



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO**  
**ESCOLA DE MINAS**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**



**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**GEOQUÍMICA E ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA DE BARRANCOS DO RIO GUALAXO  
DO NORTE**

**Hugo Macedo Miquelitto**

**MONOGRAFIA nº 345**

Ouro Preto, Dezembro de 2019



**GEOQUÍMICA E ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA DE  
BARRANCOS DO RIO GUALAXO DO NORTE**

---



## **FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO**

### **Reitora**

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cláudia Aparecida Marlière de Lima

### **Vice-Reitor**

Prof. Dr. Hermínio Arias Nalini Júnior

### **Pró-Reitora de Graduação**

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Tânia Rossi Garbin

### **ESCOLA DE MINAS**

#### *Diretor*

Prof. Dr. Issamu Endo

#### *Vice-Diretor*

Prof. Dr. José Geraldo Arantes de Azevedo Brito

### **DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

#### *Chefe*

Prof. Ms. Edison Tazava

# MONOGRAFIA

Nº 345

## GEOQUÍMICA E ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA DE BARRANCOS DO RIO GUALAXO DO NORTE

**Hugo Macedo Miquelitto**

*Orientadora*

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Adivane Terezinha Costa

Monografia do Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para avaliação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso – TCC 402, ano 2019/2.

OURO PRETO

2019

---

Departamento de Geologia - <http://www.degeo.ufop.br/>  
Campus Morro do Cruzeiro s/n - Bauxita  
35.400-000 Ouro Preto, Minas Gerais  
Tel. (31) 3559-1600, Fax: (31) 3559-1606

Direitos de tradução e reprodução reservados.

Nenhuma parte desta publicação poderá ser gravada, armazenada em sistemas eletrônicos, fotocopiada ou reproduzida por meios mecânicos ou eletrônicos ou utilizada sem a observância das normas de direito autoral.

Revisão geral: Hugo Macedo Miquelitto

Catálogo elaborado pela Biblioteca Prof. Luciano Jacques de Moraes do  
Sistema de Bibliotecas e Informação - SISBIN - Universidade Federal de Ouro Preto

### SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

M669g Miquelito, Hugo Macedo .  
Geoquímica e análise estratigráfica de barrancos do Rio Gualaxo do Norte.  
[manuscrito] / Hugo Macedo Miquelito. - 2019.  
48 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientadora: Profa. Dra. Adivane Terezinha Costa.  
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de  
Minas.

1. Geoquímica. 2. Estratigrafia. 3. Geologia ambiental. I. Costa, Adivane  
Terezinha. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 550.4:551.7

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526

## Ficha de Aprovação

---

### TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**TÍTULO:** Geoquímica e Análise estratigráfica de Barrancos do Rio Gualaxo do norte

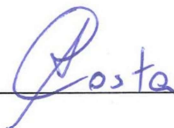
**AUTOR:** HUGO MACEDO MIQUELITTO

**ORIENTADOR:** Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Adivane Terezinha Costa

**Aprovado em:** 03/12/2019

#### BANCA EXAMINADORA:

Prof.<sup>a</sup>Dr.<sup>a</sup> Adivane Terezinha Costa



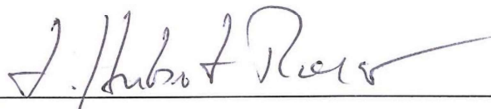
DEGEO/UFOP

Prof. Dr. Paulo de Tarso Amorim Castro



DEGEO/UFOP

Prof. Dr. Hubert Mathias Peter Roeser



DEAMB/UFOP

Ouro Preto, 03/12/2019

## **Agradecimentos**

---

Agradeço primeiramente a Deus por me iluminar e guiar meus passos nessa longa jornada, aos meus pais Waldir e Marlúcia, por todo apoio e todo amor que me deram. Ao meu irmão Igor por todos os conselhos dados e por sempre me ajudar.

Agradecer a minha orientadora Adivane Costa pela paciência e pela dedicação, muito obrigado.

A república Mansão Amarela, meu lar em Ouro Preto, nunca esquecerei de vocês.

Queria agradecer a todos os alunos da Engenharia Geológica – UFOP, por todas as amizades que conquistei e por toda ajuda que me deram, principalmente a 12.2 e 13.1. A todos os professores do DEGEO e Escola de Minas, pelos ensinamentos durante todos esses anos, além de todos os professores que passaram por mim desde minha infância até esse momento, sem vocês nada disso seria possível.



# SUMÁRIO

---

AGRADECIMENTOS.....	ix
SUMÁRIO .....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE TABELAS .....	xiv
RESUMO .....	xvi
ABSTRACT .....	xviii
INTRODUÇÃO.....	1
1.1 APRESENTAÇÃO .....	1
1.2 LOCALIZAÇÃO.....	1
1.3 OBJETIVO.....	2
1.4 JUSTIFICATIVA.....	2
2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL .....	4
2.1 CONTEXTO GEOTECTÔNICO.....	4
2.2 QUADRO ESTRATIGRÁFICO .....	5
2.2.1 Rochas do embasamento cristalino Arqueano .....	5
2.2.2 Supergrupo Rio das Velhas.....	6
2.2.3 Supergrupo Minas .....	6
2.2.4 Grupo Itacolomi .....	7
3 MATERIAIS E MÉTODOS .....	9
3.1 INTRODUÇÃO.....	9
3.2 Levantamento Bibliográfico .....	9
3.3 Trabalho de campo .....	10
3.4 Análise Estratigráfica e Coleta de Amostras .....	10
3.5 Análises Laboratoriais .....	11
3.5.1 Comparação de dados .....	12
3.5.2 Estudo granulométrico.....	11
3.5.3 Análise via IC-OES.....	12
3.6 Geração de perfis estratigráficos.....	13
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	15
4.1 Ambientes Fluviais.....	14
4.2 Depósitos Sedimentares fluviais.....	14

4.3	Geoquímica de sedimentos.....	15
4.4	Estado da arte sobre a Geoquímica de sedimentos da área.....	16
5	RESULTADOS.....	18
5.1	Análise estratigráfica dos perfis e localização.....	18
5.1.1	Localização geográfica dos Barrancos.....	18
5.2	Caracterização ambiental da área.....	21
5.2.1	Caracterização ambiental ponto 1.....	21
5.2.2	Caracterização ambiental ponto 2.....	22
5.2.3	Caracterização ambiental ponto 3.....	24
5.3	Análise Granulométrica dos barrancos.....	26
5.4	Análise estratigráfica dos barrancos.....	29
5.5	Análise Geoquímica dos sedimentos.....	37
5.5.1	Geoquímica dos sedimentos barra B1.....	37
5.5.2	Geoquímica dos sedimentos barranco B2.....	40
5.5.3	Geoquímica dos sedimentos barranco B3.....	42
	CONCLUSÃO .....	46
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

<b>Figura 1.1</b> - Localização da Bacia do Rio Gualaxo do Norte.....	2
<b>Figura 2.1</b> - Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero .....	4
<b>Figura 2.2</b> - Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero .....	5
<b>Figura 2.3</b> - Mapa Geológico da bacia do Rio Gualaxo do Norte.....	8
<b>Figura 3.1</b> - Fluxograma referente às etapas definidas para realização do Projeto .....	9
<b>Figura 3.2</b> - Imagem ilustrativa de coleta de amostras em um barranco .....	11
<b>Figura 3.3</b> - Equipamento de peneiramento .....	13
<b>Figura 5.0</b> - Localização de todos os pontos analisados .....	18
<b>Figura 5.1</b> - Localização do ponto 1 .....	19
<b>Figura 5.2</b> - Localização do ponto 2.....	20
<b>Figura 5.3</b> - Localização do ponto 3.....	21
<b>Figura 5.4</b> - Trabalho realizado no retaludamento e enrocamento do Rio do Carmo .....	22
<b>Figura 5.5</b> - Blocos realocados na calha do Rio Gualaxo do Norte .....	23
<b>Figura 5.6</b> - Foto evidenciando os blocos soltos do enrocamento Rio Gualaxo do Norte .	24
<b>Figura 5.7</b> - Planície de inundação do Rio do Carmo próximo a Barra Longa-MG .....	25
<b>Figura 5.8</b> - Geogrelha instalada na borda do Rio do Carmo.....	26
<b>Gráfico 1</b> - Barra B1 .....	28
<b>Gráfico 2</b> - Barranco B2 .....	28
<b>Gráfico 3</b> - Barranco B3 .....	29
<b>Figura 5.9</b> - Depósitos em Barra de pontal no Rio Gualaxo do Norte .....	31
<b>Figura 6.0</b> - Perfil estratigráfico Barra B1.....	31
<b>Figura 6.1</b> - Perfil estratigráfico Barranco B2.....	32
<b>Figura 6.2</b> - Localização do perfil estratigráfico B3.....	33
<b>Figura 6.3</b> - Perfil estratigráfico Barranco B3 .....	34
<b>Figura 6.4</b> - Foto evidenciando o retaludamento do Rio do Carmo, Barra Longa-MG ....	35
<b>Figura 6.5</b> - Barranco B4 analisado.....	35
<b>Figura 6.6</b> - Área onde está inserido o Barranco B4 .....	36
<b>Figura 6.7</b> - Coluna estratigráfica Barranco B4.....	37
<b>Gráfico de análise geoquímica</b> - Perfil B1 .....	38
<b>Gráfico de análise geoquímica</b> - Perfil B2.....	41
<b>Gráfico de análise geoquímica</b> - Perfil B3.....	43

## ÍNDICE DE TABELAS

---

<b>Tabela 1</b> - Resultados da granulometria em laboratório.....	27
<b>Tabela 2</b> – Classificação de fácies (Miall 1978).....	30

## Resumo

---

O presente trabalho tem como objetivo a análise geoquímica e estratigráfica de barrancos do Rio Gualaxo do Norte, com o propósito de determinar o dano ambiental causado em um contexto pós-rompimento da barragem de rejeitos da empresa mineradora Samarco. Estes depósitos foram acumulados nos topos do barrancos do rio, neste contexto, o estudo em questão visa estudar os depósitos provenientes da barragem, bem como elaborar uma análise faciológica e geoquímica dos sedimentos dos barrancos, comparando os depósitos pós-rompimento com depósitos anteriores ao rompimento e com características similares, visando compreender os impactos ambientais a partir de um diagnóstico comparativo com as condições pretéritas ao rompimento da barragem. Foi realizada a caracterização ambiental da área com o intuito de investigar os métodos aplicados para mitigar o efeito do desastre ambiental. Notou-se na área investigada, enrocamento com pedras de gnaiss nas margens dos rios meandantes, além da instalação de geogrelhas. Analisou-se também separadamente cada barranco granulometricamente onde pôde-se observar que grande parte das amostras compreendem as frações 0,075 mm (areia fina), com poucas exceções, evidenciando a influência do rejeito na área. Na análise geoquímica notou-se valores que ultrapassam valores de background geoquímico para o Fe e Mn, além de ser possível notar que todos os elementos se correlacionam com elementos maiores Fe, Mn e Al, provavelmente são absorvidos ou adsorvidos em quantidades elevadas por esses elementos maiores presentes no sedimentos e favorecendo um crescimento da retenção de metais de alta toxicidade como Cr, As, V, Sb, Ni, Cu e Zn.

**Palavras chave:** geoquímica, estratigrafia, ambiental

## Abstract

---

The present work has as objective the geochemical and stratigraphic analysis of Gualaxo do Norte river banks, with the purpose of determining the environmental damage caused in a post-rupture context of the Samarco mining company tailings dam. These deposits were accumulated in the riverbanks tops, in this context, the study in question aims to study the deposits from the dam, as well as to elaborate a faciological and geochemical analysis of the sediments of the banks, comparing the post-rupture deposits with pre-rupture deposits. and with similar characteristics, aiming to understand the environmental impacts from a comparative diagnosis with the conditions prior to the dam rupture. The environmental characterization of the area was carried out in order to investigate the methods applied to mitigate the effect of the environmental disaster. It was noted in the investigated area, rockfill with gneiss stones on the banks of meandering rivers, and the installation of geogrids. It was also analyzed separately each granule bank metric where it could be observed that most of the samples comprise the fractions 0.075 mm (fine sand), with few exceptions, evidencing the influence of the tailings in the area. In the geochemical analysis it was noted values that exceed the geochemical background values for Fe and Mn, and it is possible to notice that all elements correlate with larger elements Fe, Mn and Al, are probably absorbed or adsorbed in high quantities by these elements. present in sediments and favoring the retention growth of high toxicity metals such as Cr, As, V, Sb, Ni, Cu and Zn.

**Key words:** geochemistry, stratigraphy, environmental

# CAPITULO 1

## INTRODUÇÃO

---

### 1.1 APRESENTAÇÃO

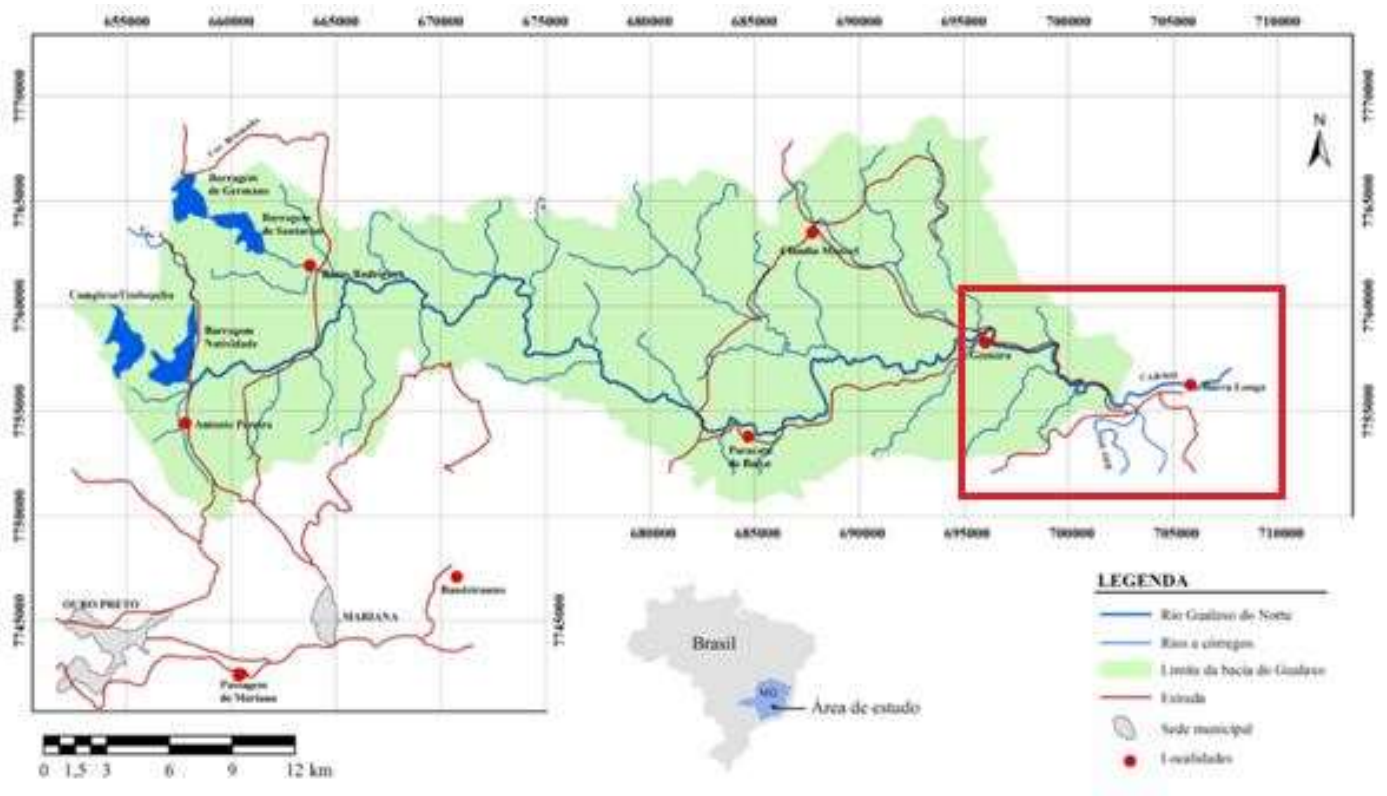
O trabalho em questão, da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), integra-se ao curso de Engenharia Geológica da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), este confeccionado durante o ano letivo de 2019. Com o propósito de aperfeiçoar o conhecimento geológico e geoquímico associado à análise do estado da arte sobre os depósitos sedimentares anteriores e pós-rompimento da barragem, bem como avaliar os impactos ambientais.

