

**DISTRIBUIÇÃO GEOQUÍMICA POR EXTRAÇÃO SELETIVA NO REGOLITO  
LATERÍTICO DO DEPOSITO IGARAPÉ BAHIA, CARAJÁS.**

**Plínio Vinicius Almico de Castro**

**Trabalho de Conclusão de Curso**

**(Bacharelado em Geologia)**



UFRJ

**DISTRIBUIÇÃO GEOQUÍMICA POR EXTRAÇÃO SELETIVA NO REGOLITO LATERÍTICO DO  
DEPOSITO IGARAPÉ BAHIA, CARAJÁS.**

**Plínio Vinicius Almico de Castro**

Monografia submetida ao Curso de Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como requisito necessário para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador:  
Claudio Gerheim Porto

PLÍNIO VINICIUS, Almico de Castro

**Distribuição geoquímica por extração seletiva no regolito laterítico do depósito Igarapé Bahia, Carajás:** Plínio Vinicius Almico de Castro - - Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2011.

xx, 40 p. : il.; 30cm

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2011.

Orientador: Cláudio Gerheim Porto

1. Geologia. 2. Geologia Regional e Econômica – Trabalho de Conclusão de Curso. I. Cláudio Gerheim Porto. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Graduação em Geologia. III. Distribuição geoquímica por extração seletiva no regolito laterítico do depósito Igarapé Bahia, Carajás.

Plínio Vinicius Almico de Castro

Distribuição Geoquímica por extração seletiva no regolito laterítico do depósito Igarapé  
Bahia, Carajás

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

Orientador(es):

Cláudio Gerheim Porto

Aprovada em:

Por:

---

Orientador: Cláudio Gerheim Porto (UFRJ)

---

Francisco José da Silva (UFRRJ)

---

João Henrique Larizzatti (CPRM)

UFRJ

Rio de Janeiro

2011

## **AGRADECIMENTOS:**

Agradeço minha mãe pelo apoio, incentivo e suporte para concluir este curso, à minha namorada que esteve ao meu lado nesta reta final, aos amigos que durante os anos da faculdade estiveram ao meu lado aprendendo e discutindo assuntos geológicos, aos grandes amigos que frequentavam o diretório acadêmico Joel Valença os quais levarei lembranças por toda minha vida. Agradeço aos diversos mestres que tive no decorrer deste curso, como os geólogos Joel Valença, André Ribeiro, Fabio Paciullo, Rudolph Trouw, Claudio Porto, Renato Ramos, Leonardo Borghi, Claudio Limeira, Cicera Neysi, grandes mestres e incentivadores com os quais aprendi ensinamentos imortais sobre geologia, relações humanas e política. Agradeço principalmente a memória de meu pai que sempre me deu forças para continuar neste caminho e chegar nesse momento.

## RESUMO

### DISTRIBUIÇÃO GEOQUÍMICA POR EXTRAÇÃO SELETIVA NO REGOLITO LATERÍTICO DO DEPÓSITO IGARAPÉ BAHIA, CARAJÁS.

Plínio Vinicius Almico de Castro

Orientador: Cláudio Gerheim Porto

O depósito de Cu-Au Igarapé Bahia está situado na província mineral de Carajás, localizado na porção sudeste do craton amazônico no estado do Pará. O depósito primário de Cu-Au tem reservas estimadas de 219 Mt em 1,4% Cu e 0,8g/t Au e está localizado em uma sequência metavulcano-sedimentar do Arqueano. Este trabalho objetivou pesquisar a distribuição geoquímica de alguns metais associados à mineralização do depósito como Au, Cu, Fe, U, Zn, Pb, Mn e ETRL através de resultados geoquímicos, baseadas principalmente em amostras de testemunhos de sondagens e perfil do regolito em bancadas situadas no setor Acampamento Sul na mina Igarapé Bahia, fornecidos pelo projeto LATAM, utilizando de ensaios por extração seletiva pelo reagente hidroxilamina o qual supostamente extrai os metais associados a compostos amorfo de Fe. O regolito foi dividido basicamente em quatro horizontes sendo eles: Latossolo, crosta ferruginosa, zona ferruginosa e saprolito. A partir dos resultados obtidos observou-se que há pouquíssimo Fe amorfo no regolito (~1%) onde a maior parte ocorre no latossolo, logo este é o principal horizonte no qual os metais analisados estão associados ao Fe amorfo. Embora com valores muito baixos, o Au e o Pb são os metais que apresentam maior participação no Fe amorfo, dentre os metais analisados, e o uso da extração parcial por hidroxilamina tem sua maior aplicação na prospecção mineral para este tipo de depósito quando utilizado em amostras de solo com análise de Au.

**Palavras chaves:** Igarapé Bahia, Extração Seletiva, Regolito.

# ABSTRACT

## *GEOCHEMISTRY DISTRIBUTION BY SELECTIVE EXTRACTION IN REGOLITH OF IGARAPÉ BAHIA DEPOSIT, CARAJÁS.*

Plínio Vinicius Almico de Castro

Orientador: Cláudio Gerheim Porto

The Cu-Au Igarapé Bahia deposit is situated at Carajás mineral province, at southeast of Amazonian craton at state of Pará. The primary Cu-Au reserve deposit is estimated in about 219 Mt in 1,4% Cu and 0,8g/t Au and it is been located at an Achaean sedimentary metavulcano sequence. This work mainly researched the geochemistry distribution of some metals associated with the deposit mineralization like Au, Cu, Fe, U, Zn, Pb, Mn and LREE with geochemistry results based in samples of regolith profile situated at Acampamento Sul at Igarapé Bahia mine, provided by LATAM project. Using methods of selective extraction with hydroxylamine, which supposedly extract the metals associated with amorphous compounds of Fe. The regolith was divided basically in four horizons: Latosol, ferruginous crust, ferruginous zone and saprolite. Above the obtained results been observed that has a few concentrated of amorphous Fe in the regolith (~1%) and the most part occurs at the latosol which is the principal horizon where the analyzed metals are associated with amorphous Fe. Although with very low values, Au and Pb are metals that have greater participation in amorphous Fe, among the metals tested, and the use of partial extraction by Hydroxilamine has its greatest application in mineral exploration for this type of application when used in soil samples with Au analysis.

**Keywords:** Igarapé Bahia, Selective Extraction, Regolith

## Sumário

AGRADECIMENTOS: .....	ii
ABSTRACT .....	iv
Índice de Figuras: .....	vi
1 - INTRODUÇÃO:.....	2
1.1 - APRESENTAÇÃO:.....	2
1.2 - OBJETIVO:.....	2
1.3 – CONCEITOS UTILIZADOS EM EXTRAÇÃO SELETIVA PARA METAIS BÁSICOS:.....	2
1.3 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA:.....	5
2 - CONTEXTO GEOLÓGICO: .....	6
2.1 - GEOLOGIA REGIONAL:.....	6
2.2 - GEOLOGIA DO DEPÓSITO IGARAPÉ BAHIA:.....	10
2.3 - ESTRATIGRAFIA DO REGOLITO DO DEPÓSITO IGARAPÉ BAHIA: .....	13
3 - METODOLOGIA: .....	17
3.1 - AMOSTRAGEM:.....	17
3.2 - METODOLOGIA ANALÍTICA: .....	18
4 - RESULTADOS OBTIDOS:.....	20
4.1 COMPORTAMENTOS DOS METAIS ANALISADOS EM GERAL: .....	20
4.2 PARTICIPAÇÕES DOS METAIS NO FE AMORFO: .....	21
4.3 – INDICADORES DA MINERALIZAÇÃO – GRÁFICOS E CONTRASTES.....	33
4.1 – CONCLUSÕES:.....	39
5 - REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA: .....	40



## Índice de Figuras:

Figura 1 – Força de extração de diversos métodos químicos, extraído de Cohen <i>et al.</i> 2010. Hidroxilamina é indicada por “Weak NH OH” .....	5
Figura 2 – Mapa de localização e acessos para área de estudo. Extraído de Santos, 2006.....	6
Figura 3 – Províncias tectônicas do norte do Brasil. Extraído de Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará – CPRM, 2008.....	7
Figura 4 -Mapa geológico simplificado da região de Carajás (Tallarico <i>et al.</i> 2000). Em vermelho, a localização do depósito de Igarapé-Bahia, área do presente estudo.....	10
Figura 5 – Mapa geológico de Igarapé Bahia, modificado de Tallarico, Oliveira e Figueiredo 2000.....	13
Figura 6 - Modelo esquemático geral para o perfil regolítico de Igarapé Bahia (adaptado de Costa 1996). 1 – Latossolos, 2 – Crosta Ferruginosa, 3 – Gossan, 4 – Saprolito, 5 – Rocha Fresca. ....	15
Figura 7 - Desenho esquemático dos materiais investigados na área do acampamento sul, mostrando as relações espaciais entre os intervalos descritos. BP1 e BP2 são os perfis amostrados. Extraído de Santos, 2006.....	17
Figura 8: Modelo geológico esquemático da seção AS1100N, com a disposição das unidades do regolito. sms – saprolito de metassiltito; sbh – saprolito de brecha hidrotermalizada; smv – saprolito de rocha metavulcânica; sbas – saprolito de rocha básica; zfc – zona ferruginosa colapsada; cfl – crosta ferruginosa laterítica; Iso – latossolo. As marcas vermelhas representam as amostras selecionadas dos perfis analisados. Modificado de Bastos, 2007. ....	18
Tabela 1 – Media das porcentagens dos teores por e hidroxilamina na análise total (SLF/TOTAL) em de todas as amostras de cada horizonte do regolito em todos os furos. ....	21
Figura 9 – Gráficos dos resultados obtidos de ouro (Au) pelos métodos, água rexia (AR), hidroxilamina (SLF) e a % da razão dos dois métodos (SLF/AR) referentes aos furos BP2, BP1, BF159/165 e BF128. ....	25
Figura 10 – Gráficos dos resultados obtidos de Cobre (Cu) pelos métodos, água rexia (AR), hidroxilamina (SLF) e a % da razão dos dois métodos (SLF/AR) referentes aos furos BP2, BP1, BF159/165 e BF128. ....	26
Figura 11 – Gráficos dos resultados obtidos de Ferro (Fe) pelos métodos, fusão (4A), hidroxilamina (SLF) e a % da razão dos dois métodos (SLF/4A) referentes aos furos BP2, BP1, BF159/165 e BF128. ....	27

Figura 12 – Gráficos dos resultados obtidos de uranio (U) pelos métodos, fusão (4B), hidroxilamina (SLF) e a % da razão dos dois métodos (SLF/4B) referentes aos furos BP2, BP1, BF159/165 e BF128. ....	28
Figura 13 – Gráficos dos resultados obtidos de Chumbo (Pb) pelos métodos, água rexia (AR), hidroxilamina (SLF) e a % da razão dos dois métodos (SLF/AR) referentes aos furos BP2, BP1, BF159/165 e BF128. ....	29
Figura 14 – Gráficos dos resultados obtidos de Zinco (Zn) pelos métodos, água rexia (AR), hidroxilamina (SLF) e a % da razão dos dois métodos (SLF/AR) referentes aos furos BP2, BP1, BF159/165 e BF128. ....	30
Figura 15 – Gráficos dos resultados obtidos de Manganês (Mn) pelos métodos, fusão (4A), hidroxilamina (SLF) e a % da razão dos dois métodos (SLF/4A) referentes aos furos BP2, BP1, BF159/165 e BF128. ....	31
Figura 16 – Gráficos dos resultados obtidos de ETRL pelos métodos, fusão (4B), hidroxilamina (SLF) e a % da razão dos dois métodos (SLF/4B) referentes aos furos BP2, BP1, BF159/165 e BF128.....	32
Figura 17 – Média dos resultados analíticos para Au em cada horizonte do regolito laterítico.	33
Figura 18 - Média dos resultados analíticos para Cu em cada horizonte do regolito laterítico.	34
Figura 19 - Média dos resultados analíticos para Fe em cada horizonte do regolito laterítico..	34
Figura 20 - Média dos resultados analíticos para U em cada horizonte do regolito laterítico. ...	35
Figura 21 - Média dos resultados analíticos para Pb em cada horizonte do regolito laterítico.	35
Figura 22 - Média dos resultados analíticos para Zn em cada horizonte do regolito laterítico..	36
Figura 23 - Média dos resultados analíticos para Mn em cada horizonte do regolito laterítico.	36
Figura 24 - Média dos resultados analíticos para ETRL em cada horizonte do regolito laterítico. ....	37
Figura 25 – Contraste das tabelas 4 e 5 plotados por horizonte mostrando os melhores elementos indicadores de anomalias.....	37

## **1 - INTRODUÇÃO:**

### **1.1 - APRESENTAÇÃO:**

O presente trabalho foi realizado na área da mina de Igarapé Bahia, Província Mineral de Carajás. A mina encontra-se atualmente desativada tendo sido operada pela Vale até o ano de 1992. Os dados utilizados nesse trabalho foram gerados a partir de trabalhos de campo durante a vigência do projeto LATAM, intitulado “Caracterização de regolito para exploração mineral em terrenos lateríticos na Amazônia” (Porto, 2007) desenvolvido durante o período de 2004 à 2007. Esses dados consistem de descrições de campo e análises geoquímicas de testemunho de sondagem diamantada e amostras de canal retiradas do perfil de regolito na cava da mina. Vale ressaltar que o autor deste trabalho não participou da referida etapa de campo, utilizando-se, para a sua confecção, do tratamento dos dados descritivos e analíticos fornecidos pelo projeto.

### **1.2 - OBJETIVO:**

Investigar a distribuição geoquímica de alguns metais associados à mineralização de Au no perfil laterítico do depósito Igarapé Bahia. Esta investigação está focada em resultados geoquímicos utilizando ensaios por extração seletiva em amostras selecionadas do regolito. A extração seletiva utilizada objetivou tentativamente extração dos metais associados à compostos amorfos de Fe.

### **1.3 – CONCEITOS UTILIZADOS EM EXTRAÇÃO SELETIVA PARA METAIS BÁSICOS:**

Segundo Fletcher (1981) resultados geoquímicos por extrações seletivas têm como objetivo tentar realçar o contraste de anomalia quando o elemento anômalo está

concentrado, em relação à sua distribuição nas amostras não anômalas, em um determinado componente (ou componentes) da amostra, que pode ser seletivamente dissolvido com o reagente apropriado. Sua aplicação mais geral é a extração seletiva para anomalias hidromórficas e para distinguir metais distribuídos entre as fases de silicato e sulfeto e liberar seletivamente os elementos traços associados com partículas de solos e sedimentos.

Durante o intemperismo, minerais primários de rochas ígneas e metamórficas decompõem-se em variadas taxas e novos produtos, especialmente argilas e hidróxidos de Fe e Al se formam. A mobilidade dos elementos é controlada pela estabilidade química da espécie dissolvida. Mudanças nas soluções intempéricas, especialmente de Eh e pH; reações de troca em argilas e coloides; e fixação pela matéria orgânica estão entre os diversos processos pelos quais o metal dissolvido se reassocia às fases sólidas de solos e sedimentos. De acordo com Fletcher (1981) as principais associações que podem estar presente na maioria dos solos e sedimentos são:

- (1) Elementos traços na rede cristalina de minerais primários. Variações no conteúdo dos minerais máficos e pesados, que são enriquecidos em muitos elementos traços em relação à quartzo e feldspato, podem ser um fator importante na contribuição desses componentes para o conteúdo total de elementos traços no solo ou sedimento.
- (2) Elementos traços na rede cristalina de minerais secundários ou oclusos em componentes amorfos; por exemplo, a ocorrência de elementos traços em rede cristalina de argilominerais ou em sesquióxidos, cristalinos ou amorfos de Fe e Mn.
- (3) Elementos traços adsorvidos na superfície de argilas, sesquióxidos de Fe e Mn, matéria orgânica ou na superfície e locais de troca Inter lamelar de argilominerais. Íons mantidos em locais de troca são muito sensíveis a mudanças químicas na

solução e a extensão em que ocorre a superfície de adsorção é fortemente dependente do pH. Com o continuado envelhecimento dos compostos amorfos, o aumento da cristalinidade pode resultar no aumento da fixação de elementos traços.

(4) Elementos traços associados à matéria orgânica.

Em solos e sedimentos próximos a depósitos minerais, há uma proporção significativa de elementos traços podendo estar presentes como:

(5) Principais constituintes do minério. Isto se aplica preferencialmente à minerais resistentes como cassiterita, berilo e ouro, mas outros minerais menos estáveis persistirão onde processos erosivos físicos são mais rápidos do que a decomposição química dos mesmos. Sulfetos primários são os únicos que persistem em ambientes com baixo potencial de oxidação.

(6) Principais constituintes de minerais secundários, resultantes de alterações de minérios primários ou por precipitação de soluções ricas em metais. A natureza e distribuição de minerais secundários refletirão a química dos depósitos minerais.

Os óxidos de Fe secundários têm uma grande importância para geoquímica de exploração devido à sua forma comum de ocorrência como revestimentos em superfícies de mineral, concreções e como partículas de dimensões coloidais em solos e sedimentos de corrente, além de sua forte capacidade de se associar a importantes metais em zonas mineralizadas sob intemperismo Chao & Theobald (1976). A associação de elementos traços com óxidos de Fe precipitados em solos e sedimentos variam de formas vagamente adsorvidas à moderadamente fixados associados à óxidos amorfos e extremamente oclusos em goethita e outros óxidos. Possuem uma utilidade na exploração geoquímica, de discriminar anomalias relacionadas à mineralizações de sulfeto de metais bases.

