



**Caracterização Mineralógica do Rejeito da
Mineração de Chumbo em Boquira, Estado da Bahia, Brasil**
Mineralogical Characterization of Lead Mine Tailing in Boquira, Bahia State, Brazil

Felipe Emerson André Alves¹; Luiz Carlos Bertolino^{1,2} & Julio Cezar Mendes³

¹ Centro de Tecnologia Mineral, Av. Pedro Calmon, 900, 21941-908, Cidade Universitária, Rio de Janeiro, Brasil

² Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Formação de Professores, Departamento de Geografia, Rua Dr. Francisco Portela, 1470, 24.435-005, Patronato, São Gonçalo, Rio de Janeiro, Brasil

³ Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, Av. Athos da Silveira Ramos, 274, 21941-916, Cidade Universitária, Rio de Janeiro, Brasil

E-mails: felipeemersonaalves@gmail.com; lcbertolino@cetem.gov.br; julio@geologia.ufrj.br

Recebido em: 06/09/2017 Aprovado em: 04/10/2017

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2017_3_14_23

Resumo

No município de Boquira, interior do Estado da Bahia, funcionou durante aproximadamente 30 anos uma mineração de chumbo. O rejeito do processo de beneficiamento do minério foi depositado de forma inadequada próximo à cidade, e lá permanece até hoje. Este estudo tem como principal objetivo investigar a presença de chumbo em amostras do resíduo presente na antiga bacia de rejeito e identificar as fases minerais carreadoras desse elemento. Foram coletadas sete amostras em diferentes pontos da antiga bacia de rejeito e no seu entorno próximo à cidade. As amostras foram caracterizadas através de difratometria de raios X (DRX), microscopia eletrônica de varredura (MEV/EDS) e análise química por fluorescência de raios X (FRX). As análises químicas indicaram a presença de chumbo em todas as amostras analisadas e revelaram que o elemento se encontra concentrado nas frações de granulometria fina. Os resultados obtidos por difração de raios X mostram que o chumbo ocorre principalmente nas estruturas de anglesita, cerussita, galena, fosfohedifano e piromorfita. A partir das análises por MEV/EDS foi possível constatar que os principais minerais carreadores de chumbo se encontram em avançado estágio de intemperismo, eventualmente alterando para óxido de chumbo. A disposição inadequada desse tipo de rejeito pode vir a implicar em condições favoráveis para a liberação do chumbo da estrutura de seus minerais carreadores e consequentemente colocar em risco o meio ambiente e a população que vive no entorno da bacia de rejeitos.

Palavras-chave: Mineração; Rejeito; Boquira

Abstract

Boquira is a city located at Bahia state where a lead mine operated for about 30 years. The tailings from the ore beneficiation process were improperly deposited close to the city and, unfortunately, they linger until nowadays. This study aims to examine carefully how the lead has been distributed along the tailing piles and to identify the mineral phases containing this element. In order to get the results, seven samples were collected from different points of the old tailings basin and its surroundings near the town. The samples were characterized by X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscope (SEM/EDS), and chemical analysis by X-ray fluorescence (XRF). The chemical analyses point out the presence of lead in all analyzed samples, being concentrated in fine grained fractions. X-ray diffraction results indicate that the lead occurs mainly associated with anglesite, cerussite, galena, phosphohedyphane and pyromorphite. From MEV/EDS analysis it was possible to observe that the minerals of lead are altered, even forming lead oxides. The improper disposal of this waste endangers the environment and the people living in that area.

Keywords: Mining; Tailings; Boquira

1 Introdução

Numa sociedade em contínuo crescimento, o ímpeto pela conservação ambiental, a necessidade de minimização dos resíduos produzidos pelas atividades antropogênicas e a rentabilidade dos investimentos envolvidos nos processos de produção são fatores que devem unir-se num único esforço. Algumas operações de mineração e metalurgia pretéritas deixaram passivos que impactaram negativamente o homem e o ambiente. A visualização dessa situação se expressa na grande quantidade de resíduos abandonados e expostos às intempéries.