Sabe-se que as atividades mineradoras são essenciais para o desenvolvimento da humanidade, tanto do ponto de vista tecnológico quanto social. De fato, essa atividade por outro lado causa danos ambientais significativos para os mesmos, principalmente no Estado de Minas Gerais, onde possui um histórico de mineração de ouro e ferro. A bacia do Rio Gualaxo do Norte, enfoque deste trabalho, vem sofrendo com esses impactos a mais de 200 anos de mineração, inicialmente de ouro e no último século de ferro e recentemente foi palco de um grande desastre ambiental causado pela mineração.

Sendo assim o presente estudo propõe elaborar uma análise dos impactos ambientais causados pelo rompimento da barragem da empresa Samarco, localizada no município de Mariana-MG. De fato e crucial este entendimento do ponto de vista geológico e geoquímico, para propiciar uma análise crítica e científica da região, criando a possibilidade de entender a dimensão do dano causado com um enfoque ambiental.

### 1.2 LOCALIZAÇÃO

A região de estudo deste trabalho tem como foco o rio Gualaxo do Norte e suas adjacências afetadas pelo rompimento da Barragem de Fundão onde se encontra depósitos provenientes da barragem. Curso d'água este situado no Estado de Minas Gerais, sendo o subafluente do Rio Doce, que se situa desde o município de Ouro Preto até o Rio do Carmo. Os trabalhos de campo para coleta de amostras e reconhecimento da área se desenvolveram no município de Barra Longa, Minas Gerais, e Gesteira distrito deste município, área diretamente afetada pelo rompimento da barragem de rejeitos.



**Figura 1.1** - Localização da Bacia do Rio Gualaxo do Norte destacando a área de coleta de amostras, Modificado de Rodrigues (2012).

### 1.3 OBJETIVO

O objetivo deste projeto é de compreender a geoquímica de sedimentos do rio Gualaxo do Norte antes e após ao rompimento da barragem, visando dimensionar os impactos ambientais a partir de métodos geológicos.

### 1.4 JUSTIFICATIVA

O rompimento da Barragem de Fundão ocasionou impactos ambientais e sociais de grandes proporções, cerca de 35 milhões de m<sup>3</sup> de rejeitos de minério vazaram da barragem no seu rompimento, além de deixar vítimas e desabrigados e afetar drasticamente faunas e floras ao seu redor.

Este projeto espera elaborar de forma a acrescentar dados de quimioestratigráfica dos barrancos onde se tem a deposição do rejeito, a partir de análise faciológica, análise analítica para a quantificação de elementos químicos via ICP-OES. Esses métodos tem sido importantes



para a caracterização temporal de impactos ambientais antropogênicos em sedimentos de depósitos quaternários.

Nesse estudo, os dados permitirão dimensionar, o impacto químico dos rejeitos da barragem nessa localidade a partir da comparação com valores de referência previamente estudados e das condições dos sedimentos antes do rompimento da barragem, possibilitando uma melhor compreensão do prejuízo causado ao meio ambiente bem como gerar conhecimento científico.

## CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

### 2.1 CONTEXTO GEOTECTÔNICO

A cabeceira da área de estudo se encontra no Quadrilátero Ferrífero, porção meridional do Cráton São Francisco. Segundo Costa (2007) a área investigada estende-se do extremo SE do Quadrilátero Ferrífero (Figura 2.1), onde predominam rochas de sequências supracrustais, até a região de Monsenhor Horta, distrito do município de Mariana-MG, onde ocorrem rochas essencialmente de natureza granito-gnáissicas.

Segundo Alkmim e Marshak (1998) o Quadrilátero Ferrífero contém cinco principais unidades litoestratigráficas, o embasamento cristalino arqueano, o supergrupo Rio das Velhas, o supergrupo Minas, rochas intrusivas pós-Minas e o Grupo Itacolomi. Essa região e suas áreas adjacentes foram palco de vários eventos geológicos, sendo três ciclos principais, o Jequié (2,78 a 2,55 Ga), o ciclo Transamazônico (2.5 a 1.9 Ga) e o ciclo Brasileiro (1.0 Ga a 440 Ma), esses eventos moldaram a região estudada e esculpiram um contexto estrutural complexo.

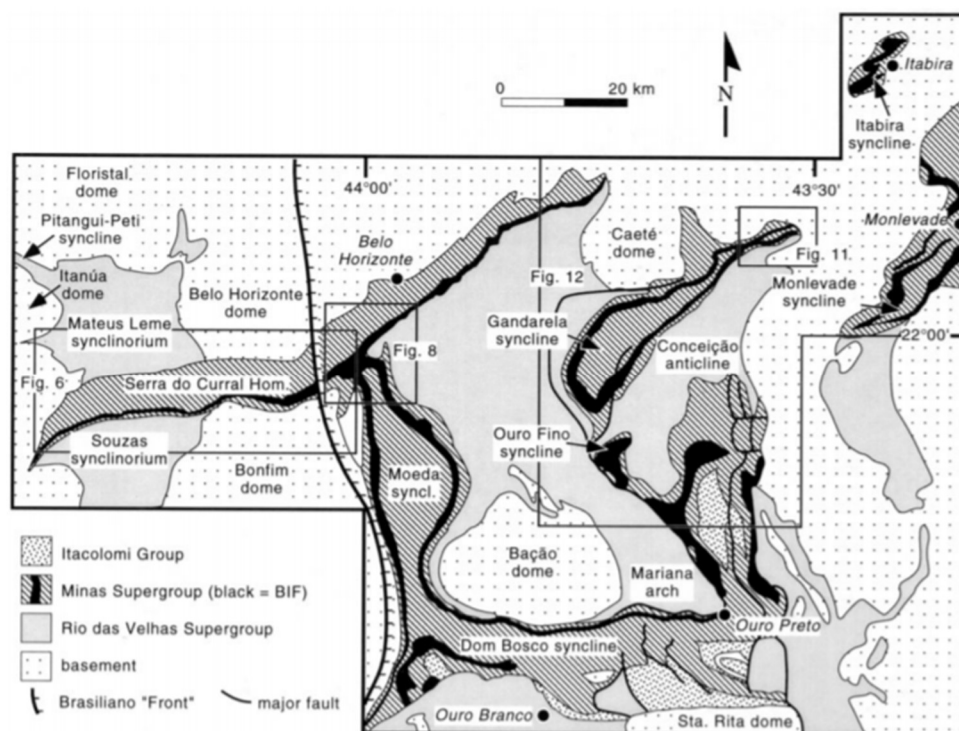


Figura 2.1 - Mapa Geológico do Quadrilátero Ferrífero, Retirado de Alkmim e Marshak 1998

## 2.2 QUADRO ESTRATIGRÁFICO

Neste trabalho evidencia em um contexto geral a geologia do Quadrilátero Ferrífero e as rochas aflorantes na área de estudo, ou seja, na bacia do Rio Gualaxo do Norte.

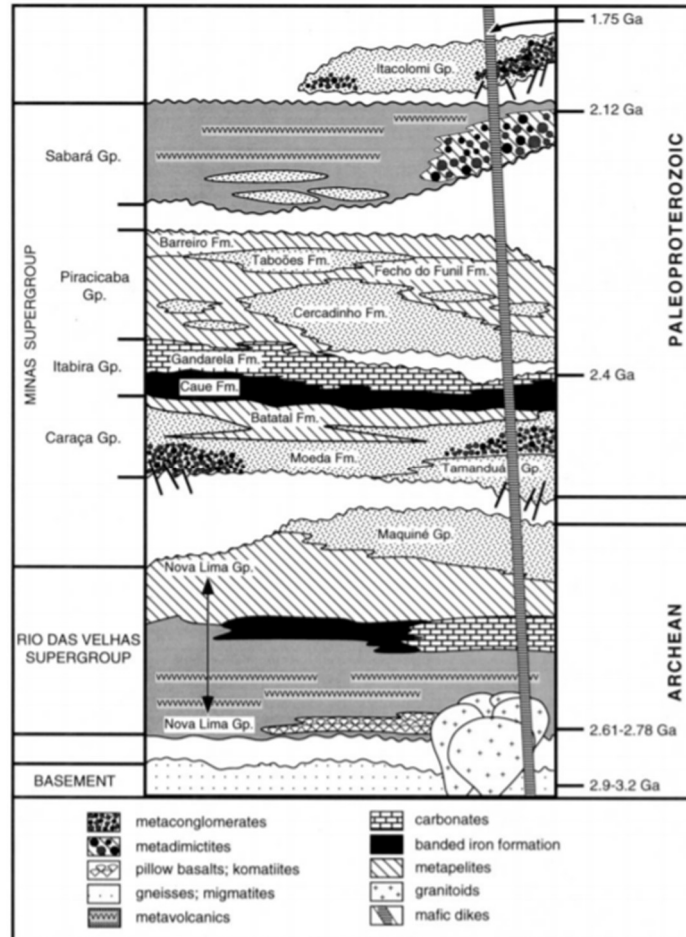


Figura 2.2 - Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero, Retirado de Alkmim e Marshak 1998

### 2.2.1 Rochas do embasamento cristalino Arqueano

Segundo Alkmim e Marshak (1998) o embasamento cristalino inclui rochas cristalinas do complexo Gnaissico/Migmatítico (2.9-3.2 Ga), duas gerações de plútons arqueanos (2,78-2,77 Ga) e granitos anorogênicos (2,73 a 2,61 Ga). As rochas que fazem deste grupo são definidas como, o complexo Santa Bárbara, que cobre boa parte da Bacia do Rio Gualaxo do Norte, formada por rochas gnássicas, rochas graníticas e granitos leucocráticos (CPRM 1993). O Complexo Acaiaca, rochas de alto grau metamorfisadas em facies anfíbolito e granulito (Evangelista 1984), o Complexo Mantiqueira caracterizado por gnaisses bandados com

intercalações de anfíbolitos e metagabros, gnaisses bandados migmatizados e corpos de ortognaisses quartzo-dior. Segundo (Costa 2001) as unidades litoestratigráficas que afloram nos cursos médio e baixo do rio Gualaxo do Norte referem-se aos Complexos Santo Antônio e Piranga e Santa Barbara, pertencentes à Província Geotectônica São Francisco, e aos Complexos Acaiaca e Mantiqueira pertencentes à Província Geotectônica Mantiqueira.

### **2.2.2 Supergrupo Rio das Velhas**

O Supergrupo Rio das Velhas consiste em uma unidade de rochas do tipo greenstone, composta por basaltos e komatiitos, lava riolítica intercalada com rochas sedimentares. As unidades sedimentares deste supergrupo, inclui, formações ferríferas bandadas do tipo Algoma, carbonatos e rochas siliciclásticas. Segundo Costa (2007) o Supergrupo Rio das Velhas corresponde às primeiras manifestações de rochas supracrustais no Quadrilátero Ferrífero, na área estudada ocorre o predomínio de rochas vulcano-sedimentares constituídas de xistos carbonáticos, metacherts, formação ferrífera bandada e filitos.

Este Supergrupo ainda e subdividido em duas unidades: O grupo Nova Lima e o Grupo Maquiné.

- O Grupo Nova Lima e interpretado como uma sequência de rochas do tipo greenstone belt e composto por três unidades, unidade metavulcânica, unidade metassedimentar química e unidade metassedimentar clástica. (Retirado de Rodrigues, 2012)
- O Grupo Maquiné é caracterizado por duas formações, sendo elas, a Formação Palmital composta essencialmente por filitos, grauvacas, sericita-quartzito e metaconglomerados, e a Formação Casa Forte comporta por quartzitos sericíticos, xistosos e cloríticos. (Retirado de Rodrigues, 2012)

### **2.2.3 Supergrupo Minas**

O Supergrupo Minas de idade paleoproterozóica e uma unidade metassedimentar clástica e química de ambiente de deposição plataformar que possui discordância angular com o seu embasamento, o Supergrupo Rio das Velhas. Segundo Alkmim e Marshak (1998) as rochas que compõe esse Supergrupo são resistentes a erosão, sendo assim, formam cordilheiras que se elevam acima das regiões, com o embasamento greenstone menos resistente, criando assim um dos maiores relevos do sul do Brasil.

Dorr (1969) propôs que o Supergrupo Minas é dividido em três grupos, o Grupo Caraça, o Itabira e o Piracicaba. Segundo Costa (2007) o Grupo Caraça é representado por sedimentos clásticos de granulação fina a grossa (quartzitos e filitos), depositados durante uma transgressão marinha. O grupo Itabira caracteriza-se por sedimentos químicos e divide-se nas Formações Cauê (Formações Ferríferas) e Gandarela (rochas carbonáticas), depositadas em ambiente de mar raso. O grupo Piracicaba é caracterizado por sedimentos clásticos (quartzitos e filitos) depositados em ambientes de transgressão marinha, sendo constituído pelas formações Cercadinho, Fecho do Funil, Taboões e Barreiro.

#### **2.2.4 Grupo Itacolomi**

O Grupo Itacolomi é uma unidade segundo Alkmim e Marshak (1998), que é formada por arenito grosseiro e conglomerados polimíticos contendo clastos de formação ferrífera bandada. Dorr (1969) descreve o Grupo Itacolomi como uma sequência de rochas supra crustais metamorfizadas que campeiam o Supergrupo Minas.