Chao (1984) e Hall (1998) demonstraram inúmeras técnicas de extração seletiva que são supostamente capazes de extrair metais associados a diferentes compostos de óxido e hidróxido de Fe.

O método de extração seletiva utilizado neste trabalho foi o reagente hidroxilamina hidrocloreto (0,25M  $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ ) que dissolve os elementos associados à componentes amorfos de Fe. Vale ressaltar que estes métodos de extração parcial quando comparados à métodos tradicionais de análise química, como água régia e multi-ácida, são muito mais fracos, com isso a quantidade de elemento traço extraído é muito menor (Figura 1).

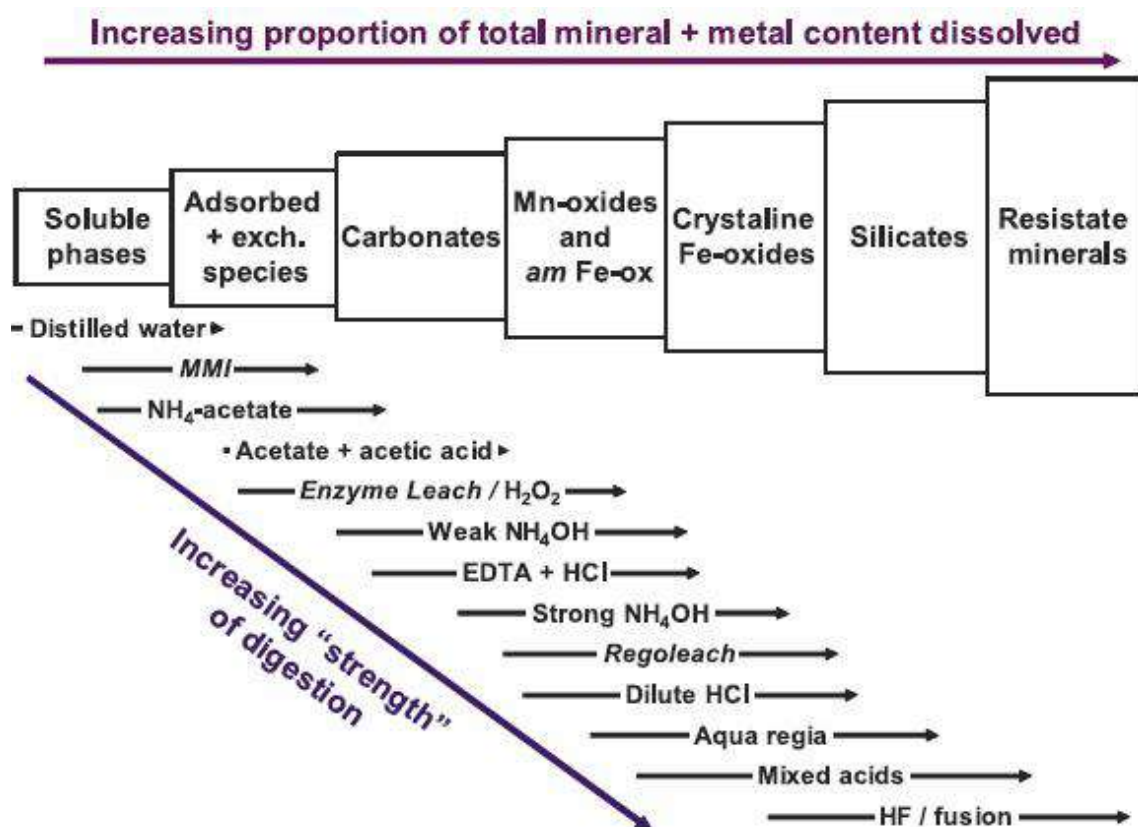


Figura 1 – Força de extração de diversos métodos químicos, extraído de Cohen *et al.* 2010. Hidroxilamina é indicada por “Weak  $\text{NH}_2\text{OH}$ ”.

### 1.3 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA:

O depósito de Cu-Au do Igarapé Bahia está localizado na Província Mineral de Carajás (Estado do Pará), norte do Brasil, e tem como principal via de acesso à rodovia PA-275,



Bacajá transamazônico a norte, domínio Irixi-Xingu a oeste e o domínio Rio Maria ao sul (figura 3).

O conhecimento da estratigrafia da região vem evoluindo com grande rapidez, por representar a província mineral mais importante do Brasil (Figura 4). A compilação mais recente vem da CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - no trabalho “Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará”, publicado em 2008.

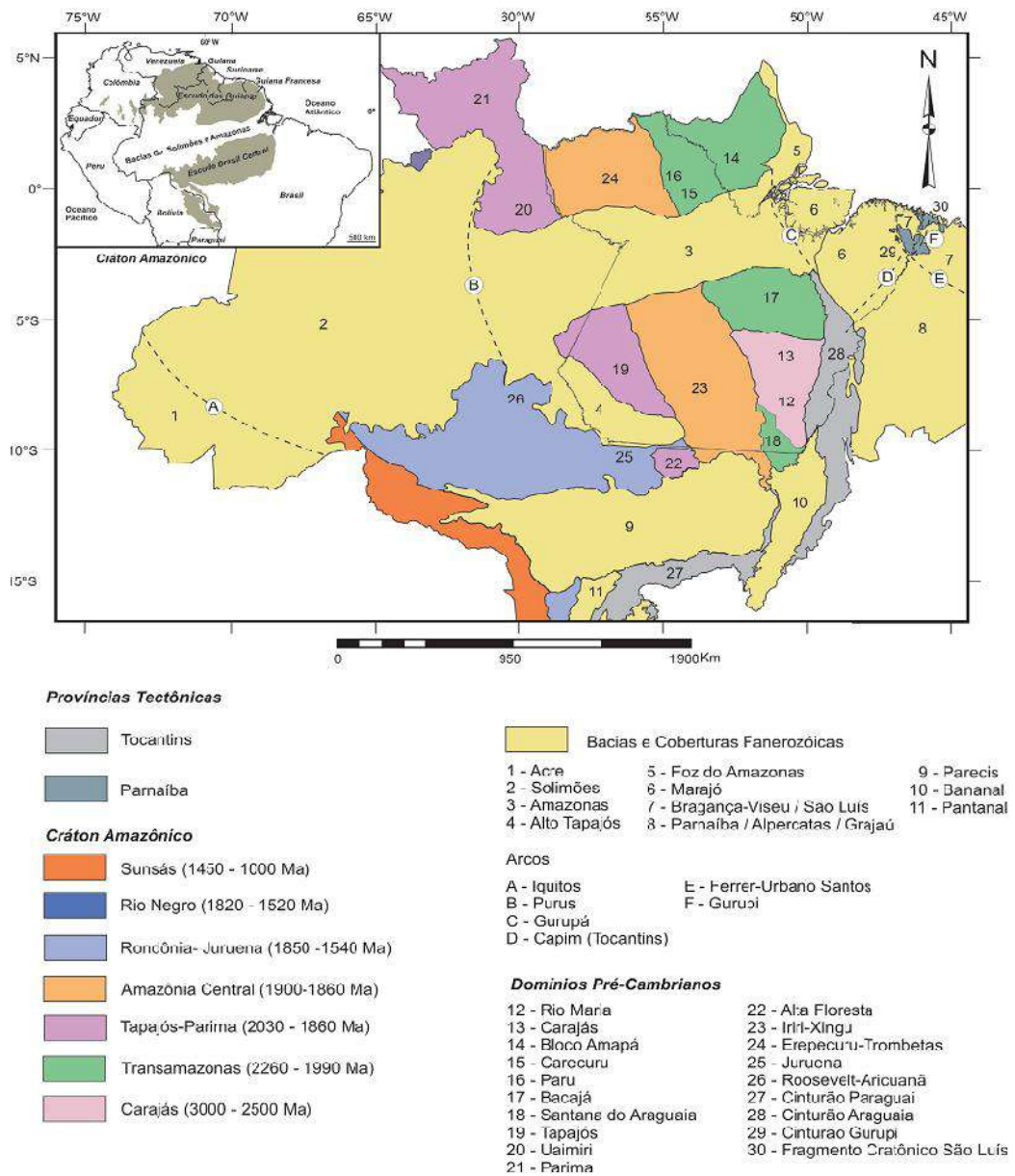


Figura 3 – Provincias tectônicas do norte do Brasil. Extraído de Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará – CPRM, 2008.



As unidades do embasamento mesoarqueano são compostas pelo complexo Pium e complexo Xingu, o primeiro composto por Charnoquitos e Endebergitos com idades (U-Pb) de  $3002 \pm 14$  Ma (Tallarico *et al.* 2004), e o segundo é composto por ortognaisses migmatíticos, (granodioritos) datados de  $2974 \pm 15$  Ma (U-Pb) (Avellar *et al.* 1999).

A idade de deformação dessas rochas coincide com o final do Mesoarqueano que é entendido como uma orogênese onde diversos terrenos do tipo arco de ilha são acrecionados, formando o primeiro registro de crosta continental estável do Brasil.

O Neoarqueano é marcado por um evento de maior estabilidade crustal e formação de sequências Vulcano-sedimentares em ambiente rift intracontinental (sequências *Greenstone*), acompanhado de complexos graníticos alcalinos, complexos máfico-ultramáfico (Luanga) e por ultimo uma bacia intracratônica plataformal (formação Aguas Claras).

A sequências vulcano-sedimentar Grupo Rio Novo aflora na região de Serra Pelada. Segundo Araújo e Maia (1991) e Oliveira *et al.* (1994) esta é composta por protólitos ultramáficos, máficos, quartzitos, *BIFs* e pelitos grafitosos, magnesíferos e ferruginosos.

O Grupo Igarapé Salobo, Localizado na serra homônima (Figura 4) marca o limite superior do domínio Carajás com o domínio Bacajá. Inclui as rochas vulcano-sedimentares predominantemente são rochas metaclásticas, metavulcânicas ácidas e intermediarias (subordinadas) de acordo com Docegeo (1988).

Na base do grupo Grão Pará ocorre a Formação Parauapebas datada de 2757 Ma (Machado *et al.* 1991) e é composta por rochas metavulcânicas bimodais com depósitos piroclásticos. No topo do grupo Grão Pará ocorre a Formação Carajás, datada de 2740 Ma

(Trendall *et al.* 1998). Metamorfismo de contato é reconhecido localmente em formações ferríferas com magnetita recristalizada de acordo com Lindenmayer *et al.* 2001.

Segundo Docegeo (1988) o grupo Igarapé Pojuca é definido como uma sequência metavulcano-sedimentar, metamorfizada em fácies xisto verde alto a anfibolito. Área tipo localizada no igarapé homônimo, afluente do igarapé Azul aonde se encontra o depósito Gameleiras (Figura 4).

O Grupo Igarapé Bahia também é uma sequência metavulcano sedimentar do neoarqueno e será detalhado no Item 2.2 deste trabalho.

Granitos de alto potássio são descritos na região e apresenta filiação alcalina-calcioalcalina, são denominados: Granito Estrela, Planalto, Serra do Rabo, Plaquê, Igarapé Gelado e Diorito Cristalino. Granito velho Salobo.

A Formação Águas Claras é uma cobertura siliciclástica, do neoarqueno, não deformada de contato discordante com os grupos Grão Pará e Igarapé Pojuca (Nogueira 1995). São identificados dois membros onde o inferior são rochas pelíticas de plataforma marinha e o membro superior rochas arenosas de ambiente litorâneo e fluvial. Diques máficos dão uma idade mínima de 2708 Ma (U-Pb em zircão, Mougeot *et al.* 1996) e zircões detríticos limitam uma idade superior de 2778 Ma (Santos 2002).

A Suíte intrusiva Serra dos Carajás são corpos graníticos representados localmente por granito Serra dos Carajás, Cigano, Pojuca e Rio Branco. Segundo Dall’Agnol *et al.* (2005) intrudem toda sequência arqueana em forma de grandes corpos de 7 a 22 km em formas elípticas, são rochas de cor rosada com granulação média a grossa, textura em geral equigranular e grande homogeneidade composicional, essencialmente monzogranítica e subordinadamente sienogranítica-alkalifeldspato granito. Apresentam idade de  $1874 \pm 2$  Ma a

1883 ± 2 Ma (Machado *et al.* 1991) conferindo idade orosiriana, como magma gerador de crosta arqueana.

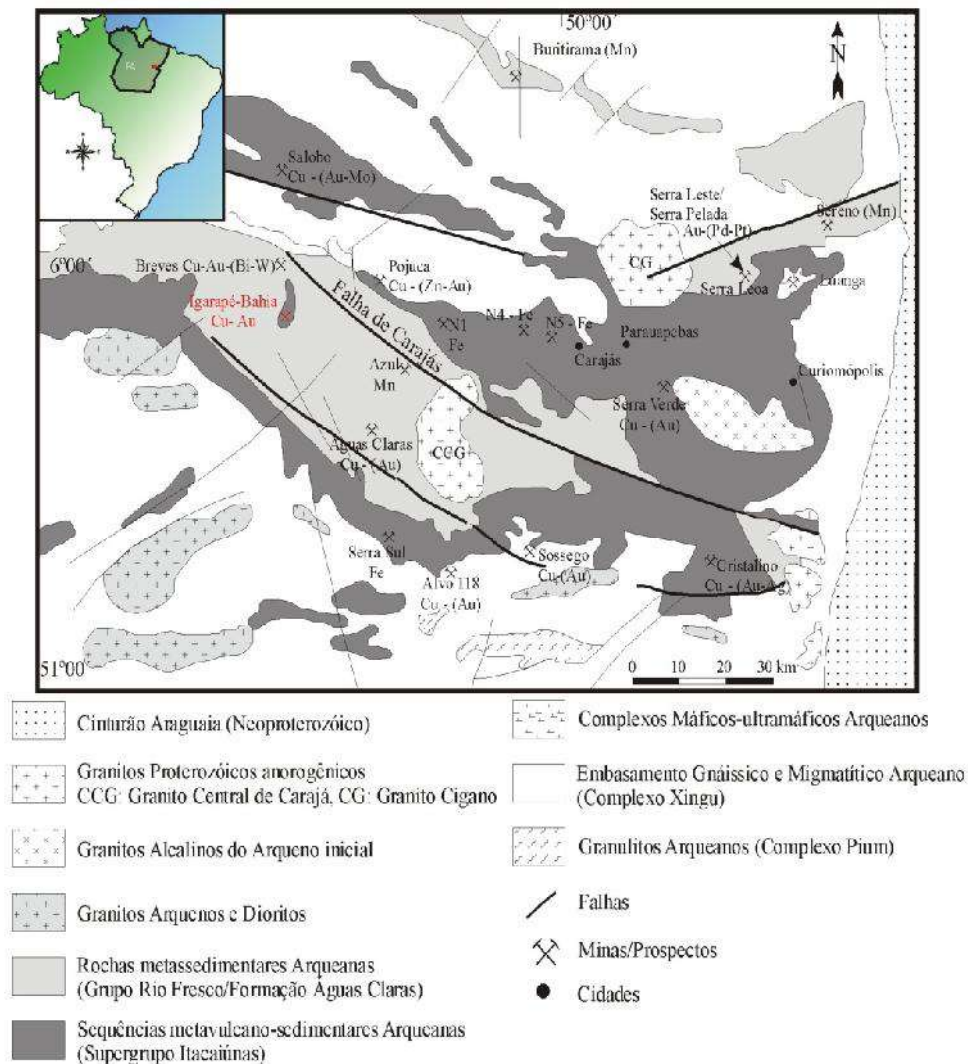


Figura 4 -Mapa geológico simplificado da região de Carajás (Tallarico *et al.* 2000). Em vermelho, a localização do depósito de Igarapé-Bahia, área do presente estudo.

## 2.2 - GEOLOGIA DO DEPÓSITO IGARAPÉ BAHIA:

De acordo com DOCEGEO (1998) o grupo Igarapé Bahia aflora em uma pequena janela estrutural dentro da formação águas clara (Figura 5). Localizado na porção centro oeste da estrutura sigmoidal do Carajás. O depósito primário de Cu-Au tem reservas estimadas de 219

Mt em 1,4% Cu e 0,8g/t Au (Tallarico *et al.* 2005) esta hospedado em uma sequencia metavulcano-sedimentar do Arqueano (~2750 Ma) metamorfizada em fácies xisto verde baixo, de direção geral NNW, subverticalizada, com mergulho médio aproximado de 70° para NE. Os corpos mineralizados nos regolitos são reconhecidos como Acampamento norte, Acampamento Sul, Furo Trinta

O grupo Igarapé Bahia é composto pela formação Grota do Vizinho que se divide em duas unidades: uma inferior onde predomina rochas metavulcânicas afaníticas, vesiculares e microporfíricas, além de tufos vulcânicos e formações ferríferas. A unidade superior é composta por rochas metavulcanoclásticas, metarenitos, metaconglomerados, metassiltitos e formações ferríferas. Na zona de contato entre a unidade superior e a inferior ocorrem brechas hidrotermais mineralizadas contendo Cu-Au, segundo Tallarico *et al.* (2005) essas brechas são classificadas com base na mineralogia da matriz como brechas cloríticas, sideríticas e magnetíticas.

Brechas magnetíticas apresentam matriz granular de magnetita euédrica cimentada por sulfetos de cobre (Calcopirita em equilíbrio com bornita) junto com menor abundancia de grunerita, actinolita, biotita, stilpnomelano, K-feldspato, turmalina, fluorita, siderita e uraninita e minerais de elementos terras raras. As brechas cloríticas e as brechas sideríticas possuem uma matriz com mineralogia semelhante, granulometria fina de Fe clorita, siderita, magnetita, calcopirita e turmalina. As brechas sideríticas possuem uma quantidade maior de siderita.

