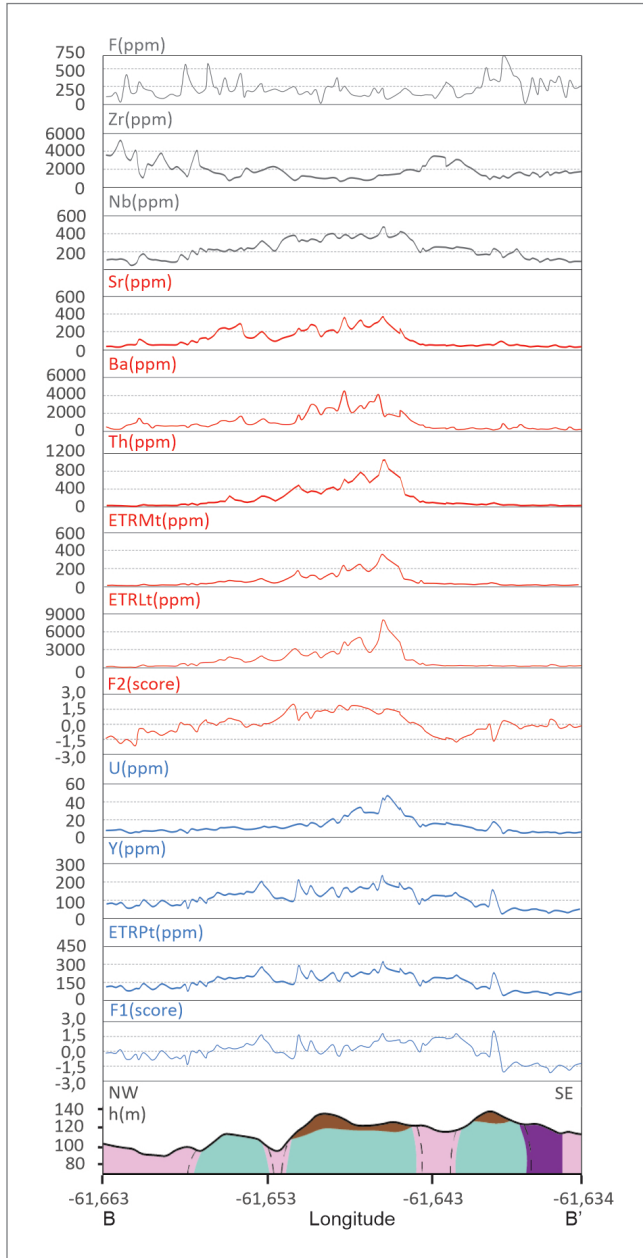
VARIÁVEL	FATOR 1	FATOR 2
Ba	0,3612	0,6979
Be	0,1224	0,6059
Nb	0,6651	0,6679
Sr	0,4777	0,7591
Th	0,6035	0,7862
U	0,7817	0,4936
Y	0,8874	0,3984
ETRLt	0,4873	0,8579
ETRMt	0,6280	0,7630
ETRPT	0,9526	0,2698
Autovalor	6,4652	1,9408
% de variância total	64,6520	19,4078
Autovalor acumulado	6,4652	8,4060
% de variância total acumulada	64,6520	84,0597

Método de extração dos fatores: principais componentes  
Método de análise fatorial: máxima verossimilhança entre fatores  
Rotação: Varimax normalizada

Uma anomalia polimetálica é delineada nessa região pelas curvas de ETRLt, ETRMt, ETRPt, Y, Ba, Th, U, Nb e Sr, que atingem os valores máximos na linha de amostragem. O reflexo do enriquecimento supergênico é aceitável nos resultados obtidos, considerando elevada maturidade dos horizontes de solo amostrados, em geral com elevado grau de lixiviação e desenvolvimento de couraças lateríticas. Assim como o Cl, as concentrações de F podem ter sido mais afetadas pelos efeitos da lixiviação nos horizontes de solo mais superficiais, conforme demonstra o padrão mais errático, com sucessivos picos e vales, da respectiva curva desse elemento. Próximo à extremidade SE dos perfis geológico-geoquímicos, um pico na curva de F, apresentando a maior concentração obtida nessa linha de amostragem, acompanha uma pequena anomalia de ETRPt, Y e U, sobre o domínio da Suíte Apiaú.

De maneira contrária, a curva de Zr atingiu as maiores concentrações sobre as depressões do relevo ou nas planícies das bordas do perfil, indiferente da unidade geológica associada. A dispersão essencialmente clástica do zircão fortalece a influência de solos transportados mais antigos (aluvionais e coluvionais) em alguns segmentos dos perfis geológico-geoquímicos. Horizontes de solos alóctones podem não ter sido identificados em campo, devido ao mascaramento decorrente da latolização promovida pela lixiviação secular.





**Figura 63** - Perfis geológico-geoquímicos, linha 2, alvo 6. Legenda do perfil geológico conforme Figura 3.

### Linha 3

Os resultados obtidos na linha 3 definiram uma região do alvo 6 com concentrações de ETRt menos relevantes, dentro da faixa de valores regionais de *background* (45-1.693 ppm) (Tabela 32, Figura 64). Apesar dos valores encontrados serem menores que as demais linhas do alvo, as análises demonstraram que o enriquecimento em ETRLt continuou sendo predominante ( $\approx 35$ -1.575 ppm) sobre os ETRMt e ETRPt. As concentrações de ETRMt e ETRPt obtidas são pouco expressivas, com valores nos intervalos de  $\approx 2$ -74 ppm e  $\approx 8$ -95 ppm, respectivamente. Contudo, os valores de Y obtidos nessa linha de amostragem variam no intervalo  $\approx 17$ -222 ppm, atingindo, portanto, uma faixa de valores maior que os ETRPt.

De forma geral, as concentrações significativamente menores de ETR e de elementos comumente associados como F ( $\approx 42$ -490 ppm), Nb ( $\approx 24$ -281 ppm), Ba ( $\approx 54$ -882 ppm), Th ( $\approx 3,2$ -90 ppm) e U ( $\approx 2,8$ -19 ppm), quando comparados às concentrações obtidas nos demais solos residuais sobre esse alvo, caracterizam um domínio com empobrecimento relativo e menor favorabilidade para mineralizações de ETR ou um domínio com potencial para depósitos de ETR de baixo teor.

Contudo, as concentrações de Zr continuaram apresentando valores expressivos (706-4.783 ppm). A presença marcante de Zr nas amostras de solo vem demonstrando uma evolução natural dos horizontes superficiais do regolito que condicionou a concentração natural de grãos resistatos de zircão remanescentes das zonas mineralizadas, bem como a concentração mecânica durante a formação de horizontes de solos alóctones.

As concentrações dos elementos susceptíveis à mobilidade química, como Cu, Mo, Ni, W, Tl, F, e Cl, apresentaram distribuições não paramétricas nos horizontes superficiais de solo. Esse comportamento, em vários casos, está associado à presença de valores abaixo ou próximos dos limites inferiores de detecção (ex. Tl e Cl), cujas concentrações, invariavelmente, foram modificadas durante a lixiviação dos perfis de intemperismo.

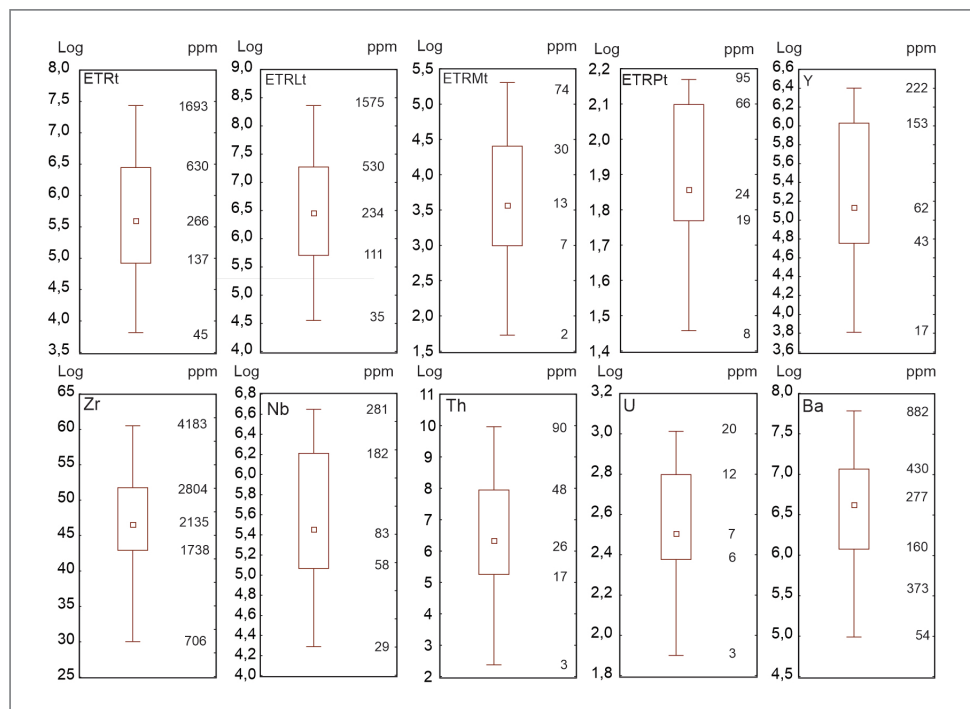
**Tabela 32.** Estatística descritiva para concentrações de ETR, Y e demais elementos com concentrações significativas na Linha 3 do alvo 6.

VARIÁVEL	OBSERVAÇÕES VÁLIDAS	MEDIANA (ppm)	MÍNIMO (ppm)	MÁXIMO (ppm)	MÍNIMO NÃO OUTLIER (ppm)	LIMIAR INFERIOR (ppm)	MÁXIMO NÃO OUTLIER (ppm)	LIMIAR SUPERIOR (ppm)	BACKGROUND		ALTO BACKGROUND
									1º QUARTIL (ppm)	3º QUARTIL (ppm)	
Ce	114	128,5	11,4	1184,0	11,4	9,4	1184,0	1325,4	64,2	303,0	303,0-1325,4
La	114	56,6	11,8	264,8	11,8	8,5	264,8	302,0	29,4	102,5	102,5-302,0
Nd	114	34,3	3,7	207,5	3,7	2,4	207,5	245,1	15,4	69,0	69,0-245,1
Pr	114	9,0	1,0	57,0	1,0	0,2	57,0	70,4	4,3	19,5	19,5-70,4
ETRL	114	234,0	34,9	1574,8	34,9	25,7	1574,8	1812,2	110,5	529,7	529,7-1812,2
Eu	114	0,8	0,2	2,2	0,2	0,2	2,2	2,2	0,6	1,1	1,1-2,2

**Tabela 32.** Estatística descritiva para concentrações de ETR, Y e demais elementos com concentrações significativas na Linha 3 do alvo 6 (continuação).

VARIÁVEL	OBSERVAÇÕES VÁLIDAS	MEDIANA (ppm)	MÍNIMO (ppm)	MÁXIMO (ppm)	MÍNIMO NÃO OUTLIER (ppm)	LÍMIAR INFERIOR (ppm)	MÁXIMO NÃO OUTLIER (ppm)	LÍMIAR SUPERIOR (ppm)	BACKGROUND		ALTO BACKGROUND
									1º QUARTIL (ppm)	3º QUARTIL (ppm)	
Gd	114	5,5	1,0	31,8	1,0	0,0	31,8	41,9	3,4	14,6	14,6-41,9
Sm	114	5,3	0,7	36,1	0,7	-0,3	36,1	44,5	2,6	11,4	11,4-44,5
Tb	114	1,1	0,2	5,4	0,2	0,6	5,4	8,9	0,7	3,3	3,3-8,9
ETRM	114	13,0	2,1	74,1	2,1	1,1	74,1	91,1	7,3	30,1	30,1-91,1
Dy	114	8,0	2,0	32,6	2,0	0,6	32,6	45,3	5,2	21,9	21,9-45,3
Er	114	6,0	2,0	22,9	2,0	1,5	22,9	29,4	4,4	15,9	15,9-29,4
Ho	114	1,9	0,5	8,1	0,5	0,5	8,1	12,2	1,4	5,8	5,8-12,2
Lu	114	1,2	0,5	3,9	0,5	-1,6	3,9	6,1	0,9	2,7	2,7-6,1
Tm	114	1,0	0,4	3,7	0,4	1,0	3,7	6,4	0,8	2,6	2,6-6,4
Yb	114	7,1	3,0	23,7	3,0	2,7	23,7	27,6	5,5	17,1	17,1-27,6
ETRP	114	24,5	8,3	94,9	8,3	7,3	94,9	113,4	18,7	65,5	65,5-113,4
ETRt	114	266,5	45,4	1693,3	45,4	31,3	1693,3	1989,1*	137,1	629,9	629,9-1989,1*
Y	114	62,1	16,6	221,8	16,6	12,4	221,8	275,1	42,7	152,8	152,8-275,1
Ba	114	277,0	54,0	882,0	54,0	49,7	882,0	968,6	160,0	430,0	430,0-968,6
Hf	114	62,3	14,8	126,9	19,7	18,8	126,9	136,8	52,4	84,4	84,4-136,8
Nb	114	83,3	26,6	281,3	26,6	20,7	281,3	335,6	57,8	181,7	181,7-335,6
Th	114	26,2	3,2	90,0	3,2	1,6	90,0	108,2	16,6	47,9	47,9-108,2
U	114	7,0	2,8	19,6	2,8	2,6	19,6	22,3	5,7	12,1	12,1-22,3
Zr	114	2135,1	705,8	4183,1	705,8	696,6	4183,1	4496,9	1738,0	2804,0	2804,0-4496,9
F	114	142,1	42,0	490,0	42,0	37,4	490,0	508,1	89,0	193,0	193,0-508,1

\*Valor calculado.



**Figura 64 -** Diagramas de caixa para concentrações de ETR totais, ETRLt, ETRMt, ETRPt e demais elementos com concentrações significativas no alvo 6, linha 3.

Em paralelo, concentrações de Be e Hf, que são naturalmente depletadas nas rochas da região, podem ter sofrido concentração durante a lateritização, acompanhando o incremento nas concentrações de Ga, que marca os horizontes de solos retrabalhados mais expostos à lixiviação.

Assim como nas demais linhas de amostragem, a mobilidade química característica de diversos elementos durante o intemperismo, pode ter impactado em diversas proporções as correlações geoquímicas com os ETR, que também são mobilizáveis em condições específicas.

Nas análises bivariadas (Tabela 33), os ETR apresentaram índices de correlação fortes a muito fortes entre

si e com pelo menos um dos elementos Be, Cs, Ta, U, Ga, Th, Mo, Sn, Sr, Y, Nb e Ta, embora as correlações com Mo, Nb e Ta sejam acompanhadas de um significado incerto devido ao comportamento (não-paramétrico) dessas variáveis no conjunto amostral. Os ETR também apresentaram índices de correlação moderados com flúor e valores negativos com Ba.

As correlações geoquímicas entre os ETR, Y, Be, Cs, Sn, Sr, Ga, Th, U e Sn, avaliadas por análise fatorial (Tabela 34), forneceram uma associação geoquímica única em um modelo a dois fatores, definida no fator 1 como ETRLt-ETRMt-ETRPt-Y-Th-U-Sn-Ga. O fator 2 não definiu associação geoquímica para cargas de variáveis nos fatores >0,7.