A exploração do minério de chumbo em Boquira, Estado da Bahia (Figura 1) começou no final da década de 1950 pela Penarroya S.A., que criou a Companhia Brasileira de Chumbo (Cobrac) para atuar no Brasil como sua subsidiária. Posteriormente, a empresa foi incorporada à Plumbum Mineração e Metalurgia Ltda. pertencente ao Grupo Trevo (Anjos & Sánchez, 2001; Camelo, 2006). O minério de chumbo lavrado e beneficiado em Boquira era utilizado para produção de ligas de chumbo em Santo Amaro, Bahia (Camelo, 2006). A mina atingiu seu auge de produção na década de 1970. No entanto, as reservas economicamente viáveis se esgotaram e a Mineração Boquira foi vendida, em 1986, aos grupos brasileiros CMP e Luxma. As empresas passaram a explorar os pilares de sustentação da mina de Boquira, porém os custos da atividade inviabilizaram o negócio. Somado aos altos custos de operação, o excesso de oferta internacional de chumbo fez com que as cotações desta *commodity* caíssem, o que levou ao fechamento da mina de Boquira. A mina foi desativada em 1992 (Camelo, 2006), deixando uma grande bacia de rejeitos proveniente do beneficiamento de minério que ocorreu ao longo de mais de três décadas de intensa atividade de mineração.

Estudos preliminares (Alves, 2014; Alves & Bertolino, 2013; Alves & Bertolino, 2014; Bertolino *et al.*, 2014) discutem aspectos gerais da mineralogia do material presente na bacia de rejeitos, entretanto há uma certa escassez de trabalhos referentes à caracterização mineralógica detalhada do material que, do ponto de vista ambiental, se encontra em uma situação considerada de risco. Neste contexto, este trabalho apresenta uma investigação mineralógica

e química, por meio de difratometria de raios X (DRX), microscopia eletrônica de varredura (MEV/EDS) e análise química por fluorescência de raios X (FRX), em amostras coletadas na pilha de rejeito e no entorno da mineração de Boquira, visando contribuir para o conhecimento da composição química e mineralógica do material amostrado. A exposição do material presente na antiga bacia de rejeitos ao intemperismo pode provocar uma situação propícia para a liberação e lixiviação do chumbo, que por sua vez pode vir a implicar riscos à saúde da população que vive no entorno. Portanto, espera-se que os resultados aqui apresentados possam subsidiar o planejamento de medidas mitigadoras para o passivo ambiental.

2 Contexto Geológico

A mina de Boquira está localizada no Vale do Paramirim, que apresenta uma direção geral NW-SE, uma largura de 40 km e comprimento de 130 km (Schobbenhaus & Coelho, 1988). O vale é constituído por um embasamento granito-gnáissico, datado através do método Rb/Sr em 2,6 Ga por Jardim de Sá *et al.* (1976), limitado por altas escarpas (200 - 300 m) constituídas por quartzitos pertencentes a Serra do Espinhaço a oeste, e a Chapada Diamantina à leste (Figura 1). Esses litotipos que ocorrem no Vale do Paramirim estão localizados na porção norte do Cráton São Francisco.

Próximo ao local da mina, o depósito de sulfetos de Pb-Zn-Ag-Cd de Boquira ocorre em rochas metamórficas interpretadas como de idade Arqueana da Formação Boquira (Carvalho *et al.*, 1982). Essa formação é composta por rochas vulcânicas alteradas, xistos, quartzitos, formações ferríferas, mármore dolomíticos, equivalentes de rochas vulcânicas intermediárias a ácidas, sedimentos vulcanoclásticos, cherts e sedimentos químicos enriquecidos em ferro. O minério primário é composto por galena e esfalerita, que ocorrem associados com magnetita, maghemita, martita e em menor proporção pirita, pirrotita, calcopirita, quartzo e anfibólio. A associação das formações ferríferas com rochas vulcânicas sugere a classificação do mesmo como do tipo Algoma, enquanto a relação entre a formação ferrífera e as lentes de sulfetos sugere que os sulfetos são vulcânicos-exalativos (Carvalho *et al.*, 1982).