A mineralização primária de Cu-Au consiste predominantemente em brechas Fe-clorítica, siderítica e magnetítica. A associação de metais Cu-Au-U-Fe e os fluidos hipersalinos levaram vários autores (e.g., Huhn e Nascimento 1997; Tazava e Oliveira 2000; Ronzé *et al.* 2000; Laux *et al.* 2003) a incluírem o depósito Igarapé Bahia a classe de depósitos IOCG (Iron Oxide Copper Gold). Estes autores admitem que o depósito é epigenético e relacionado à

magmatismo granítico. A datação U-Pb obtida por Tallarico *et al.* (2005) do minério relacionado a monazita de  $2575 \pm 12$  Ma corrobora com a natureza epigenética da mineralização assim como é equivalente à idade dos granitos que ocorrem em Carajás.

Ferreira Filho (1985), Almada e Villas (1999), Villas e Santos (2001), Dreher (2004) escolheram o contexto geológico vulcano-sedimentar como principal critério para atribuir uma origem singenética ao depósito Igarapé Bahia. Datações Pb-Pb feitas em Calcopirita do depósito Igarapé Bahia proveram idades em torno de 2750 Ma (de  $2754 \pm 36$  à  $2777 \pm 22$  Ma, Galarza 2002; Galarza *et al.* 2006). Porém datações Pb-Pb não são consideradas boas o bastante logo a contemporaneidade entre a mineralização e a sequencia vulcano-sedimentar continua sem provas concretas. Estudos recentes de inclusão fluida (Dreher *et al.* 2008) e a datação Pb-Pb apresentam dados que demonstram que a idade da mineralização pode ter sido mais velhas que 2575 Ma obtida por Tallarico *et al.* (2005) e que possivelmente há mais de um evento de mineralização e que não há uma ligação significativa com o magmatismo granítico e sim com fluidos evaporíticos.

Segundo Tallarico *et al.* (2000) as brechas mineralizadas contém concentrações anômalas de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (25-64 %), Cu (0.5-11 wt%), U (28-380 ppm), Au (0.5-15 ppm), Ag (4-52 ppm), Ba (26-200 ppm), F (390-3100 ppm), P (900-6200 ppm) e ETR, particularmente La (260-2300 ppm) e Ce (450-4400 ppm), MnO (0.5-3 wt%), CaO (0.5-9 wt%), Mo (50-200 ppm) e Zn (150-450 ppm). Segundo o mesmo autor, o comportamento intercorrelacionado de todos esses elementos sugere uma origem metassomática comum e refletem no efeito do metassomatismo do Fe, sulfetação, cloritização e alteração carbonática. Traços de barita, fluorita, galena, esfalerita, molibdenita, uraninita, apatita, monazita, entre outros como inclusões na calcopirita e minerais de ganga explicam o enriquecimento em Ba, F, Pb, Zn, Mo, U, ETR e P.

O estudo da distribuição geoquímica de alguns metais associados à mineralização de Au no regolito laterítico do depósito Igarapé Bahia baseou-se principalmente em testemunhos de sondagem da seção AS-1100N (Figura 5), por contemplar satisfatoriamente as diversas litologias encontradas no setor Acampamento Sul.

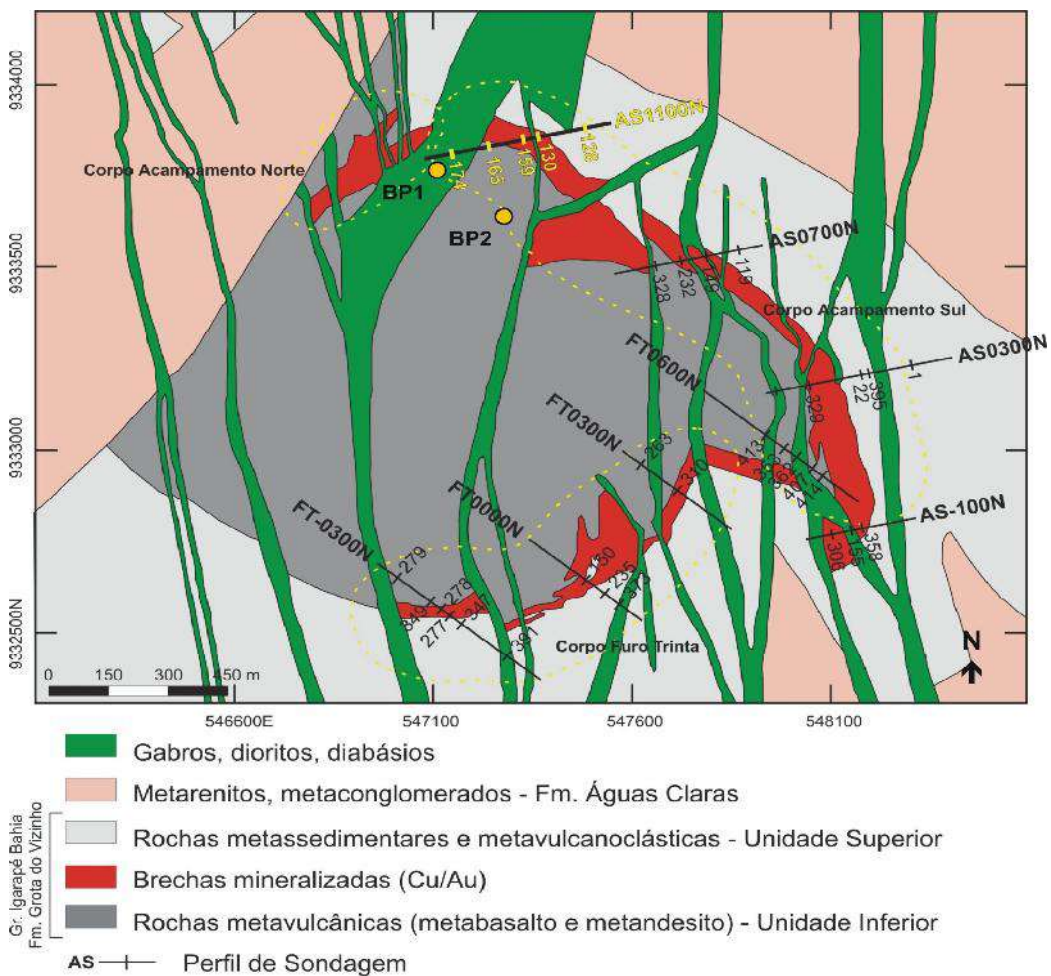


Figura 5 – Mapa geológico de Igarapé Bahia, modificado de Tallarico, Oliveira e Figueiredo 2000.

### 2.3 - ESTRATIGRAFIA DO REGOLITO DO DEPÓSITO IGARAPÉ BAHIA:

Processos intempéricos, atuantes durante o Paleógeno e Neógeno, foram responsáveis pelo desenvolvimento de um espesso manto laterítico enriquecido em ouro, e lixiviado em Cu. A parte saprolítica do perfil contém gossan contendo ouro até uma profundidade de 150 m. O gossan é formado predominantemente de minerais de goethita, hematita, gibbsita e kaolinite e de traços de minerais de cobre secundário e fosfatos ricos em ETR (Tallarico *et al.*, 2005). De 150 a 200m de profundidade ocorre uma zona de transição onde o cobre dissolvido foi reprecipitado, este minério de Cu-Au é composto de goethita e hematita junto com abundantes minerais secundários de cobre, incluindo cobre nativo, chalcocita, digenita, malaquita, azurita e pseudomalaquita.

Costa (1996) classifica o perfil regolítico de Igarapé Bahia como sendo do tipo maduro, e o descreve do topo para a base, da seguinte forma (Figura 6): (1) latossolos: vermelhos ou amarelados, compostos por Al-goethita, hematita, caolinita, quartzo e gibbsita; (2) stone lines: fragmentos de crosta ferruginosa; (3) crosta ferruginosa laterítica: podendo conter fragmentos de gossan quando sobre a zona de brechas hidrotermais; (4) gossan: maciço ou cavernoso, composto por hematita e goethita; (5) zona de transição: rochas encaixantes alteradas com veios de sulfetos transformados em carbonatos de cobre e fosfatos, goethita e alguns sulfetos secundários; (6) rochas encaixantes e zona de sulfetos primários: com pirita maciça ou disseminada, calcopirita, pirrotita e ouro, associado ou não a veios de quartzo e turmalina.

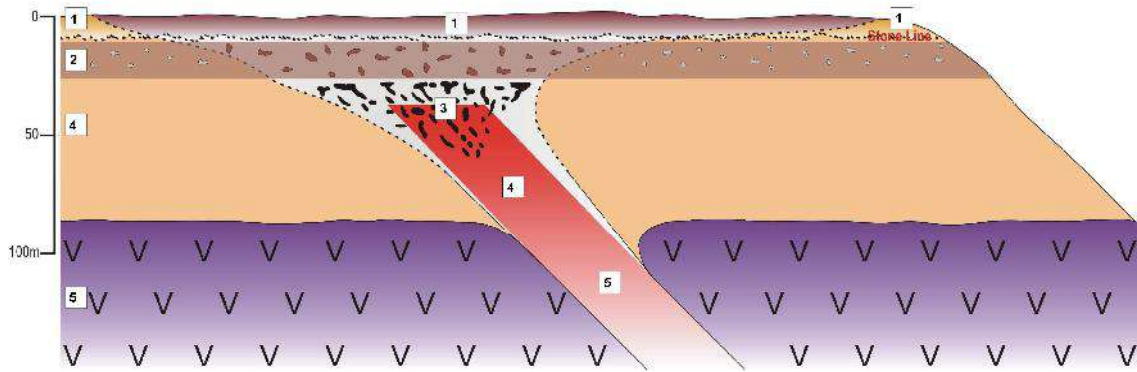


Figura 6 - Modelo esquemático geral para o perfil regolítico de Igarapé Bahia (adaptado de Costa 1996).  
 1 – Latossolos, 2 – Crosta Ferruginosa, 3 – Gossan, 4 – Saprolito, 5 – Rocha Fresca.

O presente trabalho desenvolveu-se tendo como base a estratigrafia do regolito apresentada por Santos (2006) que individualiza 10 níveis de intemperismo (Figuras 7), os quais serão descritos a seguir:

**Saprolito (SAP):** material síltico-argiloso, de várias cores, às vezes mosqueado e bioturbado, com foliações e planos de clivagens preservados. Apresenta-se mais caulínico sobre o gabro, mais mosqueado sobre os metassiltitos e mais ferruginoso sobre as rochas metavulcânicas.

**Zona ferruginosa pulverulenta (ZFP):** material ferruginoso pulverulento, não muito compacto, composto de clastos e pisólitos ferruginosos e lito-relictos de formação ferrífera. Ocorre na base do paleocanal no Acampamento Sul, gradando lateralmente para a zona ferruginosa colapsada.

**Zona ferruginosa colapsada (ZFC):** material vermelho/roxo, composto por uma mistura de fragmentos e concreções ferruginosas, angulosos e de vários tamanhos, incluindo blocos de saprolito ferruginoso laterizado, e com matriz síltico-argilosa. Apresenta um contato gradacional com a crosta roxa e um contato ora gradacional ora irregular com a zona ferruginosa pulverulenta.



**Zona ferruginosa brechada (ZFB):** material composto por blocos de rocha, principalmente de formação ferrífera, bastante angulosos, tamanho médio de 3 cm, e uma matriz argilosa, endurecida e arroxeadada. Apresenta contato nítido e irregular (erosivo?) com o saprolito. Ocorre na base do canal do Corpo do Furo 30 gradando verticalmente para a zona ferruginosa colapsada.

**Nível silicoso (SIL):** Zona silicosa com blocos subhorizontais, bastantes fraturados, com impregnação ferruginosa sacaroidal, ocorrendo geralmente no contato do saprolito com a zona ferruginosa colapsada. Este material é encontrado somente nas bases dos canais das duas localidades estudadas.

**Crosta roxa (CRR):** Crosta pisolítica muito ferruginosa, roxa, com matriz argilosa, e nódulos mais irregulares em relação a crosta amarela, podendo conter faixas ou bolsões da crosta amarela. Apresenta também tubos verticais litificados, escassos, mas indicando ação de raízes neste nível.

**Crosta amarela (CRA):** Crosta pisolítica com nódulos amarelos a arroxeados e de superfícies lisas. Ocorre em bolsões e faixas verticalizadas penetrando na crosta roxa e na zona ferruginosa colapsada. Por sua distribuição vertical, estes bolsões podem ser associados a penetração de raízes naquele nível estratigráfico.

**Crosta ocre (CRO):** Crosta desagregada de coloração ocre, com nódulos irregulares amarelados. Contém pisólitos de 0,5cm e uma escassa matriz argilosa, de coloração amarelada. Aparece em contato com latossolo, gradando lateralmente para crosta maciça e/ou crosta roxa.

**Crosta maciça (CRM):** Material extremamente endurecido, maciço, com estrutura pisolítica e coloração vermelho-roxa. Contém tubos de goethita verticalizados, de coloração cinza amarelado, com fraturas verticais e horizontais. Ocorrem em contato abrupto com o

latossolo. Os tubos de goethita verticalizados podem estar relacionados a penetração de raízes antes do endurecimento do material.

**Latossolo (LSO):** Material castanho-alaranjado, areno-argiloso, com pisólitos arroxeados e bem arredondados dispersos e mais concentrados na base. Apresenta pedoturbação. Dispõe-se sobre a crosta maciça e sobre a crosta ocre em contato subhorizontal, nítido e irregular.

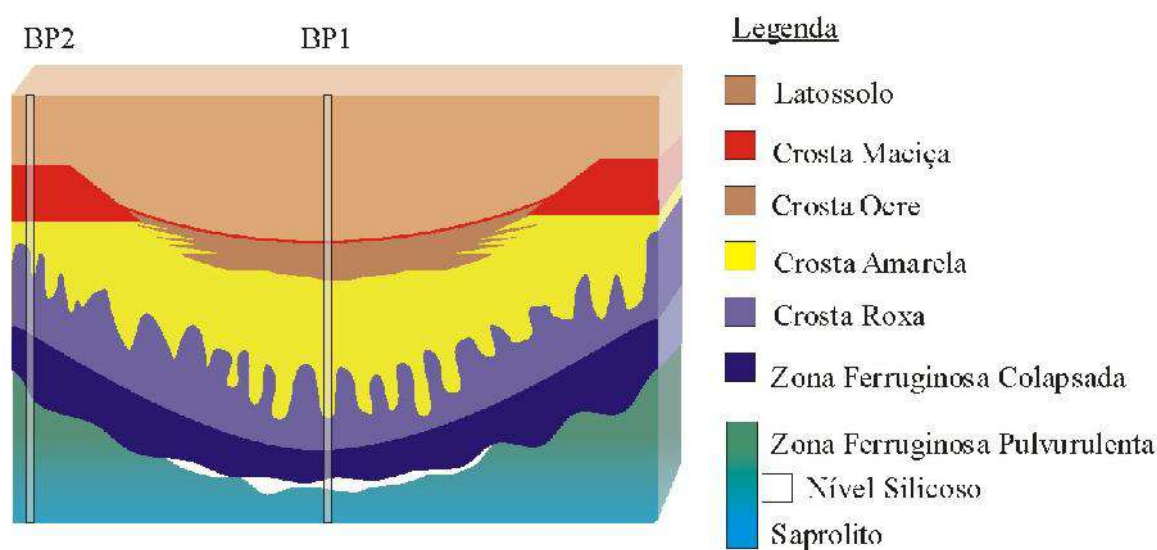


Figura 7 - Desenho esquemático dos materiais investigados na área do acampamento sul, mostrando as relações espaciais entre os intervalos descritos. BP1 e BP2 são os perfis amostrados. Extraído de Santos, 2006.

### 3 - METODOLOGIA:

#### 3.1 - AMOSTRAGEM:

As amostras são compostas por dois grupos distintos: amostras de canal (BPs), coletadas nas bancadas da cava da mina, foram utilizadas algumas amostras dos perfis BP1 e BP2 (Figura 5); e amostras de Furos de sondagens (BFs), grupo constituído por amostras coletadas a partir dos testemunhos de Furos de sondagens efetuados e fornecidas pela CVRD. As amostras utilizadas neste trabalho foram retiradas dos BF128, BF159, BF165 (Figura 5), sendo que estes pertencem a uma

mesma seção de sondagens, a AS1100N(Figura 5 e 8), de tal forma que estes se dispõem lado a lado. Apesar de um número extenso de amostras terem sido coletadas, inclusive com metodologias e finalidades diferentes, neste item apenas serão descritos aqueles grupos que efetivamente foram processados, analisados e utilizados neste trabalho.

O Furo BF128 encontra-se em zona de fraca mineralização, sobre os metassiltitos da Unidade Superior da Fm. Grotta do Vizinho, à leste do corpo de minério Acampamento Sul, e foi utilizadas amostras apenas do latossolo, da crosta ferruginosa laterítica e da zona ferruginosa colapsada. O Furo BF159 está em zona mineralizada, principalmente sobre a área de ocorrência das brechas hidrotermais (porém, o Furo 159 atinge uma pequena porção da rocha metavulcânica); o Furo 165 posiciona-se em zona mineralizada, foi analisado somente amostras da porção referente ao latossolo logo os dados foram unidos ao topo do furo 159 que inicia a partir de crosta ferruginosa laterítica.