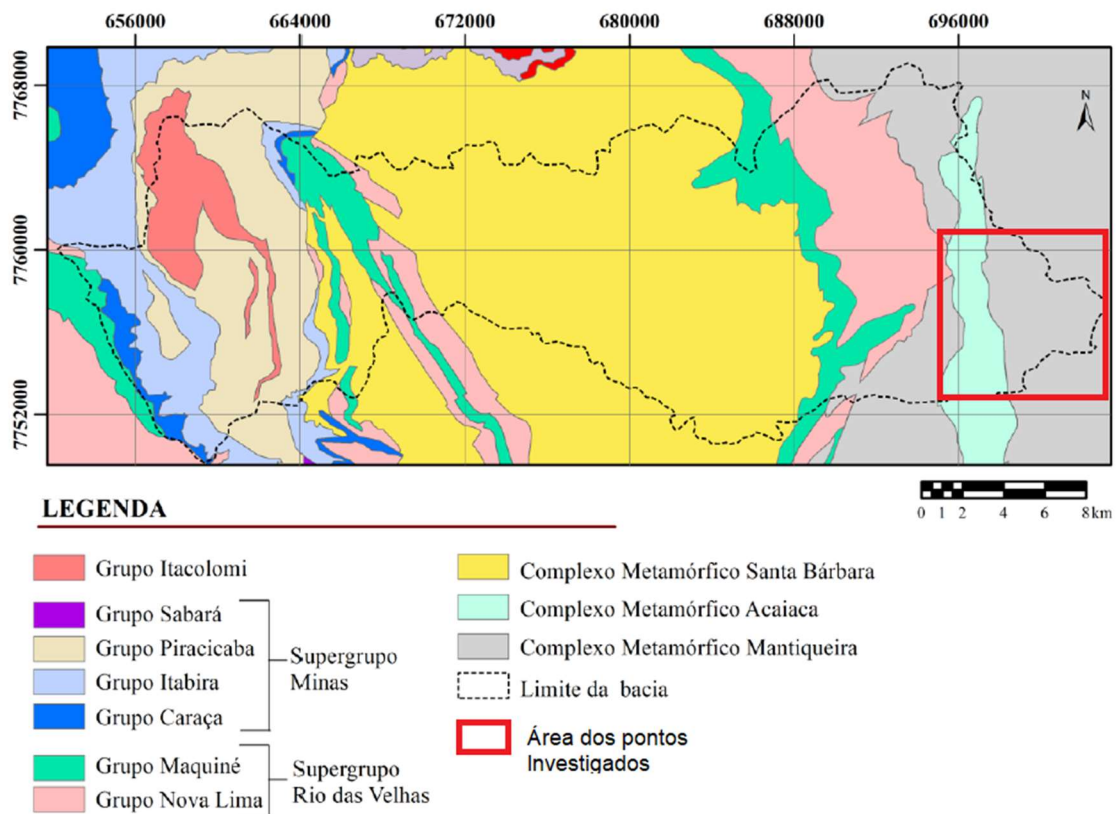


Figura 2.3 – Mapa Geológico da Bacia do Rio Gualaxo do Norte, Modificado de CPRM (1993). Modificado de Rodrigues (2012)

#### 3.1 INTRODUÇÃO

Para chegar ao objetivo do estudo, realizam-se etapas para a construção dos resultados, utilizando métodos de campo e laboratoriais seguindo o fluxograma abaixo.

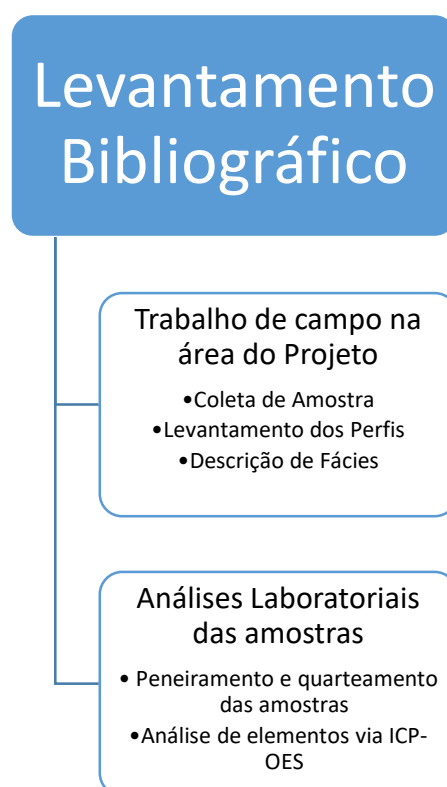


Figura 3.1 - Fluxograma referente às etapas definidas para a realização do projeto

#### 3.2 Levantamento Bibliográfico

Esta etapa consiste em uma análise dos estudos que foram feitos anteriormente na área do trabalho, em suma a revisão bibliográfica engloba do início ao fim do projeto. Levantamento e busca de informações referentes à geologia regional, levantamentos estratigráficos anteriormente levantados, e dados geoquímicos e mineralógicos. Em relação à base de consulta bibliográfica, este presente trabalho utilizou entre outros dados antes do rompimento da barragem dos trabalhos de Costa (2001), Costa (2007) e Rodrigues (2012) com questões relativas à metodologia de quimioestratigrafia de depósitos quaternários e Proposição de valores de Background. Trabalhos de geoquímica de sedimentos após o rompimento da barragem estão sendo investigados

### **3.3 Trabalho de campo**

Inicialmente foi realizada uma investigação preliminar de campo para seleção dos sítios amostrais.

O trabalho de campo consiste em promover o levantamento de perfis estratigráficos, ao longo da Bacia do Rio Gualaxo do Norte, para a coleta de amostras de sedimentos, descrição dos mesmos e interpretação de fácies destes perfis a fim de entender a evolução dos depósitos associados ao rompimento da barragem. A coleta de amostras e descrição dos barrancos se inicia por uma investigação preliminar de campo para a seleção das áreas de coleta em *cutbanks*, em seguida se observa registros de sedimentação anterior e posterior ao rompimento da barragem a fim de descrever o perfil faciológico e coletar amostras nestas fácies para posteriormente levantar dados geoquímicos e mineralógicos.

### **3.4 Análise Sedimentar e Coleta de Amostras**

Foi realizada a análise sedimentar de 4 barrancos (B1, B2, B3 e B4) com levantamento de seções e coleta de amostras de sedimentos dos barrancos, nos pontos identificados como favoráveis.

Inicialmente foi realizada a limpeza e o “corte” dos barrancos com auxílio de pás, facão e enxada. Realizando a descrição estratigráfica, a distinção de fácies foi feita como cita Rodrigues (2012), levando-se em consideração as estruturas sedimentares, composição granulométrica e textural, composição mineralógica, bem como a presença ou ausência de conteúdo antropogênico. A verificação destes elementos se deu pelo uso de lupa, trena (para a medição dos barrancos) e tabela granulométrica. Após o levantamento de seções, as amostras foram coletas em cada uma das fácies descritas com auxílio de pá e facão, acondicionados em sacos plásticos para análises laboratoriais.





Figura 3.2 - Imagem ilustrativa de coleta de amostras nas fácies de um barranco (Ponto 2, Rio Gualaxo do Norte)

### 3.5 Análises Laboratoriais

As análises laboratoriais consistem em realizar análises analíticas e quantificação de elementos químicos nas amostras de sedimentos coletadas em campo, de diferentes fácies dos perfis, a fim de identificar a presença de metais pesados e outros elementos importantes via ICP-OES.

Inicialmente foi realizada a secagem e o quartejamento dos sedimentos para analisar a composição granulométrica através do método de peneiramento. A percentagem de cada uma das frações granulométricas sendo, areia grossa e cascalhos, areia média, areia fina, areia muito fina e silte e argila serão determinadas e a fração silte/argila, onde se concentra os maiores teores de metais pesados será enviada para análise geoquímica. As amostras foram submetidas a digestão parcial para determinação de elementos maiores e traço em ICP-OES.

### **3.5.1 Comparação de dados**

Foi realizado gráficos da assinatura vertical dos depósitos no excel e comparados com os valores geoquímicos de fácies semelhantes antes e pós-rompimentos, além da comparação com a literatura.

### **3.5.2 Estudo Granulométrico**

O estudo da composição granulométrica do material, foi obtido através de métodos de peneiramento e quarteamento e análise via lupa e tabela granulométrica, essencial para o conhecimento dos tamanhos das amostras global e final a serem obtidas com devida representatividade. Após a análise do material, será utilizado segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1995), a nomenclatura correta para as amostras coletadas, seguindo as frações a seguir:

- Areia Grossa: Areia com grãos de diâmetros compreendidos entre 0,20 mm e 0,60 mm
- Areia Média: Areia com grãos de diâmetros compreendidos entre 0,60 mm e 2,00 mm
- Areia Fina: Areia com grãos de diâmetros compreendidos entre 0.06 mm e 0,2 mm
- Argila: Granulação fina constituído por partículas com dimensões menores que 0,002 mm.
- Silte: Fração formada por partículas com diâmetros compreendidos entre 0.002 mm e 0.06 mm

As análises granulométricas dos perfis amostrais B1, B2 e B3 foram realizadas em laboratório, a princípio, todas as fácies relacionadas aos perfis foram previamente secadas e quarteadas e em seguida foram peneiradas segundo o método de peneiramento, usando o equipamento adequado ao processo (Figura 3.3). Em seguida foi realizada a análise granulométrica de todas as amostras.



Figura 3.3 – Equipamento de Peneiramento

### 3.5.3 Análise via ICP-OES

O ICP-OES (Espectrômetro de Emissão Atômica com Fonte de Plasma Indutivamente Acoplado) consiste numa poderosa ferramenta analítica para a quantificação de metais, semi-metais, e não metais em diversos tipos de amostras, o ICP-OES utiliza uma fonte de plasma para produzir espectros de emissão a partir da excitação e decaimento de átomos e íons de interesse. Tal método será realizado com auxílio de digestão parcial por água régia para quantificação de elementos químicos (maiores e traços), a fração  $< 0.063$  mm equivalente a fração silte argila destinadas à análise geoquímica, no Laboratório de Geoquímica Ambiental, Degeo, UFOP. Os elementos que foram analisados via ICP-OES podem ser observados na tabela ICP-OES em anexo, já os elementos que foram investigados neste trabalho são respectivamente os elementos maiores, o Ferro (Fe), Manganês (Mn), Alumínio (Al), além dos elementos, Níquel (Ni), Cromo (Cr), Vanádio (V), Cobre (Cu), Zinco (Zn), Antimônio (Sb), Arsênio (As), e Chumbo (Pb).

### 3.6 Geração de perfis sedimentares

A estratigrafia se resume como um estudo da gênese, ou sucessão, no tempo e espaço. E da representatividade areal e vertical das camadas e sequências de rochas e ou solos de uma região. Busca determinar os eventos, processos e ambientes geológicos associados. Objetiva organizar o conhecimento geológico através da caracterização de unidades estratigráficas com suas abrangências verticais e laterais, e estabelecer correlações geológicas entre regiões diferentes e servir de fundamento para o estabelecimento da história da evolução geológica local, regional (CPRM, SIGEP).

O perfil estratigráfico é uma representação gráfica em forma de coluna com litofácies, indicando granulometria, estruturas sedimentares, geometria e espessura. Envolve no levantamento do mesmo, o trabalho de campo, o reconhecimento de litofácies, a medição de altitude da camada e a avaliação da espessura. O presente trabalho espera elaborar perfis estratigráficos em *cutbanks* e nas margens (barras de pontal, dique marginal) do Rio Gualaxo do Norte para o reconhecimento faciológico dos depósitos recentes do rompimento da barragem e não somente, depósitos anteriores ao acontecimento, com auxílio de lupa, caderneta de campo, trena, pá e tabela granulométrica para a determinação das fácies. Houve a preocupação na confecção dos perfis estratigráficos com o uso do programa SedLog 3.1, além de anexar fotos que ajudam na visualização do afloramento estudado.

## CAPITULO 4

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

---

#### 4.1 Ambientes Fluviais

Os ambientes deposicionais fluviais estão associados à existência de água em quantidades significativas, correspondendo a uma drenagem das águas canalizadas em leitos principais, transportando carga sólida de fundo e de suspensão e carga em solução. Os principais fatores controladores da dinâmica fluvial e da consequente dinâmica deposicional são a litologia regional, tectônica, clima, topografia, regime pluviométrico e o estado erosivo do rio. Existem tipos básicos característicos de sistemas fluviais, denominados, retilíneo, meandrante, anastomosado e entrelaçado que nos mostra diferentes fisionomias que o canal exibe ao longo de seu trajeto. (Faculdade de Ciências de Lisboa, Aula 5)

O sistema fluvial meandrante típico dos segmentos do Rio Gualaxo do Norte onde se encontram os depósitos investigados, possui características que se deve levar em consideração em relação aos tipos de depósitos sedimentares. Os depósitos típicos deste sistema fluvial se caracterizam por possuir sistemas deposicionais sendo o canal fluvial, depósitos de barra de pontal, *cutbank* e planície de inundação e meandros abandonados.

#### 4.2 Depósitos Sedimentares Fluviais

Segundo Rodrigues (2012), os sistemas de deposição apresentam grande importância na dinâmica de vários elementos químicos na bacia hidrográfica. A análise e a interpretação de depósitos sedimentares fluviais, em um estudo, envolvendo descrição de fácies e análise geoquímica mineralógica é de grande importância para se entender o ambiente de sedimentação bem como uma reconstrução do ambiente paleogeográfica e a comparação deste com depósitos recentes.

Em um ambiente de deposição fluvial como citado no tópico anterior, possui uma variedade de sistemas deposicionais. Como este estudo é construído por danos dos sistemas deposicionais do tipo *cutbank*, e planícies de inundação, é válido uma breve introdução a esses sistemas.

Como ressalta Rodrigues (2012), as planícies de inundação são sistemas deposicionais, típicos de rios meandantes, desenvolvidos sobre a calha de um vale preenchido por sedimentos

aluvionares e que apresenta meandros fluviais divagantes, devido à baixa declividade do curso do rio que, em épocas de cheia, extravasa do canal fluvial e inunda a região. As planícies de inundação ocorrem, normalmente, no baixo curso do rio onde o relevo, mais desbastado pela erosão do que à montante, apresentando pequeno gradiente topográfico, em consequência, a energia fluvial é diminuída e não consegue carregar muito da carga sedimentar do rio que é depositada, colmatando o vale com sedimentos fluviais (Glossário Geológico-CPRM).