**Tabela 33.** Matriz de correlação de postos de Spearman. Índices de correlação em vermelho são >0,6.

	CE	DY	ER	EU	GD	HO	LA	LU	ND	PR	SM	TB	TM	YB	ETRLT	ETRMt	ETRPt	ETRT
Ba	-0,19	-0,30	-0,30	0,34	-0,21	-0,28	-0,13	-0,20	-0,14	-0,11	-0,16	-0,22	-0,22	-0,24	-0,18	-0,19	-0,27	-0,19
Be	0,49	0,44	0,45	0,67	0,51	0,46	0,61	0,48	0,57	0,60	0,55	0,49	0,50	0,48	0,53	0,53	0,47	0,53
Ce	1,00	0,86	0,81	0,61	0,92	0,85	0,89	0,68	0,91	0,91	0,94	0,90	0,77	0,72	0,99	0,93	0,81	0,98
Co	0,10	-0,11	-0,16	0,47	0,09	-0,13	0,08	-0,19	0,11	0,12	0,11	0,00	-0,17	-0,20	0,09	0,10	-0,16	0,08
Cs	0,73	0,49	0,44	0,52	0,65	0,50	0,58	0,50	0,67	0,70	0,69	0,60	0,48	0,43	0,72	0,68	0,45	0,70
Cu	0,10	-0,05	-0,08	0,41	0,10	-0,05	0,14	-0,03	0,16	0,17	0,15	0,04	-0,05	-0,07	0,12	0,13	-0,07	0,11
Dy	0,86	1,00	0,98	0,53	0,92	0,99	0,90	0,82	0,87	0,86	0,90	0,98	0,93	0,90	0,88	0,91	0,98	0,90
Er	0,81	0,98	1,00	0,45	0,86	0,99	0,85	0,89	0,81	0,80	0,85	0,94	0,97	0,95	0,83	0,85	1,00	0,85
Eu	0,61	0,53	0,45	1,00	0,65	0,49	0,75	0,28	0,70	0,71	0,73	0,63	0,40	0,33	0,65	0,69	0,46	0,64
Ga	0,92	0,80	0,75	0,57	0,88	0,80	0,83	0,70	0,88	0,89	0,90	0,87	0,74	0,70	0,92	0,89	0,76	0,91
Gd	0,92	0,92	0,86	0,65	1,00	0,90	0,91	0,71	0,97	0,96	0,96	0,96	0,81	0,77	0,95	0,99	0,86	0,96
Hf	-0,06	0,03	0,15	-0,48	-0,06	0,09	-0,11	0,47	-0,06	-0,04	-0,07	-0,01	0,27	0,36	-0,06	-0,07	0,17	-0,05
Ho	0,85	0,99	0,99	0,49	0,90	1,00	0,87	0,87	0,86	0,85	0,88	0,97	0,96	0,93	0,87	0,89	0,99	0,89
La	0,89	0,90	0,85	0,75	0,91	0,87	1,00	0,69	0,94	0,94	0,96	0,93	0,81	0,76	0,93	0,93	0,86	0,93
Lu	0,68	0,82	0,89	0,28	0,71	0,87	0,69	1,00	0,69	0,70	0,72	0,80	0,96	0,98	0,70	0,71	0,90	0,72
Mo	0,89	0,82	0,81	0,48	0,82	0,83	0,83	0,76	0,83	0,84	0,85	0,85	0,81	0,78	0,89	0,83	0,82	0,88
Nb	0,80	0,88	0,91	0,43	0,82	0,91	0,81	0,90	0,80	0,82	0,82	0,87	0,94	0,92	0,82	0,82	0,92	0,83
Nd	0,91	0,87	0,81	0,70	0,97	0,86	0,94	0,69	1,00	0,99	0,96	0,92	0,78	0,74	0,96	0,98	0,82	0,96
Ni	0,12	0,01	-0,03	0,45	0,13	-0,02	0,22	-0,04	0,18	0,18	0,17	0,07	-0,03	-0,04	0,14	0,15	-0,02	0,13
Pr	0,91	0,86	0,80	0,71	0,96	0,85	0,94	0,70	0,99	1,00	0,96	0,92	0,78	0,74	0,96	0,97	0,81	0,96
Rb	0,89	0,84	0,82	0,53	0,86	0,85	0,82	0,80	0,85	0,86	0,89	0,88	0,84	0,80	0,88	0,87	0,83	0,89
Sm	0,94	0,90	0,85	0,73	0,96	0,88	0,96	0,72	0,96	0,96	1,00	0,95	0,81	0,77	0,96	0,98	0,85	0,97
Sn	0,64	0,76	0,78	0,39	0,67	0,78	0,71	0,80	0,68	0,69	0,71	0,75	0,82	0,80	0,68	0,69	0,79	0,69
Sr	0,01	-0,01	-0,02	0,61	0,05	0,00	0,21	0,00	0,12	0,14	0,12	0,07	0,04	0,00	0,04	0,07	0,01	0,04
Ta	0,80	0,77	0,79	0,43	0,78	0,81	0,74	0,87	0,78	0,80	0,80	0,81	0,85	0,83	0,80	0,79	0,81	0,81
Tb	0,90	0,98	0,94	0,63	0,96	0,97	0,93	0,80	0,92	0,92	0,95	1,00	0,90	0,85	0,93	0,95	0,94	0,94
Th	0,89	0,86	0,84	0,63	0,85	0,87	0,90	0,77	0,88	0,89	0,89	0,88	0,85	0,80	0,91	0,87	0,85	0,91
Tl	0,76	0,57	0,56	0,37	0,65	0,61	0,57	0,58	0,66	0,68	0,67	0,64	0,58	0,55	0,74	0,67	0,56	0,73
Tm	0,77	0,93	0,97	0,40	0,81	0,96	0,81	0,96	0,78	0,78	0,81	0,90	1,00	0,99	0,79	0,81	0,98	0,81
U	0,74	0,70	0,73	0,34	0,72	0,74	0,65	0,87	0,71	0,73	0,74	0,74	0,80	0,81	0,73	0,73	0,74	0,74
W	0,22	0,12	0,15	0,29	0,14	0,17	0,27	0,28	0,23	0,26	0,19	0,18	0,25	0,23	0,24	0,17	0,18	0,23
Y	0,82	0,98	0,99	0,47	0,87	0,99	0,86	0,90	0,82	0,82	0,86	0,95	0,98	0,95	0,84	0,86	0,99	0,86

**Tabela 33.** Matriz de correlação de postos de Spearman. Índices de correlação em vermelho são >0,6 (continuação).

	CE	DY	ER	EU	GD	HO	LA	LU	ND	PR	SM	TB	TM	YB	ETRLT	ETRMT	ETRPT	ETRT
Yb	0,72	0,90	0,95	0,33	0,77	0,93	0,76	0,98	0,74	0,74	0,77	0,85	0,99	1,00	0,74	0,76	0,96	0,76
Zr	-0,31	-0,12	-0,02	-0,63	-0,27	-0,09	-0,28	0,19	-0,27	-0,28	-0,30	-0,21	0,04	0,14	-0,29	-0,29	-0,01	-0,28
F	0,43	0,40	0,40	0,47	0,41	0,42	0,50	0,47	0,44	0,48	0,46	0,45	0,46	0,44	0,44	0,43	0,42	0,45
Cl	-0,12	-0,14	-0,17	-0,02	-0,12	-0,18	-0,04	-0,32	-0,10	-0,13	-0,11	-0,16	-0,24	-0,27	-0,10	-0,12	-0,19	-0,11
LTRL	0,99	0,88	0,83	0,65	0,95	0,87	0,93	0,70	0,96	0,96	0,96	0,93	0,79	0,74	1,00	0,96	0,83	1,00
LTRM	0,93	0,91	0,85	0,69	0,99	0,89	0,93	0,71	0,98	0,97	0,98	0,95	0,81	0,76	0,96	1,00	0,85	0,97
ETRP	0,81	0,98	1,00	0,46	0,86	0,99	0,86	0,90	0,82	0,81	0,85	0,94	0,98	0,96	0,83	0,85	1,00	0,85
ETRT	0,98	0,90	0,85	0,64	0,96	0,89	0,93	0,72	0,96	0,96	0,97	0,94	0,81	0,76	1,00	0,97	0,85	1,00

**Tabela 34.** Resultado da análise fatorial para o conjunto amostral da linha 3, alvo 6. Carga das variáveis > 0,7 foram consideradas significativas (em vermelho).

	F1	F2
Be	0,4072	0,4160
Cs	0,4954	0,7513
Ga	0,8205	0,5326
Sn	0,7508	0,0480
Sr	-0,0331	0,2299
Th	0,8449	0,3859
U	0,8382	0,2848
Y	0,9891	0,0425
ETRLt	0,8489	0,4502
ETRMt	0,8939	0,3518
ETRPT	0,9897	0,0238
Autovalores	6,7670	1,4113
% de variância total	61,5182	12,8298
Autovalores acumulados	6,7670	8,1783
% de variância total acumulada	61,5182	74,3479

Método de extração dos fatores: principais componentes  
Método de análise fatorial: máxima verossimilhança entre fatores  
Rotação: Varimax normalizada

Escores elevados da associação geoquímica ETRLt-ETRMt-ETRPT-Y-Th-U-Sn-Ga (fator 1) marcam um corpo de rochas alcalinas na parte central da linha 3 (Figura 65). O regolito desenvolvido sobre esse corpo apresenta horizontes superficiais de solos maduros, muito lixiviados, não raro com presença de concreções lateríticas (Figura 65). Esses horizontes forneceram concentrações máximas locais em solo de ETRLt, ETRMt, ETRPt e Y, além de Th, U, Ga, Nb (este último não apresentado nos perfis geológico-geoquímicos). Uma relação entre as rochas alcalinas e o enriquecimento de Zr e Sn, também, é observado, porém a dispersão estritamente clástica de minerais como zircão e cassiterita pode ter controlado a concentração mecânica desses minerais ao longo das planícies colúvio-aluvionares (Figura 65). Os perfis geoquímicos indicam o Zr como elemento acompanhante de

ETR, embora, na prática, o zircão pode estar associado à mineralizações ou zonas mineralizadas distintas. O estanho, apesar da boa correlação geoquímica, isoladamente, não demonstrou ser um farejador eficiente para mineralizações primárias de ETR. O perfil geoquímico do flúor indicou uma região enriquecida sobre o referido corpo alcalino, marcada por picos expressivos. As alterações hidrotermais e intempéricas, entretanto, podem ter mascarado as relações espaciais entre esse elemento e mineralizações primárias de ETR.

Os perfis geológico-geoquímicos revelaram domínios enriquecidos em Ba em posições mais distantes do corpo alcalino (Figura 65), reforçando que as mineralizações de barita conhecidas na área, representam uma fase do magmatismo alcalino, possivelmente tardio, com projeção mais distal.

## 5.7. LEVANTAMENTO PROSPECTIVO DO ALVO 7

### 5.7.1. Geologia

O alvo 7 está localizado na porção central da área de estudo, tendo, como litologia do metalotecto, corpos alcalinos mesozoicos, em contexto geológico semelhante ao alvo 5 (Figura 66a,b).

As rochas do embasamento no alvo 7 são representadas por augen gnaisse mesocráticos, de textura fanerítica equigranular grossa a porfirítica, com composições variando de granodiorítica a monzogranítica. Essas rochas são deformadas por zonas de cisalhamento NE-SW, onde se desenvolvem milonitos com foliação de atitude N55°E 70°/SW ( $D_n$ ), definida pela orientação de minerais máficos em meio a trama quartzo-feldspática.

Na proximidade de corpos sieníticos, formados por quartzo sienitos e demais diques alcalinos agrupados na Suíte Apiaú, o embasamento apresenta zonas com intensa fenitização, em geral, controladas por zonas cataclásticas NW-SE ( $D_{n+1}$ ). Estruturalmente, esse magmatismo alcalino tem relação espacial com as zonas cataclásticas, além de falhas e fraturas ( $D_{n+1}$ ) com direções NW-SE e NE-SW, esta última representando reativações de estruturas  $D_n$ .

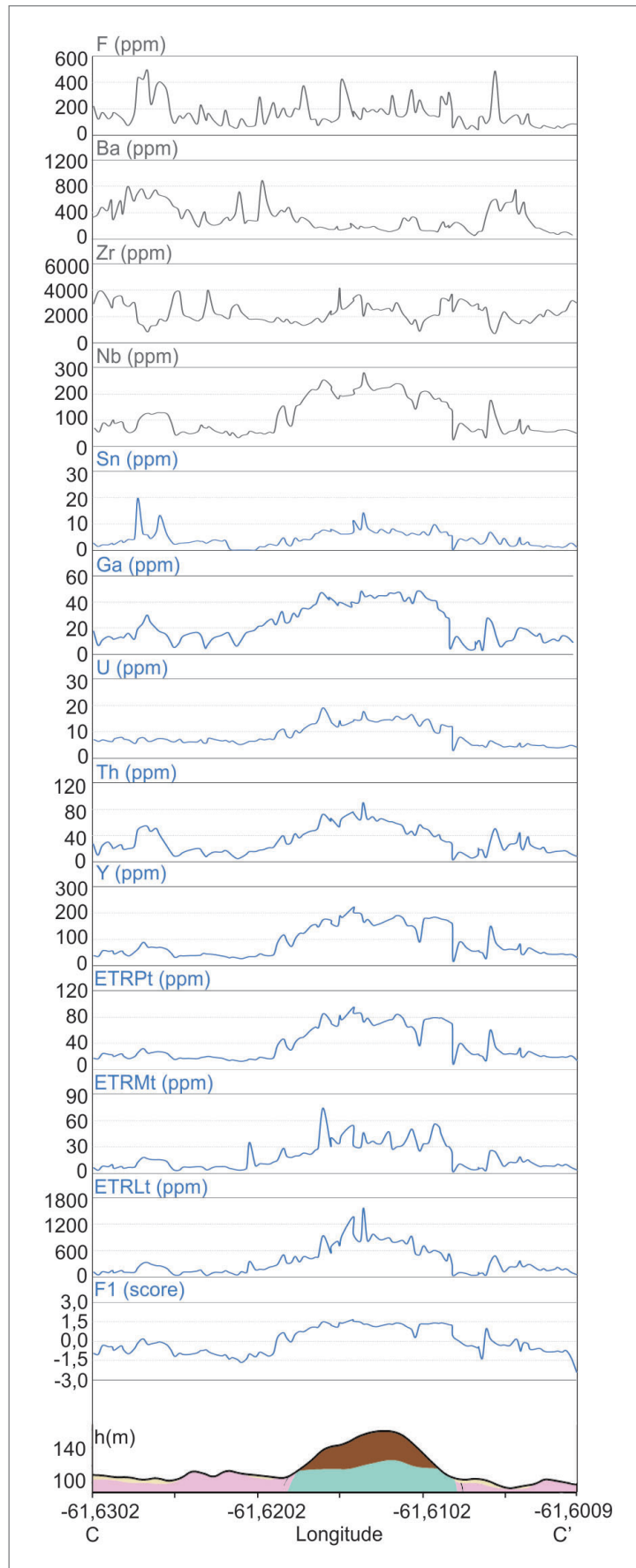
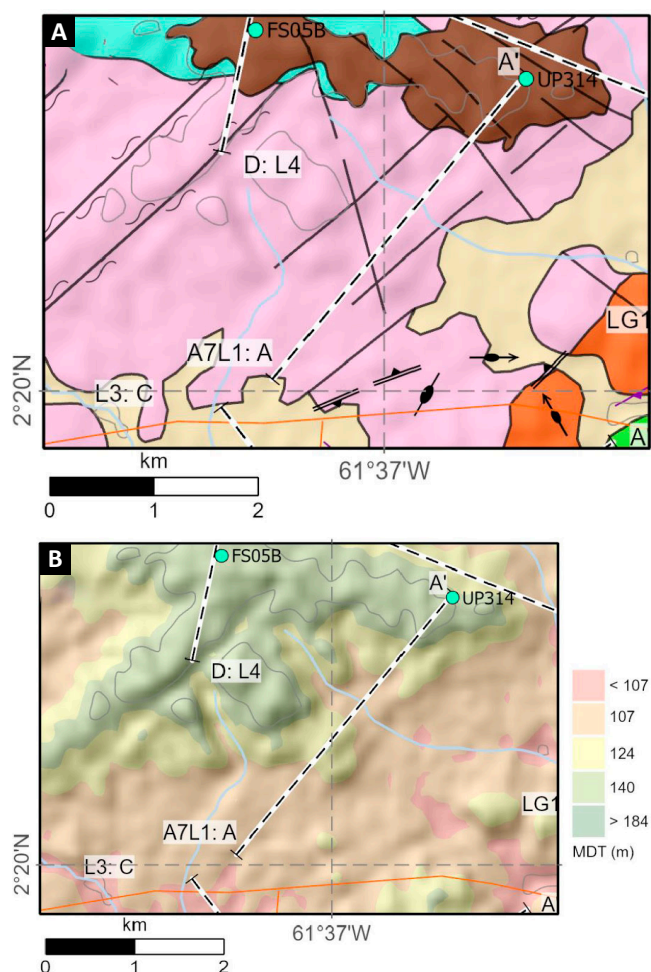


Figura 65 - Perfis geológico-geoquímicos, linha 3, alvo 6. Legenda do perfil geológico conforme Figura 3.



**Figura 66** - (a) Mapa geológico e (b) Mapa de relevo do alvo 7, ambos apresentando estações de amostragem para análise geoquímica de solo e de litogeoquímica. Para legenda, ver Figura 3.

### 5.7.2. Geofísica

No alvo 7, os dados aerogamaespectrométricos forneceram uma imagem de composição ternária RGB. KThU, com domínios caracterizados por concentrações muito altas nos três canais gamaespectrométricos (tons branco e ciano) e domínios de concentrações mais baixas (tons escuros) a levemente enriquecidos em K e eU (tons vermelho a magenta). Os domínios de cores claras têm relação direta com corpos alcalinos e zonas de alteração hidrotermal no embasamento e os domínios em tons mais escuros correspondem aos ortognaisses do embasamento, intemperizados e parcialmente recobertos por coberturas aluvionares e terraços recentes (Figura 67a). Os dados aeromagnetométricos forneceram uma imagem da componente residual do campo magnético anômalo, onde se observa uma anomalia de alto magnético positivo, aparentemente truncada por uma trama magnética NE-SW, que coincide com a estruturação Dn do

embasamento ortognáissico. Essa estruturação, por sua vez, é seccionada por um domínio de baixo magnético, que coincide espacialmente com os corpos alcalinos (Figura 67b).