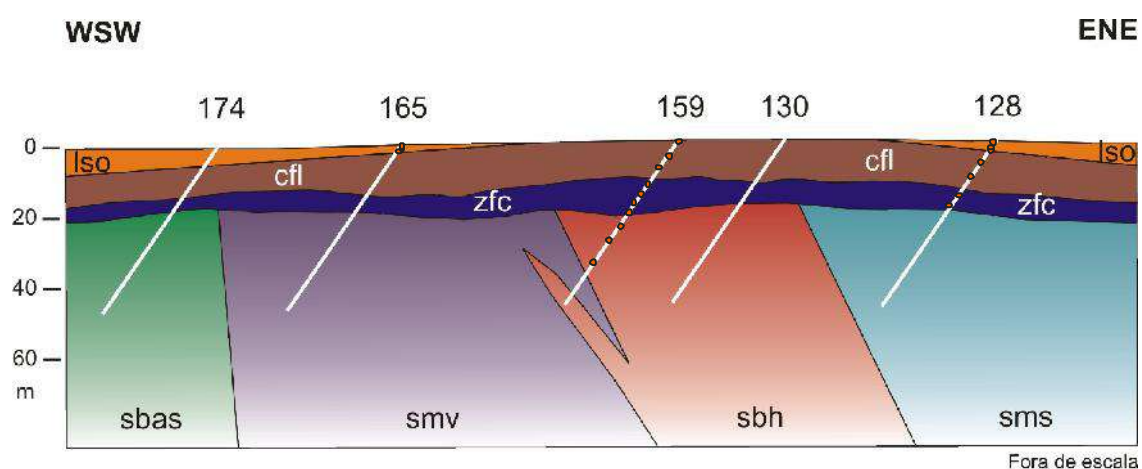


Figura 8: Modelo geológico esquemático da seção AS1100N, com a disposição das unidades do regolito. sms – saprolito de metassiltito; sbh – saprolito de brecha hidrotermalizada; smv – saprolito de rocha metavulcânica; sbas – saprolito de rocha básica; zfc – zona ferruginosa colapsada; cfl – crosta ferruginosa laterítica; Iso – latossolo. As marcas vermelhas representam as amostras selecionadas dos perfis analisados. Modificado de Bastos, 2007.

### 3.2 - METODOLOGIA ANALÍTICA:

As amostras selecionadas foram submetidas a quatro tipos de análises diferentes, executadas pela empresa ACME Analytical Laboratories, no Canadá. São estas:

**Grupo 4A:** Os óxidos maiores e os elementos traço são analisados por ICP a partir de 0,2 g de amostra fundida com  $\text{LiBO}_2$  e digestão por ácido nítrico diluído. A perda ao fogo (LOI) é dada pela diferença de massa após ignição à  $1000^\circ\text{C}$ . Os elementos analisados foram:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , Ni e Sc.

**Grupo 4B:** A partir de 0,2g de amostra fundida com  $\text{LiBO}_2/\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$  e analisadas por ICP-MS. Os elementos analisados foram: Ba, Be, Co, Cs, Ga, Hf, Nb, Rb, Sn, Sr, Ta, Th, U, V, W, Zr, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, e Lu

**Grupo 1DX:** Uma quantidade de 0,5 g de amostra é aberta em Água Régia à quente ( $95^\circ\text{C}$ ), e então analisada por ICP-MS. Os elementos analisados foram: Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, As, Cd, Sb, Bi, Ag, Au, Hg, Tl e Se.

**Grupo SLF:** A partir de 1g de amostra reage com 10ml 0,25M de hidroxilamina hidrocloreto ( $\text{NH}_2\text{OH.HCl}$ ) à  $90^\circ\text{C}$  por 2h e analisadas por ICP-MS. Os elementos analisados foram: Ag, Al, As, Ba, Bi, Ca, Co, Cu, Fe, K, La, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Sb, Sr, Th, Ti, U, V, W, Zn, Se, Te, Au, Hg, Be, Cd, Ce, Cs, Dy, Er, Eu, Ga, Gd, Ge, Hf, Ho, In, Li, Lu, Nb, Nd, Pr, Rb, Re, Sc, Sm, Sn, Ta, Tb, Tl, Tm, Y, Yb e Zr.

Neste relatório foram utilizados apenas os resultados para Au, Cu, Fe, Mn, U, Pb, Zn e ETRL, pois são tidos como relacionados a mineralização segundo as descrições de Tallarico *et al.* (2000), outros elementos descritos como relacionados a mineralização não foram utilizados pelo fato dos resultados por hidroxilamina serem muito próximo do limite de detecção. Para mais detalhes sobre procedimentos de preparação de amostras vide Bastos, 2007.

## **4 - RESULTADOS OBTIDOS:**

### **4.1 COMPORTAMENTOS DOS METAIS ANALISADOS EM GERAL:**

Segundo Wedepohl (1979) o ouro em geral é imóvel sob quase todas as condições no regolito, o transporte físico de partículas de ouro pode resultar na sua concentração em armadilhas sedimentares. Não obstante o ouro é detectado em posições no regolito que sugerem sua migração em solução particularmente associado com óxidos de Fe e hidróxidos ou com calcrete pedogenico.

O cobre em ambiente primário apresenta uma afinidade maior com enxofre do que com silicatos, com isso com a presença de S formam-se sulfetos de Cu, principalmente calcopirita. Em ambiente secundário apresenta uma mobilidade intermediária controlada pela presença de óxidos de Fe e Mn os quais adsorvem o Cu em ambientes ácidos (Wedepohl, 1979).

O ferro no regolito pode ser mobilizado por várias formas, por hidrólise, seqüestrado por compostos quelantes ou fixados como óxidos, hidróxidos, carbonatos, sulfetos, fosfatos ou silicatos, porém são os óxidos e hidróxidos de Fe que dominam o ambiente regolítico, a precipitação de ferridrita que é um mineral altamente reativo por causa da sua grande área de superfície e sua capacidade de adsorver um amplo espectro de elementos traços faz com o Fe se torne um importante hospedeiro de muitos elementos no regolito. A Ferridrita lentamente se converte para goethita ou hematita e muito dos ions adsorvidos continuam trapeados na estrutura cristalina do mineral (Wedepohl, 1979).

O uranio possui uma alta mobilidade em processos intempéricos sob condições oxidantes e pH baixo. O chumbo apresenta uma mobilidade relativamente baixa, restrita pela tendência de adsorção de óxidos Fe e Mn e matéria orgânica insolúvel. O zinco apresenta uma mobilidade moderadamente alta, pode ser adsorvido por óxidos e hidróxidos de Fe e Mn e por matéria orgânica insolúvel. O manganês possui mobilidade intermediaria a baixa, em ambientes onde o potencial de oxidação é alto o Mn se precipita em forma de óxidos e hidróxidos. A maioria dos minerais de Mn no

regolito são pobremente cristalizados com grandes áreas de superfície e adsorvem outros íons (Wedepohl, 1979).

#### 4.2 PARTICIPAÇÕES DOS METAIS NO FE AMORFO:

Inicialmente procurou-se avaliar o grau de associação de cada metal com as fases de Fe amorfo. Para tanto se calculou o percentual dos teores obtidos por Hidroxilamina no teor total da amostra, dado pelos teores obtidos por AR. Isto foi feito para cada amostra dosada e assim obteve-se uma média de todas as amostras de cada horizonte do regolito. Estes resultados estão consolidados na Tabela 1. Nota-se que a maioria dos metais analisados tem baixa participação no Fe amorfo (poucos %). No entanto, há um destaque para o Au no latossolo com 28% acompanhado do Pb que são os principais metais no latossolo associados a Fe amorfo sendo que o Cu, U e Fe também apresentam uma porcentagem que sobressai em relação aos horizontes inferiores. Em geral o Pb parece ser o metal que mais se associa ao Fe amorfo no regolito e o latossolo é o horizonte com maior porcentagem de metal no Fe amorfo.

	Au %	Cu %	Fe %	Mn %	Pb %	U %	Zn %	ETRL %	Total
LSO	28,35	3,18	1,08	1,19	8,71	4,03	3,68	0,90	6,39
Crosta	4,68	1,58	0,39	0,90	5,39	2,33	4,31	0,72	2,53
ZF	2,11	0,94	0,45	1,37	5,43	2,66	3,15	1,51	2,20
SAP	1,55	2,42	0,70	4,28	11,59	2,93	3,41	2,25	3,64
Total	9,17	2,03	0,65	1,93	7,78	2,98	3,63	1,34	3,69

Tabela 1 – Média das porcentagens dos teores por e hidroxilamina na análise total (SLF/TOTAL) em de todas as amostras de cada horizonte do regolito em todos os furos.

O Au é extremamente baixo o teor no latossolo e na crosta, na zona mineralizada e nos halos de dispersão o que aponta transporte do ouro na zona laterítica. Sobre a zona mineralizada os teores de Au na zona ferruginosa refletem os altos teores do saprólito porém na crosta há uma sensível queda dos teores culminando no teor bem baixo no latossolo. Este panorama se altera bastante quando é examinado os resultados obtidos por hidroxilamina onde os latossolos passam a

conter teores bem mais altos comparados com os horizontes inferiores. Os gráficos de % de Au no Fe Amorfo sobre Au total (Figura 9) demonstra que apesar do teor de Au total há um enriquecimento maior no horizonte do latossolo tanto nos halos de dispersão quanto sobre a zona mineralizada, indicando um intenso processo de remobilização química do Au o qual se reprecipitou associado aos óxidos de Fe amorfos e esse processo parece ter sido gradativamente mais intenso para cima nos latossolos.

O Cu apresenta alto teor no saprólito na zona mineralizada, mas é muito lixiviado nos horizontes acima e há uma abrupta diminuição de teor no latossolo. Os Gráficos de % de Cu no Fe amorfo sobre o Cu total (Figura 10) apresentam nos halos de dispersão o Cu associado a Fe amorfo se concentra no latossolo e sobre a mineralização este se concentra no saprólito.

O Fe apresenta baixos teores quando analisado por hidroxilamina em comparação com os resultados obtidos por extração total, o que indica que há pouco Fe amorfo no regolito. O Fe quando analisado por extração total mostra um maior teor na crosta e na zona ferruginosa o que indica sua presença na zona laterítica do regolito, mas isto muda quando analisado por hidroxilamina o Fe apresenta um maior teor no latossolo nos halos de dispersão e na zona mineralizada o teor aumenta no saprólito. Nos gráficos de % de Fe no Fe amorfo sobre o Fe total (Figura 11) tem um padrão semelhante ao Au, o qual se concentra no latossolo tanto nos halos de dispersão quanto sobre a zona mineralizada, porém os valores relativos de Fe associado a compostos amorfos, demonstra que há pouco Fe amorfo nos perfis analisados, ou seja o Fe está bem cristalizado.

O U quando analisado por extração total demonstra os maiores teores na crosta nos halos de dispersão e no saprólito na zona mineralizada e quando analisado por hidroxilamina este tende a apresentar os maiores teores no latossolo nos halos de dispersão e sobre a zona mineralizada apresenta o mesmo padrão do resultado obtido por extração total, maior teor no saprólito. Nos

gráficos de % de U em Fe amorfo sobre U total (Figura 12), demonstra uma concentração relativamente alta no perfil mais distante da mineralização (BP2), na zona ferruginosa, já nos halos de dispersão mais próximos da mineralização (BP1 e BF128) apresenta uma concentração relativa maior no latossolo, e sobre a mineralização (BF159/165) o U tende a se concentrar no saprolito.

O Pb quando analisado por água réxia apresenta altos teores na crosta nos halos de dispersão e no saprolito sobre a mineralização a acima deste horizonte este é bem lixiviado. Já nos resultados obtidos por hidroxilamina os maiores teores de Pb variam de furo para furo podendo ocorrer no latossolo, crosta e no saprolito. Nos gráficos de % de Pb no Fe amorfo sobre o Pb total (Figura 13), há uma concentração maior no horizonte do saprolito e seguido na crosta no perfil BP2, no halo de dispersão BP1 há uma alta concentração de Pb ao longo do perfil sendo maior no horizonte do saprolito seguido pelo horizonte do latossolo, no perfil BF128 o Pb associado a Fe amorfo tende a se concentrar no latossolo assim como sobre a área mineralizada no perfil BF159/165.

O Zn nos halos de dispersão apresentam teores mais altos no latossolo e sobre a zona mineralizada o teor é mais alto no saprolito quando analisado por água réxia. Os resultados obtidos por hidroxilamina apresenta alto teor na crosta no halo BP1 já no halo BP2 há um teor maior no latossolo e sobre a zona mineralizada BF159/165 há um teor mais alto no saprolito. Os gráficos de % de Zn no Fe amorfo sobre o Zn total (Figura 14) demonstram que no perfil BP2 há uma maior quantidade de Zn no latossolo, já nos perfis situados nos halos de dispersão BP1 e BF128, o Zn apresenta uma concentração relativa na crosta ferruginosa. No perfil BF159/165 o horizonte saprolítico apresenta uma alta concentração relativa seguida pela crosta laterítica.

O Mn quando analisado por extração total os teores mais altos estão na crosta nos halos de dispersão e sobre a zona mineralizada ocorre um alto teor no saprolito com uma diminuição nos horizontes acima indicando uma forte lixiviação. Os perfis BP1 e BP2 apresentam valores relativos,



de % de Mn associados a compostos amorfos de Fe sobre o Mn total, maiores no latossolo e na zona ferruginosa laterítica, já no perfil BF128 demonstra uma tendência do Mn se concentrar na zona ferruginosa e na crosta laterítica e no perfil BF159/165 há uma quantidade maior de Mn no saprólito (Figura 15).

Os ETRL quando analisados pelo método de extração total apresentam no halo de dispersão BP1 um alto teor no latossolo, no BP2 e BF128 apresentam um teor maior na crosta ferruginosa enquanto que na zona mineralizada o há um alto teor no saprólito e uma diminuição nos horizontes acima o que indica uma alta lixiviação nesses horizontes. De acordo com os resultados obtidos por hidroxilamina o halo de dispersão BP2 apresenta alto teor de ETRL no latossolo enquanto que no BP2 há um teor mais alto no latossolo e na zona ferruginosa, no BF128 os teores mais altos estão na crosta ferruginosa e na zona mineralizada é igual à análise de extração total. Os gráficos de % de ETRL associados a compostos amorfos de Fe sobre os ETRL total (Figura 16) dos perfis BP2 e BF159/165 demonstram uma maior concentração destes na zona ferruginosa laterítica, no perfil BP1 os ETRL se concentram no saprólito e no BF128 se concentram na crosta laterítica.

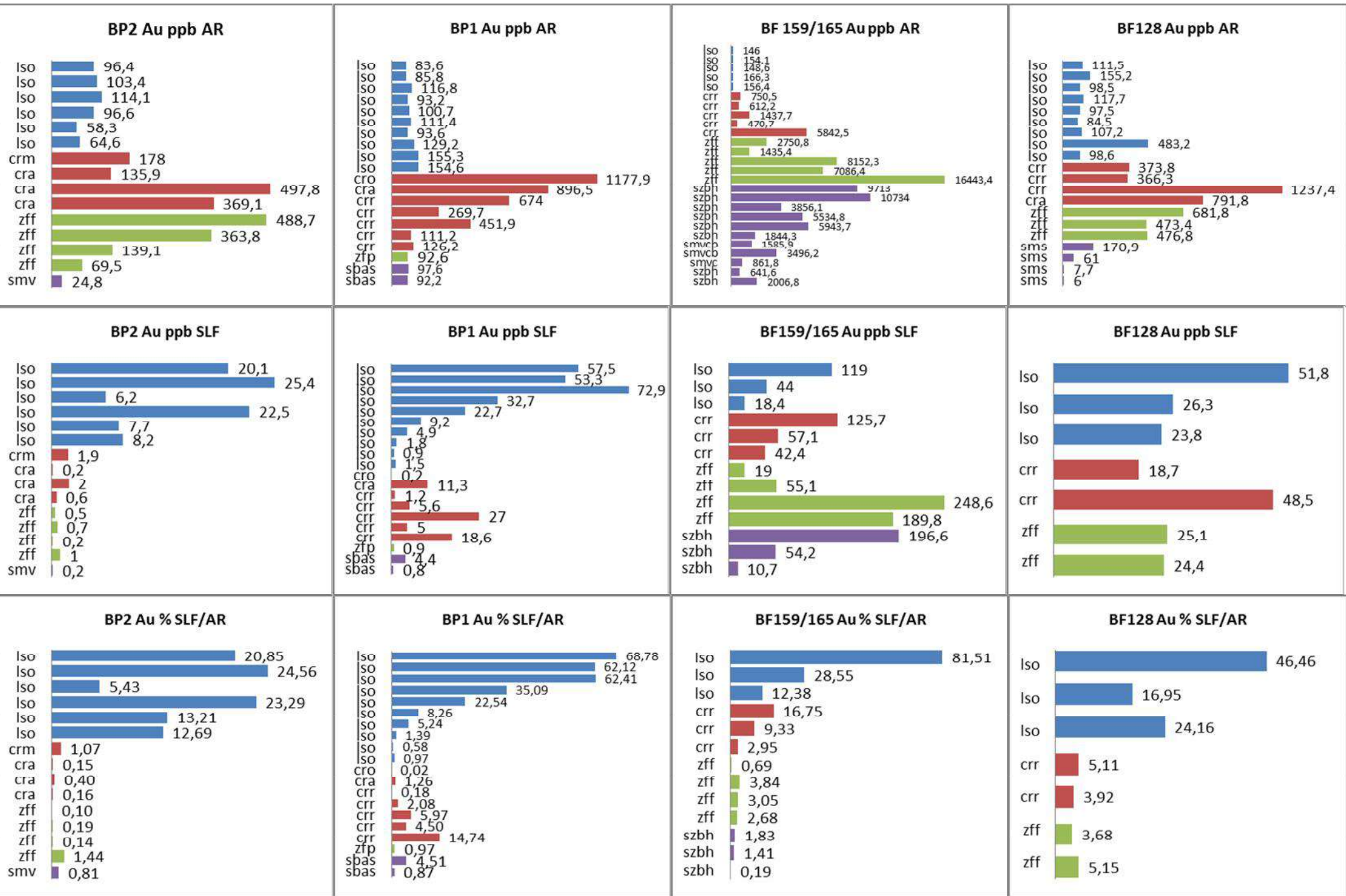


Figura 9 – Gráficos dos resultados obtidos de ouro (Au) pelos métodos, água rexia (AR), hidroxilamina (SLF) e a % da razão dos dois métodos (SLF/AR) referentes aos furos BP2, BP1, BF159/165 e BF128.