O sistema deposicional *cutbank* como cita Rodrigues (2012), refere-se a um sinônimo de parede erodida do canal ou depósito dos cortes de canais de rios. Ressalta que representam os sedimentos do barranco exposto pela erosão lateral do meandro externo. Neste sentido à análise destes sistemas deposicionais são de grande valia para este trabalho no ponto de vista, de serem acumuladores de sedimentos que representam tanto a fase anterior ao rompimento da barragem bem como acumuladores dos sedimentos provenientes da mesma.

### **4.3 Geoquímica de Sedimentos**

A geoquímica em sedimentos é uma ferramenta de grande importância quando se trata de estudos de fácies na descrição estratigráfica. Como ressalta Rodrigues (2012), tais estudos, apoiados nos princípios da estratigrafia, fornecem dados que podem ser úteis na compreensão da dinâmica de muitos elementos tóxicos ao longo do tempo geológico.

Ainda em Rodrigues (2012), ressalta-se que a geoquímica ambiental em sedimentos, tida como o estudo das interações dos compostos/elementos químicos naturais e artificiais com o meio ambiente, visa conhecer, prever e controlar possíveis focos de poluição do solo, sedimentos, água superficial/subterrânea e da atmosfera. Conforme discutido ainda em Rodrigues (2012), os sedimentos são matrizes compostas de partículas dendríticas, inorgânicas ou orgânicas, relativamente heterogêneas em termos de características físicas, químicas e biológicas. Com frequência, os sedimentos são compostos de partículas finamente granuladas, que se encontram em contato com a parte inferior dos corpos de água natural, como lagos, rios e oceanos, Por possuírem propriedades de acumulação de poluentes, a determinação de elementos tóxicos nos permite avaliar o seu ciclo geoquímico. Além disso, os sedimentos constituem um armazenamento temporário e podem agir como dissipadores ou fontes de metais por meio de reações de adsorção/dessorção e precipitação/dissolução.

A fração < 0.063 mm onde este trabalho procura caracterizar elementos traços e maiores é ressaltado por Rodrigues (2012), fração fina dos sedimentos, em que concentra os maiores

teores de metais pesados. Os sedimentos podem agir como possíveis fontes de contaminação, uma vez que, esses metais não são permanentemente fixados por eles, podendo ser novamente disponibilizados para a coluna d'água.

O estudo da geoquímica de sedimentos é de grande valor quando se trata do estudo relação do depósito sedimentar e a ocorrência de elementos tóxicos, seja de origem antrópica ou natural. Em trabalhos anteriores como em Rodrigues (2012) e Costa (2007), nota-se a importância do uso da geoquímica em ambos os estudos para a caracterização de elementos químicos na descrição de fácies sedimentares.

#### **4.4 Estado da Arte sobre Geoquímica de sedimentos na área**

A bacia do Rio Gualaxo do Norte, área de estudo deste projeto, foi palco de alguns estudos em relação a caracterização de elementos nocivos de origem antrópica e natural. Como citado anteriormente Rodrigues (2012), Costa (2001) e Costa (2007), em ambos os estudos nesta bacia, buscam correlacionar dados estratigráficos (fácies sedimentares) e dados geoquímicos para elaborar uma análise sobre possíveis elementos contaminantes.

Em Rodrigues (2012), procura-se fazer análises químicas nos sedimentos de perfis levantados, com a associação de análises mineralógicas e granulométricas para a avaliação das condições ambientais do rio principal da bacia, evidenciando a presença de focos de degradação ao longo de sua extensão. De modo que, se relata que as atividades antropogênicas influenciam não apenas a distribuição química de elementos importantes do ponto de vista ambiental como um incremento de determinados elementos.

O trabalho de Costa (2007) nesta bacia teve como objetivo também a caracterização de elementos e a influência de atividades antrópicas na distribuição dos mesmos. Um registro em que se tem um estudo da exploração aurífera na região, e sua influência no registro geológico. Com base em registro estratigráfico e geoquímico de perfis de sedimentos de depósitos sedimentares adjacentes, mostra-se valores de referência e áreas de riscos de contaminação, além de potenciais mobilidades de alguns elementos tóxicos nesta bacia.



## CAPITULO 5

### RESULTADOS

---

#### 5.1- Análise estratigráfica dos perfis e localização

Este capítulo trata-se da caracterização estratigráfica dos perfis elaborados a partir dos barrancos descritos nos pontos estudados, envolvendo o reconhecimento das fácies sedimentares.

##### 5.1.1 – Localização geográfica dos barrancos

A partir de dados obtidos via Google Earth, podemos identificar os locais que foram analisados via imagem de satélite (Figura 5.0).



Figura 5.0 – Localização de todos os pontos analisados



## PONTO 1

No ponto 1 (Figura 5.1), de localização nas coordenadas N 0704251 e E 7755772, foram descritos 1 perfil no barranco B3. Este se localiza na margem do Rio do Carmo aos arredores do município de Barra Longa, Minas Gerais.



Figura 5.1 – Localização do Ponto 1 (N 0704251 E 7755772), Barra Longa – MG, Fonte: Google Earth

## PONTO 2

No ponto 2 (Figura 5.2), localizado segundo as coordenadas N 0700622 E 7755772, foram descritos 2 perfis referentes ao barraco B1 e barra B2. Estes estão localizados no Rio Gualaxo do Norte a Oeste do Ponto 1.



Figura 5.2 – Localização do Ponto 2 (N 0700622 E 7755772), Rio Gualaxo do Norte, Fonte: Google Earth

### **PONTO 3**

O ponto 3 tem localização N 0703858 E 7755849, onde foi descrito o barranco B4, e está inserido no Rio do Carmo próximo a cidade de Barra Longa – MG (Figura 5.3).





Figura 5.3 - Localização do Ponto 3 (N 0703858 E 7755849), Rio do Carmo, Fonte: Google Earth

## 5.2 – Caracterização ambiental da área

Neste tópico aborda-se o contexto em que as amostras foram coletadas além de abordar uma visão geoambiental da área estudada.

Este trabalho como dito anteriormente, foi realizado após o rompimento da barragem de Fundão que afetou o rio Gualaxo do Norte e a bacia do Rio Doce, Minas Gerais. Este fluxo de rejeito afetou drasticamente a região, e principalmente os rios, bem como todos os pontos investigados neste trabalho.

### 5.2.1 – Caracterização ambiental do ponto 1

Nota-se neste ponto que foram feitos alguns trabalhos para mitigar os efeitos do rompimento da barragem, como por exemplo o enrocamento com pedras de gnaiss nas margens dos rios (Figura 5.4). Esse enrocamento nos segmentos de rios meandantes e especialmente no meandro externo, não impede a erosão e os blocos saem da estrutura e as margens não ficam protegidas e provoca o aumento da erosão das margens e aumento da carga de sedimentos na planície de inundação durante as chuvas. Além disso, pode futuramente acarretar um aumento da sedimentação na calha do rio e causar um aumento da turbidez e

eventualmente nos períodos de chuva causar enchentes na região, além de citar que vários blocos que foram transportados para a aumentar a sustentação dessas planícies estão invadindo a calha do rio e influenciando negativamente o curso deste rio.



Figura 5.4- Trabalho realizado no retaludamento e enrocamento do Rio do Carmo, nota-se ao fundo blocos adentrando às margens do rio

### 5.2.2 – Caracterização ambiental ponto 2

É possível identificar no ponto 2 algumas ocorrências que podem causar um impacto ambiental significativo das intervenções utilizadas para mitigar o impacto na região, como a grande quantidade de blocos soltos na calha que provavelmente foram deslocados do enrocamento durante a erosão da margem externa e depositados junto a barra na margem interna (Figura 5.5 e 5.6) que podem eventualmente afetar o curso do rio.



Figura 5.5 - Blocos realocados na calha do Rio Gualaxo do Norte provenientes do enrocamento utilizado para conter a erosão da margem externa

O método de enrocamento utilizado não é adequado a este tipo de rio, por ser um rio meandrante, o rio Gualaxo do Norte tem como característica o fluxo em curvaturas adentrando pela planície. Na margem externa do rio necessariamente a velocidade do fluxo é maior e gera erosão, logo, a colocação desses blocos não ajuda na sustentação dos barrancos e das planícies e inevitavelmente serão depositados junto a calha do rio (Figura 5.6).





Figura 5.6 -Foto evidenciando os blocos soltos advindos do enrocamento realizado no Rio Gualaxo do Norte

### **5.2.3 – Caracterização Ambiental Ponto 3**

No ponto 3 (Figura 5.7), relatos de habitantes indicam que este solo está pouco fértil, onde se planta e não se obtém resultado, muito provavelmente se dá pelo retaludamento, e pelo acúmulo de rejeito da barragem depositados nesses locais.



Figura 5.7 – Planície de inundação do Rio do Carmo próximo a Barra Longa-MG, local de plantio da população.

Além do relatado neste ponto, podemos analisar que os trabalhos realizados de contenção do rejeito inserido nesses barrancos e na planície não estão eficazes. Analisa-se que a geogrelha instalada na proximidade do rio não está de fato contendo fazendo com que este rejeito deposite na calha do rio (Figura 5.8). A granulometria fina desse material passa por essa proteção, ou até mesmo a danifique, além de notar a grande quantidade de material que está em suspensão no rio.



Figura 5.8 – Geogrelha instalada na borda do rio do Carmo, material consegue ultrapassar a proteção e deposita no rio, nota-se a quantidade de material acumulado na superfície do rio.

### **5.3 – Análise Granulométrica dos barrancos**

Neste capítulo analisa-se as granulométricas dos perfis amostrais B1, B2, e B3 todas as fácies relacionadas aos perfis foram previamente secadas e quarteadas e em seguida foram peneiradas, em seguida foi realizada a análise granulométrica de todas as amostras. Todos os resultados são mostrados na tabela a seguir (Tabela 1). Por motivos de infraestrutura não foi possível analisar o barranco B4 granulometricamente.



Tabela 1 – Resultados da Granulometria em Laboratório

Amostras	Ponto	Peso total	Granulometria (mm)									
			2 mm		0,6 mm		0,25 mm		0.06 mm		Fração Silte	
			Peso (g)	%	Peso (g)	%	Peso (g)	%	Peso (g)	%	Peso (g)	%
Fácies 1 B1	1	582,4g	-	0,00	-	0,00	63,1g	10,83	489,5g	84,04	29,8g	5,11
Fácies 2 B1	1	504,8g	-	0,00	1,4g	0,27	53,0g	10,49	437,9g	86,74	11,0g	2,17
Fácies 3 B1	1	541,3g	-	0,00	-	0,00	31,4g	5,80	461,0g	85,16	47,5g	8,77
Fácies 1 B2	1	717,5g	43,0g	5,99	42,0g	5,85	26,0g	3,62	386,8g	53,90	219,7g	30,62
Fácies 2 B2	1	700,0g	2,8g	0,40	1,7g	0,24	26,4g	3,77	641,7g	91,67	27,4g	3,91
Fácies 3 B2	1	1688,0g	275,8g	16,33	195,9g	11,60	190,3g	11,27	884,4g	52,39	141,6g	8,38
Fácies 1 B3	2	986,9g	497,2g	50,37	229,0g	23,20	107,0g	10,84	104,1g	10,54	49,6g	5,02
Fácies 2 B3	2	662,8g	307,9g	46,45	122,6g	18,49	58,6g	8,84	96,3g	14,52	77,4g	11,67

Nesta análise nota-se que o grande percentual de massa amostral se encontra entre as frações 0,075 mm (areia fina) e as frações menores que 0,064 mm compreendendo as frações silte/argila. Todas amostras foram coletadas ao longo da Bacia do Rio Gualaxo do Norte, sendo que todas estão sobre a área de influência dos rejeitos da barragem de Fundão.

Analisando separadamente cada barranco através de gráficos podemos observar nas fácies B1 (gráfico 1), grande parte da amostra compreende as frações 0,075 mm (areia fina), sendo inexistente frações menores que 0,6 mm. No entanto o barranco analisado B2 (gráfico 2), nota-se que grande parte das amostras também compreendem nas frações 0,075 mm (areia fina), mas ocorre nas fácies 1 e 2 um aumento granulométrico das amostras em frações mais grossas maiores que 0,6 mm (areia média e grossa).

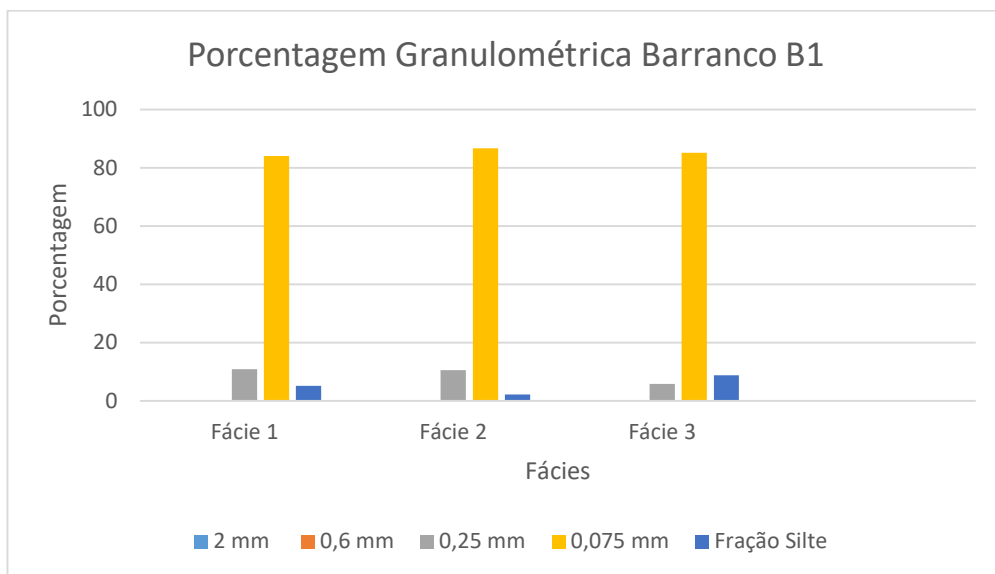


Gráfico 1 – Barra B1, Rio Gualaxo do Norte

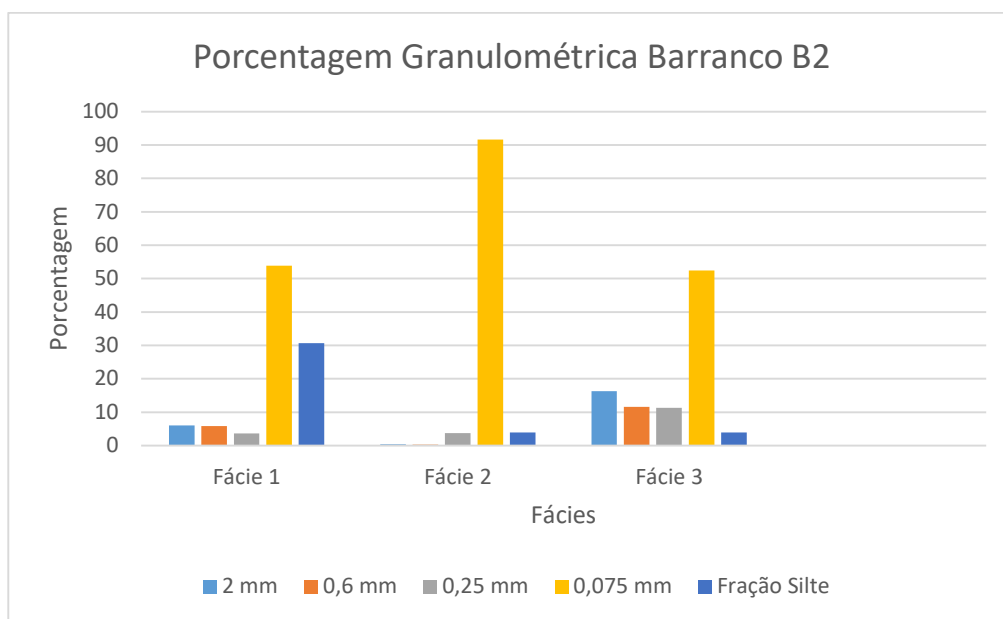


Gráfico 2 – Barranco B2, Rio Gualaxo do Norte

Nota-se que onde há uma granulometria mais grossa em porcentagem é pertencente as fácies 1 e 2 do barranco analisado B3 (gráfico 3), onde se nota frações granulométricas maiores que 2 mm com uma porcentagem maior do que as demais, este barranco analisado está diretamente relacionado ao rompimento da barragem, além de ter influência antrópica bem pronunciado, pelo fato de estar em uma área de solo remobilizado pela empresa responsável pela obra. O material com frações granulométricas maiores que 2 mm acredita-se ser o rejeito da barragem bem consolidado, observando o material não há evidencias de ser fragmentos de rocha ou

algo do tipo, somente um material de fração fina bem consolidado típico da concretização desse rejeito. O método de peneiramento não obteve sucesso da desagregação desse material.