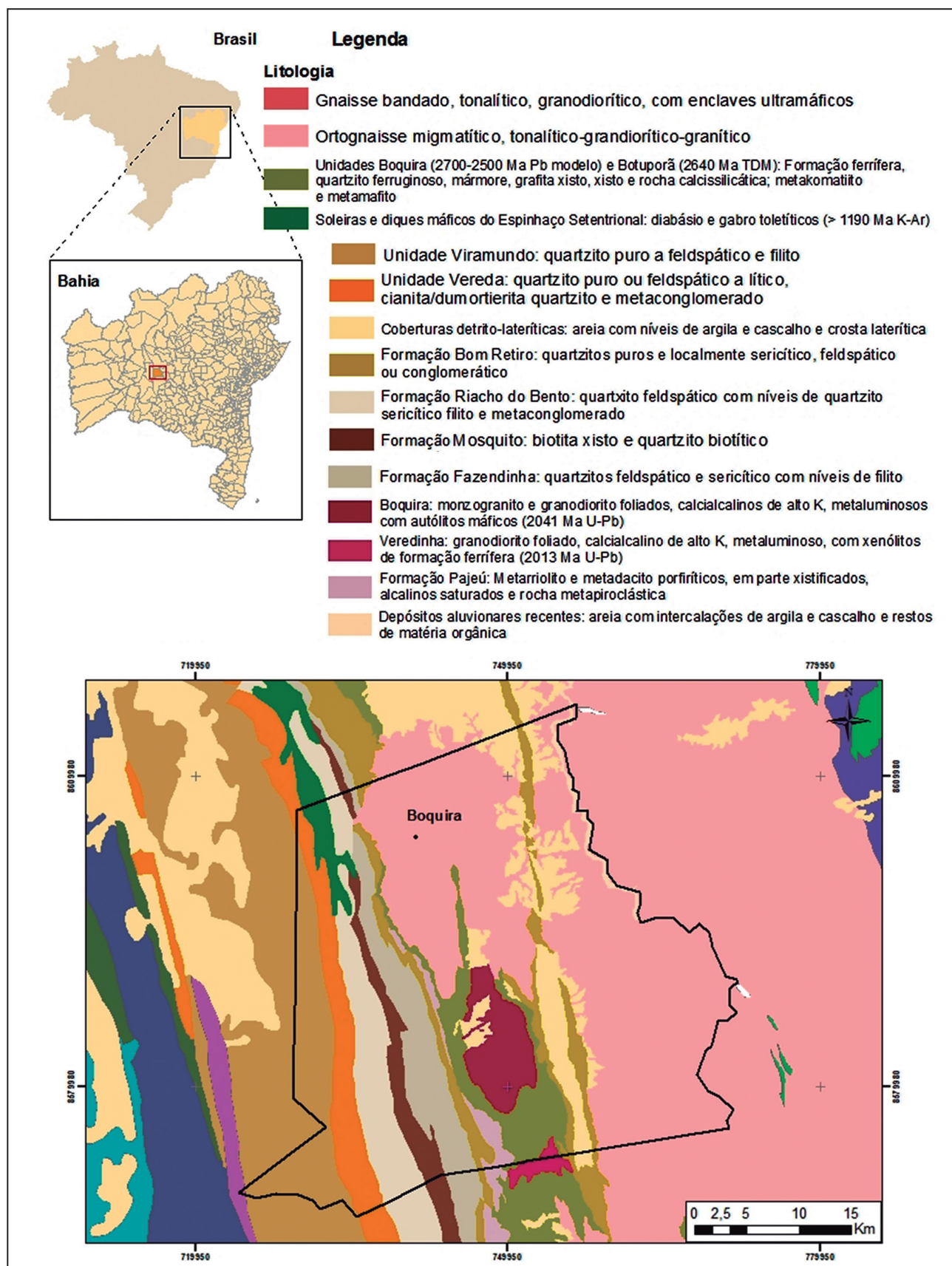


Figura 1 Mapa litológico da região onde se localiza a cidade de Boquira (Extraído e adaptado do banco de dados da CPRM, disponível em geobank.cprm.gov.br).