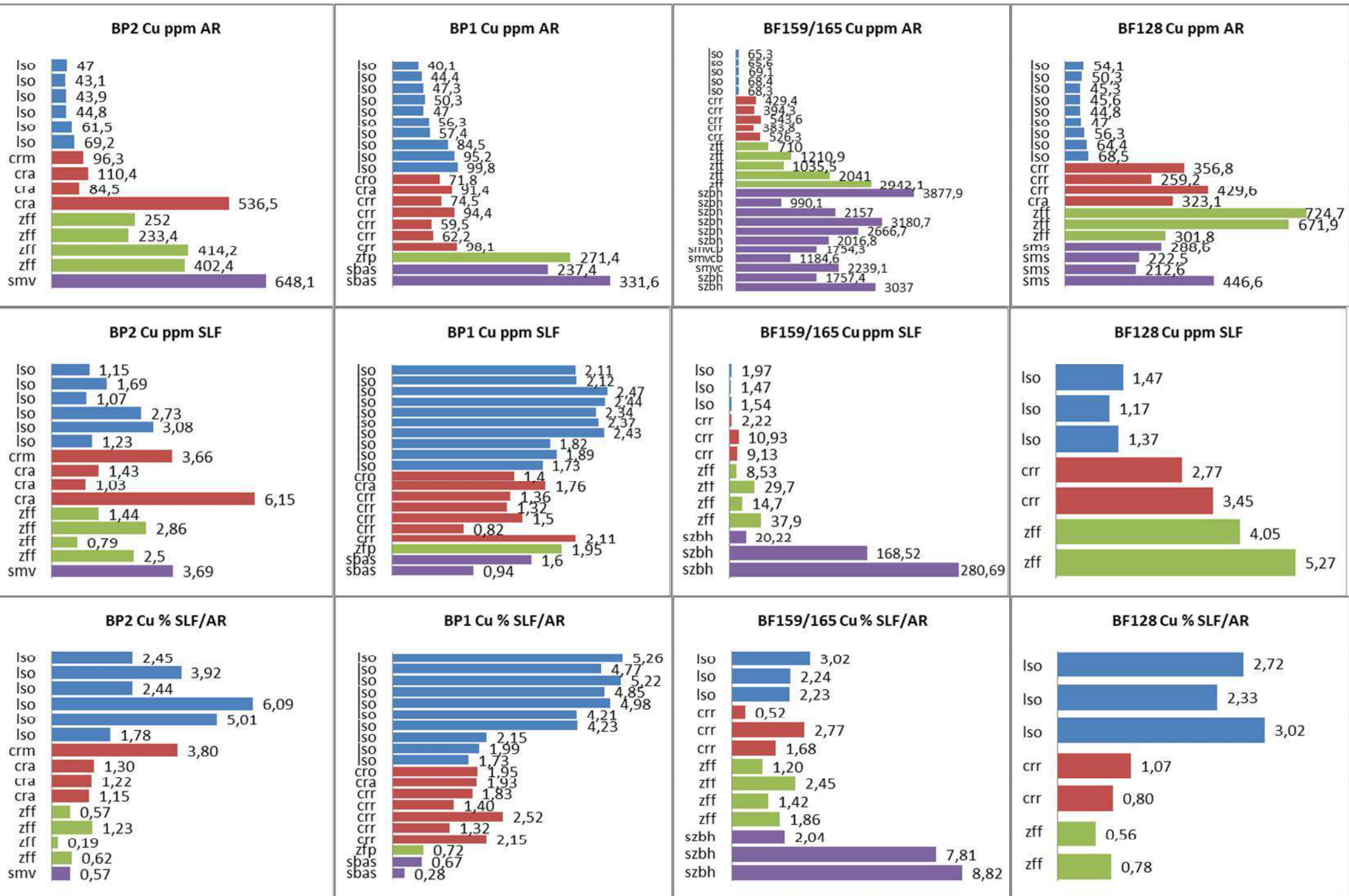


Figura 10 – Gráficos dos resultados obtidos de Cobre (Cu) pelos métodos, água rexia (AR), hidroxilamina (SLF) e a % da razão dos dois métodos (SLF/AR) referentes aos furos BP2, BP1, BF159/165 e BF128.



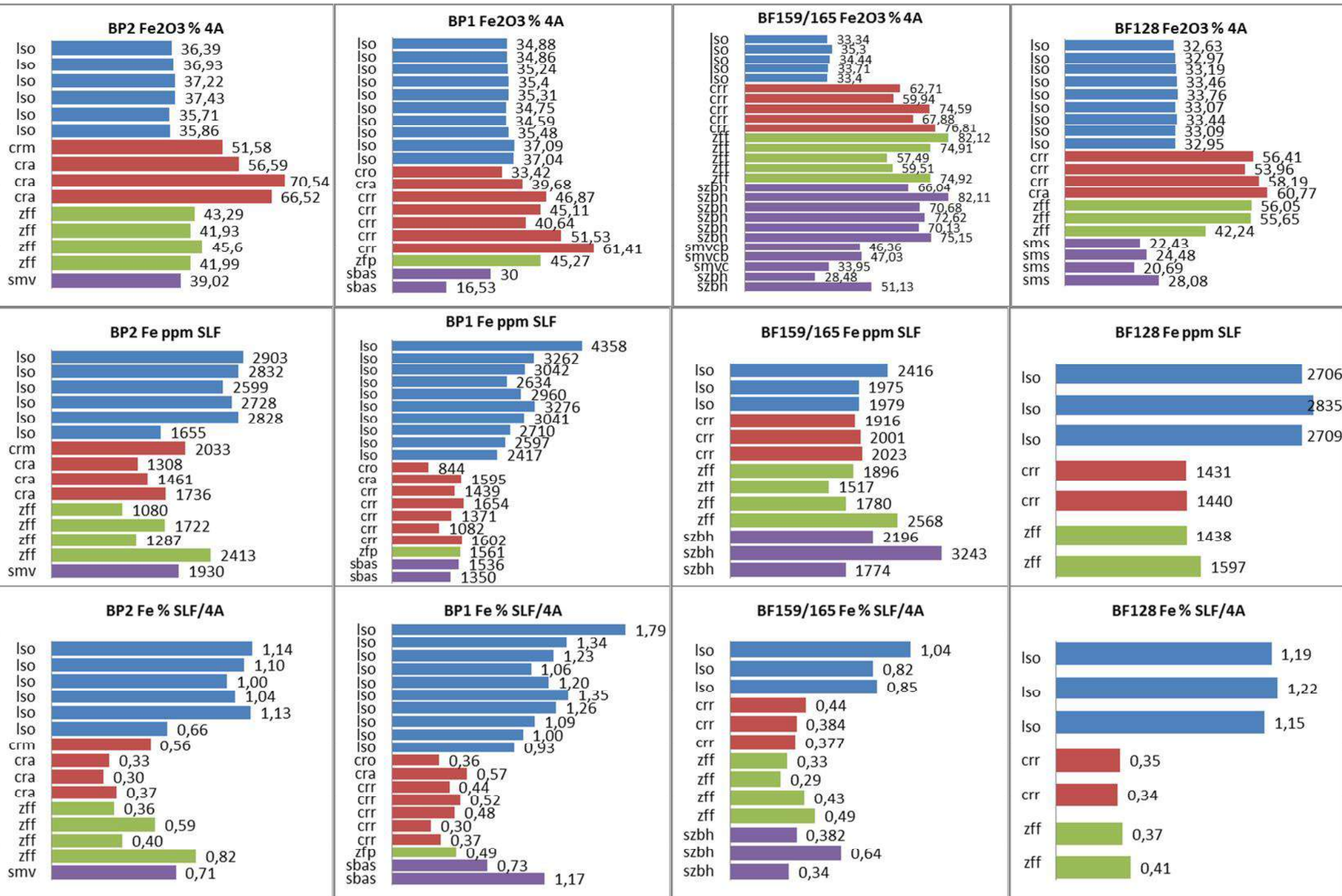


Figura 11 – Gráficos dos resultados obtidos de Ferro (Fe) pelos métodos, fusão (4A), hidroxilamina (SLF) e a % da razão dos dois métodos (SLF/4A) referentes aos furos BP2, BP1, BF159/165 e BF128.

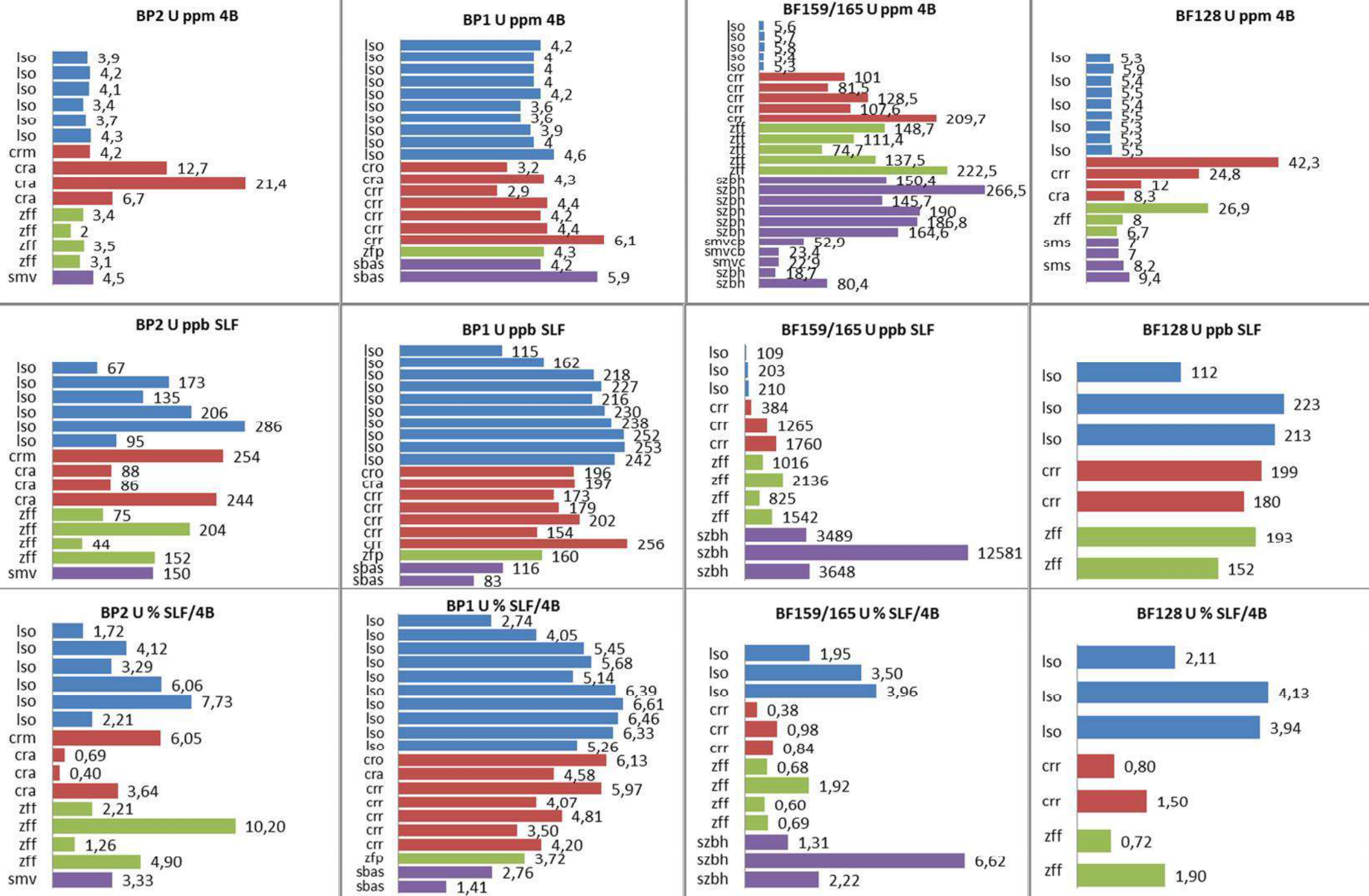


Figura 12 – Gráficos dos resultados obtidos de uranio (U) pelos métodos, fusão (4B), hidroxilamina (SLF) e a % da razão dos dois métodos (SLF/4B) referentes aos furos BP2, BP1, BF159/165 e BF128.



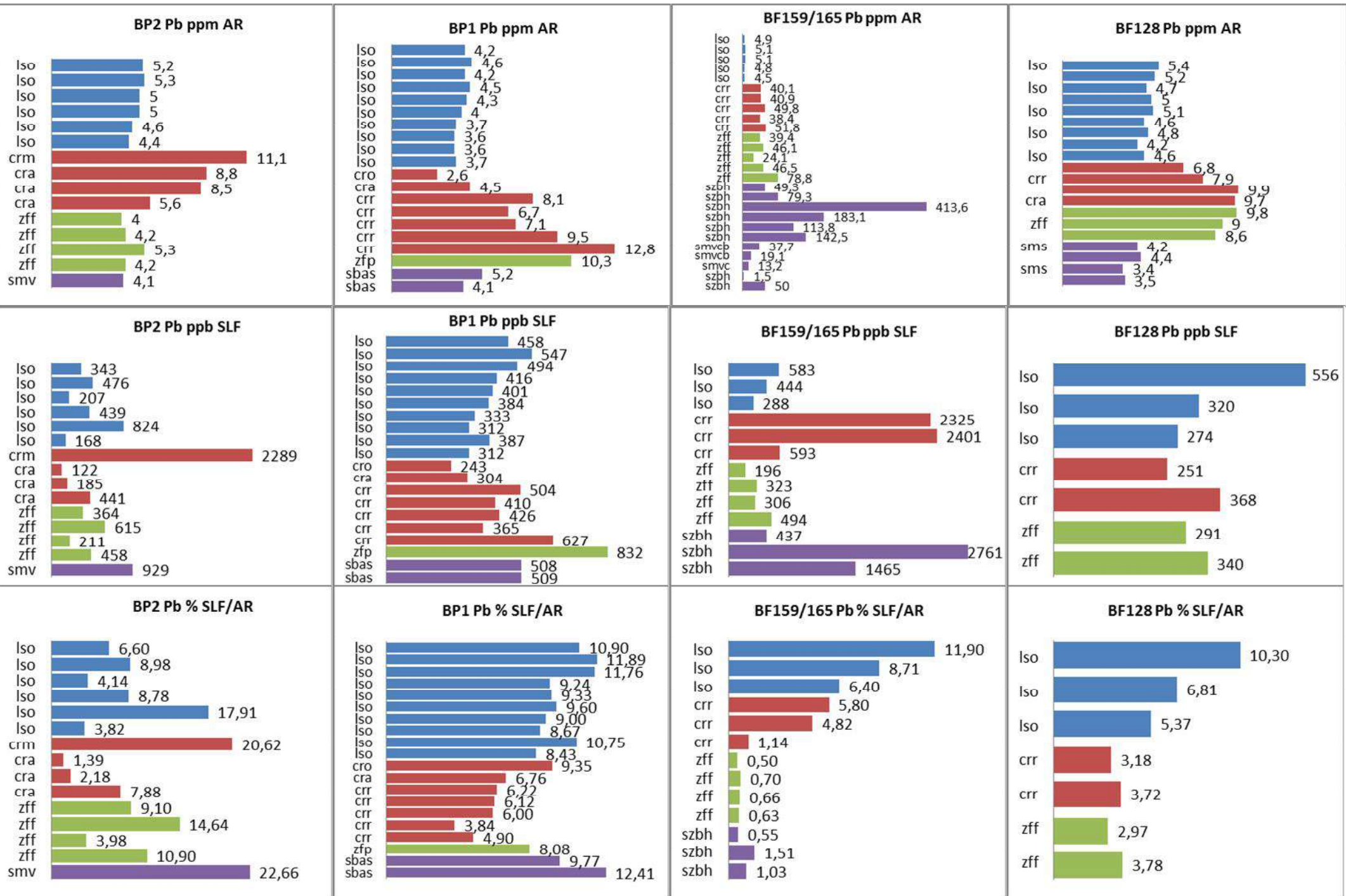


Figura 13 – Gráficos dos resultados obtidos de Chumbo (Pb) pelos métodos, água rexia (AR), hidroxilamina (SLF) e a % da razão dos dois métodos (SLF/AR) referentes aos furos BP2, BP1, BF159/165 e BF128.