### 5.7.3. Litoquímica

Apenas um exemplar de rocha do alvo 7 foi analisado, que correspondeu, quimicamente, a um sienito (UP-314) da Suíte Apiaú. Comparativamente às demais rochas alcalinas da suíte, esse sienito possui as concentrações mais elevadas em  $\text{SiO}_2$  (~59%), CaO (~2%) e MgO (~0,7%) e mais baixas em  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (~16%) e álcalis (~11,5%). O sienito pertence ao grupo de rochas alcalinas mais empobrecidas em Y e Zr-Hf (Figura 32a), possuindo concentrações mais baixas em ETR (~530 ppm) e anomalias negativas de Eu mais discretas ( $\text{Eu}_n/\text{Eu}^*$  0,6). Além do somatório baixo em ETR, é a rocha alcalina da região que registra os maiores teores de P (~700 ppm, Figura 32b).

### 5.7.4. Geoquímica de Solo

#### Prospecção de Fosfato

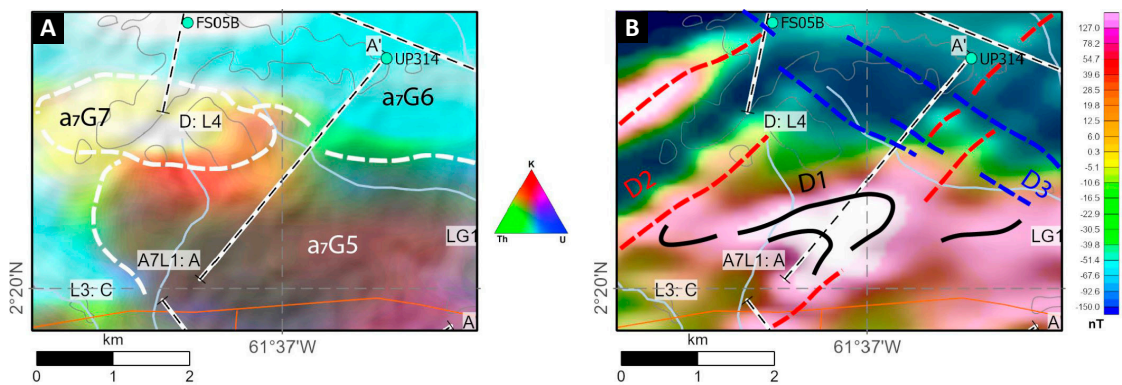
#### Linha 1

Os solos superficiais sobre o alvo 7 apresentaram concentrações de fósforo pouco expressivas ( $\text{P} < 302$  ppm; Tabela 35, Figura 68), comparáveis aos valores de *background* regional (ver Tabela 1). Os horizontes de solo residual nas proximidades de litotipos metassomatizados apresentaram concentrações de Ce (4,5-863 ppm) e Ba (10-858 ppm) mais significativas. Destaca-se um pequeno grupo de amostras que definiu uma faixa de valores mais relevantes, situados entre  $\approx 0,10$ – $0,76$  ppm, embora as análises tenham fornecido concentrações de Ag muito baixas.

Grande parte dos elementos analisados exibiram concentrações com valores nas proximidades ou abaixo dos limites inferiores de detecção das metodologias analíticas utilizadas (por exemplo, Ag, As, B, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Ge, Hf, Hg, In, K, Li, Lu, Mg, Na, Ni, P, Re, Se, Te, Ta, Tb, Ti, Tl, V, W, Yb, Zn). Como esperado, as variações litológicas do substrato ao longo das linhas de amostragem também refletiram em populações de solos residuais com assinaturas geoquímicas distintas e bem marcadas. A heterogeneidade de assinaturas geoquímicas, somada a concentrações muito baixas pode ter condicionado um conjunto amostral com distribuições não-paramétricas e, conseqüentemente, índices de correlação moderados a fracos entre fósforo e demais elementos. Entre os resultados mais significativos, apenas Al, Co, Fe, Ga, Hg, Mo, Ni, Tl, V e Zn apresentaram índices de correlação moderados com P (Tabela 36).

Nos perfis geoquímicos sobre o alvo 7 (Figura 69), a curva de fósforo revelou comportamento esdrúxulo, marcado por sucessivas depressões (valores mínimos) alternadas por valores máximos variando entre 150 e 300 ppm. Os maiores valores de fósforo foram obtidos no horizonte superficial do regolito de um corpo alcalino, representado por solos mais lixiviados, localizado na extremidade NE da linha de amostragem (Figura 69). O incremento de metais nesse corpo, correlacionado com a lixiviação do perfil de intemperismo, é bem marcada pelo enriquecimento

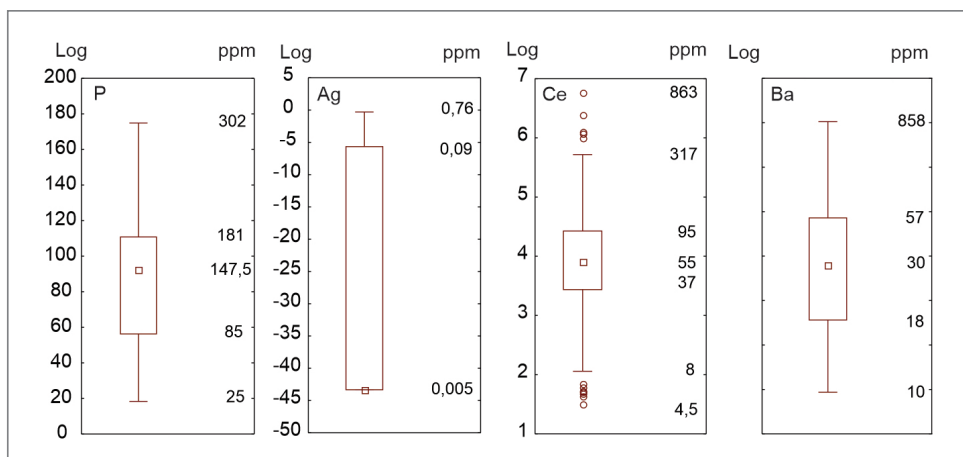
relativo de Al, Fe, Co, Zn, Ga, Ni e V. O enriquecimento de elementos mais suscetíveis à remobilização química, como Hg, Mo e Tl, remete a uma herança geoquímica dos sistemas magmáticos-hidrotermais alcalinos, precursores da Suíte Apiaú. Essa herança também é caracterizada pelo incremento nas concentrações de ETR, Y e Ba, localmente, com valores máximos de ETRLt >1.200 ppm e Ba ≈900 ppm. Esses valores reforçam a importância das rochas alcalinas da Suíte Apiaú como hospedeiras em potencial de mineralizações de ETR (+ Ba).



**Figura 67** - Mapas aerogeofísicos do alvo 7: (a) imagem de componente residual do campo magnético anômalo e (b) imagem de composição ternária RGB.KThU, com relevo sombreado do MDT.SRTM. Para legenda, ver Figura 3.

**Tabela 35.** Estatística descritiva para concentrações de fósforo no alvo 7.

VARIÁVEL	Nº DE OBSERVAÇÕES	MEDIANA (ppm)	MÍNIMO (ppm)	MÁXIMO (ppm)	MÍNIMO NÃO OUTLIER	LIMIAR INFERIOR (ppm)	MÁXIMO NÃO OUTLIER (ppm)	LIMIAR SUPERIOR (ppm)	BACKGROUND		ALTO BACKGROUND (ppm)
									1º QUANTIL (25%) (ppm)	3º QUANTIL (75%) (ppm)	
P	84	147,5	25	302	25	25	302	332,69	85	181	181-332,69
Ce	84	55	4,49	863,44	7,93	7,93	316,68	327,48	36,74	95,25	95,25-327,48
Ba	84	30	10	858	10	8,69	858	912,75	18	57	57-912,75
Ag	84	0,01	0,01	0,76	0,005	0,01	0,76	0,81	0,01	0,09	0,09-0,81

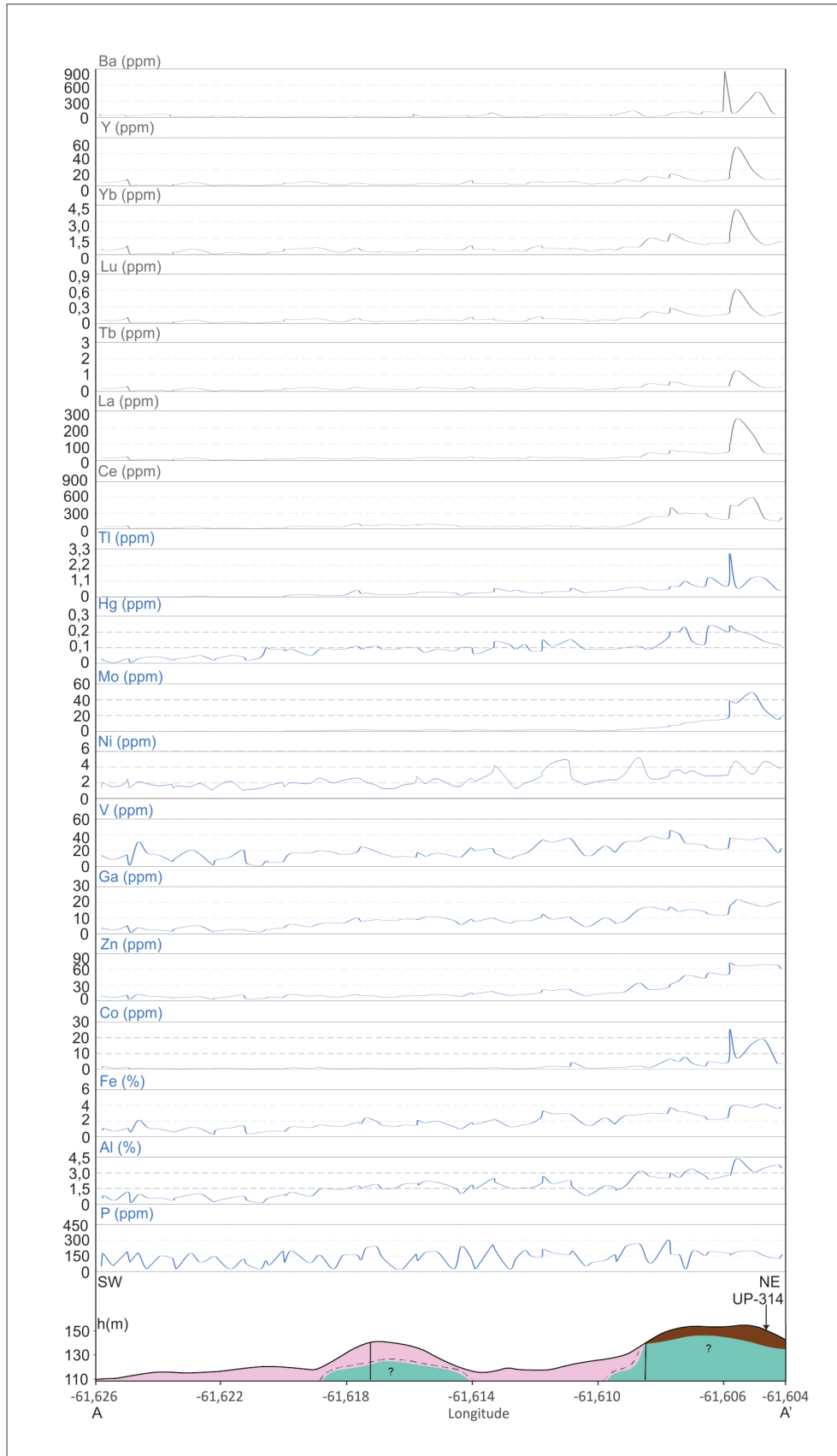


**Figura 68** - Diagrama de caixa para concentrações de P no alvo 7.

**Tabela 36.** Índices de correlação de postos de Spearman. Os dados na tabela foram obtidos após transformação logarítmica. Índices de correlação em vermelho indicam correlações > 0,4 entre fósforo e variáveis selecionadas.

Nº DE OBSERVAÇÕES	ÍNDICES DE CORRELAÇÃO	
		P
84	Al	0,46
84	Ag	-0,08
84	As	0,33
84	Ba	0,39
84	Be	0,29
84	Bi	0,37
84	Ce	0,33
84	Co	0,44
84	Cr	0,39
84	Cs	0,36
84	Cu	0,32
84	Fe	0,46
84	Ga	0,43
84	Hg	0,45
84	K	0,37
84	La	0,33
84	Li	0,36
84	Lu	0,36
84	Mn	0,31
84	Mo	0,40
84	Nb	0,35
84	Ni	0,47
84	P	1,00
84	Pb	0,38
84	Rb	0,36
84	Sb	0,36
84	Sc	0,38
84	Sn	0,21
84	Sr	0,26
84	Tb	0,35
84	Th	0,32
84	Ti	0,10
84	Tl	0,41
84	U	0,38
84	V	0,43
84	W	0,33
84	Y	0,32
84	Yb	0,35
84	Zn	0,44
84	Zr	0,31





**Figura 69** - Perfis geológico-geoquímicos da linha 1, alvo 7. Legenda do perfil geológico conforme mapa regional (Figura 3).

## 6. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Este trabalho investigou, na região de Campos Novos (RR), a ocorrência de mineralizações magmatogênicas de fosfato associadas às suítes AMCG (Charlier *et al.*, 2015), assim como depósitos magmático-hidrotermais de minerais portadores de elementos terras-raras (e, subordinadamente, fosfato), associados e à evolução dos complexos plutono-vulcânicos alcalinos (Simandl; Paradis, 2018). As unidades gabroanortosíticas da associação AMCG Mucajaí constituem o principal metalotecto para fosfato da região. Os resultados mais importantes para fosfato em solo foram obtidos nos alvos 3 e 4. As rochas alcalinas da Suíte Apiaú são as principais litologias guias e hospedeiras no metalotecto para ETR da área, que apresentam ainda potencial menor para fosfato. Os resultados obtidos em solo, neste trabalho, indicam os alvos 5 e 6 com maior potencial para ETR.

### 6.1. ALVOS DE FOSFATO CORRELACIONADOS A ASSOCIAÇÃO AMCG MUCAJAÍ

Com base no atual conhecimento sobre as mineralizações magmatogênicas de fosfato, a Suíte Repartimento (maciços gabroanortosíticos da associação AMCG Mucajaí) agrega diversas características que a tornam uma unidade com elevada favorabilidade para hospedar mineralizações de fosfato. Com idade calimiana bem definida (1526 Ma; Heinonen, 2012), a Suíte Repartimento pode ser comparada com unidades semelhantes dos escudos Fenoescandinavo e Canadense, que em termos de tectônica global representam massas continentais que estiveram aglutinadas ao Cráton Amazonas há 1,6 Ga, formando o supercontinente Columbia (Heinonen, 2012; Bispo-Santos *et al.*, 2020).

O alvo 3 apresentou o melhor potencial para fosfato entre os alvos investigados na associação AMCG Mucajaí, considerando unidades gabroanortosíticas, charnoenderbíticas e graníticas (associação AMCG Mucajaí). Uma amostra de mangerito básico, obtida no alvo 3, apresentou somatório de ETR baixo (600 ppm), anomalia negativa de Eu moderada ( $Eu_n/Eu^* 0,5$ ), valor baixo de  $SiO_2$  (48%) e altos de  $TiO_2$  (2,1%),  $Fe_2O_3$  (12,9%) e P (~13.000 ppm). Essa assinatura litoquímica aponta o potencial desse litotipo para hospedar mineralizações de fosfato ou atuar como camada-guia para prospecção de apatita. Esse mangerito corresponde a uma rocha cumulática ou produto de hibridização associada à unidade gabroanortosítica, caracterizada por enriquecimento relativo em apatita e

magnetita residual, com algum fracionamento de plagioclásio. Uma das explicações para essa ocorrência é que os níveis máficos mais basais das intrusões gabroanortosíticas, em geral, sofreram fracionamento expressivo de apatita e, a depender da disponibilidade de CaO e saturação de FeO total, podem apresentar precipitação/cristalização de titano-magnetita. A incompatibilidade de Fe e Ca faz com que, em ambiente físico-químico com muito Ca, o ferro atinja um limite de saturação. Em resposta, há precipitação de níveis, não raramente maciços, de óxidos de Fe-Ti, que podem ser de titano-magnetita ou ilmeneo-hematita, a depender das condições físico-químicas do magma primordial. Se existe disponibilidade de fósforo no sistema, esses níveis podem conter também apatita, daí o motivo de nem sempre as mineralizações associadas a unidades gabroanortosíticas formarem depósitos econômicos de fosfato/apatita. Outra rocha analisada com evidências de gênese atrelada a processos de segregação magmática foi um micronorito. A presença de rochas associadas a processos de cristalização fracionada alerta para a possibilidade de segregação de fase sulfetada e consequente mineralização de metais básicos, como Ni-Cu±Co, por vezes acompanhados de EGP (não dosados neste estudo), a exemplo do que ocorre no depósito de Sudbury no Canadá (e.g. Keays; Lightfoot, 2004).