3 Materiais e Metodologia

O material utilizado envolve um total de 7 amostras (Tabela 1), coletadas na região da antiga bacia de rejeito da mineração localizada na cidade de Boquira (Figura 2). As amostras compreendem rejeitos em um perfil de solo estratificado com fases claras e escuras (amostras B1, B2 e B3), rejeito sobre a bacia de rejeitos (amostras B4 e B5) e sedimentos coletados em afloramentos próximos à estrada BA-156 (amostras B6 e B7). As etapas de processamento destas mesmas amostras seguiram o fluxograma apresentado na Figura 3.

3.1 Difractometria de Raios X

Alíquotas das amostras analisadas por difratometria de raios X foram inicialmente reduzidas seguindo o mesmo procedimento de Neumann *et al.* (2011). Uma alíquota de 3 g de cada amostra foi pulverizada com 12 ml de água deionizada, durante 10 minutos em moinho McCrone Mill, com o intuito de obter granulometria inferior a 10 µm. As análises por difratometria de raios X foram realizadas em

Amostra	Descrição do Local de Coleta	Localização Geográfica (UTM)
B1	Bacia de rejeitos, perfil (0-1,5 m), amostra composta (branca/escura)	23L 0746275 – 8583368
B2	Bacia de rejeitos, perfil (0-1,5 m), amostra fase branca	23L 0746275 – 8583368
B3	Bacia de rejeitos, perfil (0-1,5 m), amostra fase escura	23L 0746275 – 8583368
B4	Bacia de rejeitos, amostra composta (branca/escura) (0-20 cm)	23L 0746393 – 8583120
B5	Sobre bacia de rejeitos	23L 0746393 – 8583120
B6	Sedimento coletado na drenagem próxima a estrada BA 156	23L 0747997 – 85840228
B7	Sedimento coletado na drenagem próximo a estrada BA 156	23L 0748109 – 85840228

Tabela 1 Localização e breve descrição dos pontos de coleta de amostras na bacia de rejeitos em Boquira (BA). Coordenadas UTM datum WGS 84.Boquira (BA). Coordenadas UTM datum WGS 84.