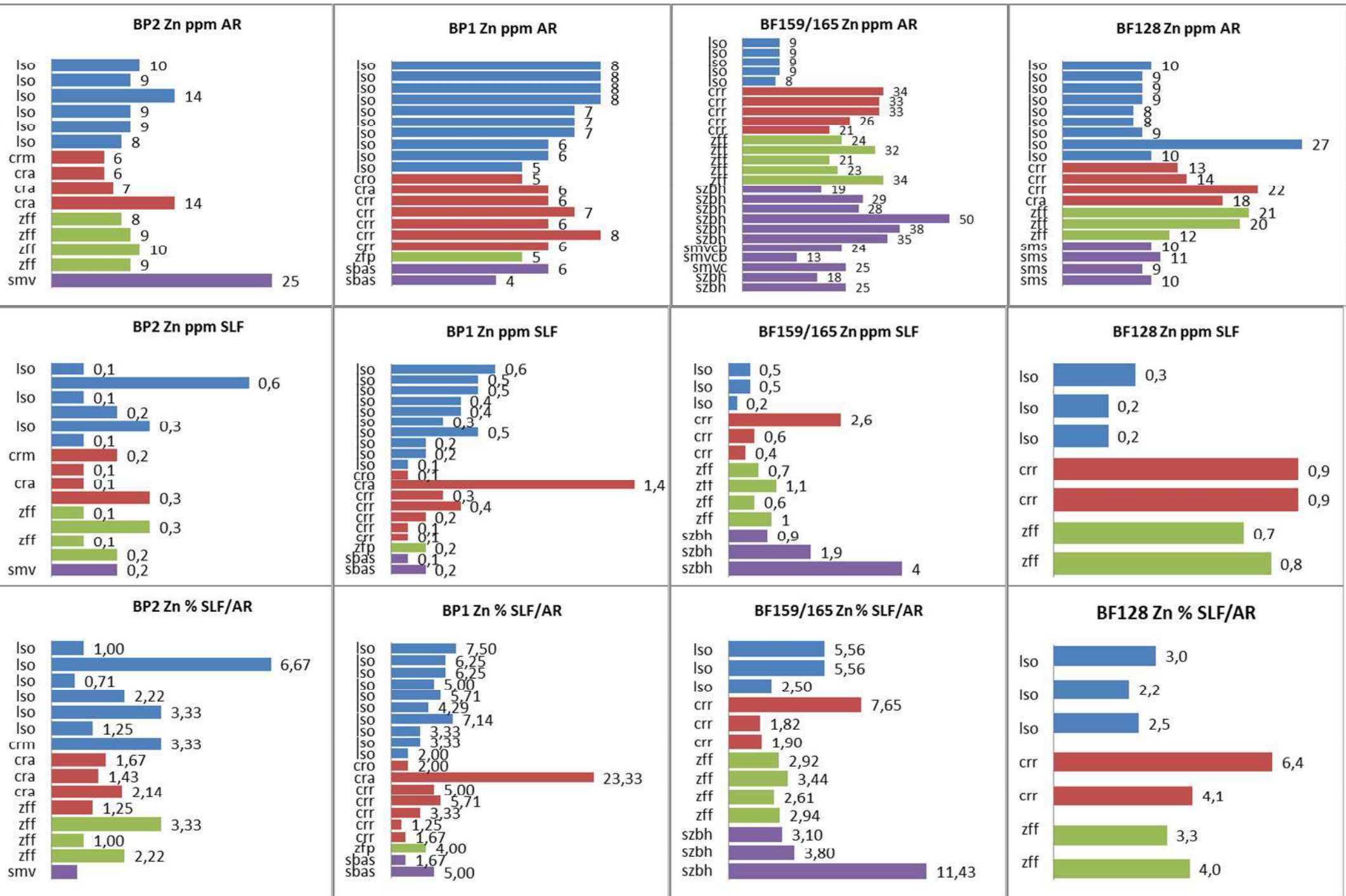


Figura 14 – Gráficos dos resultados obtidos de Zinco (Zn) pelos métodos, água rexia (AR), hidroxilamina (SLF) e a % da razão dos dois métodos (SLF/AR) referentes aos furos BP2, BP1, BF159/165 e BF128.

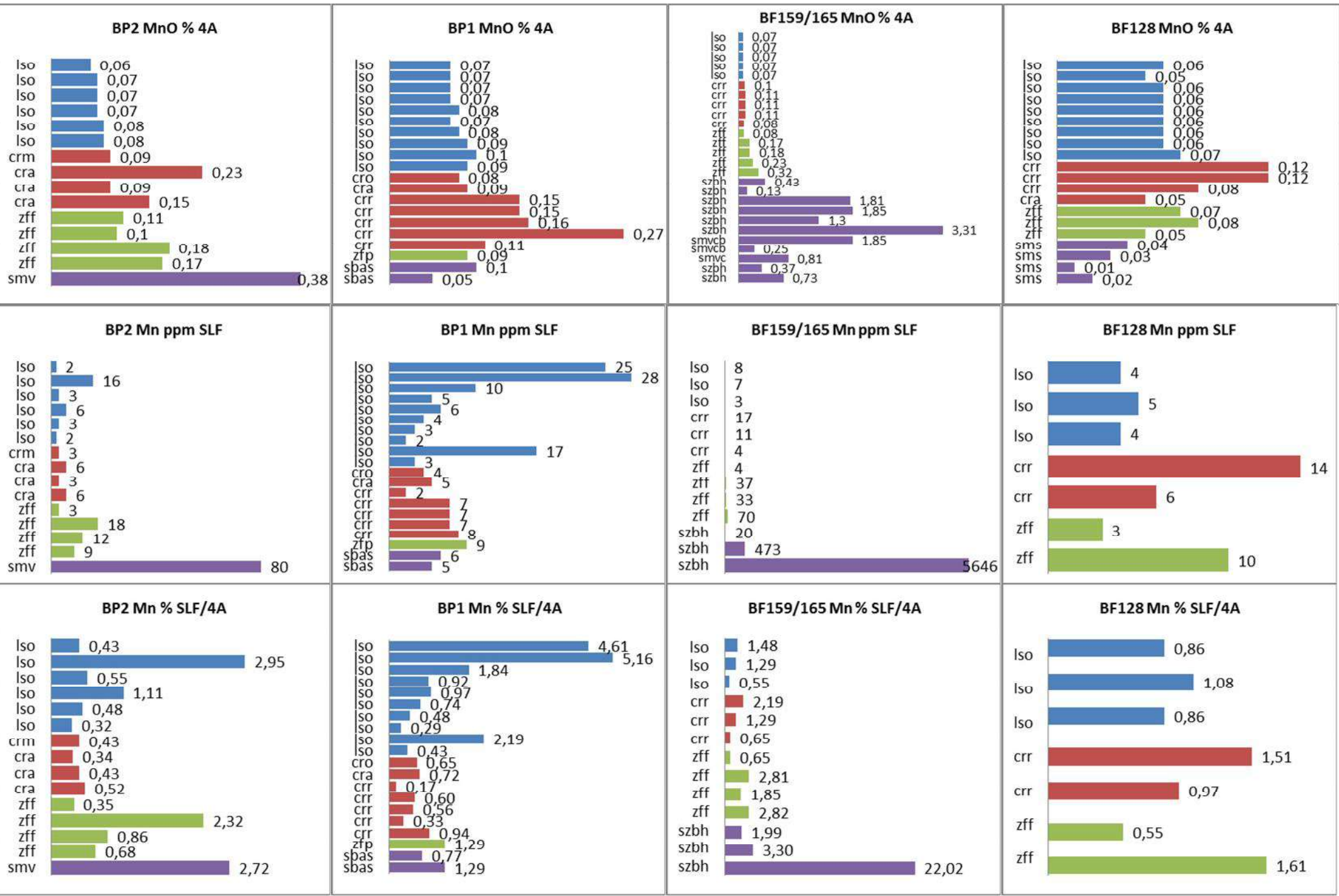


Figura 15 – Gráficos dos resultados obtidos de Manganês (Mn) pelos métodos, fusão (4A), hidroxilamina (SLF) e a % da razão dos dois métodos (SLF/4A) referentes aos furos BP2, BP1, BF159/165 e BF128.



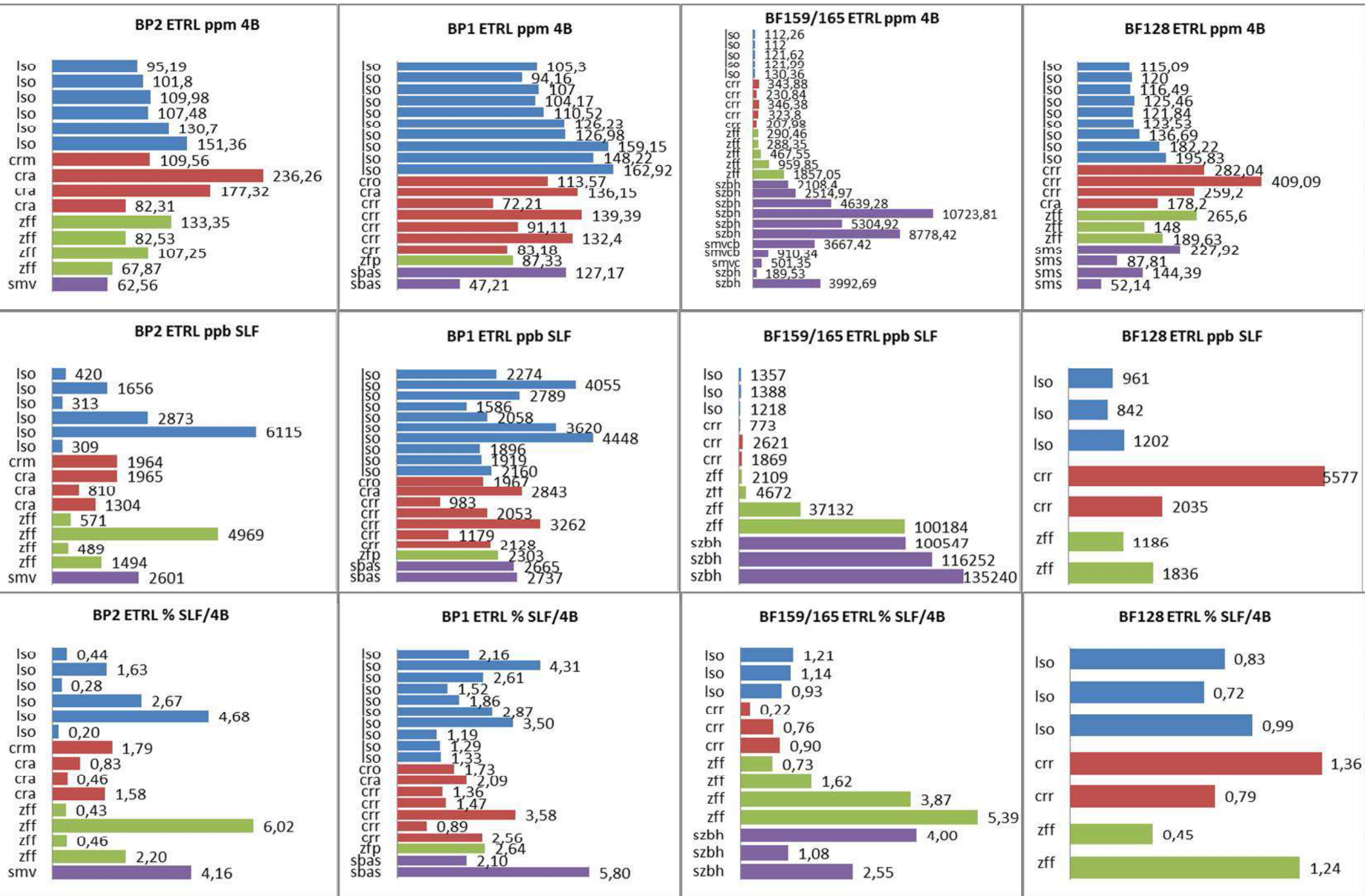


Figura 16 – Gráficos dos resultados obtidos de ETRL pelos métodos, fusão (4B), hidroxilamina (SLF) e a % da razão dos dois métodos (SLF/4B) referentes aos furos BP2, BP1, BF159/165 e BF128.

### 4.3 – INDICADORES DA MINERALIZAÇÃO – GRÁFICOS E CONTRASTES

Os gráficos que mostram a média dos resultados analíticos obtidos através de Hidroxilamina e total para Au, Cu, Fe, U, Pb, Zn, Mn e ETRL em cada horizonte do regolito estão nas figuras 17 à 24 respectivamente e as tabelas 2 e 3 são referentes aos valores utilizados nestes gráficos. O ouro é o único metal que apresenta teores inequivocamente anômalos quando analisados pelo método de extração seletiva ou total sobre a mineralização (Furo BF159/165) em relação aos halos de dispersão (BP1, BP2 e BF128) em todos os horizontes do regolito. Os outros elementos mostram teores anômalos sobre a área mineralizada (BF165/159) somente nos horizontes abaixo do latossolo sendo que o Mn e ETRL são anômalos somente na zona ferruginosa e saprolito. Este padrão em geral é observado tanto pelas análises por extração seletiva quanto por extração total.

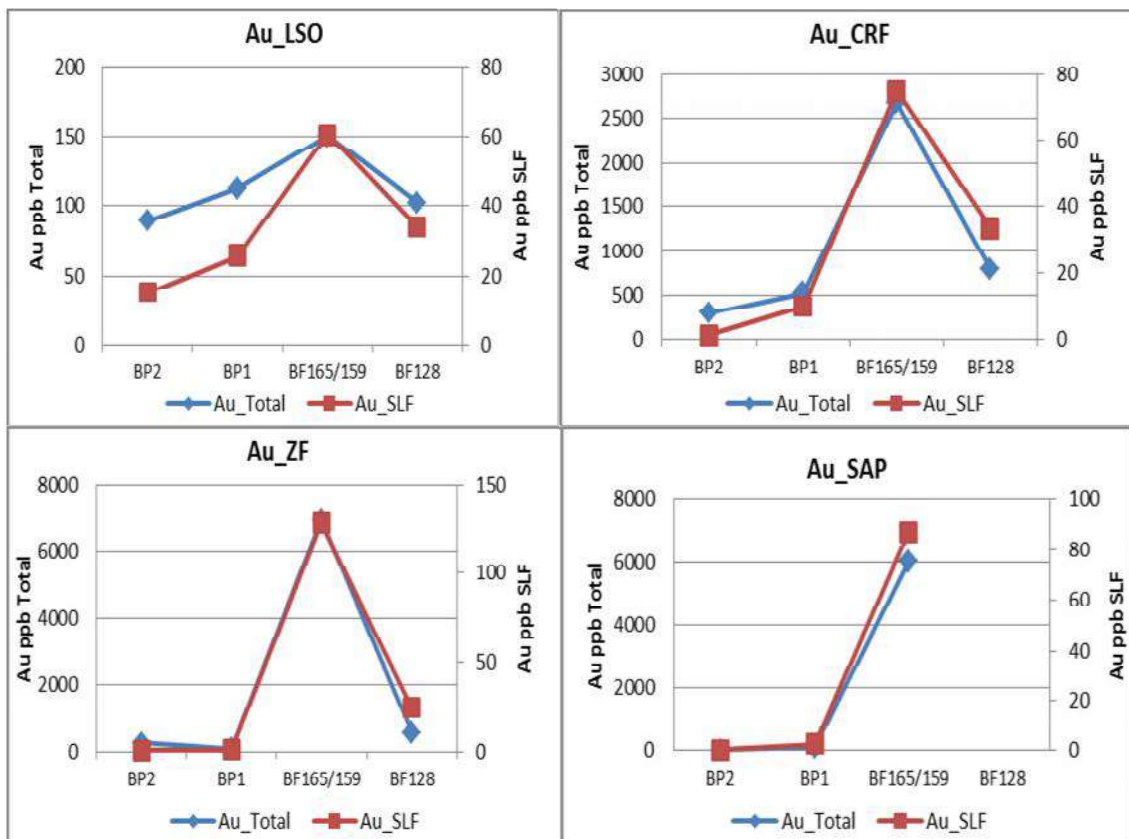


Figura 17 – Média dos resultados analíticos para Au em cada horizonte do regolito laterítico.

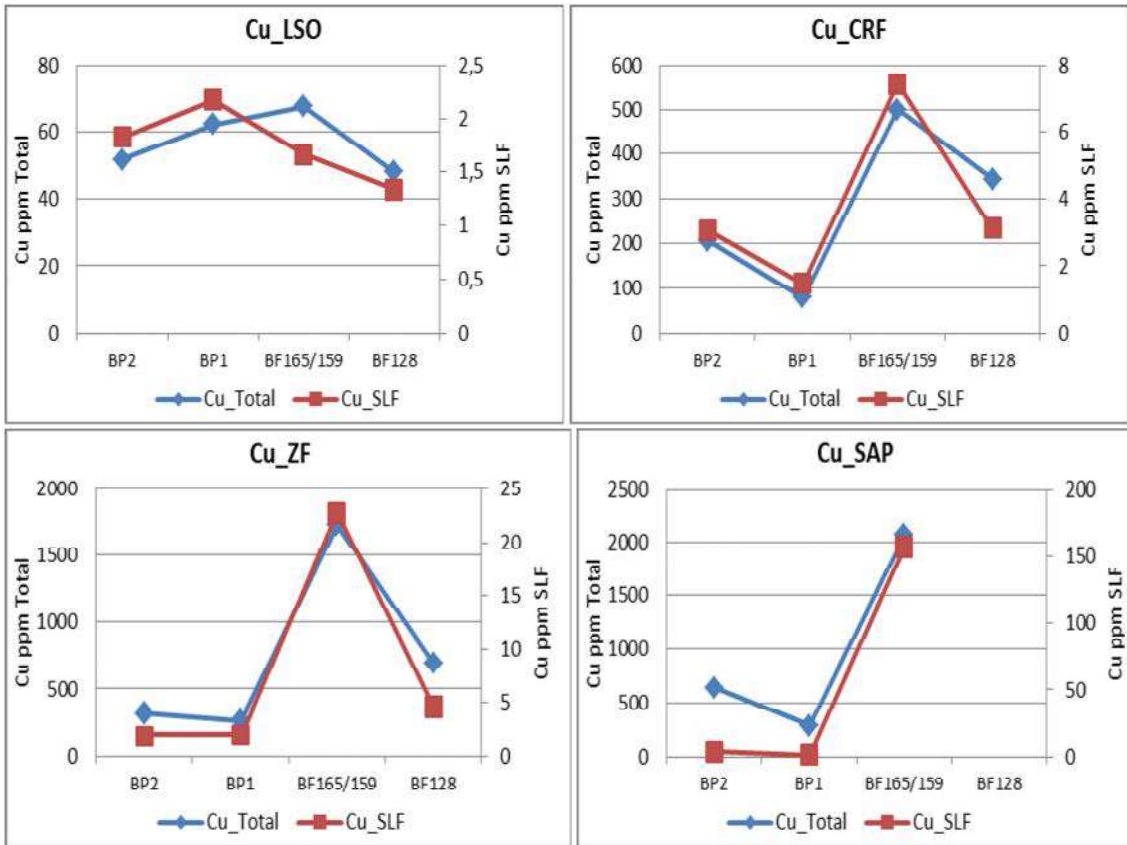


Figura 18 - Média dos resultados analíticos para Cu em cada horizonte do regolito laterítico.