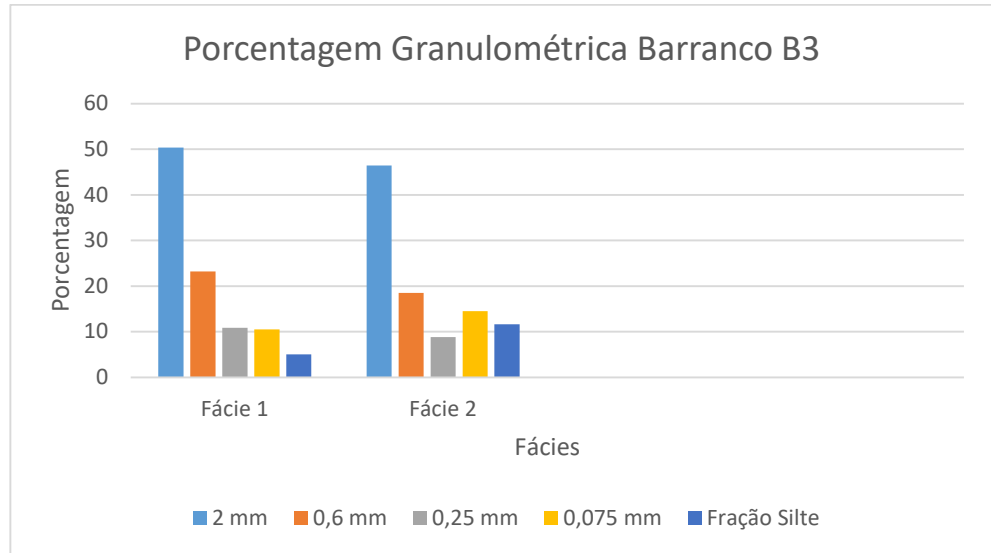


Gráfico 3 – Barranco B3, Rio do Carmo, Barra Longa - MG

#### 5.4 – Análise estratigráfica dos barrancos

Neste capítulo iremos abordar a análise estratigráfica dos barrancos estudados, envolvendo assim o reconhecimento de fácies sedimentares.

O estudo da fácies sedimentares neste respectivo trabalho irá basear em critérios de classificação de fácies estabelecidos por Miall (1978) (Tabela 2). Usando códigos de identificação de fácies estabelecidos pelo mesmo, nas respectivas colunas estratigráficas.

Tabela 2 – Classificação de fácies (Miall 1978)

CÓDIGO	FÁCIES	ESTRUTURAS SEDIMENTARES	INTERPRETAÇÃO
Gmm	Cascalho matriz- suportado, maciço	Maciça, gradação fraca	<i>Debris flow</i> plástico (alta tensão, viscoso)
Gmg	Cascalho matriz- suportado	Gradação inversa ou normal	<i>Debris flow</i> pseudoplástico (baixa tensão, viscoso)
Gci	Cascalho clasto-suportado	Gradação inversa	<i>Debris flow</i> rico em clastos (alta tensão) ou <i>debris flow</i> pseudoplástico (baixa tensão)
Gcm	Cascalho clasto-suportado	Maciça	<i>Debris flow</i> pseudoplástico (carga de fundo inercial, fluxo turbulento)
Gh	Cascalho clasto-suportado, com acamamento fraco	Acamamento horizontal, imbricação	Formas de leito longitudinais, depósitos residuais e de peneiramento
Gt	Cascalho estratificado	Estratificação cruzada acanalada	Preenchimento de pequenos canais
Gp	Cascalho estratificado	Estratificação cruzada planar	Formas de leito transversais, crescimento deltaico de antigos remanescentes de barras
St	Areia fina a muito grossa, pode conter cascalhos	Estratificação cruzada acanalada (individual ou agrupada)	Dunas de crista sinuosa e linguóide (3D)
Sp	Areia fina a muito grossa, pode conter cascalhos	Estratificação cruzada planar (individual ou agrupada)	Formas de leito transversais e linguóides (2D)
Sr	Areia muito fina a grossa	Laminação cruzada de pequeno porte	Ondulações (regime de fluxo inferior)
Sh	Areia muito fina a grossa, pode conter cascalhos	Laminação horizontal, lineação-de-partição ou de corrente	Fluxo de camadas planas (fluxo crítico)
Sl	Areia muito fina a grossa, pode conter cascalhos	Estratificações cruzadas de baixo ângulo (< 15°)	Preenchimento de escavações, <i>humpback</i> ou <i>washed-out dunes</i> , antidunas
Ss	Areia fina a muito grossa, pode conter cascalhos	Escavações rasas e largas	Preenchimento de escavações
Sm	Areia fina a grossa	Maciço ou laminação fraca	Depósitos de fluxos gravitacionais de sedimentos
Fl	Areia, silte e lama	Laminação fina, ondulações muito pequenas	Depósitos de planície de inundação, de canais abandonados, ou de final de inundação / inundação atenuada
Fsm	Silte e lama	Maciço	Pântanos ou canais abandonados
Fm	Lama e silte	Maciço, gretas de dessecação	Depósitos de planície de inundação, de canais abandonados, de recobrimento ( <i>drapes</i> )
Fr	Lama e silte	Maciço, raízes e bioturbação	Solo incipiente, camada de raízes
C	Carvão, lama carbonosa	Plantas e filmes de lama	Depósitos de brejos vegetados
P	Paleossolo carbonático (calcita e siderita)	Feições pedogenéticas: nódulos, filamentos	Solo com precipitação química

### Barra B1 e Barranco B2

O barranco e barra analisados neste ponto com a localização (Figura 5.2) no Rio Gualaxo do Norte, próximo a estrada MG-326, possuem caráter de depósitos em barra de pontal formada principalmente por sedimentos arenosos (Figura 5.9) e, em menor ocorrência por material silte argiloso. O Rio Gualaxo do Norte possui um estilo fluvial predominantemente meandrante, o que explica a ocorrência de depósitos em barra de pontal.



Figura 5.9 – Depósitos em Barra de pontal no Rio Gualaxo do Norte onde foram feitas as análises estratigráficas do perfil B1

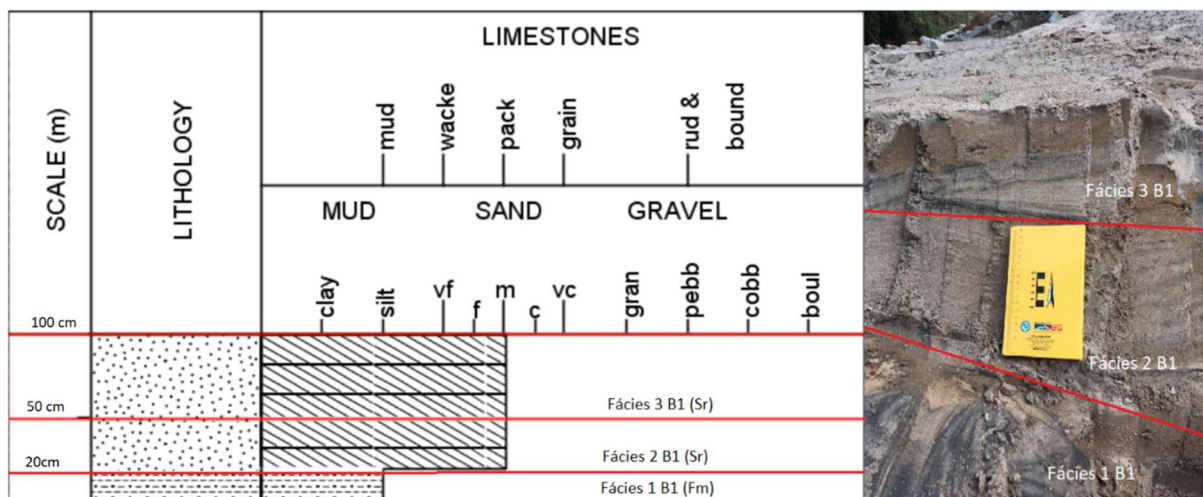


Figura 6.0 – Perfil Estratigráfico Barra B1



No perfil da barra B1 (Figura 6.0), foram identificadas as fácies **Fm** e **Sr**, sendo que a fácies **Fm** só ocorre na base da barra (Fácies 1), com granulometria fina de silte e argila com nenhuma estrutura sedimentar pronunciada. Sendo as demais fácies sobrepostas (Fácies 2 e 3) caracterizadas como **Sr**, com granulometria de areia média, com estrutura sedimentar de estratificações cruzadas de pequeno porte. O que se nota na distinção das fácies 2 e 3 desta barra analisada são lentes de estratificação cruzada com uma mineralogia mais escura da fácies 3 como observado no perfil.

No barranco B2 (Figura 6.1) tem-se identificadas as fácies **Fm** e **Sr**, mais precisamente as fácies **Fm** ocorrem na base do perfil estratigráfico (Fácies 1 B2) como ocorre no barranco B1, com granulometria fina de silte e argila, sem nenhuma estrutura sedimentar pronunciada. As fácies **Sr** ocorrem logo acima, com granulometria de areia média, com estrutura sedimentar bem evidente de estratificações cruzadas de pequeno porte. No topo desse perfil identifica-se as fácies **Fm**, com granulometria fina de silte e argila e sem estrutura sedimentar identificada, nota-se uma bioturbação nessa fácies e uma mineralogia com cor escura possivelmente relacionado ao óxi-hidróxidos de ferro, por estar logo acima do depósito em barra de pontal dando sequência para o barranco. Possivelmente é identificado como o rejeito da barragem de Fundão.

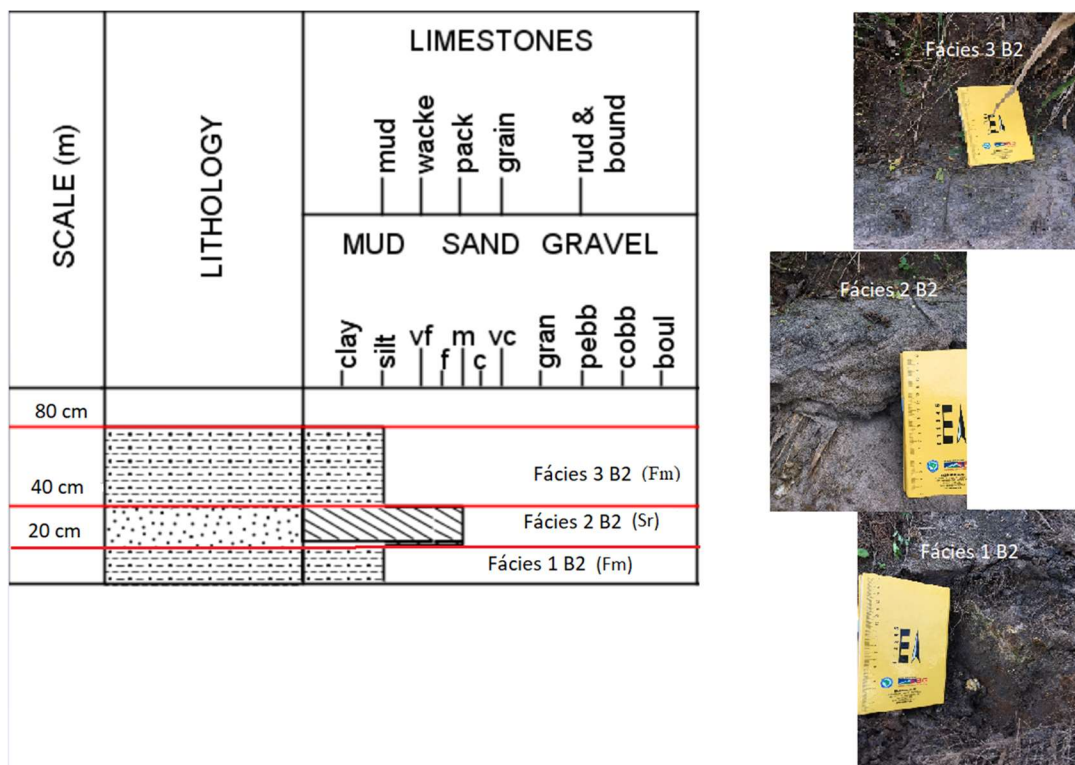


Figura 6.1 – Perfil Estratigráfico Barranco B2

### BARRANCO B3

O barranco analisado B3 está localizado bem próximo a cidade de Barra Longa (Figura 6.2), Minas Gerais. A coleta e a descrição do perfil foram feitos no barranco do Rio do Carmo que possui caráter fluvial meandrante, após a confluência com o Gualaxo do Norte.