O saprólito desenvolvido na associação AMCG Mucajaí nos alvos 3 e 4, particularmente sobre a Suíte Repartimento, é formado por cobertura de solo residual raso, com grau variado de lixiviação. Resguardando os efeitos seculares do intemperismo, essa camada de solo apresenta, sugestivamente, uma assinatura geoquímica com forte componente reliquiar do substrato litológico. Portanto, as concentrações de P, no intervalo entre ≈1.350 e 8.530 ppm ( $P_2O_5$  ≈0,31-1,91%), obtidas em solo superficial no regolito de rochas gabroanortosíticas, podem ser consideradas bons indicadores prospectivos nesse reconhecimento preliminar e reforçam, em particular, a importância da Suíte Repartimento como unidade hospedeira em potencial de mineralizações de apatita. O Sr apresentou boa afinidade geoquímica com P, ocorrendo nas associações geoquímicas P-Sr-Ca-Mg e P-Sr-Sc-Fe (respectivamente alvos 3 e 4). Nessas assinaturas, as componentes Sr e P marcam potencialmente a presença de apatita, enquanto o incremento de Fe, Co, V e Sc, nos domínios com maiores concentrações de P, suporta a presença de mineralizações de apatita, associadas a óxidos de Fe+(Ti-V), esperadas em unidades gabroanortosíticas.

Contudo, alguns elementos analisados em solo neste trabalho precisam ser reavaliados, camada por camada do regolito, tanto nos alvos 3 e 4 quanto nos demais alvos apresentados. Por exemplo, Mg, Sr e Ca apresentaram concentrações significativamente mais elevadas nos solos residuais sobre a Suíte Repartimento do que nas demais unidades, porém esses elementos são também notavelmente susceptíveis ao intemperismo e podem ter conteúdos remobilizados em solos mais lixiviados. Nas camadas de solo amostradas no alvo 3, Mg, Sr e Ca apresentaram índices de correlação fortes com P e estabeleceram o domínio dos regolitos das unidades gabroanortosíticas. Os elementos Fe e Co apresentaram afinidade geoquímica com P no alvo 4 e, também, caracterizaram o regolito de unidades gabroanortosíticas. Porém, esses elementos são menos susceptíveis à mobilidade química durante lixiviação intempérica e podem mascarar a correlação entre fósforo e outros elementos farejadores ao permanecerem nos solos residuais mais lixiviados. As amostras de rocha analisadas da associação AMCG, no alvo 4, apresentaram valores baixos de P (220-3.000 ppm) e extremamente baixos de ETR (100-150 ppm) (Figura 15), sendo desfavoráveis para hospedar mineralizações de fosfato. No alvo 1, um mangerito da associação AMCG Mucajá apresentou valores de P igualmente irrelevantes, da ordem de 1.800 ppm.

Estatisticamente, o Ti não apresentou correlação com P, mas mostrou ser útil para determinação de zonas potenciais para mineralizações de óxidos de Fe e Ti. Em geral, as concentrações de Ti apresentaram distribuição com características peculiares (valores pontuais de significado prospectivo, alternando com valores próximos aos limites inferiores de detecção) nos horizontes de solo amostrados, não permitindo que qualquer correlação com P fosse identificada. Paragêneses com apatita e óxidos de Ti, como magnetita e ilmenita, foram identificados apenas em análises petrográficas. Nos perfis geológico-geoquímicos, zonas enriquecidas em metais como Ti, Fe, Mn, Co, observadas sobre planícies aluviais, em geral, associadas a uma quebra de relevo, indicam depósitos sedimentares com potencial econômico para metais pesados, como ilmenita, titanomagnetita e, em alguns casos, zircão e ETR.

Considerando que as mineralizações de apatita e óxidos de ferro e titânio em unidades gabroanortosíticas são controladas, principalmente, por processos de cristalização fracionada, as concentrações de Fe, Ti, P e demais elementos, susceptíveis à concentração ou empobrecimento devidos à lixiviação e reprecipitação decorrentes da evolução do perfil de intemperismo (como, Mg, Ca, Na, Co, Cu, V, Sr, K, In, Ge, Cd, Mn, Fe) precisam ser avaliadas para profundidades maiores do regolito desenvolvido sobre a associação AMCG Mucajá.

## 6.2. ALVOS DE FOSFATO CORRELACIONADOS A SUÍTE APIAÚ (ROCHAS ALCALINAS)

As amostras de rocha da Suíte Apiaú apresentaram valores muito baixos de P ( $\approx 130-700$  ppm). A maior concentração de fósforo em rocha alcalina foi obtida em sienito aflorante no alvo 7 ( $P \approx 700$  ppm).

Os perfis de intemperismo desenvolvidos sobre a Suíte Apiaú, também, apresentaram concentrações de fósforo relativamente pouco expressivas nos horizontes de solo amostrados. Os maiores valores de P foram obtidos na linha 2 do alvo 2, definindo uma região anômala situada no intervalo de  $\approx 700-2160$  ppm ( $P_2O_5 \approx 0,16-0,49\%$ ).

Importante ressaltar que esses resultados, apesar dos variados graus de lixiviação dos solos dessa região, refletem a diversidade litológica observada na Suíte Apiaú, onde os litotipos variam de termos máficos (lamprófiros) a félsicos (fonolitos, traquitos e sienitos), controlando perfis de intemperismo com grande variedade de assinaturas.

Na linha 2 do alvo 2, uma gênese magmático-hidrotermal para fosfatos é sugerida pela associação geoquímica com Ba, que localmente alcança elevadas concentrações ( $\approx 5.200$  ppm). Na linha 4 do alvo 5, apesar das concentrações de fósforo obtidas serem irrelevantes ( $P < \approx 310$  ppm), os valores de La ( $\approx 1.780$  ppm) e Ce ( $> 2.000$  ppm) reforçam o potencial da Suíte Apiaú como hospedeira de mineralizações de ETR.

Apesar das concentrações pouco significativas de P obtidas nas linhas de amostragem dos alvos investigados, o efeito da lixiviação e da reprecipitação, durante evolução das extensas coberturas lateríticas observadas na região, não deve ser ignorado, pois esse mecanismo pode ser um controlador da formação de mineralizações supergênicas de fosfato. Na Amazônia, ocorrências de minerais supergênicos de fósforo são reconhecidas em regiões controladas por ambientes geomorfológicos formados sob condições climáticas bastante semelhantes (ver Lemos *et al.*, 2007; Costa *et al.*, 2005, 2018). Entretanto, os estudos empreendidos neste trabalho foram inconclusivos sobre essa questão e, por essa razão, os resultados obtidos nos solos sobre a Suíte Apiaú merecem maior atenção.

De forma geral, os dados aqui apresentados sugerem que a Suíte Apiaú possui potencial menor para hospedar mineralizações primárias de fósforo, quando comparadas às rochas gabroanortosíticas da Suíte Repartimento, componente da associação AMCG Mucajá.

## 6.3. ALVOS DE ETR CORRELACIONADOS À SUÍTE APIAÚ (ROCHAS ALCALINAS)

As concentrações de ETR totais, obtidas em rocha nos alvos avaliados, variam entre 100 e 1.800 ppm. Apesar das dimensões não mapeáveis, diques de alcalifeldspatos

traquitos correlacionáveis à Suíte Apiaú, porém intrusivos nas rochas da associação AMCG descrita no alvo 3, apresentaram alto somatório de ETR (1.300-1.800 ppm). Esse litotipo faz parte de um grupo de rochas da série alcalina mais evoluído, apresentando SiO<sub>2</sub> entre 58-59% e efeitos de hidrotermalismo mais evidente, além de queda de La-Ce e alta de Nd-Gd. Apesar de aspectos petrogenéticos que remetem ao litotipo mais evoluído dessa série alcalina, os alcalifeldspatos quartzo traquitos possuem as maiores concentrações de CaO (2,0-2,4%), levantando suspeitas sobre a cogeneticidade em relação aos demais membros alcalinos estudados. Por outro lado, as rochas alcalinas mais pobres em ETR são as mais enriquecidas em Nb-Ta. Essas rochas alcalinas podem ser produto de fontes dominantes de derivação mantélica (tipo OIB), apresentando graus variados de contaminação crustal e de fracionamento, resultando em litotipos com SiO<sub>2</sub> ≈57-58% mais ricos em ETR ou litotipos com SiO<sub>2</sub> ≈51-54% mais enriquecidos em Nb-Ta e U. Em comparação, as amostras da Suíte Apiaú, analisadas no alvo 5, apresentaram valores moderados de ETR <770 ppm, decrescendo ainda mais no alvo 7, onde o sienito apresentou somatório de ETR de ≈530 ppm.

Os resultados obtidos em solo sobre a Suíte Apiaú demonstram que as concentrações naturais de ETRL, ETRM, ETRP, Th, U e outros HFSE, se comparadas ao *background* regional, podem ser importantes guias prospectivos regionais. Uma característica geoquímica ubíqua dos perfis de intemperismo, desenvolvidos sobre a Suíte Apiaú, é o enriquecimento em ETRL, acompanhado de empobrecimento relativo em ETRM e ETRP, onde os valores máximos de ETRt nos solos superficiais estão situados no intervalo ≈1.700-20.200 ppm, encontrados nos alvos 5 e 6. Com frequência, essa assinatura está espacialmente associada com enriquecimento em Y, Th, U, Nb, Ba, F e Zr que, nos horizontes de solo mais lixiviados, remete a

presença de grãos resistatos de zircão, columbita e/ou pirocloro, além de minerais portadores de ETR, Y, Th e U, como monazita, xenotima e bastnaesita.

Os resultados apresentados demonstraram que, em geral, o Ba não está associado com F nos horizontes de solo analisados, embora os ETRL possam ocorrer associados com ambos. Essa relação sustenta a existência na região de fases magmático-hidrotermais distintas de mineralizações de ETR associadas, marcadas pela presença barita e/ou fluorita, cuja assinatura teria sido preservada no regolito. Metais, como W, Mo, Be e Sn, podem ocorrer eventualmente associados.

Alguns alvos posicionados nas suítes Repartimento e Mucajá (alvo 3), ou mesmo sobre a Suíte Apiaú (linha 2 do alvo 2), também revelaram elevadas concentrações de Mn em solo. Essa assinatura pode ser sugestiva de um regolito desenvolvido sobre as porções mais distais de um sistema magmático-hidrotermal mais amplo, que foi realçada posteriormente por enriquecimento supergênico.

Nos horizontes de solo laterítico, ocasionais mineralizações secundárias de ETR, controladas pelo intemperismo, podem ser prospectadas pelo enriquecimento relativo em Ga, ETR, Y e, ocasionalmente, P. Perfis de intemperismo desenvolvidos sobre rochas peralcalinas (e menos comumente em rochas alcalinas) vêm despontando, nas últimas décadas, como metalotectos importantes (ver Takehara *et al.*, 2015), pois hospedam atualmente os principais depósitos mundiais de elementos terras-raras pesados, com reservas igualmente grandes de elementos terras-raras leves (*e.g.* Borst *et al.*, 2020 e suas referências).

Nesse cenário, embora o presente trabalho não tenha pesquisado a composição geoquímica da fração argilosa, a hipótese de ETR contidos em argila de adsorção iônica (IAD), no manto de intemperismo sobre a Suíte Apiaú, não deve ser descartada.

## REFERÊNCIAS

- ABRAM, M. B.; BAHIANSE, I. C.; PORTO, C. G.; BRITO, R. S. **Projeto Fosfato Brasil**: parte I. Salvador: CPRM, 2011. (Informe de Recursos Minerais. Série Insumos Minerais para Agricultura, 13).
- ABRAM, M. B.; CUNHA, I. de A.; ALMEIDA, R. C. de. **Projeto Fosfato Brasil**: parte II. Salvador: CPRM, 2016. (Informe de Recursos Minerais. Série Insumos Minerais para Agricultura, 17).
- AGUIAR, L.; SILVA, S. R. A. da; LOPES, P. R. S.; OLIVEIRA, V. da S.; PITARELLO, M. Z.; RAMOS, M. N. Ocorrências de Th-ETR do tipo Thorium Veins associadas à Suíte Apiaú, centro de Roraima, Cráton Amazônico. **Informe Técnico**, Brasília, n. 17, 2019. DOI: <http://doi.org/10.29396/itcprm.2019.17>
- ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B. de; FUCK, R. A. Brazilian structural provinces: an introduction. **Earth Science Review**, Amsterdã, v. 17, n. 1-2, p. 1-29, 1981.
- ALMEIDA, M. E.; MACAMBIRA, M. J. B.; OLIVEIRA, E. C. Geochemistry and Zircon Geochronology of I-type High-K Calc-alkaline and S-type granitoid rocks from Southeastern Roraima, Brazil: Orosirian Collisional Magmatism (1.97-1.96 Ga) in central Guyana Shield. **Precambrian Research**, v. 155, n. 1-2, p. 69-97, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2007.01.004>
- ALMEIDA, M. E.; MACAMBIRA, M. J. B.; SANTOS, J. O. S.; NASCIMENTO, R. S. C. de; PAQUETTE, J.-L. Evolução Crustal do Noroeste do Cráton Amazônico (Amazonas, Brasil) baseadas em dados de campo, geoquímicos e geocronológicos. *In*: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 13., 2013, Belém. **Anais – Resumos expandidos**. Belém: SBG, 2013. p. 201-204.
- ALMEIDA, M. E.; NASCIMENTO, R. S. C.; MENDES, T. A.; SANTOS, J. O. S.; MACAMBIRA, M. J. B.; VASCONCELOS, P.; PINHEIRO, S. S. An outline of Paleoproterozoic-Mesoproterozoic crustal evolution of the NW Amazon Craton and implications for the Columbia Supercontinent. **International Geology Review**, v. 64, n. 22, p. 3195-3229, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/0206814.2021.2025158>
- ALMEIDA, M. E.; OLIVEIRA, A. C. S. Geologia e geocronologia U-Pb em zircão da Suíte Alcalina Apiaú, Campos Novos, Roraima. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 49., 2018, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: SBG, 2018. p. 1861.
- AMARAL, G. **Geologia pré-cambriana da região amazônica**. 1974. Tese (Livro de graduação) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1974. DOI: <https://doi.org/10.11606/T.44.2016.tde-24062016-160651>
- ANDERBERG, M. R. Hierarchical clustering methods. *In*: ANDERBERG, M. R. (ed.) **Cluster analysis for applications**. London: Academic Press, 1973. p. 132-156.
- BARRON, C. N. Notes on the stratigraphy of Guyana. **Geol. Surv. Guyana**, v. 6, n. 2, p. 1-28, 1969.
- BISPO-SANTOS, F.; D'AGRELLA-FILHO, M. S.; PESONEN, L. J.; SALMINEN, J. M.; REIS, N. J.; SILVA, J. M. The long life of SAMBA connection in Columbia: A paleomagnetic study of the 1535 Ma Mucajaí Complex, northern Amazonian Craton, Brazil. **Gondwana Research**, v. 80, p. 285-302, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gr.2019.09.016>
- BISPO-SANTOS, F.; D'AGRELLA-FILHO, M. S.; TRINDADE, R. I. F.; JANIKIAN, L.; REIS, N. Was the SAMBA in Columbia? Paleomagnetic evidence from 1790 Ma Avanaveiro mafic sills (Northern Amazonian craton). **Precambrian Research**, v. 244, p. 139-155, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2013.11.002>
- BONFIM, L. F. C.; RAMGRAB, G. E.; UCHOA, I. B.; MEDEIROS, J. B. de; RIBAMAR FILHO, J. de; MANDETTA, P. V.; KUYUMJIAN, R. M.; PINHEIRO, S. da S. **Projeto Roraima**: relatório final. Manaus: DNPM: CPRM, 1974.
- BORGES, F. R.; SOUZA, M. M. **Projeto Serra do Repartimento**: relatório de progresso. Manaus: CPRM, 1990.
- BORST, A. M.; SMITH, M. P.; FINCH, A. A.; ESTRADE, G.; VILLANOVA-DE-BENAVENT, C.; NASON, P.; MARQUIS, E.; HORSBURGH, N. J.; GOODENOUGH, K. M.; XU, C.; KYNICKÝ, J.; GERAKI, K. Adsorption of rare earth elements in regolith-hosted clay deposits. **Nature Communications**, v. 11, n. 4386, p. 1-15, 2020.
- BOYNTON, W. V. Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. *In*: HENDERSON, P. (ed.) **Rare earth element geochemistry**. Amsteden: Elsevier Publ., 1984. p. 63-114.
- BRANDÃO, R. L.; FREITAS, A. F. **Serra do Ajarani, Folha NA.20.X-C-VI**: relatório final. Manaus: CPRM, 1994.
- CAMARO, C. A. B. **Geologia e gênese das ocorrências de Ti, Nb e ETR's na Serra do Repartimento, Roraima**. 2017. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2017.
- CARRANZA, E. J. M. **Geochemical anomaly and mineral prospectivity mapping in GIS**. Amsterdam: Elsevier, 2009. (Handbook of Exploration and Environmental Geochemistry, v. 11). cap. 3, p. 51-84.
- CATTELL, R. B. The scree test for the number of factors. **Multivariate Behavior Research**, v. 1, n. 2, p. 245-276, 1966.
- CHARLIER, B.; NAMUR, O.; BOLLE, O.; LATYPOV, R.; DUCHESNE, J.-C. Fe-Ti-V-P ore deposits associated with Proterozoic massif-type anorthosites and related rocks. **Earth-Science Reviews**, v. 141, p. 56-81, 2015.