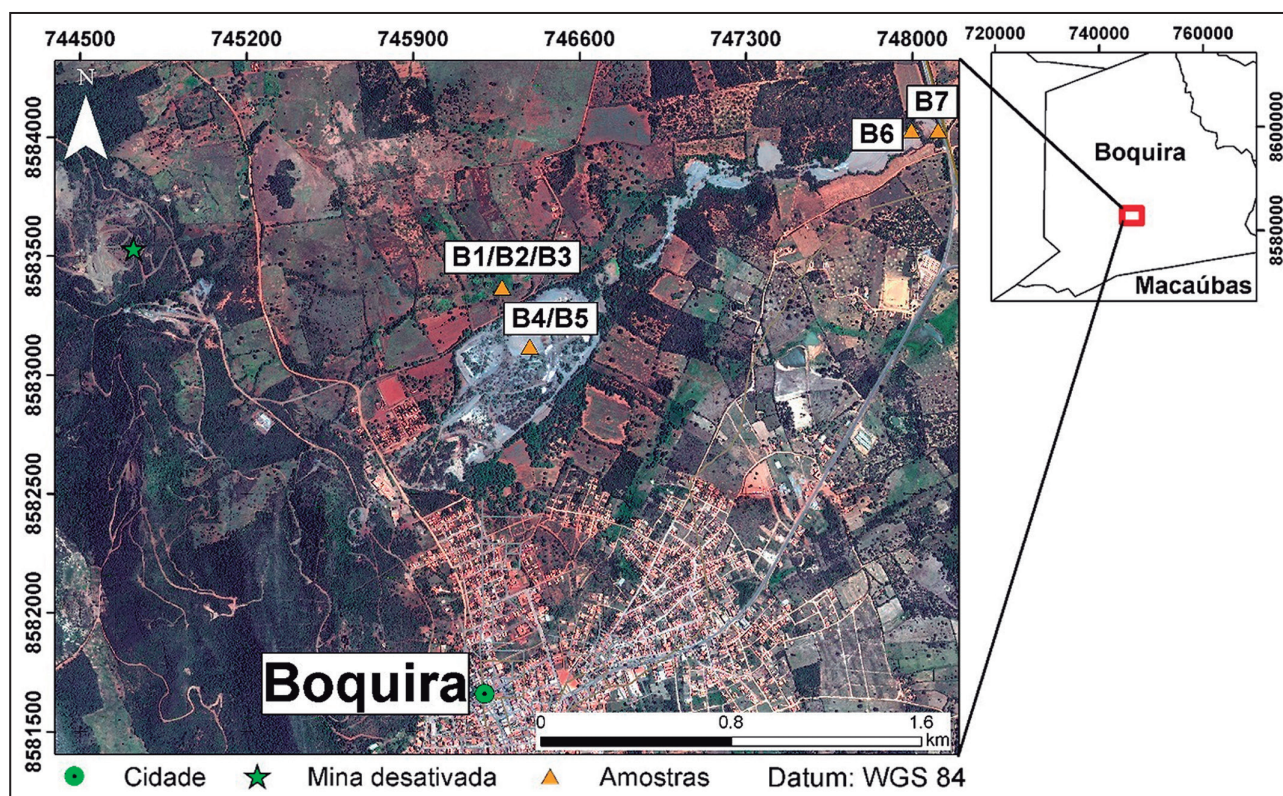
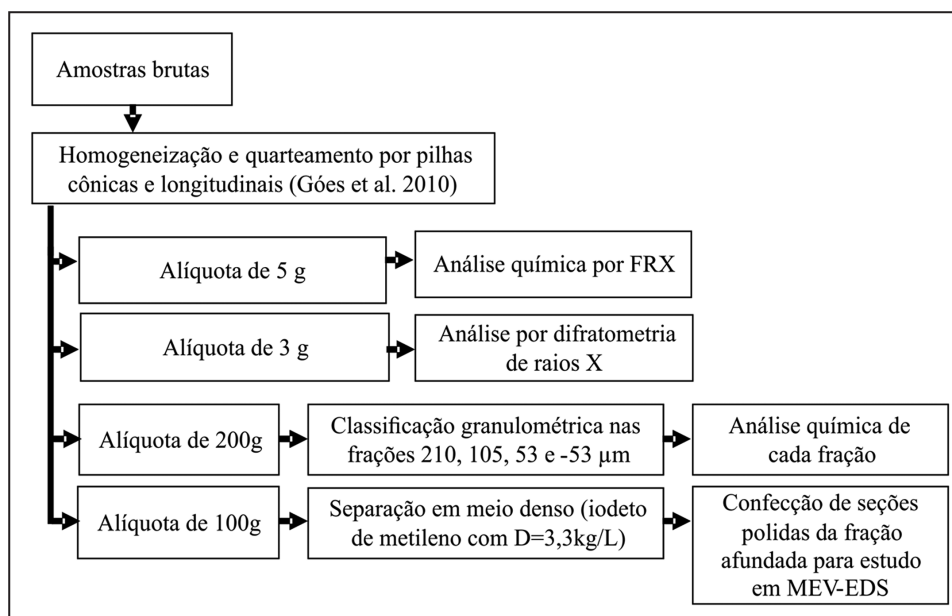


Figura 2 Localização da bacia de rejeitos na cidade de Boquira (BA), da antiga mina já desativada e dos pontos de coleta de amostras. A imagem de satélite utilizada foi extraída a partir do *software* Google Earth.



um equipamento Bruker-AXS D4 Endeavour com radiação $\text{CoK}\alpha$ seguindo condições de análise similares a de Neumann & Medeiros (2015). Difratogramas foram adquiridos no intervalo de 4 a $105^\circ 2\theta$, passos de $0,02^\circ$, 1 s por passo, resultando em um acumulado de 184 s/passos devido ao PSD. As interpretações qualitativas de todos os espectros obtidos foram efetuadas a partir de comparação com padrões contidos no banco de dados PDF4 + 2012 do *International Centre for Diffraction Data* em *software* Bruker Diffrac.EVA 4.0 ou 4.1. A quantificação mineralógica através do refinamento Rietveld (Rietveld, 1969) foi realizada no *software* Topas versão 5.0. Estruturas cristalinas utilizadas no refinamento foram selecionadas do banco de dados de estruturas da Bruker e o *background* foi calculado a partir de um polinômio de quinta ordem. Com base na composição mineralógica e composição química teórica dos minerais, uma composição química composta (*cabeça Rietveld*) foi calculada para comparação com as análises químicas. As composições químicas teóricas dos minerais foram extraídas do site *webmineral*.