Figura 6.2 – Localização do Perfil estratigráfico B3

Analisando o afloramento nota-se uma grande quantidade de seixos misturados a lama avermelhada tanto nas fácies 1 quanto nas fácies 2 do barranco, não sendo possível identificar alguma estrutura sedimentar. Com o cuidado de observar a paisagem e os trabalhos feitos de recuperação do Rio do Carmo no local após o rompimento da barragem de Fundão é possível considerar que as fácies analisadas se trata respectivamente, na fácies 1, do rejeito da barragem por ter uma coloração escura característica de minério de ferro em sua composição, e nas fácies 2 uma realocação de sedimentos, de origem antrópica misturados ao rejeito.

Como se observa (Figura 6.2 e 6.4), houve um trabalho feito pela empresa de retaludamento da margem do Rio do Carmo a fim de recuperação do mesmo, pós rompimento da barragem. Sendo assim não se aplica a classificação de fácies de Miall (1978) por não se

tratar de um fenômeno de depósito sedimentar de origem natural e utilizaremos a nomenclatura **Lr**, pois se trata de lama de rejeito. Por estar muito consolidada a lama, não foi possível desagregar totalmente a amostra e por isso ficou com uma granulometria caracterizada com grânulos.

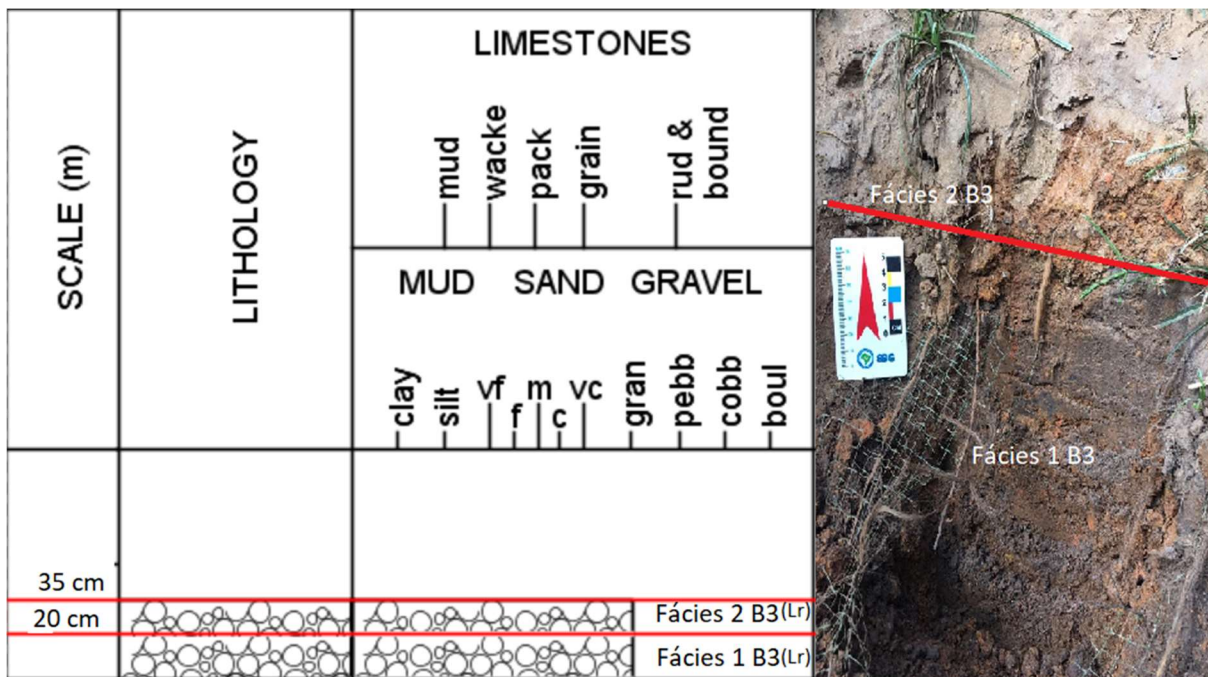


Figura 6.3 – Perfil Estratigráfico Barranco B3

Observando o perfil (Figura 6.3) é possível observar a tela de sustentação do solo (geogrelha), entre as fácies sedimentares, esse método serve como forma de mitigar o problema da erosão mas não é suficiente, percebe-se que o grande acúmulo desse material consegue superar essa tela por ter uma granulometria muito fina, além de observar que a tela se rompe pela carga do material.





Figura 6.4 – Foto evidenciando o retaludamento do Rio do Carmo, Barra Longa – MG

### **Barranco B4**

O barranco analisado está inserido próximo a cidade de Barra Longa- MG (Figura 6.5 e 6.6), mais precisamente na proximidade com o Rio do Carmo.



Figura 6.5 – Barranco B4 analisado



Figura 6.6 – Área onde está inserido o barranco B4, muito próximo ao Rio do Carmo

No barranco B4 (Figura 6.7) tem-se identificadas as fácies **Sr**, **Fm** e **Lr**, mais precisamente as fácies **Sr** com granulometria de areia média, com estrutura sedimentar bem evidente de estratificações cruzadas de pequeno porte. As fácies **Fm** ocorrem logo acima, com granulometria fina de silte e argila, sem nenhuma estrutura sedimentar pronunciada. Logo acima desse perfil identifica-se as fácies **Lr**, com granulometria fina de silte e argila e sem estrutura sedimentar identificada, uma mineralogia com cor escura possivelmente relacionado ao óxi-hidróxidos de ferro, possivelmente é identificado como o rejeito da barragem de Fundão, no topo nota-se a repetição das fácies **Lr**, mas não é possível notar estratificações, provavelmente se trata de um material realocado.

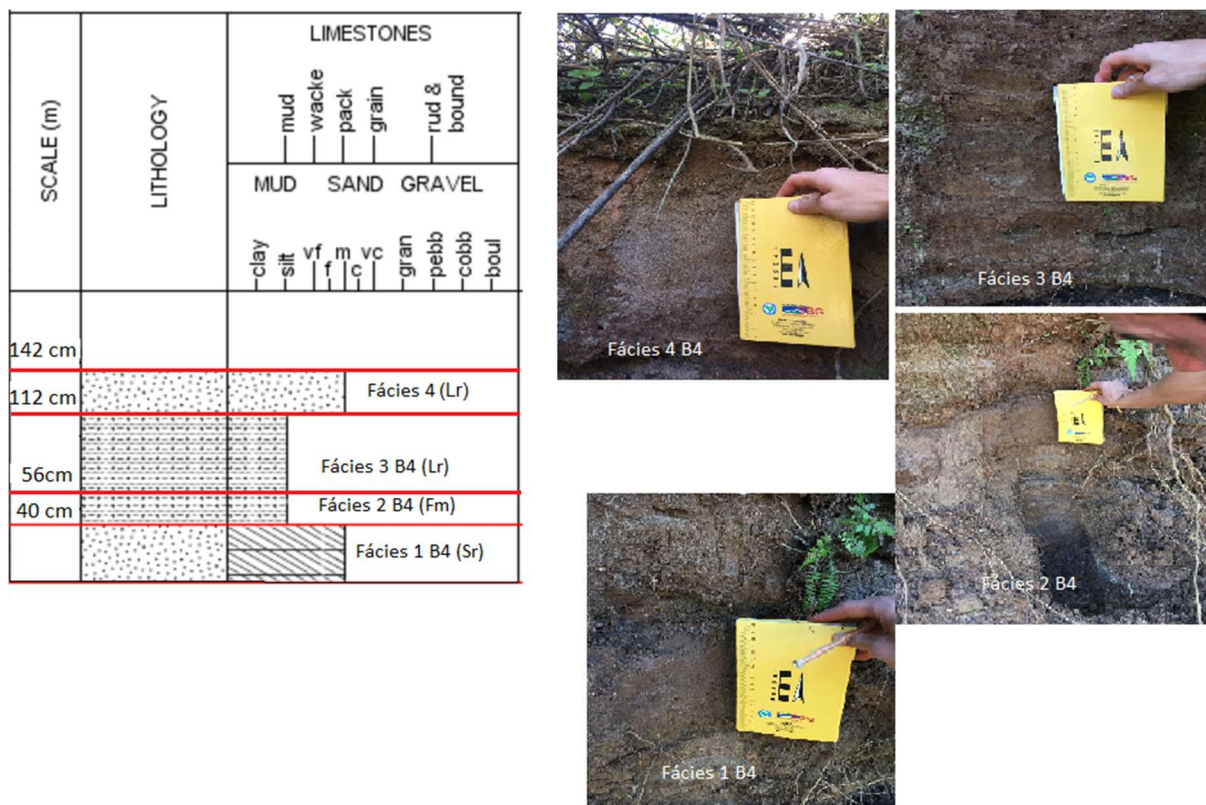


Figura 6.7 – Coluna estratigráfica Barranco B4

## 5.5 - Análise geoquímica dos sedimentos

A partir dos dados obtidos através da análise química dos sedimentos dos barrancos B1, B2 e B3 via ICP-OES, foram confeccionados gráficos com os resultados, onde analisa-se separadamente cada perfil estratigráfico e compara-se com dados de valores de background da região obtidos por Rodrigues (2012). Por motivos de infraestrutura não foi possível analisar geoquimicamente o barranco B4.

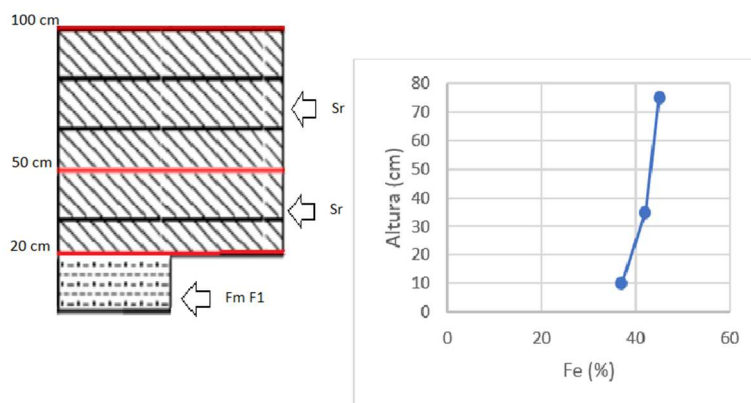
### 5.5.1 – Geoquímica dos Sedimentos Barra B1

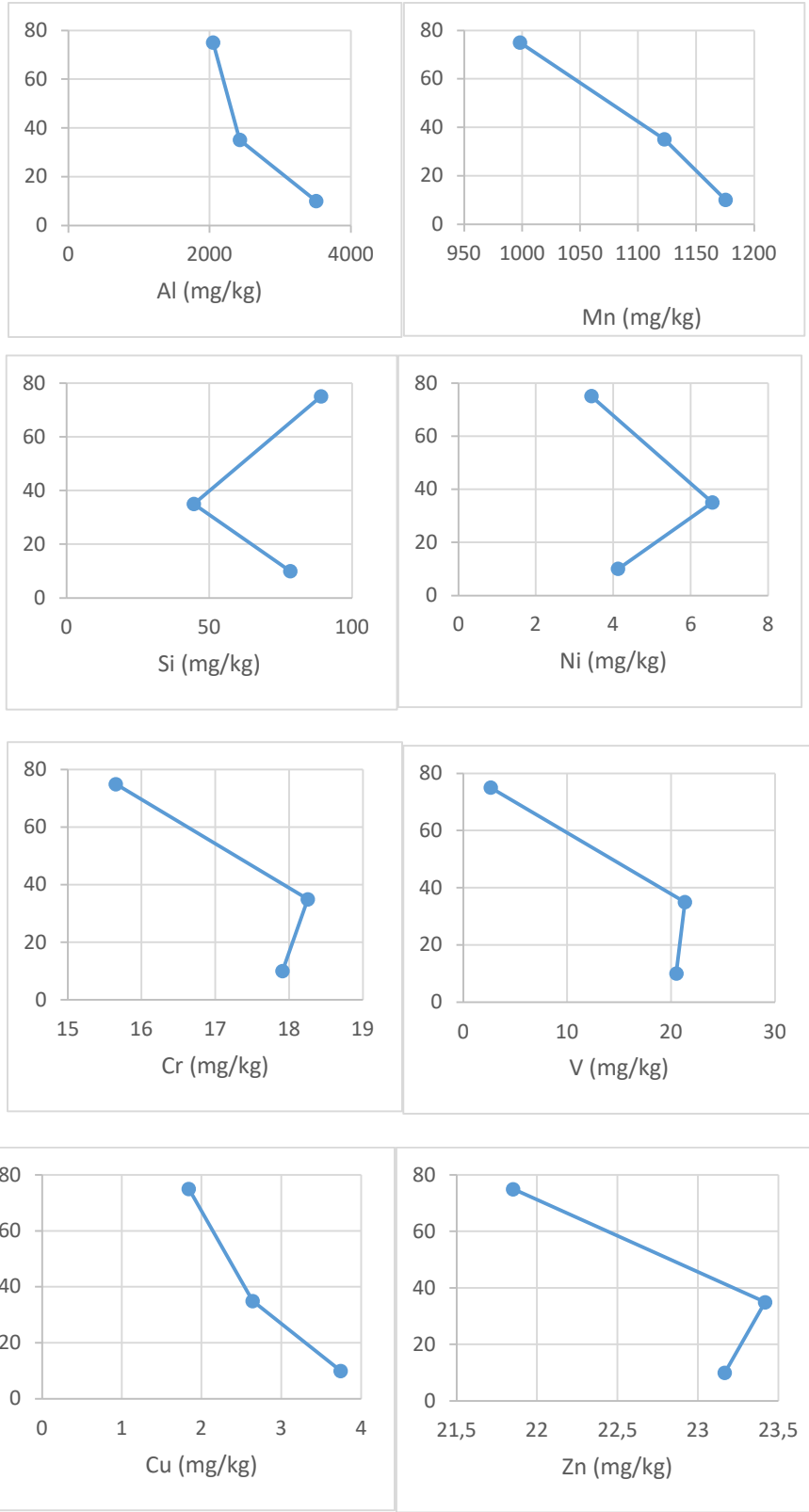
A barra analisada situada no Rio Gualaxo do Norte (Figura 5.2), notou-se como observado no gráfico uma elevada porcentagem do material contendo o elemento Fe, equivalendo nas fácies **Fm F1** a mais de 37%, nas fácies **Sr F2** a 42% e nas fácies **Sr F3** ultrapassando os 45%, dados de porcentagem foram obtidos através da transformação do elemento Fe em Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Segundo Rodrigues (2012) acredita-se que concentrações de Ferro de até 8,2% estejam associadas naturalmente a rochas supracrustais (dos Supergrupos Rios das Velhas e Minas) enriquecidas em óxidos de Ferro. Valores superiores ao valor de background

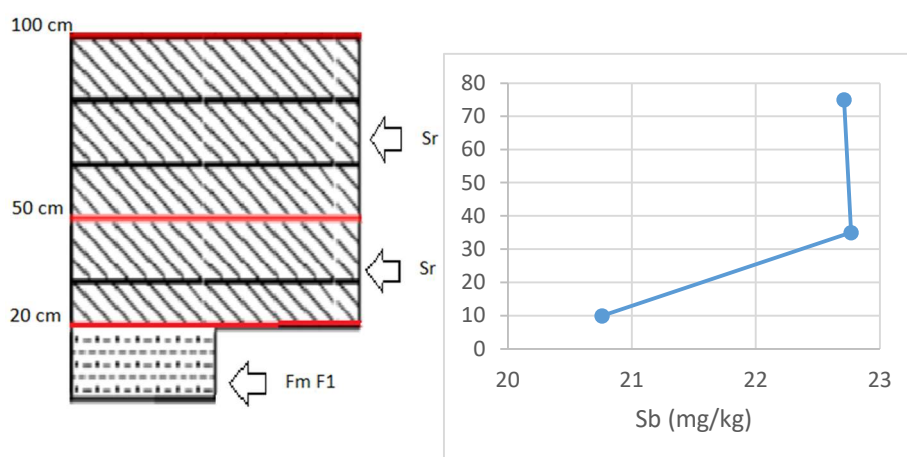


estão diretamente relacionados a minerações de minério de Ferro estabelecidas na região. O elemento manganês como retrata Rodrigues (2012), possui valor de background de 1636 mg/kg, sendo encontrado em grande porcentagem devido a exploração do elemento na Mina Miguel Congo na década de 1980, portanto não se nota nesse estudo do barranco B1 nenhuma fácies que extrapole o valor de background geoquímico da região, porém tanto o Mn quanto o Al estão relacionados ao rejeito da barragem. O mesmo acontece para os elementos Zn e Ni, que possuem valores de background de respectivamente de 65,3 mg/kg e 39,0 mg/kg. Porém em uma análise mais crítica observa-se que óxidos de ferro possuem a capacidade de sorção de elementos (absorção e adsorção), comparando gráfico do ferro com o do Sb é possível notar uma semelhança, quanto maior a concentração de Fe maior é a do Sb. O mesmo acontece para o Mn e Al que possui a mesma capacidade de sorção, o aumento do Mn e Al reflete em uma maior concentração de Cr, V, Cu e Zn. O aparecimento da Si está relacionado a digestão parcial da amostra onde ela não é totalmente digerida.