- CORDANI, U. G.; RAMOS, V. A.; FRAGA, L. M.; CEGARRA, M.; DELGADO, I.; SOUZA, K. G. de; GOMES, F. E. M.; SCHOBENHAUS, C. **Tectonic Map of South America**. 2nd ed. Paris: Commission for the Geological Map of the World, 2016.
- CORDANI, U. G.; TEIXEIRA, W. Proterozoic accretionary belts in the Amazonian Craton. *In*: HATCHER, R. D.; CARLSON, M. P.; MCBRIDE, J. H.; MARTINEZ-CATALAN, J. R. **4-D Framework of Continental Crust**. Colorado: Geological Society of America, 2007. p. 297-320.
- CORDANI, U. G.; SATO, K.; TEIXEIRA, W.; TASSINARI, C. C. G.; BASEI, A. S. Crustal evolution of the South American Platform. *In*: CORDANI, U. G.; MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D. A. (ed.). **Tectonic evolution of South America**. Rio de Janeiro: 31st International Geological Congress, 2000. p. 19-40.
- COSTA, M. L.; CARMO, M. S.; BEHLING, H. Mineralogia e Geoquímica de Sedimentos Lacustres com Substrato Laterítico na Amazônia Brasileira. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 35, n. 2, p. 165-176, 2005.
- COSTA, M. L.; VALENTE, G. J. S. da S.; QUEIROZ, A. F. dos S.; SANTOS, P. H. C. dos. Fosfatos verdes da crosta ferro-alumino-fosfática da mina de fosfatos de alumínio de Bonito (Pará). **Boletim do Museu de Geociências da Amazônia**, Ano 5, n. 3, 2018. Disponível em: 10.31419/ISSN.2594-942X.v52018i3a13MLC.
- COSTELLO, A. B.; OSBORNE, J. W. Best practices in exploratory factor analysis: four recommendations for getting the most from your analysis. **Practical Assessment, Research & Evaluation**, v. 10, n. 7, p. 1-9, 2005.
- CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Caracaráí**: folhas NA.20-Z-B e NA.20-Z-D inteiras e parte das folhas NA.20-Z-A, NA.20-Z-C, NA.21-Y-C e NA.21-Y-A, estado de Roraima. Brasília: CPRM, 2000. (Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB).
- CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Roraima Central**: Folhas NA.20-X-B e NA.20-X-C, NA.21-V-A e NA.21-V-C (parciais), estado de Roraima. Escala 1:500.000. Brasília: CPRM, 1999. (Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB).
- DELOR, C.; LAHONDERE, D.; EGAL, E.; LAFON, J. M.; COCHERIE, A.; GUERROT, C.; AVELAR, V. de. Transamazonian crustal growth and reworking as revealed by the 1:500,000-scale geological map of French Guiana. **Géologie de France**, v. 2, n. 3-4, p. 5-57, 2003a.
- DELOR, C.; ROEVER, E.; LAFON, J.-M.; LAHONDÈRE, D.; ROSSI, P.; COCHERIE, A.; GUERROT, C.; POTREL, A. The Bakhuiss ultra-high-temperature granulite belt (Suriname): II. Implications for the late Transamazonian crustal stretching in a revised Guiana Shield framework. **Géologie de la France**, v. 2, n. 3-4, p. 207-230, 2003b.
- FIGUEIREDO, R. F. de; SANTOS, T. J. S. dos; TONETTO, E. M. Petrology, geochemistry and U-Pb zircon and baddeleyite ages of the alkaline rocks from the central-southern Guyana Shield, Northern Amazonian Craton. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 86, p. 461-474, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2018.08.001>
- FRAGA, L. M. B. **A Associação Anortosito–Mangerito–Granito Rapakivi (AMG) e suas encaixantes paleoproterozóicas: evolução estrutural, geocronologia e petrologia**. 2002. Tese (Doutorado) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2002.
- FRAGA, L. M. B.; CORDANI, U. G.; KROONENBERG, S. B.; ROEVER, E. de; NADEAU, S.; MAURER, V.; LÊDA, M. U-Pb SHRIMP new data on the high-grade supracrustal rocks of the Cauarane-Coeroeni Belt - insights on the tectonic Eo-Orosirian evolution of the Guiana Shield. *In*: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 15., 2017, Belém. **Anais [...]**. Belém: SBG, 2017. p. 486-490.
- FRAGA, L. M. B.; DREHER, A. M.; GRAZZIOTIN, H.; REIS, N. J.; FARIAS, M. S. G. de; RAGATKY, D. **Geologia e Recursos Minerais da Folha Vila de Tepequém**, NA.20-X-A-III. Escala 1:100.000. Manaus: CPRM, 2010. (Programa de Geologia do Brasil. Projeto Cartografia da Amazônia).
- FRAGA, L. M. B.; LAFON, J. -M.; TASSINARI, C. C. G. Geologia e evolução tectônica das porções central e nordeste do Escudo das Guianas e sua estruturação em cinturões eo-orosirianos. *In*: BARTORELLI, A.; TEIXEIRA, W.; BRITO-NEVES, B. B. **Geocronologia e Evolução Tectônica do Continente Sul-Americano**: a Contribuição de Umberto Giuseppe Cordani. São Paulo: Ed. Solaris, 2020. cap. 4.
- FRAGA, L. M. B.; MACAMBIRA, M. J. B.; DALL'AGNOL, R.; COSTA, J. B. S. 1.94-1.93 Ga charnockitic magmatism from the central part of the Guiana Shield, Roraima, Brazil: single zircon evaporation data and tectonic implications. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 27, p. 247-257, 2009.
- GAUDETTE, H. E.; OLSZEWSKI JR., W. J.; SANTOS, J. O. S. dos. Geochronology of Precambrian rocks from the northern part of Guiana Shield, State of Roraima, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 9, n. 3-4, p. 183-195, 1996.
- GIBBS, A. K.; BARRON, C. N. **The Geology of the Guiana Shield**. New York: Oxford University Press, 1993.
- HAIR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Multivariate Data Analysis**. 7th ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2010.
- HARTIGAN, J. A. **Clustering Algorithms**. [New Jersey]: John Wiley & Sons, 1975.
- HEINONEN, A. **Isotopic evidence for the origin of Proterozoic massif-type anorthosites and their relation to rapakivi granites in southern Finland and northern Brazil**. 2012. Tese (Doutorado) – Department of Geosciences and Geography, Faculty of Science of the University of Helsinki, Helsinki, 2012.
- KAISER, H.F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, v. 23, p. 187-200, 1958.
- KEYS, R. R.; LIGHTFOOT, P. C. Formation of Ni-Cu-PGE sulphide mineralization in the Sudbury Impact Melt Sheet. **Mineralogy and Petrology**, v. 82, n. 3, p. 217-258, 2004.
- KLEIN, E. L.; ALMEIDA, M. E.; ROSA-COSTA, L. T. The 1.89-1.87 Ga Uatumã Silicic Large Igneous Province, Northern

- South America. **Large Igneous Provinces** Commission, 2012. Disponível em: <http://www.largeigneousprovinces.org/12nov>. Acesso em: 28 ago. 2020.
- KOLKER, A. Mineralogy and geochemistry of Fe-Ti oxide and apatite (nelsonite) deposits and evaluation of the liquid immiscibility hypothesis. **Economic Geology**, v. 77, p. 1146–1158, 1982.
- KROONENBERG, S. B. **Amphibolite-facies and granulite-facies metamorphism in the Coeroeni Lucie area, southwestern Surinam**. Amsterdam: Geologic en Mijnbouwkundige Dienst Surinam, 1976.
- KROONENBERG, S. B. Geological evolution of the Amazonian Craton: Forget about geochronological provinces. **Memorias Geological Map of South America Workshop**, Villa de Leyva, Colombia, v. 22, p. 109–131, 2014.
- KROONENBERG, S. B.; DE ROEVER, E. W. F. Geological evolution of the Amazonian Craton. In: HOORN C.; WESSELINGH F. P. (ed.). **Amazonia, Landscape and Species Evolution**. Chichester: Blackwell Publishing, 2009. p. 7–28.
- KROONENBERG, S. B.; REEVES, C. V. Geology and petroleum potential, Vaupés-Amazonas Basin, Colombia. In: CEDIEL, F. (ed.). **Petroleum Geology of Colombia**. Medellín: Universidad EAFIT, 2012. v. 15.
- LEMOS, V. P.; COSTA, M. L. da; LEMOS, R. L.; FARIA, M. S. G. de. Vivianite and siderite in lateritic iron crust: an example of bioreduction. **Química Nova**, v. 30, n. 1, p. 36–40, 2007.
- LOPES, P. R. S.; OLIVEIRA, A. C. S.; GOULART, L. E. A.; SILVA, S. R. A.; AGUIAR, L.; LIRA, R. R. C.; GARCINDO, L. B.; QUEIROZ, L. C.; SOUZA, A. G. H. **Mapa Geológico do Centro-Sudeste de Roraima**. Manaus: CPRM, 2021. 1 mapa. Escala 1:500.000. (Projeto Centro-Sudeste de Roraima. Programa Geologia, Mineração e Transformação Mineral).
- MONTALVÃO, R. M. G. de; MUNIZ, M. de B.; ISSLER, R. S.; DALL'AGNOL, R.; LIMA, M. I. C. de; FERNANDES, P. E. C. A.; SILVA, G. G. da. Geologia da Folha NA.20-Boa Vista e parte das folhas NA.21-Tumucumaque, NB.20-Roraima e NB.21. In: BRASIL. Departamento Nacional Da Produção Mineral. **Projeto Radambrasil: Folha NA.20-Boa Vista e parte das folhas NA.21-Tumucumaque, NB.20-Roraima e NB.21**. Rio de Janeiro: DNPM, 1975. (Levantamento de Recursos Minerais, 8).
- NOMADE, S.; CHEN, Y.; POUCKET, A.; FÉRAUD, G.; THÉVENIAUT, H.; DAOUDA, B.; VIDAL, M.; RIGOLLET, C. The Guiana and West-African Shield Paleoproterozoic grouping: new paleomagnetic data for French Guiana and Ivory Coast. **Geophysical Journal International**, v. 154, p. 677–694, 2003.
- NOTHOLT, A. J. G.; SHELDON, R. P.; DAVIDSON, D. E. Africa - introduction. In: NOTHOLT, A. J. G.; SHELDON, R. P.; DAVIDSON, D. E. (ed.). **Phosphate Deposits of the World - Phosphate Rock Resources**. Cambridge: Cambridge University Press, 1989. v. 2, p. 164–170.
- OLIVEIRA, A. C. da S.; GOULART, L.; LOPES, P. R.; ALMEIDA, M. E.; COSTA, I.; RODRIGUES, J. B. Orogenia Intracontinental K'mudku: estudo estrutural, geofísico e geocronológico da faixa granulítica barauana, Escudo das Guianas, região central de Roraima. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 16., 2019, Manaus. **Anais** [...]. Manaus: SBG, 2019. p. 201–204.
- OLIVEIRA, A. C. S.; ALMEIDA, M. E.; COSTA, U. A. P.; SILVA, M. B. Análises Em Múltiplas Escalas de Zonas De Cisalhamento, Na Região de Mucajá: Um Estudo Estrutural e Geofísico Integrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 47., 2014, Salvador, BA. **Anais** [...]. Salvador: SBG, 2014.
- PEARCE, J. A. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: HAWKESWORTH, C. J.; NORRY, M. J. (ed). **Continental basalts and mantle xenoliths**. Nantwich: Shiva, 1983. p. 230–249.
- PRIEM, H. N. A.; BOELRIJK, N. A. I. M.; HEBEDA, E. H.; KUYPER, R. P.; DE ROEVER, E. W. F.; VERDURMEN, E. A. TH.; VERSCHURE, R. H.; WIELENS, J. B. How old are the supposedly Archean charnockitic granulites in the Guyana Shield basement of western Suriname (South America)? **USGS Open File report**, 78–701, p. 341–343, 1978.
- REIS, N. J.; FRAGA, L. M.; FARIA, M. S. G. de; ALMEIDA, M. E. Geologia do Estado de Roraima, Brasil. **Geologie de la France**, n. 2-3-4, p. 121–134, 2003.
- REIS, N. J.; SZATMARI, P.; WANDERLEY FILHO, J. R.; YORK, D.; EVENSEN, N. M.; SMITH, P. E. Dois Eventos de Magmatismo Máfico Mesozóico na Fronteira Brasil – Guiana, Escudo das Guianas: Enfoque à Região do Rifte Tacutu – North Savannas. In: SILVA, M. G.; FRANCA-ROCHA, W. J. S. (org.). **Coletânea de Trabalhos Completos**. Aracaju: SBG, 2006. E-book.
- REIS, N. J.; TEIXEIRA, W.; D'AGRELLA-FILHO, M. S.; BETTENCOURT, J. S.; ERNST, R. E.; GOULART, L. E. A. **Large igneous provinces of the Amazonian Craton and their metallogenic potential in Proterozoic times**. London: Geological Society, 2021. (Special Publications, SP518-2021–2027). DOI: <https://doi.org/10.1144/sp518-2021-7>
- REIS, N. J.; TEIXEIRA, W.; HAMILTON, M. A.; BISPO-SANTOS, F.; ALMEIDA, M. E.; D'AGRELLA-FILHO, M. S. Avanço mafico magmatism, a late Paleoproterozoic LIP in the Guiana Shield, Amazonian Craton: U–Pb ID-TIMS baddeleyite, geochemical and paleomagnetic evidence. **Lithos**, Amsterdam, v. 174, p. 175–195, 2013.
- RUDNICK, R. L.; GAO, S. The Composition of the Continental Crust. In: Holland, H. D. and Turekian, K. K. (Ed), **Treatise on Geochemistry**, Vol. 3, The Crust, Elsevier-Pergamon, Oxford, 1–64, 2003.
- SANTOS, J. O. S. Geotectônica dos escudos das Guianas e Brasil-Central. In: BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. (ed.). **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: texto, mapas & SIG**. Rio de Janeiro: CPRM, 2003. p. 169–226.
- SANTOS, J. O. S.; FARIA, M. S. G.; RIKER, S. R.; SOUZA, M. M.; HARTMANN, L. A.; ALMEIDA, M. E.; MCNAUGHTON, N. J.; FLETCHER, I. R. A faixa colisional K'Mudku (idade Grenvilliana) no norte do Cráton Amazonas: reflexo intracontinental do Orógeno Sunsás na margem ocidental do cráton. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 9., 2006, Belém. **Proceedings**. Belém: SBG-Norte, 2006b. CD-ROM.