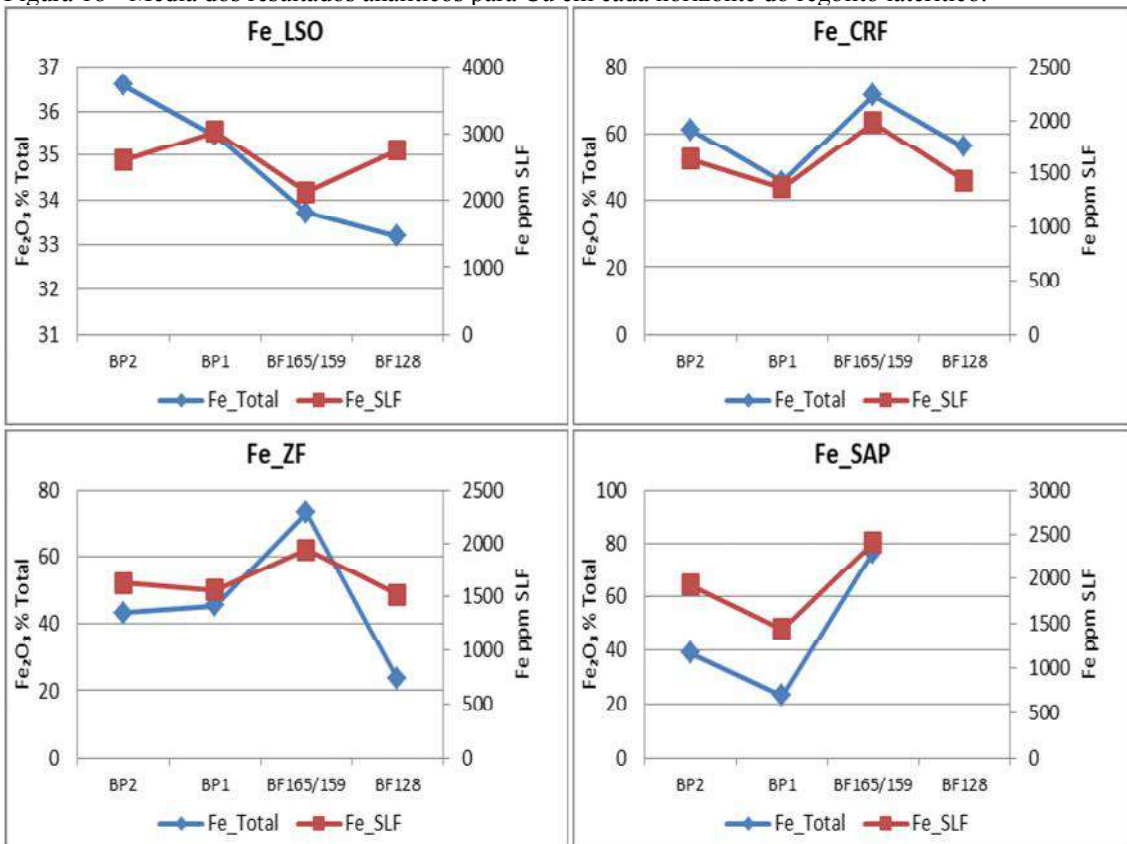


Figura 19 - Média dos resultados analíticos para Fe em cada horizonte do regolito laterítico.

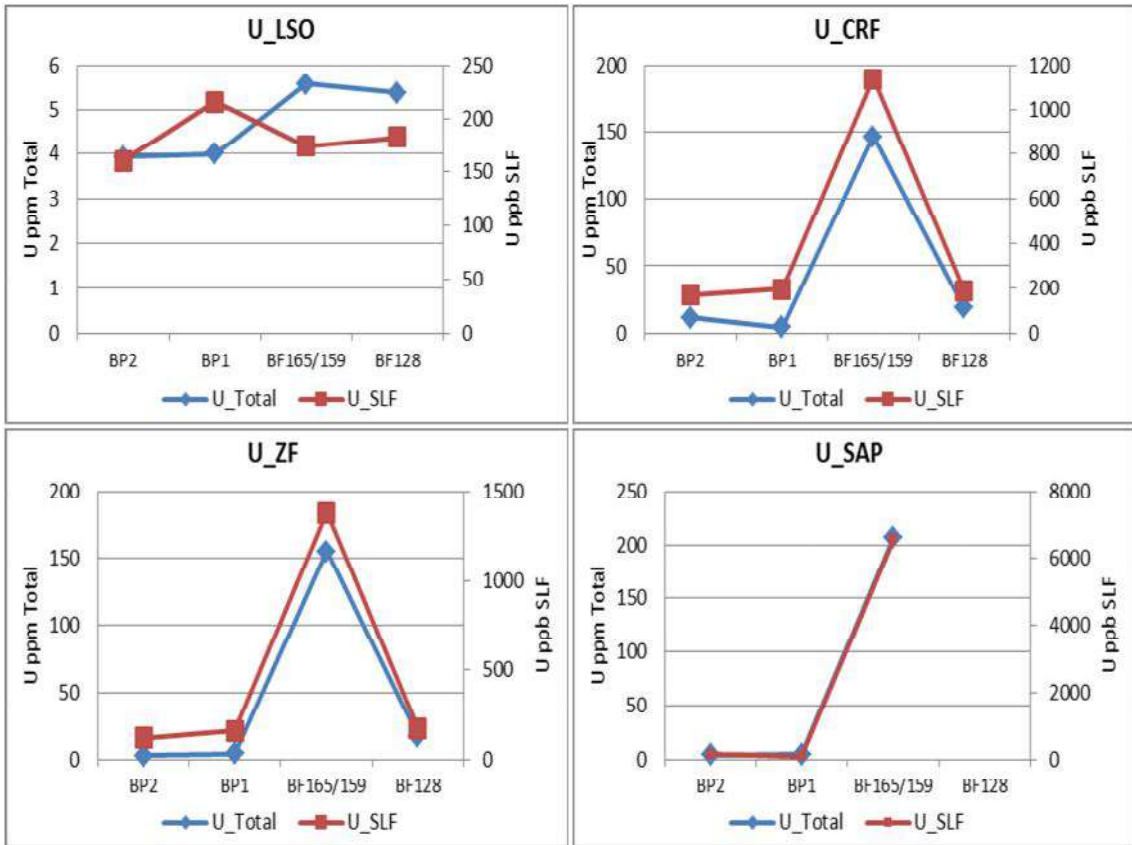


Figura 20 - Média dos resultados analíticos para U em cada horizonte do regolito laterítico.

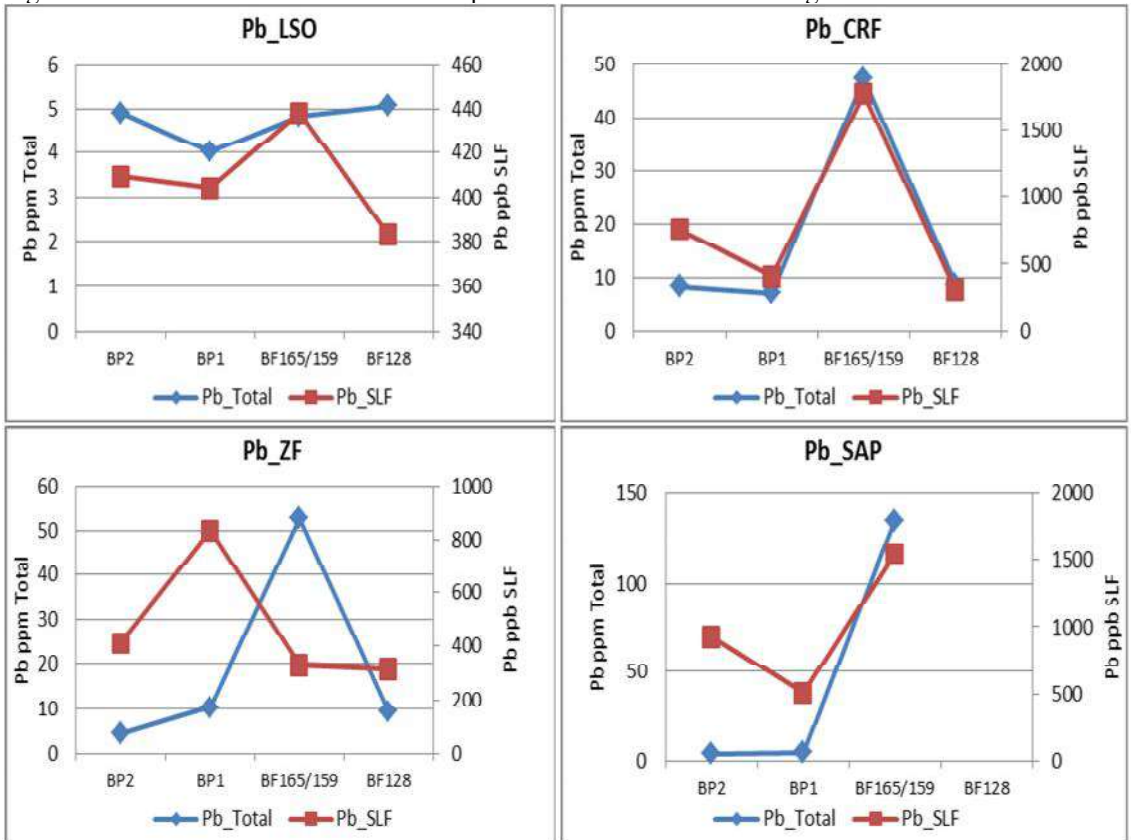


Figura 21 - Média dos resultados analíticos para Pb em cada horizonte do regolito laterítico.



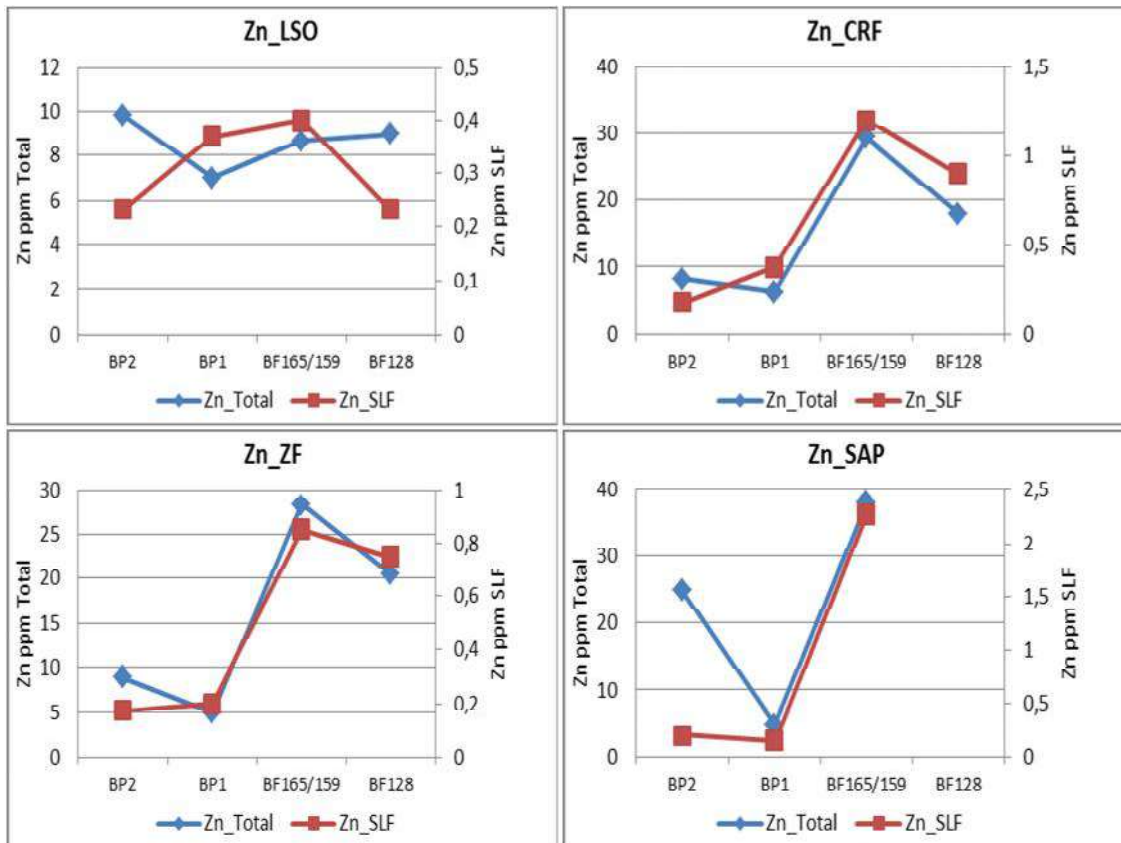


Figura 22 - Média dos resultados analíticos para Zn em cada horizonte do regolito laterítico.

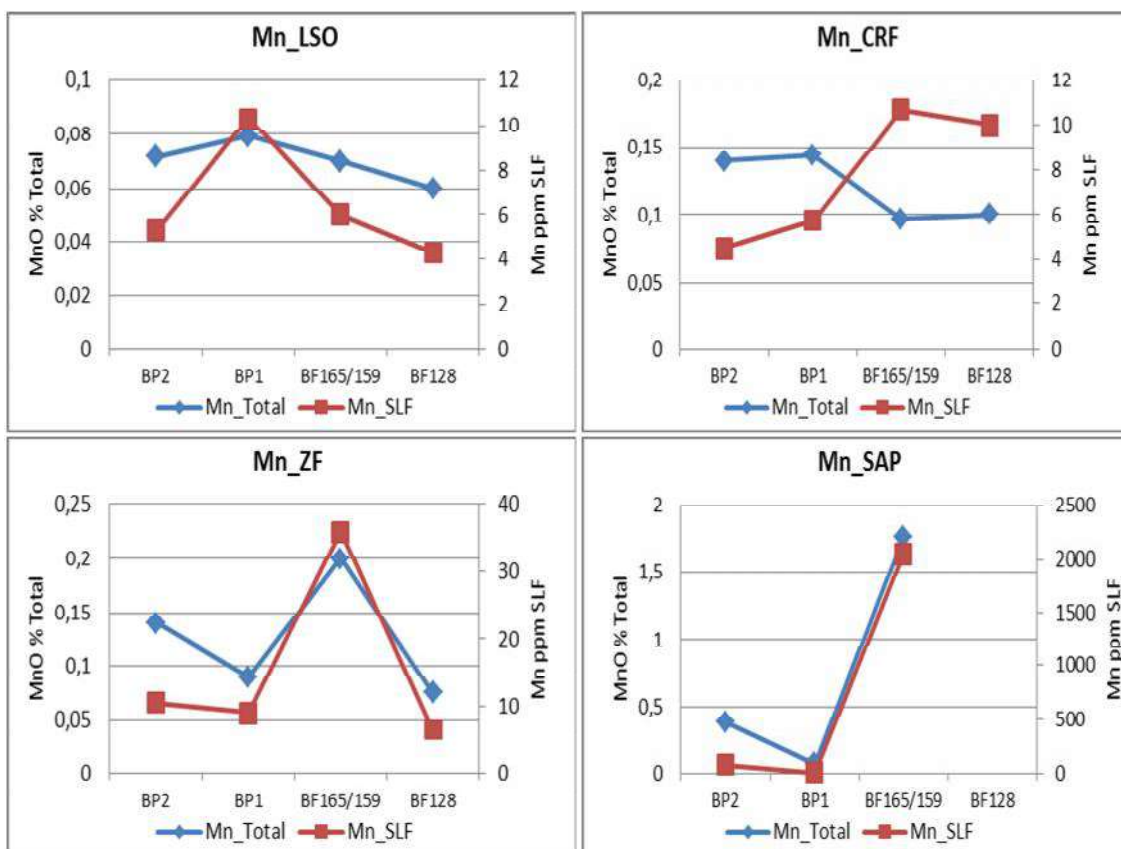


Figura 23 - Média dos resultados analíticos para Mn em cada horizonte do regolito laterítico.