3.2 Análises Químicas

As análises químicas foram realizadas na Coordenação de Análises Minerais do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM – RJ). Foram analisadas alíquotas *cabeça* de cada uma das amostras (as quais foram denominadas de *cabeça analisada*) e as frações obtidas na classificação granulométrica de

cada uma das amostras (210, 105, 53 e $<53 \mu\text{m}$). A análise granuloquímica foi realizada com a finalidade de identificar a ocorrência de concentração de chumbo em intervalos de granulometria específicos. Os teores obtidos na análise granuloquímica foram normalizados para o percentual de massa retido em cada peneira durante a classificação granulométrica. Os somatórios dos teores normalizados de cada fração para cada amostra deram origem a uma nova composição *cabeça* de cada amostra (denominada *cabeça calculada*). A determinação da composição química de cada alíquota relacionada para análise química foi realizada em pastilhas. A preparação das pastilhas envolveu pulverização em moinho de bolas, aglomeração com ácido bórico (em uma proporção de 1:1) e prensagem em uma prensa automática X-PRESS modelo 3630. Elementos maiores e menores foram determinados através de análise semiquantitativa (*standardless*) em espectrômetro por fluorescência de raios X (WDS) modelo AXIOS (Panalytical). A determinação da perda por combustão (PF) foi feita através de equipamento Leco Analisador Termogravimétrico, modelo 701.

3.3 Microscopia Eletrônica de Varredura com Microanálise Química por Dispersão de Energia (MEV/EDS)

Seções polidas preparadas com as frações pesadas obtidas na separação por líquido denso

tiveram sua superfície recoberta com carbono. Análises por microscopia eletrônica de varredura (MEV) foram realizadas no CETEM-RJ em um equipamento FEI QUANTA 400 com um sistema de microanálise química por dispersão de energia (EDS) Bruker Quantax 800 acoplado, e detectores de energia dispersiva Bruker XFlash 4030 ou 5010 e tecnologia SDD (*silicon drift detector*). As análises por MEV-EDS foram realizadas com o propósito de se obter dados de química mineral, em particular dos minerais carreadores de chumbo. As composições químicas quantitativas dos minerais foram medidas por EDS, no sistema Bruker Quantax, no modo semiquantitativo sem padrões, com auto-calibração a partir da radiação de fundo (Bremstrahlung) e com rotina de correção de dados PhiRhoZ (Pouchou & Pichoir, 1991).

4 Resultados e Discussões

4.1 Composição Mineralógica

Os resultados obtidos a partir da quantificação das fases minerais (Tabela 2) indicam que as amostras são compostas predominantemente por quartzo, minerais do supergrupo do anfibólio, goethita, hematita, magnetita, ankerita e talco. A mineralogia observada nas amostras de rejeito coincide, em parte, com a associação mineralógica do minério primário descrita por Carvalho *et al.* (1982).

No entanto, com relação aos minerais carreadores de chumbo, foram identificados cerussita (em todas as amostras), fosfohedifano e piromorfita (exceto na amostra B6), galena (somente na amostra B2) e anglesita (somente na amostra B6). O predomínio de cerussita, fosfohedifano, piromorfita e anglesita sobre galena indica que o rejeito amostrado é, possivelmente, proveniente da exploração da porção oxidada do minério. Corroborando esta proposta, Schobbenhaus & Coelho (1988) identificaram assembleia mineralógica similar para minerais carreadores de chumbo em uma profundidade de 20 m e associaram tal assembleia à porção oxidada do minério de Boquira. A formação de anglesita nesse contexto ocorreu a partir da reação $PbS + 2O_2 \leftrightarrow PbSO_4$ (anglesita), enquanto cerussita a partir da reação $PbS + H_2O + CO_2 + 2O_2 \leftrightarrow PbCO_3 + SO_4 + 2H^+$.