- SANTOS, J. O. S.; HARTMANN, L. A.; FARIA, M. S.; RIKER, S. R.; SOUZA, M. M.; ALMEIDA, M. E.; MCNAUGHTON, N. J. A Compartimentação do Cráton Amazonas em Províncias: Avanços ocorridos no período 2000-2006. *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA*, 9., 2006, Belém. **Proceedings**. Belém: SBG-Norte, 2006a. CD-ROM.
- SANTOS, J. O. S.; HARTMANN, L.; GAUDETTE, H. E.; GROVES, D. I.; MCNAUGHTON, N. J.; FLETCHER, I. R. A new understanding of the provinces of the Amazon Craton based on integration of field mapping and U-Pb and Sm-Nd geochronology. **Gondwana Research**, v. 3, n. 4, p. 453-488, 2000.
- SANTOS, J. O. S.; REIS, N. J.; HARTMAN, L. A.; MCNAUGHTON, N. J.; FLETCHER, I. R. Associação Anortosito-Charnockito-Granito Rapakivi no Calimiano do Norte do Cráton Amazônico, Estado de Roraima: Evidências Obtidas por Geocronologia U-Pb (SHRIMP) em zircão e baddeleyita. *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA*, 6., 1999, Manaus. **Anais** [...]. Manaus: SBG-Norte, 1999. p. 503-506.
- SANTOS, J. O. S.; RIZZOTTO, G. J.; POTTER, P. E.; MCNAUGHTON, N. J.; MATOS, R.; HARTMANN, L.; CHEMALE JUNIOR, F.; QUADROS, M. L. do E. S. Age and autochthonous evolution of the Sunsás Orogen in West Amazon Craton based on mapping and U-Pb geochronology. **Precambrian Research**, Amsterdam, v. 165, n. 3, p. 120-152, 2008.
- SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B.; CHEN, H. J. A comparative study of various tests of normality. **Journal of the American Statistical Association**, v. 63, p. 1343-1372, 1968.
- SIMANDL, G. J.; PARADIS, S. Carbonatites: related ore deposits, resources, footprint, and exploration methods. **Applied Earth Science**, v. 127, n. 4, p. 123-152, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/25726838.2018.1516935>
- TAKEHARA, L. (org.). **Projeto avaliação do potencial de terras raras no Brasil: área Morro dos Seis Lagos, noroeste do Amazonas**. Brasília: CPRM, 2019. (Informe de Recursos Minerais. Série Minerais Estratégicos, 4).
- TAKEHARA, L.; SHINTAKU, I.; RABELO, D. M.; SILVEIRA, F. V. **Avaliação do Potencial de Terras Raras no Brasil**. Brasília: CPRM, 2015. (Informe de Recursos Minerais. Série Minerais Estratégicos, 2).
- TASSINARI, C. C. G.; CORDANI, U. G.; NUTMAN, A. P.; BETTENCOURT, J. S.; TAYLOR, P. N. Geochronological Systematics on Basement Rocks from the Rio Negro-Juruena Province (Amazonian Craton) and Tectonic Implications. **International Geology Review**, v. 38, n. 2, p. 161-175, 1996.
- TASSINARI, C. C. G.; MACAMBIRA, M. J. B. A evolução tectônica do Cráton Amazônico. *In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO-NEVES, B. B. de. Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo: Beca, 2004. p. 471-486.
- TASSINARI, C. C. G.; MACAMBIRA, M. J. B. Geochronological Provinces of the Amazonian Craton. **Episodes**, Seul, v. 22, n. 3, p. 174-182, 1999.
- THOMPSON, R. N. Magmatism of the British Tertiary Province. **Scottish J. Geol.**, v. 18, p. 49-107, 1982.
- VANDERHAEGHE, O.; LEDRU, P.; THIEBLEMONT, D.; EGAL, E.; COCHERIE, A.; TEGYEY, M.; MILESI, J. P. Contrasting mechanism of crustal growth Geodynamic evolution of the Paleoproterozoic granite-greenstone belts of French Guiana. **Precambrian Research**, v. 92, p. 165-193, 1998.
- VELASQUEZ, C. A. T. Análise das petrotramas das rochas Charnockíticas da Serra da Prata, Mucajaí/RR. 2015. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2015
- VOICU, G.; BARDOUX, M.; STEVENSON, R. Lithostratigraphy, geochronology and gold metallogeny in the northern Guiana Shield, South America: a review. **Ore Geology Reviews**, v. 18, p. 211-236, 2001.
- WINCHESTER, J.A; FLOYD, P.A. Geochemical Discrimination of Different Magma Series and Their Differentiation Product Using Immobile Elements. *Chemical Geology*, 20, 325-343, 1977.



## LISTAGEM DE INFORMES

---

## LISTAGEM DOS INFORMES DE RECURSOS MINERAIS

### SÉRIE METAIS DO GRUPO DA PLATINA E ASSOCIADOS

- Nº 01 - Mapa de Caracterização das Áreas de Trabalho (Escala 1:7.000.000), 1996.  
Nº 02 - Mapa Geológico Preliminar da Serra do Colorado - Rondônia e Síntese Geológico-Metalogenética, 1997.  
Nº 03 - Mapa Geológico Preliminar da Serra Céu Azul - Rondônia, Prospecção Geoquímica e Síntese Geológico- Metalogenética, 1997.  
Nº 04 - Síntese Geológica e Prospecção por Concentrados de Bateia nos Complexos Canabrava e Barro Alto - Goiás, 1997.  
Nº 05 - Síntese Geológica e Prospecção Geoquímica/Aluvionar da Área Migrantinópolis - Rondônia, 2000.  
Nº 06 - Geologia e Prospecção Geoquímica/Aluvionar da Área Corumbiara/Chupinguaia - Rondônia, 2000.  
Nº 07 - Síntese Geológica e Prospecção Geoquímica/Aluvionar da Área Serra Azul - Rondônia, 2000.  
Nº 08 - Geologia e Resultados Prospectivos da Área Rio Branco/Alta Floresta - Rondônia, 2000.  
Nº 09 - Geologia e Resultados Prospectivos da Área Santa Luzia - Rondônia, 2000.  
Nº 10 - Geologia e Resultados Prospectivos da Área Nova Brasilândia - Rondônia, 2000.  
Nº 11 - Síntese Geológica e Prospecção Geoquímica da Área Rio Madeirinha - Mato Grosso, 2000.  
Nº 12 - Síntese Geológica e Prospectiva das Áreas Pedra Preta e Cotingo - Roraima, 2000.  
Nº 13 - Geologia e Resultados Prospectivos da Área Santa Bárbara - Goiás, 2000.  
Nº 14 - Geologia e Resultados Prospectivos da Área Barra da Gameleira - Tocantins, 2000.  
Nº 15 - Geologia e Resultados Prospectivos da Área Córrego Seco - Goiás, 2000.  
Nº 16 - Síntese Geológica e Resultados Prospectivos da Área São Miguel do Guaporé - Rondônia, 2000.  
Nº 17 - Geologia e Resultados Prospectivos da Área Cana Brava - Goiás, 2000.  
Nº 18 - Geologia e Resultados Prospectivos da Área Cacoal - Rondônia, 2000.  
Nº 19 - Geologia e Resultados Prospectivos das Áreas Morro do Leme e Morro Sem Boné - Mato Grosso, 2000.  
Nº 20 - Geologia e Resultados Prospectivos das Áreas Serra dos Pacaás Novos e Rio Cautário - Rondônia, 2000.  
Nº 21 - Aspectos Geológicos, Geoquímicos e Potencialidade em Depósitos de Ni-Cu-EGP do Magmatismo da Bacia do Paraná - 2000.  
Nº 22 - Geologia e Resultados Prospectivos da Área Tabuleta - Mato Grosso, 2000.  
Nº 23 - Geologia e Resultados Prospectivos da Área Rio Alegre - Mato Grosso, 2000.  
Nº 24 - Geologia e Resultados Prospectivos da Área Figueira Branca/Indiavaí - Mato Grosso, 2000.  
Nº 25 - Síntese Geológica e Prospecção Geoquímica/Aluvionar das Áreas Jaburu, Caracará, Alto Tacutu e Amajari - Roraima, 2000.  
Nº 26 - Prospecção Geológica e Geoquímica no Corpo Máfico-Ultramáfico da Serra da Onça - Pará, 2001.  
Nº 27 - Prospecção Geológica e Geoquímica nos Corpos Máfico-Ultramáficos da Suíte Intrusiva Cateté - Pará, 2001.  
Nº 28 - Aspectos geológicos, Geoquímicos e Metalogenéticos do Magmatismo Básico/Ultrabásico do Estado de Rondônia e Área Adjacente, 2001.  
Nº 29 - Geological, Geochemical and Potentiality Aspects of Ni-Cu-PGE Deposits of the Paraná Basin Magmatism, 2001.  
Nº 30 - Síntese Geológica e Prospecção Geoquímica da Área Barro Alto – Goiás, 2010.

### SÉRIE MAPAS TEMÁTICOS DE OURO - ESCALA 1:250.000

- Nº 01 - Área GO-09 Aurilândia/Anicuns - Goiás, 1995.  
Nº 02 - Área RS-01 Lavras do Sul/Çaçapava do Sul - Rio Grande do Sul, 1995.  
Nº 03 - Área RO-01 Presidente Médici - Rondônia, 1996.  
Nº 04 - Área SP-01 Vale do Ribeira - São Paulo, 1996.  
Nº 05 - Área PA-15 Inajá - Pará, 1996.  
Nº 06 - Área GO-05 Luziânia - Goiás, 1997.  
Nº 07 - Área PA-01 Paru - Pará, 1997.  
Nº 08 - Área AP-05 Serra do Navio/Cupixi - Amapá, 1997.  
Nº 09 - Área BA-15 Cariparé - Bahia, 1997.  
Nº 10 - Área GO-01 Crixás/Pilar - Goiás, 1997.  
Nº 11 - Área GO-02 Porangatu/Mara Rosa - Goiás, 1997.  
Nº 12 - Área GO-03 Niquelândia - Goiás, 1997.  
Nº 13 - Área MT-01 Peixoto de Azevedo/Vila Guarita - Mato Grosso, 1997.  
Nº 14 - Área MT-06 Ilha 24 de Maio - Mato Grosso, 1997.  
Nº 15 - Área MT-08 São João da Barra - Mato Grosso/Pará, 1997.  
Nº 16 - Área RO-02 Jenipapo/Serra Sem Calça - Rondônia, 1997.  
Nº 17 - Área RO-06 Guaporé/Madeira - Rondônia, 1997.  
Nº 18 - Área RO-07 Rio Madeira - Rondônia, 1997.  
Nº 19 - Área RR-01 Uraricá - Roraima, 1997.  
Nº 20 - Área AP-03 Alto Jari - Amapá/Pará, 1997.  
Nº 21 - Área CE-02 Várzea Alegre/Lavras da Mangabeira/Encanto - Ceará, 1997.

Nº 22 - Área GO-08 Arenópolis/Amorinópolis - Goiás, 1997.  
Nº 23 - Área PA-07 Serra Pelada - Pará, 1997.  
Nº 24 - Área SC-01 Botuverá/Brusque/Gaspar - Santa Catarina, 1997.  
Nº 25 - Área AP-01 Cassiporé - Amapá, 1997.  
Nº 26 - Área BA-04 Jacobina Sul - Bahia, 1997.  
Nº 27 - Área PA-03 Cuiapucu/Carará - Pará/Amapá, 1997.  
Nº 28 - Área PA-10 Serra dos Carajás - Pará, 1997.  
Nº 29 - Área AP-04 Tumucumaque - Pará, 1997.  
Nº 30 - Área PA-11 Xinguara - Pará, 1997.  
Nº 31 - Área PB-01 Cachoeira de Minas/Itajubatiba/Itapetim - Paraíba/Pernambuco, 1997.  
Nº 32 - Área AP-02 Tartarugalzinho - Amapá, 1997.  
Nº 33 - Área AP-06 Vila Nova/Iratapuru - Amapá, 1997.  
Nº 34 - Área PA-02 Ipitinga - Pará/Amapá, 1997.  
Nº 35 - Área PA-17 Caracol - Pará, 1997.  
Nº 36 - Área PA-18 Vila Riozinho - Pará, 1997.  
Nº 37 - Área PA-19 Rio Novo - Pará, 1997.  
Nº 38 - Área PA-08 São Félix - Pará, 1997.  
Nº 39 - Área PA-21 Marupá - Pará, 1998.  
Nº 40 - Área PA-04 Três Palmeiras/Volta Grande - Pará, 1998.  
Nº 41 - Área TO-01 Almas/Natividade - Tocantins, 1998.  
Nº 42 - Área RN-01 São Fernando/Ponta da Serra/São Francisco - Rio Grande do Norte/Paraíba, 1998.  
Nº 43 - Área GO-06 Cavalcante - Goiás/Tocantins, 1998.  
Nº 44 - Área MT-02 Alta Floresta - Mato Grosso/Pará, 1998.  
Nº 45 - Área MT-03 Serra de São Vicente - Mato Grosso, 1998.  
Nº 46 - Área AM-04 Rio Traíra - Amazonas, 1998.  
Nº 47 - Área GO-10 Pirenópolis/Jaraguá - Goiás, 1998.  
Nº 48 - Área CE-01 Reriutaba/Ipu - Ceará, 1998.  
Nº 49 - Área PA-06 Manelão - Pará, 1998.  
Nº 50 - Área PA-20 Jacareacanga - Pará/Amazonas, 1998.  
Nº 51 - Área MG-07 Paracatu - Minas Gerais, 1998.  
Nº 52 - Área RO-05 Colorado - Rondônia/Mato Grosso, 1998.  
Nº 53 - Área TO-02 Brejinho de Nazaré - Tocantins, 1998.  
Nº 54 - Área RO-04 Porto Esperança - Rondônia, 1998.  
Nº 55 - Área RO-03 Parecis - Rondônia, 1998.  
Nº 56 - Área RR-03 Uraricoera - Roraima, 1998.  
Nº 57 - Área GO-04 Goiás - Goiás, 1998.  
Nº 58 - Área MA-01 Belt do Gurupi - Maranhão/Pará, 1998.  
Nº 59 - Área MA-02 Aurizona/Carutapera - Maranhão/Pará, 1998.  
Nº 60 - Área PE-01 Serrita - Pernambuco, 1998.  
Nº 61 - Área PR-01 Curitiba/Morretes - Paraná, 1998.  
Nº 62 - Área MG-01 Pitangui - Minas Gerais, 1998.  
Nº 63 - Área PA-12 Rio Fresco - Pará, 1998.  
Nº 64 - Área PA-13 Madalena - Pará, 1998.  
Nº 65 - Área AM-01 Parauari - Amazonas/Pará, 1999.  
Nº 66 - Área BA-01 Itapicuru Norte - Bahia, 1999.  
Nº 67 - Área RR-04 Quino Maú - Roraima, 1999.  
Nº 68 - Área RR-05 Apiaú - Roraima, 1999.  
Nº 69 - Área AM-05 Gavião/Dez Dias - Amazonas, 1999.  
Nº 70 - Área MT-07 Araés/Nova Xavantina - Mato Grosso, 2000.  
Nº 71 - Área AM-02 Cauaburi - Amazonas, 2000.  
Nº 72 - Área RR-02 Mucajaí - Roraima, 2000.  
Nº 73 - Área RR-06 Rio Amajari - Roraima, 2000.  
Nº 74 - Área BA-03 Jacobina Norte - Bahia, 2000.  
Nº 75 - Área MG-04 Serro - Minas Gerais, 2000.  
Nº 76 - Área BA-02 Itapicuru Sul - Bahia, 2000.  
Nº 77 - Área MG-03 Conselheiro Lafaiete - Minas Gerais, 2000.  
Nº 78 - Área MG-05 Itabira - Minas Gerais, 2000.  
Nº 79 - Área MG-09 Riacho dos Machados - Minas Gerais, 2000.  
Nº 80 - Área BA-14 Correntina - Bahia, 2000.  
Nº 81 - Área BA-12 Boquira Sul - Bahia, 2000.  
Nº 82 - Área BA-13 Gentio do Ouro - Bahia, 2000.

- Nº 83 - Área BA-08 Rio de Contas/Ibitiara Sul - Bahia, 2000.  
Nº 84 - Área MT-05 Cuiabá/Poconé - Mato Grosso, 2000.  
Nº 85 - Área MT-04 Jauru/Barra dos Bugres - Mato Grosso, 2000.

### **SÉRIE OURO - INFORMES GERAIS**

- Nº 01 - Mapa de Reservas e Produção de Ouro no Brasil (Escala 1:7.000.000), 1996.  
Nº 02 - Programa Nacional de Prospecção de Ouro - Natureza e Métodos, 1998.  
Nº 03 - Mapa de Reservas e Produção de Ouro no Brasil (Escala 1:7.000.000), 1998.  
Nº 04 - Gold Prospecting National Program - Subject and Methodology, 1998.  
Nº 05 - Mineralizações Auríferas da Região de Cachoeira de Minas – Municípios de Manaíra e Princesa Isabel - Paraíba, 1998.  
Nº 06 - Mapa de Reservas e Produção de Ouro no Brasil (Escala 1:7.000.000), 2000.  
Nº 07 - Resultados da Prospecção para Ouro na Área RS-01 - Lavras do Sul/Caçapava do Sul, Subárea Minas do Camaquã - Rio Grande do Sul, 2000.  
Nº 08 - Resultados da Prospecção para Ouro na Área RS-01 - Lavras do Sul/Caçapava do Sul, Subárea Ibaré – Rio Grande do Sul, 2000.  
Nº 09 - Resultados da Prospecção para Ouro na Área RS-01 - Lavras do Sul/Caçapava do Sul, Subárea Caçapava do Sul - Rio Grande do Sul, 2000.  
Nº 10 - Resultados da Prospecção para Ouro na Área RS-01 - Lavras do Sul/Caçapava do Sul, Subárea Passo do Salsinho - Rio Grande do Sul, 2000.  
Nº 11 - Resultados da Prospecção para Ouro na Área RS-01 - Lavras do Sul/Caçapava do Sul, Subárea Marmeleiro - Rio Grande do Sul, 2000.  
Nº 12 - Map of Gold Production and Reserves of Brazil (1:7.000.000 Scale), 2000  
Nº 13 - Resultados da Prospecção para Ouro na Área RS-01 - Lavras do Sul/Caçapava do Sul, Subárea Cambaizinho - Rio Grande do Sul, 2001.  
Nº 14 - Resultados da Prospecção para Ouro na Área RS-01 - Lavras do Sul/Caçapava do Sul, Subárea Passo do Ivo - Rio Grande do Sul, 2001.  
Nº 15 - Resultados da Prospecção para Ouro na Área RS-01 - Lavras do Sul/Caçapava do Sul, Subárea Batovi – Rio Grande do Sul, 2001.  
Nº 16 - Projeto Metalogenia da Província Aurífera Juruena-Teles Pires, Mato Grosso – Goiânia, 2008.  
Nº 17 - Metalogenia do Distrito Aurífero do Rio Juma, Nova Aripuanã, Manaus, 2010.  
Nº 18 - Províncias e Distritos Auríferos do Brasil, Goiânia, 2022.