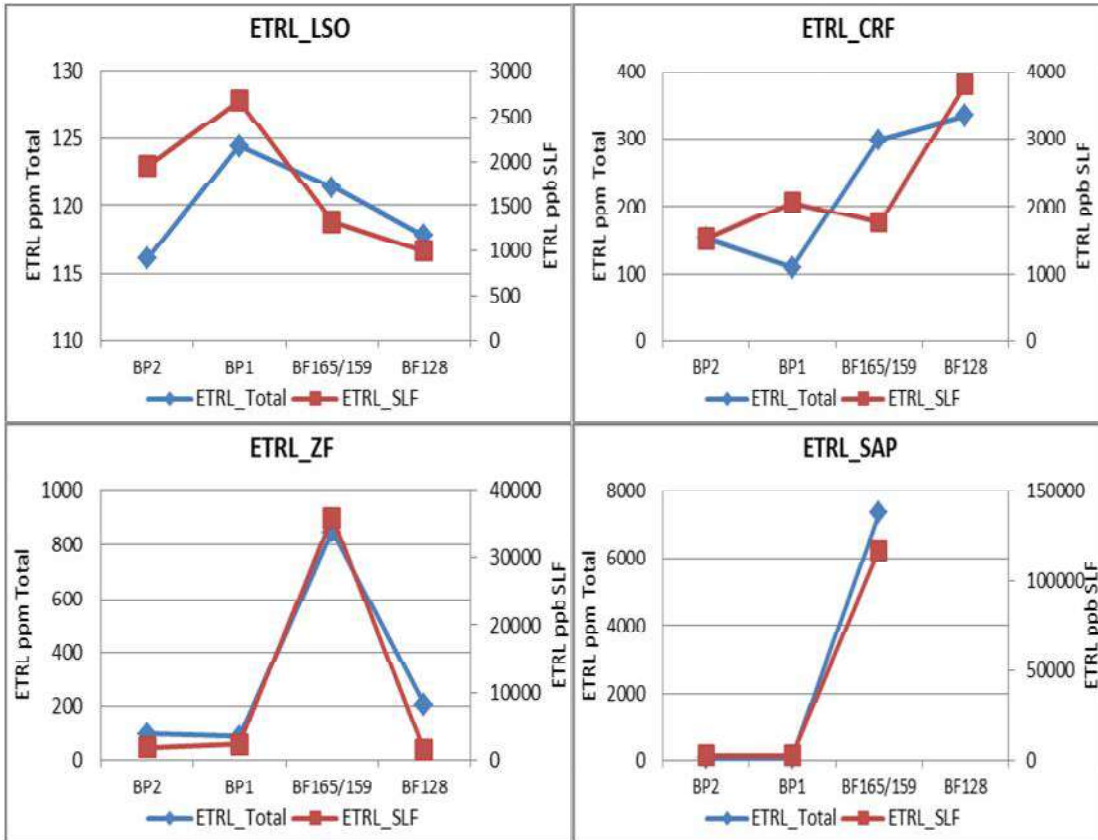


Figura 24 - Média dos resultados analíticos para ETRL em cada horizonte do regolito laterítico.

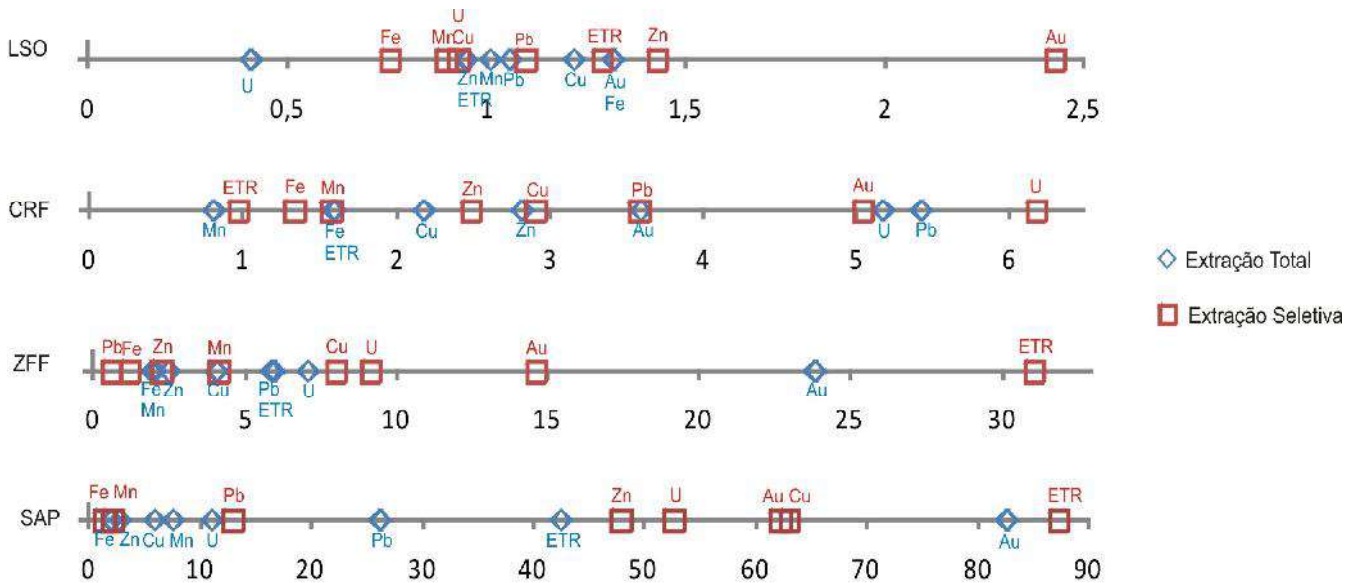


Figura 25 – Contraste das tabelas 4 e 5 plotados por horizonte mostrando os melhores elementos indicadores de anomalias.

O gráfico 25 demonstra os contrastes, dado pela razão entre os teores sobre a área mineralizada (BF159/165) e os teores médios sobre os halos (BP1, BP2 e BF128). Assim pode-se observar melhor o poder de discriminação da área mineralizada a partir das amostras do regolito analisadas por Hidroxilamina e extração total. Em geral observa-se um padrão de gradual decaimento dos contrastes do saprolito ao latosolo. No latosolo (Figura 25) há larga ausência de contraste para maioria dos metais exceto para o Au analisado por hidroxilamina que mostra a larga vantagem da utilização da extração seletiva nos latosolos. Na crosta os contrastes são mais altos para Au, U e Pb sendo que para Au a hidroxilamina apresenta melhor contraste do que Au por água réxia. O Cu e Zn mostram baixos contrastes refletindo sua tendência de lixiviação. Os ETRL aparecem com os mais baixos contrastes sendo assim incapazes de discriminar a zona mineralizada. Na zona ferruginosa os contrastes aumentam bastante principalmente para Au e ETRL em ambas extrações o que denota o maior grau de lixiviação desses metais nesse horizonte, dado pela água réxia, e também sua tendência de associarem-se ao Fe amorfo quando remobilizados.

Na água régia os altos contrastes de Au, ETRL e Pb no saprolito mostram sua tendência de permanecer no regolito após o intemperismo. Já o U e Cu são mais caracteristicamente associados a mineralização primária são mais lixiviados. Os altos contrastes dados pela hidroxilamina mostram a tendência de remobilização preferencialmente dentro da zona mineralizada em relação aos halos de dispersão. Nesse caso permanecem altos os contrastes para ETRL e Au sendo que para o Pb os contrastes são menores mostrando que o mesmo tende associar-se ao Fe amorfo dentro e fora da zona mineralizada. O Cu apesar da alta lixiviação tem sua participação no Fe amorfo elevada dentro da zona mineralizada.

os melhores elementos indicadores de anomalias no latosolo para a análise total são o Au, Fe e Cu e para análise seletiva é o Au e Zn. Na crosta os melhores elementos para análise total são Pb, U, Au, Zn e Cu e para análise seletiva é o U, Au, Pb e Zn. Na zona ferruginosa os elementos

indicadores para análise total são Au, U, ETRL, Pb, Cu e Zn e para análise seletiva é ETRL, Au, U, Cu, Mn, e Zn. O contraste tende a diminuir no sentido do saprolito para o latossolo.

#### **4.1 – CONCLUSÕES:**

Há pouquíssimo Fe amorfo no regolito (~1%) sendo maior no latossolo enquanto que na zona ferruginosa o Fe está bem cristalizados, este fato possivelmente ocorre pois o latossolo é mais recente do que a zona ferruginosa logo tem mais Fe amorfo. O Au está nesse Fe amorfo com isso a remobilização do Au no latossolo é mais recente o que condiz com padrões de aumento na porcentagem de Au no Fe amorfo na superfície do latossolo.

Conforme demonstrado na tabela 1, o latossolo é o principal horizonte no qual os metais analisados estão associados ao Fe amorfo embora com valores muito baixos, o Au e o Pb são os metais que apresentam maior participação no Fe amorfo, porém o Cu, U e Fe também apresentam uma porcentagem que sobressai em relação aos horizontes inferiores.

O uso da extração parcial por hidroxilamina tem sua maior aplicação na prospecção mineral para este tipo de depósito quando utilizado em amostras de solo com análise de Au.

De acordo com a figura 25 que mostra o contraste de cada elemento nos horizontes do regolito, o Au e o Zn são os elementos que quando analisados pelo método de extração seletiva são eficientes na identificação de anomalias no latossolo, o que indica que estes elementos são úteis como guias na exploração geoquímica de solo através do método de extração seletiva pelo reagente hidroxilamina enquanto que os demais elementos analisados neste trabalho, o melhor método para identificar anomalias em solo é o método de extração total.



## 5 - REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA:

ALMADA M.C.O.; VILLAS R.N.N., 1999. O depósito Bahia: um possível exemplo de depósito vulcanogênico tipo Besshi arqueano em Carajás. *Rev Bras Geociênc* 29:579–592

ARAÚJO, O.J.B.; MAIA, R.G.N., 1991 Serra dos Carajás: folha SB.22-Z-A. Estado do Pará. Escala 1:250.000. Texto explicativo. Brasília: DNPM/CPRM. 164 p. il. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB).

AVELAR, V.G. *et al.*, 1999 O magmatismo arqueano da região de Tucumã, Província Mineral de Carajás: novos dados geocronológicos. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 29, n. 4, p. 453-460.

BASTOS R.S., 2007. Distribuição e dispersão geoquímica no perfil laterítico do depósito de Igarapé Bahia, Província Mineral Carajás, dissertação de mestrado, UFRJ, Rio de Janeiro, 102p.

CHAO, T.T.; THEOBALD, P.K., 1976. The significance of iron and manganese oxides in geochemical exploration. *Econ. Geol.*, 71: 1560-1569.

CHAO, T.T., 1984. Use of partial dissolution techniques in geochemical exploration. *J. Geochem. Explor.* 20: 101- 135.

COSTA, M.L. 1996. Geochemical exploration for gold in deep weathered laterised gossans in the amazon region , Brazil: a case history of the Igarapé Bahia Deposit. *Geochimica Brasiliensis*, v.10, n.1, p.15-26.

COHEN D.R.; KELLEY D.L.; ANAND R.; COKER W.B., 2010. Major advances in exploration geochemistry, 1998 - 2007. *Geochemistry: Exploration, Environment Analysis*; v. 10; p. 3-16.

DALL'AGNOL R. *et al.*, 2005. Petrogenesis of the Paleoproterozoic rapakivi A-type granites of the Archean Carajás metallogenic province, Brazil. *Lithos*, v. 80, p.101-129.

DOCEGEO, 1988. Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35, Belém. Anexo aos anais... Belém: CVRD/SBG, 1988. p. 11–59.

DREHER A.M., 2004. O depósito primário de Cu–Au de Igarapé Bahia, Carajás: rochas fragmentárias, fluidos mineralizantes e modelo metalogenético. Tese de Doutorado, Unicamp, Campinas, SP, p 221.

DREHER, A.M. *et al.*, 2008. New geologic, fluid inclusion and stable isotope studies on the controversial Igarapé Bahia Cu-Au deposit, Carajás Province, Brazil. *Mineralium Deposita*, v. 43, n.2, p. 161-184.

FERREIRA FILHO C.F., 1985. Geologia e mineralizações sulfetadas do prospecto Bahia, Província Mineral de Carajás. Universidade de Brasília, DF, Tese de Mestrado, p 112

FLETCHER, W.K., 1981. Analytical methods in geochemical prospecting. (Handbook of exploration geochemistry). Amsterdam; Elsevier. 255 p.

GALARZA M.A., 2002. Geocronologia e geoquímica isotópica dos depósitos de Cu–Au Igarapé Bahia e Gameleira, Província Mineral Carajás (PA), Brasil. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Pará, p 214.

GALARZA M.A.; MACAMBIRA M.J.B.; VILLAS R.N., 2006. Age and isotopic characteristics (Pb and S) of the Fe Oxide-Cu-Au-U-REE Igarapé Bahia ore deposit, Carajás Mineral Province, Pará State, Brazil. In: Dall'Agnol R, Rosa-Costa LT, Klein EL (eds) Symposium on magmatism, crustal evolution, and metallogensis of the Amazonian Craton. PRONEX-UFPA/SBG-NO, Belém, PA. Abstract Volume and Field Trips Guide, pp 19.

GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS DO ESTADO DO PARÁ, 2008: Sistema de Informações Geográficas – SIG: texto explicativo dos mapas Geológico e Tectônico e de Recursos Minerais do Estado do Pará. Organizadores, Marcelo Lacerda Vasquez, Lúcia Travassos da Rosa-Costa. Escala 1:1.000.000. Belém: CPRM.

Hall G. E. M., 1998. Analytical perspective on trace elements species of interest in exploration. Journal of Geochemical Exploration, V. 61, p. 1-9.

HUHN S.B.; NASCIMENTO J.A.S., 1997. São os depósitos cupríferos de Carajás do tipo Cu–Au–U–ETR? In: Costa ML, Angélica RS (eds) Contribuições à Geologia da Amazônia. SBG, Belém, pp 143–160.

LAUX J.H.; LINDENMAYER Z.G.; SANTOS T.R., 2003. Características gerais dos depósitos do tipo óxido de ferro (Cu–U–Au–ETR): o exemplo da Província Mineral de Carajás. In: Ronchi JH, Althoff FJ (org) Caracterização e modelamento de depósitos minerais. Editora Unisinos-Capes, São Leopoldo, RS, pp 41–68

LINDENMAYER, Z.G.; LAUX, J.H.; TEIXEIRA, J.B.G., 2001. Considerações sobre a origem das Formações Ferríferas da Formação Carajás, Serra dos Carajás. Revista Brasileira de Geociências, v. 31, n. 1, p. 21-28.

MACHADO, N.; LINDENMAYER, Z.G.; KROGH, T.E., 1991. U-Pb Geochronology of archean magmatism and basement reactivation in the Carajás area, Amazon Shield, Brazil. Precambrian Research, v. 49, p. 329-354.

MOUGEOT, R. *et al.*, 1996. Geochronological constraints for the age of the Águas Claras Formation (Carajás Province, Pará State, Brazil). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39., 1996, Salvador. Resumos expandidos... Salvador: SBG, v. 6, p. 579-581.

NOGUEIRA, A.F.C., 1995. Análise faciológica e aspectos estruturais da Formação Águas Claras, região central da Serra dos Carajás-PA. 167 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará.

OLIVEIRA, J.R.; SILVA NETO, C.S.; COSTA, E.J.S., 1994. Serra Pelada; folha SB.22.X.C. Estado do Pará, escala 1:250.000. Brasília: CPRM. 220 p., il. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB).

PORTO, C. G., 2007. Caracterização do regolito para a exploração mineral em terrenos lateríticos na Amazônia. Projeto LATAM. Relatório final de pesquisa, MCT/CNPq/CT-Mineral, 313pp.

RONZÊ, P.C. *et al.*, 2000. Alemão copper-gold (U-REE) deposit, Carajás, Brazil. In: PORTER, T.M. (Ed.). Hydrothermal iron oxide copper-gold & related deposits: a global perspective. Adelaide: Australian Mineral Foundation. p. 191-202.

SANTOS M.G.S., 2002 Estudo dos isótopos de Pb e Nd do depósito de Cu–Au (U-ETR) Alemão, Província Mineral de Carajás (PA). Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Tese de Mestrado, p. 121

SANTOS, P.F. 2006. Estratigrafia de regolitos na mina de Igarapé-Bahia (PA). Dissertação de Mestrado. UFRJ. Rio de Janeiro- RJ. 94p.

TALLARICO, F.H.B. *et al.*, 2004. Geology and II SHRIMP U-Pb constraints on the age and origin of the Breves Cu-Au-(W-Bi-Sn) deposit, Carajás, Brazil. *Mineralium Deposita*, v. 39, p. 68–86.

TALLARICO, F.H.B. *et al.*, 2005. Geology and SHRIMP U-Pb geochronology of the Igarapé Bahia Deposit, Carajás Copper-Gold Belt, Brazil: an Archean (2.57 Ga) example of Iron-Oxide Cu-Au-(U-REE) Mineralization. *Economic Geology*, v. 100, n. 1, p. 7-28.

TAZAVA E.; OLIVEIRA C.G., 2000 The Igarapé Bahia Au-Cu-(REE-U) deposit, Carajás, Brazil. In: Porter TM (ed) Hydrothermal iron oxide copper-gold & related deposits: a global perspective. Australian Mineral Foundation, Adelaide, pp 203–212.

TRENDALL, A.F. *et al.*, 1998. SHRIMP zircon U-Pb constraints on the age of the Carajás Formation, Grão Pará Group, Amazon Craton. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 11, n. 3, p. 265-277.

VILLAS R.N.N.; SANTOS M.D., 2001. Gold deposits of the Carajás Mineral Province: deposit types and metallogenesis. *Miner Depos* 36:300–331.

WEDEPOHL, K. H., 1979. Handbook of geochemistry. Springer 356 p.