Gráficos de análise geoquímica correspondente ao perfil B1 – Rio Gualaxo do Norte



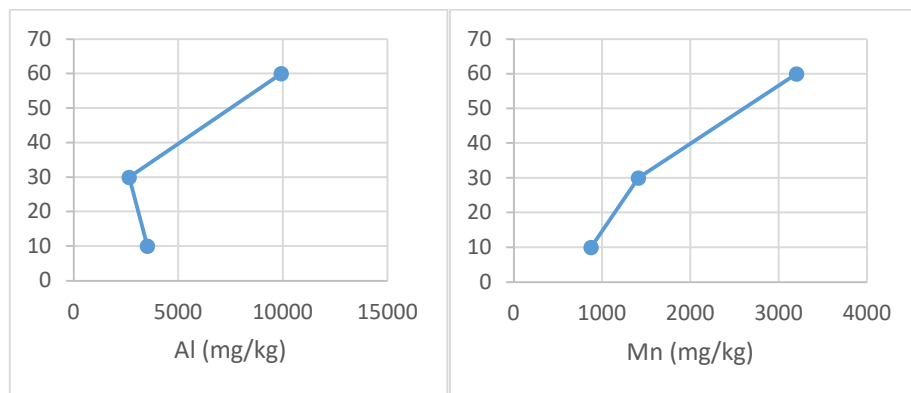
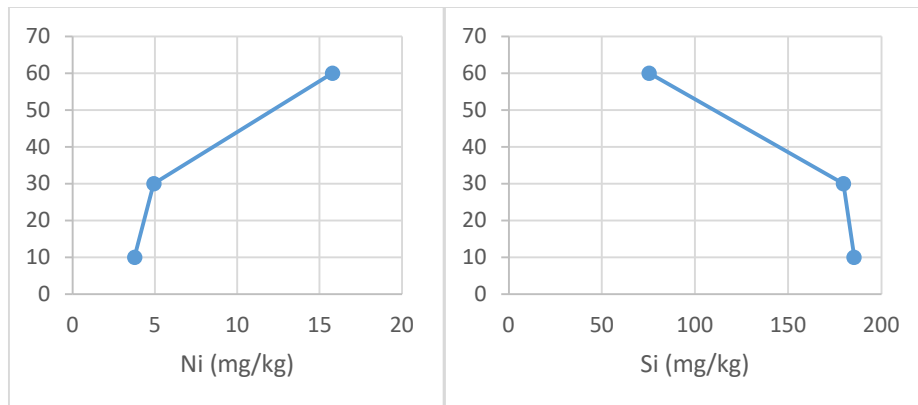
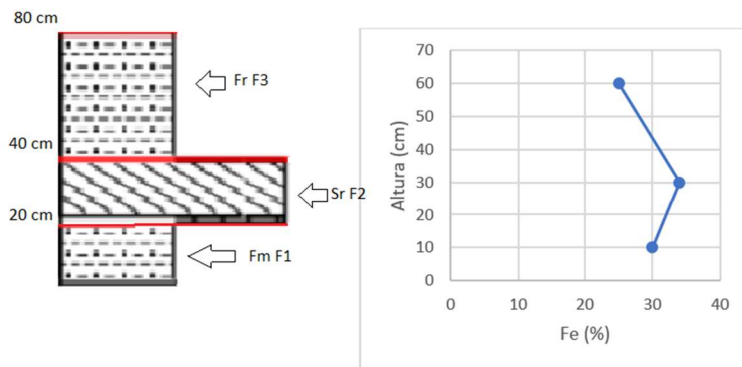


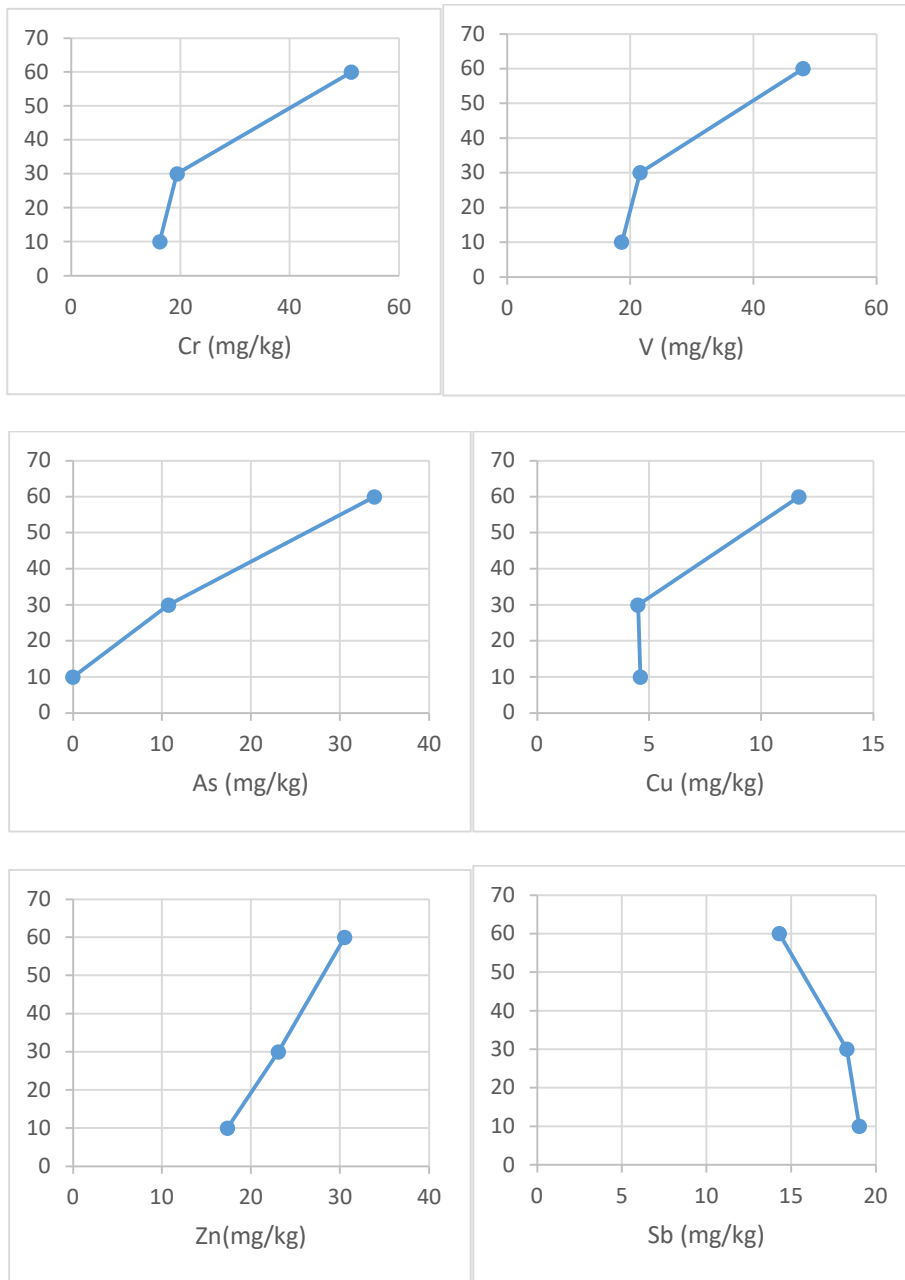


### 5.5.2 – Geoquímica de Sedimentos Barranco B2

No barranco B2 situado no Rio Gualaxo do Norte (Figura 5.2), é observado em relação ao elemento Fe, uma característica semelhante ao barranco B1. Por estarem ambos no mesmo local geográfico, nota-se uma característica semelhante em relação ao grande percentual desse elemento na amostra recolhida do barranco B2. Nas fácies **Fm F1** e **Sr F2** correspondem a aproximadamente 30% e 34% do material e nas fácies **Fr F3** a pouco menos de 25%. Ao contrário do que foi mostrado, o elemento Manganês (Mn) com valor de background geoquímico de 1636 mg/kg como citado por Rodrigues (2012), neste barranco o valor analisado extrapola nas fácies **Fr F3** chegando a superar os 3000 mg/kg. O que se nota na (Figura 5.8) e que o topo desse perfil se trata provavelmente do rejeito da barragem o que poderia influenciar nesse aumento espontâneo do Manganês, o que não se observa no barranco B1 (Figura 5.7). Nota-se a presença do elemento tóxico Arsênio nesta análise nas fácies **Sr F2** e **Fr F3**, segundo Rodrigues (2012) concentrações desse elementos de até 64,2 mg/kg estão relacionados a um enriquecimento natural do elemento, a origem possivelmente se relaciona com a presença de minerais das classes dos sulfetos, sulfoarsenatos e arsenatos como arsenopirita, comuns na região estudada e ao oxí-hidróxido de Ferro. Sendo que pelas análises geoquímicas desse elemento no barranco B2 não se nota valores anômalos ao valor de background geoquímico e o mesmo acontece para os elementos Zi e Ni. Porém como citado no item anterior nota-se claramente nesta análise uma grande semelhança do aumento do elemento Fe com o Sb, além de notar novamente que o Al e o Mn estão diretamente relacionados ao aumento dos elementos Ni, Cr, As, Cu, V e Zn. Os elementos maiores Fe, Al e Mn estão nitidamente relacionados a sorção desses elementos.

Gráficos de análise geoquímica correspondente ao perfil B2





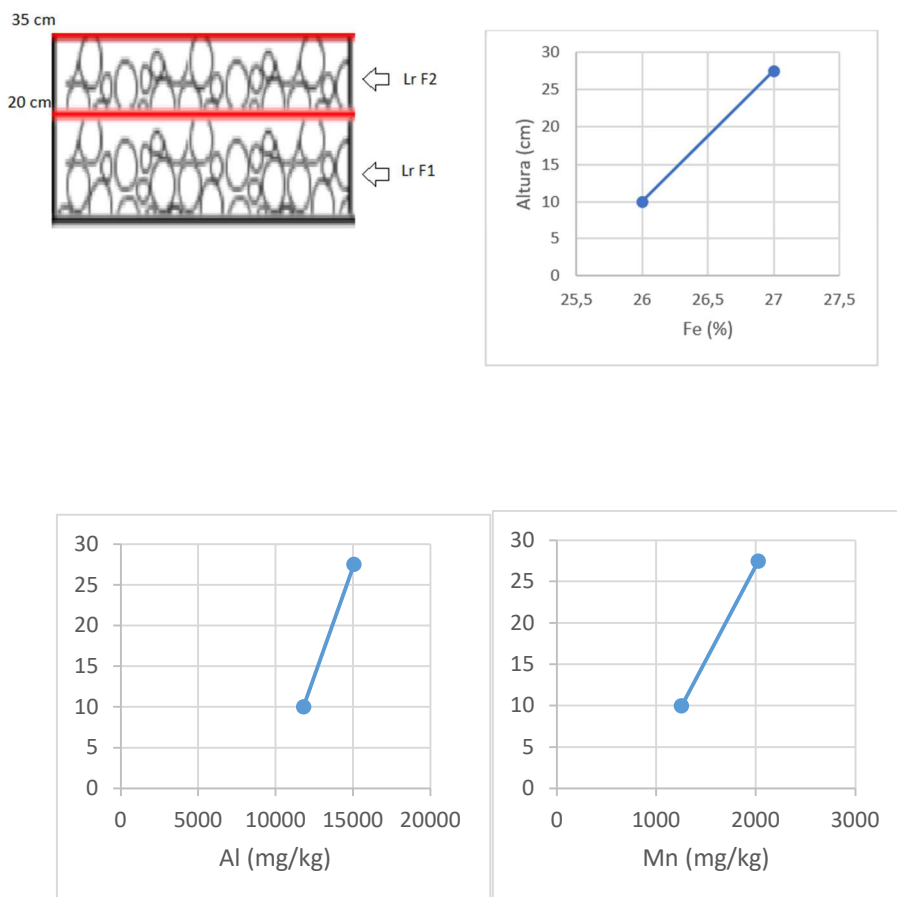
### 5.5.3 – Geoquímica dos Sedimentos Barranco B3