### **SÉRIE INSUMOS MINERAIS PARA AGRICULTURA**

- Nº 01 - Mapa Síntese do Setor de Fertilizantes Minerais (NPK) no Brasil (Escala 1:7.000.000), 1997.  
Nº 02 - Fosfato da Serra da Bodoquena - Mato Grosso do Sul, 2000.  
Nº 03 - Estudo do Mercado de Calcário para Fins Agrícolas no Estado de Pernambuco, 2000.  
Nº 04 - Mapa de Insumos Minerais para Agricultura e Áreas Potenciais nos Estados de Pernambuco, Alagoas, Paraíba e Rio Grande do Norte, 2001.  
Nº 05 - Estudo dos Níveis de Necessidade de Calcário nos Estados de Pernambuco, Alagoas, Paraíba e Rio Grande do Norte, 2001.  
Nº 06 - Síntese das Necessidades de Calcário para os Solos dos Estados da Bahia e Sergipe, 2001.  
Nº 07 - Mapa de Insumos Minerais para Agricultura e Áreas Potenciais de Rondônia, 2001.  
Nº 08 - Mapas de Insumos Minerais para Agricultura nos Estados de Amazonas e Roraima, 2001.  
Nº 09 - Mapa-Síntese de Jazimentos Minerais Carbonatados dos Estados da Bahia e Sergipe, 2001.  
Nº 10 - Insumos Minerais para Agricultura e Áreas Potenciais nos Estados do Pará e Amapá, 2001.  
Nº 11 - Síntese dos Jazimentos, Áreas Potenciais e Mercado de Insumos Minerais para Agricultura no Estado da Bahia, 2001.  
Nº 12 - Avaliação de Rochas Calcárias e Fosfatadas para Insumos Agrícolas do Estado de Mato Grosso, 2008.  
Nº 13 - Projeto Fosfato Brasil – Parte I, Salvador, 2011.  
Nº 14 - Projeto Fosfato Brasil – Estado de Mato Grosso – Áreas Araras/Serra do Caeté e Planalto da Serra, 2011.  
Nº 15 - Projeto Mineralizações Associadas à Plataforma Bambuí no Sudeste do Estado do Tocantins (TO) – Goiânia, 2016.  
Nº 16 - Rochas Carbonáticas do Estado de Rondônia, Porto Velho, 2015.  
Nº 17 - Projeto Fosfato Brasil – Parte II, Salvador, 2016.  
Nº 18 - Geoquímica Orientativa para Pesquisa de Fosfato no Brasil, Salvador, 2016.  
Nº 19 - Projeto Agrominerais da Região de Irecê -Jaguarari, Salvador, 2016.  
Nº 20 - Avaliação do Potencial do Fosfato no Brasil – Fase III - Bacia dos Parecis, Porto Velho, 2017.  
Nº 21 - Avaliação do Potencial do Fosfato no Brasil – Fase III: Bacia Sergipe-Alagoas, Sub-bacia Sergipe, Recife, 2017.  
Nº 22 - Avaliação do Potencial do Fosfato no Brasil – Fase III: Centro-leste de Santa Catarina, Salvador, 2018.  
Nº 23 - Avaliação do Potencial do Potássio no Brasil: Bacia do Amazonas, setor centro-oeste, Estados do Amazonas e Pará, Manaus, 2020.  
Nº 24 - Investigação de Anomalias Geofísicas no Escudo Sul-Rio-Grandense com Enfoque em Insumos Agrícolas, Porto Alegre, 2020.

- Nº 25 - Avaliação do Potencial do Fosfato no Brasil: Borda Norte da Bacia do Amazonas, região de Monte Alegre e Monte Dourado, Estado do Pará, Belém, 2020.
- Nº 26 - Avaliação do Potencial Agromineral do Brasil: Grupo Serra Geral da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021
- Nº 27 - Avaliação do Potencial do Fosfato no Brasil: Bacia Potiguar – Um estudo a partir de testemunhos de sondagem, Estado do Rio Grande do Norte, Salvador, 2021
- Nº 28 - Avaliação do Potencial Agromineral do Brasil: Eixo Manaus-Boa Vista, Manaus, 2022

#### **SÉRIE PEDRAS PRECIOSAS**

- Nº 01 - Mapa Gemológico da Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul, 1997.
- Nº 02 - Mapa Gemológico da Região Lajeado/Soledade/Salto do Jacuí - Rio Grande do Sul, 1998
- Nº 03 - Mapa Gemológico da Região de Ametista do Sul - Rio Grande do Sul, 1998.
- Nº 04 - Recursos Gemológicos dos Estados do Piauí e Maranhão, 1998.
- Nº 05 - Mapa Gemológico do Estado do Rio Grande do Sul, 2000.
- Nº 06 - Mapa Gemológico do Estado de Santa Catarina, 2000.
- Nº 07 - Aspectos da Geologia dos Pólos Diamantíferos de Rondônia e Mato Grosso – O Fórum de Juína – Projeto Diamante, Goiânia, 2010.
- Nº 08 - Projeto Avaliação dos Depósitos de Opalas de Pedro II – Estado do Piauí, Teresina, 2015.
- Nº 09 - Aluviões Diamantíferos da Foz dos Rios Jequitinhonha e Pardo - Fase I – Estado da Bahia, Salvador, 2016.
- Nº 10 - Áreas Kimberlíticas e Diamantíferas do Estado de Minas Gerais, Brasília, 2017
- Nº 11 - Áreas Kimberlíticas e Diamantíferas do Estado de Rondônia, Brasília, 2017
- Nº 12 - Áreas Kimberlíticas e Diamantíferas do Estado do Mato Grosso, Brasília, 2017
- Nº 13 - Áreas Kimberlíticas e Diamantíferas do Estado da Bahia, Brasília, 2017

#### **SÉRIE OPORTUNIDADES MINERAIS – EXAME ATUALIZADO DE PROJETO**

- Nº 01 - Níquel de Santa Fé - Estado de Goiás, 2000.
- Nº 02 - Níquel do Morro do Engenho - Estado de Goiás, 2000.
- Nº 03 - Cobre de Bom Jardim - Estado de Goiás, 2000.
- Nº 04 - Ouro no Vale do Ribeira - Estado de São Paulo, 1996.
- Nº 05 - Chumbo de Nova Redenção - Estado da Bahia, 2001.
- Nº 06 - Turfa de Caçapava - Estado de São Paulo, 1996.
- Nº 08 - Ouro de Natividade - Estado do Tocantins, 2000.
- Nº 09 - Gipsita do Rio Cupari - Estado do Pará, 2001.
- Nº 10 - Zinco, Chumbo e Cobre de Palmeirópolis - Estado de Tocantins, 2000.
- Nº 11 - Fosfato de Miriri - Estados de Pernambuco e Paraíba, 2001.
- Nº 12 - Turfa da Região de Itapuã - Estado do Rio Grande do Sul, 1998.
- Nº 13 - Turfa de Águas Claras - Estado do Rio Grande do Sul, 1998.
- Nº 14 - Turfa nos Estados de Alagoas, Paraíba e Rio Grande do Norte, 2001.
- Nº 15 - Nióbio de Uaupés - Estado do Amazonas, 1997.
- Nº 16 - Diamante do Rio Maú - Estado da Roraima, 1997.
- Nº 18 - Turfa de Santo Amaro das Brotas - Estado de Sergipe, 1997.
- Nº 19 - Diamante de Santo Inácio - Estado da Bahia, 2001.
- Nº 21 - Carvão nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, 1997.
- Nº 22 - Coal in the States of Rio Grande do Sul and Santa Catarina, 1999.
- Nº 23 - Kaolin Exploration in the Capim River Region - State of Pará - Executive Summary, 2000.
- Nº 24 - Turfa de São José dos Campos - Estado de São Paulo, 2002.
- Nº 25 - Lead in Nova Redenção - Bahia State, Brazil, 2001.
- Nº 26 - Projeto Reavaliação do Patrimônio Mineral, Área Polimetálicos de Palmeirópolis, Estado do Tocantins, Brasília, 2020.
- Nº 27 - Projeto Reavaliação do Patrimônio Mineral, Área Carvão Sul Catarinense, Estado de Santa Catarina, Brasília, 2021.
- Nº 28 - Projeto Reavaliação do Patrimônio Mineral, Área Fosfato de Miriri, Estado de Pernambuco e Paraíba, Brasília, 2022.
- Nº 29 - Projeto Reavaliação do Patrimônio Mineral, Área Carvão de Iruí-Butiá, Estado do Rio Grande do Sul, Brasília, 2021.
- Nº 30 - Projeto Reavaliação do Patrimônio Mineral, Área Caulim do Rio Capim, Estado do Pará, Brasília, 2021.
- Nº 31 - Projeto Reavaliação do Patrimônio Mineral, Área Gipsita do Rio Cupari, Estado do Pará, Brasília, 2022.
- Nº 32 - Projeto Reavaliação do Patrimônio Mineral, Área Turfa de Linhares, Estado do Espírito Santo, Brasília, 2023.
- Nº 33 - Projeto Reavaliação do Patrimônio Mineral, Área Turfa de Santo Amaro das Brotas, Estado de Sergipe, Brasília, 2023.
- Nº 34 - Projeto Reavaliação do Patrimônio Mineral, Área Calcário Aveiro, Estado do Pará, Brasília, 2022.

#### **SÉRIE DIVERSOS**

- Nº 01 - Informe de Recursos Minerais - Diretrizes e Especificações - Rio de Janeiro, 1997.
- Nº 02 - Argilas Nobres e Zeolitas na Bacia do Parnaíba - Belém, 1997.
- Nº 03 - Rochas Ornamentais de Pernambuco - Folha Belém do São Francisco - Escala 1:250.000 - Recife, 2000.

- Nº 04 - Substâncias Minerais para Construção Civil na Região Metropolitana de Salvador e Adjacências - Salvador, 2001.  
Nº 05 - Terras Indígenas do Noroeste do Amazonas: Geologia, Geoquímica e Cadastramento Mineral na região do Tunuí-Caparro, Estado do Amazonas, Manaus, 2020  
Nº 06 - Recursos Minerais do Estado de Minas Gerais - 2011, Belo Horizonte, 2022.

#### **SÉRIE RECURSOS MINERAIS MARINHOS**

- Nº 01 - Potencialidade dos Granulados Marinhos da Plataforma Continental Leste do Ceará – Recife, 2007.  
Nº 02 - Potencialidade dos Granulados Marinhos da Plataforma Continental Oriental do Rio Grande do Norte – Setor Touros, Recife, 2021.  
Nº 03 - Potencialidade dos Granulados Marinhos da Plataforma Continental de Pernambuco – Recife, 2021.  
Nº 04 - Potencialidades dos Granulados Marinhos da Plataforma Continental Oeste do Ceará, Setor Bitupitá, 2022.  
Nº 05 - Prospecção e Exploração de Depósitos de Fosforitas Marinhas na Plataforma Continental Jurídica Brasileira, etapa 2010-2020, Rio de Janeiro, 2021.

#### **SÉRIE ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS**

- Nº 01 - Projeto Materiais de Construção na Área Manacapuru-Iranduba-Manaus-Careiro (Domínio Baixo Solimões) – Manaus, 2007.  
Nº 02 - Materiais de Construção Civil na região Metropolitana de Salvador – Salvador, 2008.  
Nº 03 - Projeto Materiais de Construção no Domínio Médio Amazonas – Manaus, 2008.  
Nº 04 - Projeto Rochas Ornamentais de Roraima – Manaus, 2009.  
Nº 05 - Projeto Argilas da Bacia Pimenta Bueno – Porto Velho, 2010.  
Nº 06 - Projeto Quartzito Industrial Dueré-Cristalândia – Goiânia, 2010.  
Nº 07 - Materiais de Construção Civil na região Metropolitana de Aracaju – Salvador, 2011.  
Nº 08 - Rochas Ornamentais no Noroeste do Estado do Espírito Santo – Rio de Janeiro, 2012.  
Nº 09 - Projeto Insumos Minerais para a Construção Civil na Região Metropolitana do Recife – Recife, 2012.  
Nº 10 - Materiais de Construção Civil da Folha Porto Velho – Porto Velho, 2013.  
Nº 11 - Polo Cerâmico de Santa Gertrudes – São Paulo, 2014.  
Nº 12 - Projeto Materiais de Construção Civil na Região Metropolitana de Natal – Natal, 2015.  
Nº 13 - Materiais de Construção Civil para Vitória da Conquista, Itabuna-Ilhéus e Feira de Santana – Salvador, 2015.  
Nº 14 - Projeto Materiais de Construção da Região de Marabá e Eldorado dos Carajás – Belém, 2015.  
Nº 15 - Panorama do Setor de Rochas Ornamentais do Estado de Rondônia – Porto Velho, 2015  
Nº 16 - Projeto Materiais de Construção da Região Metropolitana de Goiânia – Goiânia, 2015  
Nº 17 - Projeto Materiais de Construção da Região Metropolitana de Porto Alegre – Porto Alegre, 2016  
Nº 18 - Projeto Materiais de Construção da Região Metropolitana de Fortaleza – Fortaleza, 2016  
Nº 19 - Projeto Materiais de Construção Civil da Região da Grande Florianópolis – Porto Alegre, 2016  
Nº 20 - Projeto materiais de construção da região de Macapá - Estado do Amapá – Belém, 2016.  
Nº 21 - Projeto Materiais De Construção da Região Metropolitana de Curitiba - Estado do Paraná, 2016.  
Nº 22 - Projeto Materiais de Construção da Região Metropolitana de São Luís e Entorno - Estado do Maranhão, 2017.  
Nº 23 - Panorama do Segmento de Rochas Ornamentais do Estado da Bahia, Salvador, 2019  
Nº 24 - Materiais de Construção da Região Metropolitana de São Paulo - Estado de São Paulo, São Paulo, 2019.  
Nº 25 - Gipsita no sudoeste da Bacia sedimentar do Araripe - Estado de Pernambuco, Recife, 2019.  
Nº 26 - Projeto Materiais de Construção da Região Metropolitana de Belo Horizonte - Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.  
Nº 27 - Rochas Ornamentais do Estado do Rio Grande do Norte: Mapa de Potencialidades, Natal, 2020.  
Nº 28 - Materiais de Construção da Região Metropolitana de Palmas - Estado do Tocantins, Goiânia, 2020.  
Nº 29 - Estudos dos granitoides da região Nordeste do Pará para produção de brita, Belém, 2020.  
Nº 30 - Materiais de Construção da Região de Capitão Poço-Ourém - Estado do Pará, Belém, 2020.  
Nº 31 - Calcários da Bahia: Faixas Rio Pardo e Ouroândia-Campo Formoso, Salvador, 2021  
Nº 32 - Rochas Ornamentais do Espírito Santo: Mapa de Potencialidade, Belo Horizonte, 2021  
Nº 33 - Argilas dos vales dos rios Doce e Jequitinhonha (MG), Belo Horizonte, 2021  
Nº 34 - Materiais de Construção Civil da Região Rio Grande-Pelotas e entorno (RS), Porto Alegre, 2021  
Nº 35 - Materiais de Construção Civil da Região Metropolitana de João Pessoa (PB), Recife, 2021  
Nº 36 - Materiais de Construção Civil da Região Metropolitana de Maceió (AL), Recife, 2022  
Nº 37 - Rochas Ornamentais da Bahia: Mapa de Potencialidades da Região da Serra de Jacobina, Salvador, 2022  
Nº 38 - Titânio Laterítico na Bacia do Paraná (PR), São Paulo, 2022

#### **SÉRIE METAIS - INFORMES GERAIS**

- Nº 01 - Projeto BANEIO – Bacia do Camaquã – Metalogenia das Bacias Neoproterozóico-eopaleozóicas do Sul do Brasil, Porto Alegre, 2008  
Nº 02 - Mapeamento Geoquímico do Quadrilátero Ferrífero e seu Entorno - MG – Rio de Janeiro, 2014.