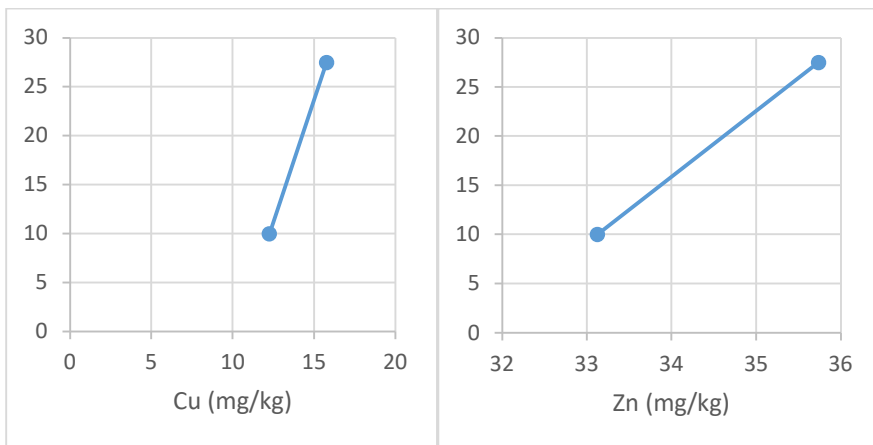
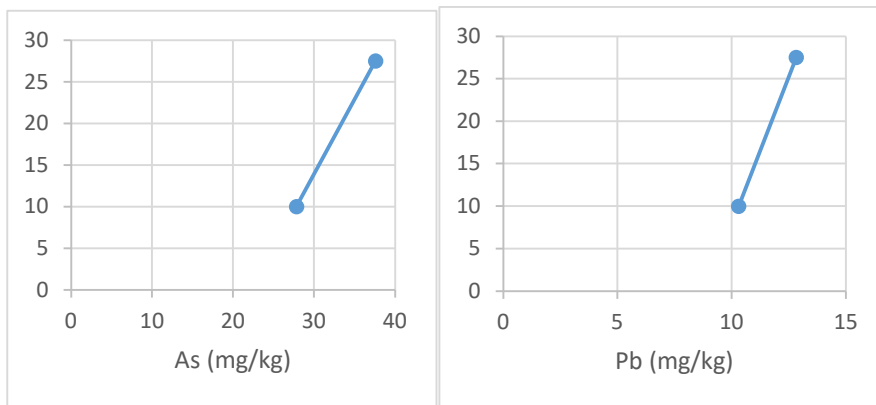
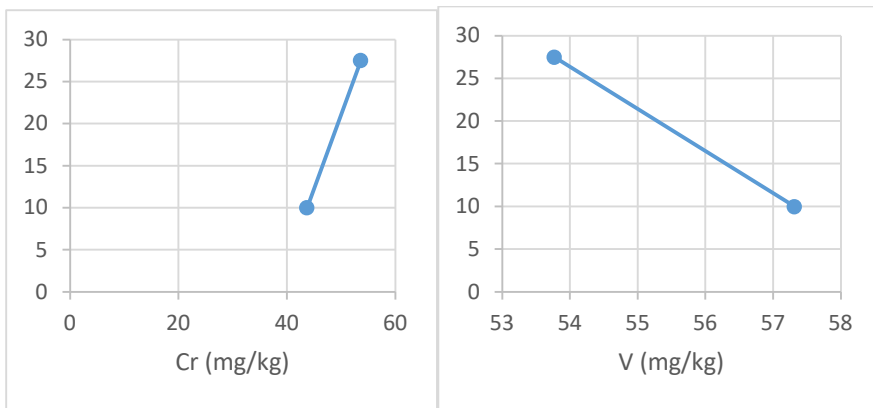
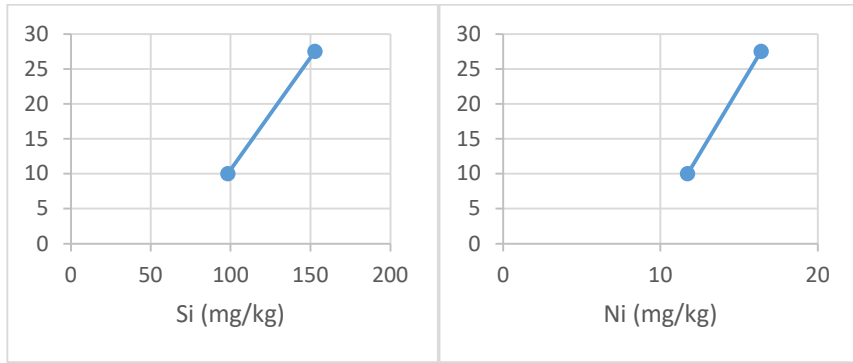
No barranco B3 situado em Barra Longa - MG (Figura 5.1), nota-se em relação ao elemento Ferro, uma concentração bem elevada em torno de 26% da amostra nas fácies **Lr F1** e 27% nas fácies **Lr F2**. Com relação ao Manganês temos concentrações que ultrapassam o valor de background geoquímico somente nas fácies **Lr F2**, onde chega ao valor de 2000 mg /kg. Em relação aos elementos Zi e Ni não houve nenhum valor que ultrapassasse os valores de

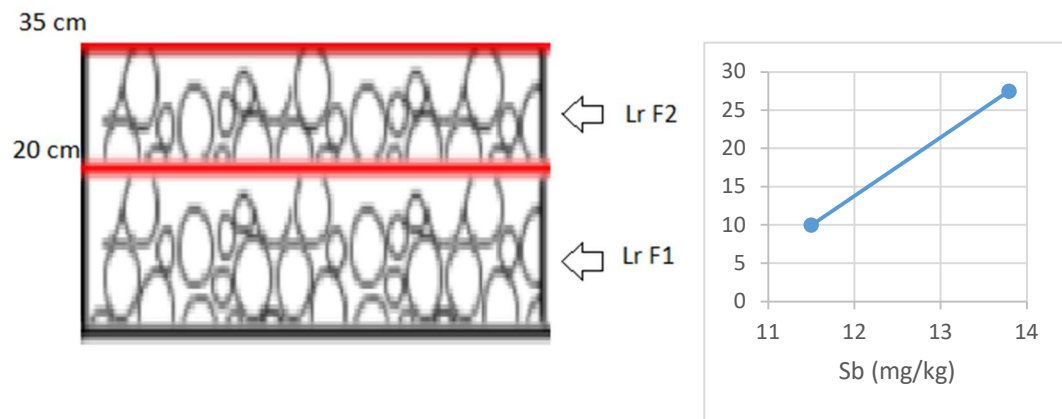


background, e o mesmo acontece para o elemento Arsênio. Neste barranco nota-se a presença do elemento Chumbo (Pb), que segundo Rodrigues (2012), concentrações de até 43,8 mg/kg podem ser de origem natural, especificamente em função das rochas encaixantes da mineração aurífera (do Supergrupo Rios das Velhas), associadas a veios de sulfetos ou a óxi-hidróxido de Ferro. Porém as concentrações observadas neste perfil não extrapolam o valor de background geoquímico da região para o Pb. É possível notar que todos os elementos se comportam igualmente com o aumento dos elementos maiores Fe, Mn e Al, com exceção do V, provavelmente são absorvidos ou adsorvidos em quantidades elevadas desses elementos maiores presentes no sedimentos e favorecendo um crescimento da retenção de metais de alta toxicidade como As, Cu e Zn.

Gráficos de análise geoquímica correspondente ao perfil B3







## CAPITULO 6

### CONCLUSÃO

---

O rio Gualaxo do Norte foi drasticamente afetado pelo rompimento da barragem de Fundão, bem como toda a bacia do Rio Doce, o grande volume de rejeito desencadeou na acumulação de elementos não antes presentes em grandes proporções.

Observou-se que várias ações preventivas feitas pela empresa responsável pela limpeza e recuperação ambiental da área não foi totalmente eficaz. Tanto os blocos de rocha advindos do enrocamento, bem como o material da barragem (lama de rejeito) acumulados em torno e no leito do rio deviam ter sido retirados, grande parte desse material se encontra no leito e nas margens do rio, influenciando em sua dinâmica e futuramente pode ocasionar em vários outros problemas como o aumento da turbidez e danos a fauna e a flora da região.

Notou-se nos trabalhos estratigráficos uma sedimentação escura muito rica em óxido de Ferro em todos os pontos analisados, vale ressaltar que em alguns perfis foi observado o rejeito da barragem, embora não se observe o rejeito em si em algumas fácies todos os barrancos estão diretamente influenciados pelo rompimento da barragem, pela grande proporção de material que foi sedimentado na região e que em grande parte não foi retirado.

Anomalias de elementos como o Fe e Mn ultrapassam valores de background geoquímico da região. Grande parte o aumento desses elementos está associado a vários anos de mineração dos mesmos na cabeceira da bacia do rio Gualaxo do Norte, além da influência do acidente com a barragem de Fundão, elementos estes que estão associados a sorção de elementos tóxicos como As, Pb, Cu, Sb e Zn.

O rompimento da barragem de Fundão foi um desastre de grandes proporções e deve ser objeto de estudo em várias áreas da ciência para que se possa entender melhor seu impacto no ambiente e seus danos no âmbito social, para que se possa aplicar técnicas que possam amenizar seus prejuízos causados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1995. ABNT NBR 6502: Rochas e solos. Rios de Janeiro, 1995, 18p.
- Alkmin F.F. & Marshak S. 1998. Transamazonian Orogeny in the Southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*, 90:29-58
- Costa, A. T. 2001. *Geoquímica das águas e dos sedimentos da bacia do Rio Gualaxo do Norte, leste-sudeste do Quadrilátero Ferrífero (MG): estudo de uma área afetada por atividades de extração mineral*. Departamento de Geologia. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais. Dissertação de Mestrado. 146p.
- Costa A.T. 2007. *Registro histórico de contaminação por metais pesados, associados à exploração aurífera no alto médio curso da bacia do ribeirão do Carmo, QF: Um estudo de sedimentos de planícies de inundação e terraços aluviais*. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Tese de Doutorado, 257p.
- CPRM, 1993. Levantamentos geológicos básicos do Brasil, Mariana – Folha SF.23-XB-1. Estado de Minas Gerais. Escala 1:100.000. Org. por Orivaldo Ferreira Baltazar e Frederico Ozanam Raposo. Brasília. DNPM/CPRM. 196p.
- Dorr II J.V.N. 1969. Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Brazil. Washington. USGS/DNPM. 110p.
- Evangelista H.J.J. 194. *Petrologische Untersuchungen im Gebier zwischen Mariana and Ponte Nova, Minas Gerais, Brasilien*. Clausthal-Aellerfeld. Tese de Doutorado, 183p.
- Glossário Geológico. CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Disponível em: [http://www.cprm.gov.br/Aparados/glossario\\_geologico.htm](http://www.cprm.gov.br/Aparados/glossario_geologico.htm). Acessado em 19 de junho de 2018.
- Rodrigues A.S de L. 2012. *Caracterização da Bacia do Rio Gualaxo do Norte, Mg, Brasil: Avaliação Geoquímica Ambiental e Proposição de Valores de Background*. Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, Dissertação de Mestrado. 190p.
- Silva A.L. 2013. *Caracterização Mineralógica por Difração de raios x e determinação de terras raras por icp-ms de rochas da região sul da Bahia*. Departamento de Engenharia Nuclear. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Tese de Mestrado, 100p.
- Miall 1978c. Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary. In: Miall A.D. 2006. *The geology of fluvial deposits – sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology*. Berlin, Springer, p.191-249.
- [https://moodle-arquivo.ciencias.ulisboa.pt/1213/pluginfile.php/58888/mod\\_resource/content/1/Aula%205.pdf](https://moodle-arquivo.ciencias.ulisboa.pt/1213/pluginfile.php/58888/mod_resource/content/1/Aula%205.pdf)

## Anexos

Tabela ICP-OES

Amostra	Identificação	As	Ba	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	Li	Mo
	Interna	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
BRANCO	BRANCO	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Fácies 1 B2	PQ19-264	<LQ	37,80	<LQ	<LQ	1,72	16,20	4,62	<LQ	<LQ
Fácies 3	PQ19-265	<LQ	37,27	<LQ	<LQ	<LQ	15,65	1,84	<LQ	<LQ
Fácies 1	PQ19-266	<LQ	52,87	<LQ	<LQ	2,01	17,91	3,74	<LQ	<LQ
Fácies Base (Seixos) Rejeito da Barragem	PQ19-267	27,81	82,64	<LQ	<LQ	6,27	43,67	12,26	<LQ	<LQ
Fácies 6 B2	PQ19-268	33,88	193,36	<LQ	<LQ	7,81	51,25	11,69	<LQ	<LQ
Fácies 2	PQ19-269	<LQ	45,18	<LQ	<LQ	<LQ	18,25	2,64	<LQ	<LQ
Fácies 5 B2	PQ19-270	10,76	58,22	<LQ	<LQ	2,07	19,38	4,50	<LQ	<LQ
Fácies Topo	PQ19-271	37,58	103,44	<LQ	<LQ	7,76	53,59	15,77	<LQ	<LQ

Ni	Sc	Sr	Th	V	Y	Zn	Be	Mn	Sb	Al	Fe	Ca
mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	115,89	177,26
3,75	0,46	<LQ	4,87	18,61	2,52	17,35	0,21	874,89	19,03	3534,24	212769,08	177,86
3,44	<LQ	<LQ	4,24	18,46	2,84	21,85	0,23	998,20	22,71	2046,93	319072,63	247,01
4,12	<LQ	<LQ	5,04	20,49	2,90	23,17	0,22	1175,47	20,76	3507,18	261607,30	264,61
11,71	4,92	1,25	11,90	57,31	7,54	33,13	0,36	1254,23	11,50	11794,13	183374,73	1010,23
15,77	2,95	<LQ	11,86	48,09	5,70	30,52	0,36	3203,02	14,30	9933,15	185115,17	373,45
6,56	<LQ	<LQ	5,13	21,32	2,80	23,42	0,21	1122,80	22,77	2425,21	306569,44	317,63
4,92	0,31	<LQ	5,96	21,62	3,27	23,06	0,25	1413,33	18,29	2654,56	244054,09	408,26
16,37	4,73	1,98	10,54	53,77	6,92	35,74	0,40	2025,98	13,79	15049,40	191355,11	989,54
3,02	0,25	0,31	4,44	0,63	0,19	0,31	0,14	5,55	7,50	24,50	7,24	4,28

K	Mg	Na	Zr	Pb	P	S	Si	Ti
mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
<LQ	8,96	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
69,07	168,90	<LQ	<LQ	<LQ	155,91	27,07	185,40	206,08
27,83	141,36	<LQ	<LQ	<LQ	147,10	14,06	89,10	250,60
60,89	184,95	<LQ	<LQ	<LQ	146,98	22,06	78,40	339,30
587,69	785,35	9,13	<LQ	10,30	348,27	70,88	98,03	660,77
446,47	729,88	4,07	<LQ	10,71	226,44	77,65	75,39	706,58
25,58	164,12	<LQ	<LQ	<LQ	143,63	18,95	44,59	289,60
53,49	180,83	<LQ	<LQ	<LQ	171,17	19,27	179,73	277,88
536,74	794,26	27,57	<LQ	12,82	395,49	107,36	152,57	614,22
<b>12,24</b>	<b>3,04</b>	<b>3,49</b>	<b>0,41</b>	<b>7,08</b>	<b>6,93</b>	<b>8,21</b>	<b>8,37</b>	<b>10,75</b>