Nº 03 - Projeto BANEIO – Bacias do Itajaí, de Campo Alegre e Corupá – Metalogenia das Bacias Neoproterozoico-eopaleozoicas do Sul do Brasil, Porto Alegre, 2015

#### **SÉRIE PROVÍNCIAS MINERAIS DO BRASIL**

- Nº 01 - Áreas de Relevante Interesse Mineral - ARIM, Brasília, 2015
- Nº 02 - Metalogenia das Províncias Minerais do Brasil: Área Tróia-Pedra Branca, Estado do Ceará, Fortaleza, 2015
- Nº 03 - Metalogenia das Províncias Minerais do Brasil: Área Sudeste do Tapajós, Estado do Pará, Brasília, 2015.
- Nº 04 - Metalogenia das Províncias Minerais do Brasil: Província Aurífera Juruena-Teles Pires-Aripuanã – Geologia e Recursos Minerais da Folha Ilha Porto Escondido – SC.21-V-C-III, Brasília, 2015.
- Nº 05 - Metalogenia das Províncias Minerais do Brasil: Distrito Zinífero de Vazante – MG, Brasília, 2015.
- Nº 06 - Metalogenia das Províncias Minerais do Brasil: Rochas Alcalinas da Porção Meridional do Cinturão Ribeira. Estados de São Paulo e Paraná, Brasília, 2015.
- Nº 07 - Metalogenia das Províncias Minerais do Brasil: Área Sudeste de Rondônia, Brasília, 2016.
- Nº 08 - Metalogenia das Províncias Minerais do Brasil: Área Seridó-Leste, extremo nordeste da Província Borborema (RN-PB), Brasília, 2016.
- Nº 09 - Metalogenia das Províncias Minerais do Brasil: Porção sul da Bacia do Paraná, RS, 2017
- Nº 10 - Metalogenia das Províncias Minerais do Brasil: Área Eldorado do Juma, Estado do Amazonas, AM, 2019
- Nº 11 - Áreas de Relevante Interesse Mineral: Cinturão Gurupi, Estados do Pará e Maranhão, Brasília, 2017.
- Nº 12 - Áreas de relevante interesse mineral: Reserva Nacional do Cobre e Associados, Estados do Pará e Amapá, Belém, 2017.
- Nº 13 - Áreas de Relevante Interesse Mineral – Vale do Ribeira: Mineralizações Polimetálicas (Pb, Ag, Zn, Cu e Au – “Tipo Painéis”) em zonas de cisalhamento Rúptil, Cinturão Ribeira Meridional, SP-PR, São Paulo, 2017.
- Nº 14 - Área de Relevante Interesse Mineral - ARIM: Distrito Mineral de Paracatu-Unai (Zn-Pb-Cu), MG, 2018
- Nº 15 - Área de Relevante Interesse Mineral Integração Geológica-Geofísica e Recursos Minerais do Cráton Luis Alves, RS, 2018.
- Nº 16 - Áreas de Relevante Interesse Mineral - Província Mineral de Carajás, PA: Estratigrafia e análise do Minério de Mn de Carajás - áreas Azul, Sereno, Buritirama e Antônio Vicente, PA, 2018.
- Nº 17 - Áreas de Relevante Interesse Mineral Troia-Pedra Branca - Geologia e mineralização aurífera da sequência metavulcanossedimentar da Serra das Pipocas, Maciço de Troia, Ceará, Estado do Ceará, CE, 2018
- Nº 18 - Áreas de Relevante Interesse Mineral – Reavaliação da Província Estanífera de Rondônia, RO, 2019.
- Nº 19 - Áreas de relevante interesse mineral – Evolução Crustal e Metalogenia da Faixa Nova Brasilândia, RO, 2019.
- Nº 20 - Áreas de Relevante Interesse Mineral - Batólito Pelotas–Terreno Tijucas, Estado do Rio Grande do Sul, RS, 2019.
- Nº 21 - Áreas de Relevante Interesse Mineral – Vale do Ribeira: mineralizações polimetálicas (Pb-Zn-Ag-Cu-Ba) associadas a Formação Perau, Cinturão Ribeira Meridional, Estado do Paraná, São Paulo, 2019.
- Nº 22 - Áreas de relevante interesse mineral – Evolução crustal e metalogenia da Província Mineral Juruena–Teles-Pires, MT, Goiânia, 2019.
- Nº 23 - Áreas de relevante interesse mineral – Projeto evolução crustal e metalogenia da Faixa Brasília setor centro-norte, GO-TO, Goiânia, 2019
- Nº 24 - Avaliação do Potencial Mineral do NW do Ceará, CE, Fortaleza, 2019.
- Nº 25 - Avaliação do Potencial Mineral das faixas Marginais da borda NW do Craton do São Francisco (Área Riacho do Pontal), PI, Teresina, 2019.
- Nº 26 - Avaliação do Potencial Mineral das faixas Marginais da borda NW do Craton do São Francisco (Área Rio Preto), PI, Teresina, 2019.
- Nº 27 - Áreas de Relevante Interesse Mineral - Avaliação do Potencial Mineral do Vale do Ribeira (Área Castro), SP, São Paulo, 2019.
- Nº 28 - Áreas de Relevante Interesse Mineral - Evolução crustal e Metalogenia da região de Aripuanã, MT, Goiânia, 2020.
- Nº 29 - Modelo Prospectivo para Ametista e Ágata na Fronteira Sudoeste do Rio Grande do Sul, RS, Porto Alegre, 2020.
- Nº 30 - Áreas de Relevante Interesse Mineral - Reavaliação das sequências metavulcanossedimentares a Sudoeste do Quadrilátero Ferrífero – Área de Nazareno, Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.
- Nº 31 - Áreas de Relevante Interesse Mineral – Integração Geológica e Avaliação do Potencial Metalogenético da Serra de Jacobina e dos Greenstone Belt Mundo Novo, Estado da Bahia, Salvador, 2021
- Nº 32 - Áreas de Relevante Interesse Mineral – Integração Geológica e Avaliação do Potencial Metalogenético das Sequências Metavulcanossedimentares tipo Greenstone Belts e/ou similares da região de Remanso-Sobradinho, Estado da Bahia, Salvador, 2021
- Nº 33 - Áreas de Relevante Interesse Mineral –Província Mineral de Carajás, Controles Críticos das Mineralizações de Cobre e Ouro do Lineamento Cinzento, Estado do Pará, Belém, 2021
- Nº 34 - Áreas de Relevante Interesse Mineral – Evolução Crustal e Metalogenia do Sudeste do Amazonas, Estado do Amazonas, Manaus, 2021
- Nº 35 - Áreas de Relevante Interesse Mineral – Evolução Crustal e Metalogenia da Província Mineral do Seridó, Estado de Pernambuco, Recife, 2023
- Nº 36 - Áreas de Relevante Interesse Mineral – Avaliação do Potencial Mineral da região de São Raimundo Nonato, Estado de Pernambuco, Recife, 2022

Nº 37 - Quadrilátero Ferrífero, Setor Central: Mapa de Favorabilidade para Ouro Orogênico, Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022

Nº 38 - Noroeste do Quadrilátero Ferrífero: Mapa de Prospectividade para Ouro Orogênico do Greenstone Belt Pitangui, Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022

#### **SÉRIE MINERAIS ESTRATÉGICOS**

Nº 01 - Diretrizes para Avaliação do Potencial do Potássio, Fosfato, Terras Raras e Lítio no Brasil, Brasília, 2015.

Nº 02 - Avaliação do Potencial de Terras Raras no Brasil, Brasília, 2015.

Nº 03 - Projeto Avaliação do Potencial do Lítio no Brasil – Área do Médio Rio Jequitinhonha, Nordeste de Minas Gerais, Brasília, 2016.

Nº 04 - Projeto Avaliação do Potencial de Terras Raras No Brasil - Área Morro dos Seis Lagos, Noroeste do Amazonas, Brasília, 2019.

Nº 05 - Projeto Avaliação do Potencial da Grafita no Brasil – Fase I, São Paulo, 2020.

Nº 06 - Projeto Lítio da Província Pegmatítica da Borborema, Estados do Rio Grande do Norte e Paraíba, Recife, 2022

#### **SÉRIE GEOQUÍMICA PROSPECTIVA**

Nº 01 - Informe Geoquímico Bacia do Araripe, Estados de Pernambuco, Piauí e Ceará, Recife, 2018.

Nº 02 - Informe Geoquímico das Folhas Quixadá-Itapiúna, Estado do Ceará, Fortaleza, 2020.

Nº 03 - Informe Geoquímico São José do Campestre, Província Borborema, Estado do Rio Grande do Norte, Recife, 2021.

Nº 04 - Informe Geoquímico Granjeiro-Cococi, Estado do Ceará, Fortaleza, 2023.

#### **SÉRIE MAPEAMENTO GEOQUÍMICO**

Nº 01 - Levantamento geoquímico do Escudo do Rio Grande do Sul, Estado do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

Nº 02 - Mapeamento geoquímico da Folha Piatã, Estado da Bahia, Salvador, 2023.

#### **SÉRIE ATLAS GEOQUÍMICOS**

Atlas Geoquímico de Carajás – Setor Leste, Sedimentos Ativos de Corrente, Estado do Pará, Belém, 2023

#### **SÉRIE ATLAS DE ROCHAS ORNAMENTAIS**

Atlas de Rochas Ornamentais de Roraima, Manaus, 2009

Atlas de Rochas Ornamentais da Amazônia Brasileira, São Paulo, 2011

Atlas de Rochas Ornamentais do Espírito Santo, Brasília, 2013

Atlas of Dimension Stones of the Espírito Santo State, Brasília, 2015

Atlas de Rochas Ornamentais dos Estados do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Alagoas, Recife, 2017

Atlas de Rochas Ornamentais da Bahia, Salvador, 2022

Atlas of Dimension Stones of the Bahia State, Salvador, 2022



# O SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (SGB-CPRM) E OS OBJETIVOS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - ODS

Em setembro de 2015 líderes mundiais reuniram-se na sede da ONU, em Nova York, e formularam um conjunto de objetivos e metas universais com intuito de garantir o desenvolvimento sustentável nas dimensões econômica, social e ambiental. Esta ação resultou na *Agenda 2030*, a qual contém um conjunto de *17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS*.

A Agenda 2030 é um plano de ação para as pessoas, para o planeta e para a prosperidade. Busca fortalecer a paz universal, e considera que a erradicação da pobreza em todas as suas formas e dimensões é o maior desafio global, e um requisito indispensável para o desenvolvimento sustentável.

Os 17 ODS incluem uma ambiciosa lista de 169 metas para todos os países e todas as partes interessadas, atuando em parceria colaborativa, a serem cumpridas até 2030.



O Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM) atua em diversas áreas intrínsecas às Geociências, que podem ser agrupadas em quatro grandes linhas de atuação:

- Geologia;
- Recursos Minerais;
- Hidrologia; e
- Gestão Territorial.

Todas as áreas de atuação do SGB-CPRM, sejam nas áreas das Geociências ou nos serviços compartilhados, ou ainda em seus programas internos, devem ter conexão com os ODS, evidenciando o comprometimento de nossa instituição com a sustentabilidade, com a humanidade e com o futuro do planeta.

A tabela a seguir relaciona as áreas de atuação do SGB-CPRM com os ODS.

# Áreas de atuação do Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM) e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS

## ÁREA DE ATUAÇÃO **GEOCIÊNCIAS**

### LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS



### LEVANTAMENTOS AEROGEOFÍSICOS



### AValiação DOS RECURSOS MINERAIS DO BRASIL



### LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS MARINHOS



### LEVANTAMENTOS GEOQUÍMICOS



### LEVANTAMENTOS BÁSICOS DE RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS



### SISTEMAS DE ALERTA HIDROLÓGICO



### AGROGEOLOGIA



### LEVANTAMENTOS BÁSICOS DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS



### RISCO GEOLÓGICO



### GEODIVERSIDADE



### PATRIMÔNIO GEOLÓGICO E GEOPARQUES



### ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO



### GEOLOGIA MÉDICA



### RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO



## ÁREA DE ATUAÇÃO **SERVIÇOS COMPARTILHADOS**

### GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO



### TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO



### LABORATÓRIO DE ANÁLISE MINERAIS



### MUSEU DE CIÊNCIAS DA TERRA



### PALEONTOLOGIA



### PARCERIAS NACIONAIS E INTERNACIONAIS



### REDE DE BIBLIOTECAS



### REDE DE LITOTECAS



### GOVERNANÇA



## ÁREA DE ATUAÇÃO **PROGRAMAS INTERNOS**

### SUSTENTABILIDADE



### PRÓ-EQUIDADE



### COMITÊ DE ÉTICA



## PROGRAMA GEOLOGIA MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

### INFORME DE RECURSOS MINERAIS

SÉRIE MINERAIS ESTRATÉGICOS, Nº 07

#### PROJETO DE GEOLOGIA E AVALIAÇÃO DO POTENCIAL PARA FOSFATO E ELEMENTOS TERRAS-RARAS NA REGIÃO DE CAMPOS NOVOS, RORAIMA

O Informe de Recursos Minerais, vinculado à iniciativa de Avaliação dos Recursos Minerais do Brasil, no âmbito do Programa Geologia, Mineração e Transformação Mineral, tem como propósito a divulgação dos resultados provenientes dos projetos conduzidos pelo Serviço Geológico do Brasil – SGB, abrangendo caracterização metalogenética, prospecção, pesquisa e economia mineral.

O documento em questão integra a Série Minerais Estratégicos e apresenta os desdobramentos da avaliação do potencial metalogenético para fosfato e terras-raras na região central de Roraima. Este estudo regional de prospecção identificou fontes potenciais para essas commodities, delineando ambientes geológicos enriquecidos em fosfato e terras-raras, elementos minerais essenciais para as indústrias de fertilizantes e de baixo carbono.

O presente relatório é uma fonte de informações essencial para atrair investimentos na mineração, impulsionando assim a economia regional e nacional. Ele desempenha um papel crucial na significativa redução do risco de investimento tanto para o setor mineral público quanto privado, atendendo à demanda brasileira por novos insumos agrícolas e tecnológicos.

Com este lançamento, o Serviço Geológico do Brasil reafirma o compromisso com a política governamental que incentiva o desenvolvimento de iniciativas em todas as regiões geográficas do país. Isso não apenas contribui para o aumento do conhecimento geológico, mas também estimula investimentos no setor mineral, promovendo a mineração e respaldando as decisões de investidores, tanto privados quanto públicos. No último caso, a instituição subsidia a formulação de políticas por meio do fornecimento de dados relevantes.

#### Sede

Setor bancário Norte-SBN-Quadra 02, Asa Norte  
Bloco H-5º andar-Edifício Central Brasília  
Brasília-DF CEP 70040-0840-030904  
Tel: 61 2108-8400

#### Escritório Rio de Janeiro

Av. Pasteur, 404 - Urca  
Rio de Janeiro - RJ - CEP: 22290-255  
Tel: 21 2295-5337 - 21 2295-5382

#### Superintendência Regional de Porto Alegre

Rua Banco da Província, 105 - Santa Tereza  
Porto Alegre RS CEP:90540-030  
Tel: 51 3406-7300

#### Departamento de Geologia e Recursos Minerais (DGM)

Tel: 21 2246-0212 - 61 3223-1166 (SEDE)

#### Departamento de Recursos Minerais (DEREM)

Tel: 61 3223-7925 (SEDE)

#### Divisão de Minerais Industriais (DIMINI)

Tel: 51 3406-7300 (SUREG-PA)

#### Diretoria de Relações de Relações Institucionais e Desenvolvimento (DRI)

Tel: 21 2295-5337 (ERJ) - 61 3223-1059 (SEDE)

#### Assessoria de Comunicação (ASSCOM)

Tel/Fax: 61 3321-0372 (SEDE)  
E-mail: [asscomdf@sbg.gov.br](mailto:asscomdf@sbg.gov.br)

#### Divisão de Marketing e Divulgação (DIMARK)

Tel: 31 3878-7925 (SUREG-BH)  
E-mail: [marketing@sbg.gov.br](mailto:marketing@sbg.gov.br)

#### Ouvidoria

Tel: 21 2295-4697 (ERJ) Fax: 21 2295-0495 (ERJ)  
E-mail: [ouvidoria@sbg.gov.br](mailto:ouvidoria@sbg.gov.br)

#### Serviço de Atendimento ao Usuário (SEUS)

Tel/Fax: 21 2295-5997 (ERJ)  
E-mail: [seus@sbg.gov.br](mailto:seus@sbg.gov.br)

[WWW.SGB.GOV.BR](http://WWW.SGB.GOV.BR)