Fases Minerais	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
Anglesita	nd	nd	nd	nd	nd	1,7	nd
Ankerita	5,2	10,6	9,4	9,8	0,3	6,4	0,6
Cerussita	0,4	1,2	0,2	0,3	0,5	0,7	0,7
Fosfohedifano	0,1	0,2	0,2	0,5	0,4	nd	0,1
Galena	nd	0,1	nd	nd	nd	nd	nd
Gipsita	nd	6,4	nd	nd	nd	3,7	nd
Goetita	8,0	7,2	1,4	1,7	13,6	1,8	3,4
Grupo da clorita	1,2	3,0	3,1	2,9	3,9	3,0	1,8
Hematita	12,7	0,5	4,0	0,9	14,8	3,0	10,2
Ilmenita	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Lizardita	0,1	0,8	0,1	nd	nd	0,8	0,5
Magnetita	11,7	2,4	16,9	22,6	10,3	8,3	22,8
Pirita	0,5	1,1	1,3	1,4	nd	0,4	1,1
Pirolusita	0,5	1,5	0,5	0,2	0,5	2,8	0,4
Piromorfita	0,6	0,5	0,4	0,2	0,9	nd	0,6
Pirrotita	nd	1,1	0,8	0,7	nd	0,2	nd
Quartzo	27,8	9,9	16,7	10,5	28,1	11,0	32,5
Supergrupo do anfibólio	27,3	46,1	42,6	44,8	22,5	47,8	23,5
Talco	3,8	7,5	2,4	3,3	4,2	8,4	1,9
Total	100	100	100	100	100	100	100

Tabela 2 Resultado obtido a partir da quantificação das fases minerais (através do método de Rietveld). Os resultados estão expressos em % de massa. Legenda: nd corresponde a não detectado.

A mudança de coloração observada entre as amostras B2 (fase branca) e B3 (fase escura), coletadas ao longo de um perfil de solo, foi atribuída à variação no conteúdo de hematita e magnetita.

4.2 Composição Química

As composições químicas obtidas na *cabeça analisada* (CA) e *cabeça calculada* (CC) de cada amostra (Tabelas 3 e 4) indicam que as sete amostras são compostas predominantemente por FeO_t e SiO_2 , com elevados teores de MgO e CaO . Os teores de PbO podem variar entre 0,85% e 2,1%, ultrapassando os valores limite para áreas residenciais (300 mg/kg de Pb) sugeridos pela resolução nº420 de 2009 do CONAMA, que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas, e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.

A análise granulométrica (Tabelas 3 e 4) indicou maiores teores de PbO e P_2O_5 nas frações

inferiores a 105 μm das amostras B1 a B5. Isto pode estar relacionado ao fracionamento de piromorfita e fosfohedifano, que são os principais carreadores de PbO nessas amostras. Na amostra B6, observou-se o predomínio de SO_3 e PbO no intervalo granulométrico inferior a 53 μm , sugerindo que essa seja a fração onde prevalece a anglesita, que por sua vez é o principal carreador de chumbo desta amostra (Tabela 2).

A composição química, obtida a partir da conversão da composição mineralógica quantificada pelo método de Rietveld (Tabela 2) em composição química (Tabelas 3 e 4), forneceu boa correlação com as composições de *cabeça analisada* e *cabeça calculada* (Figuras 4a e 4b), certificando a qualidade dos dados obtidos para composição mineralógica das diferentes amostras. Pequenas diferenças entre os

resultados de análise química e a composição química derivada da quantificação das fases minerais foram atribuídas a variações nas composições químicas dos minerais presentes nas amostras estudadas com relação às suas composições teóricas. De forma análoga, a comparação entre os valores obtidos para *cabeça calculada* e *cabeça analisada* forneceu boa correlação (Figura 4c), aferindo confiabilidade aos teores medidos. *Cont.*

4.3 Aspectos Texturais dos Principais Minerais Carreadores de Chumbo

Nas análises por microscopia eletrônica de varredura, observou-se que a galena presente nas amostras se encontra frequentemente com uma borda de alteração intempélica, composta por óxido

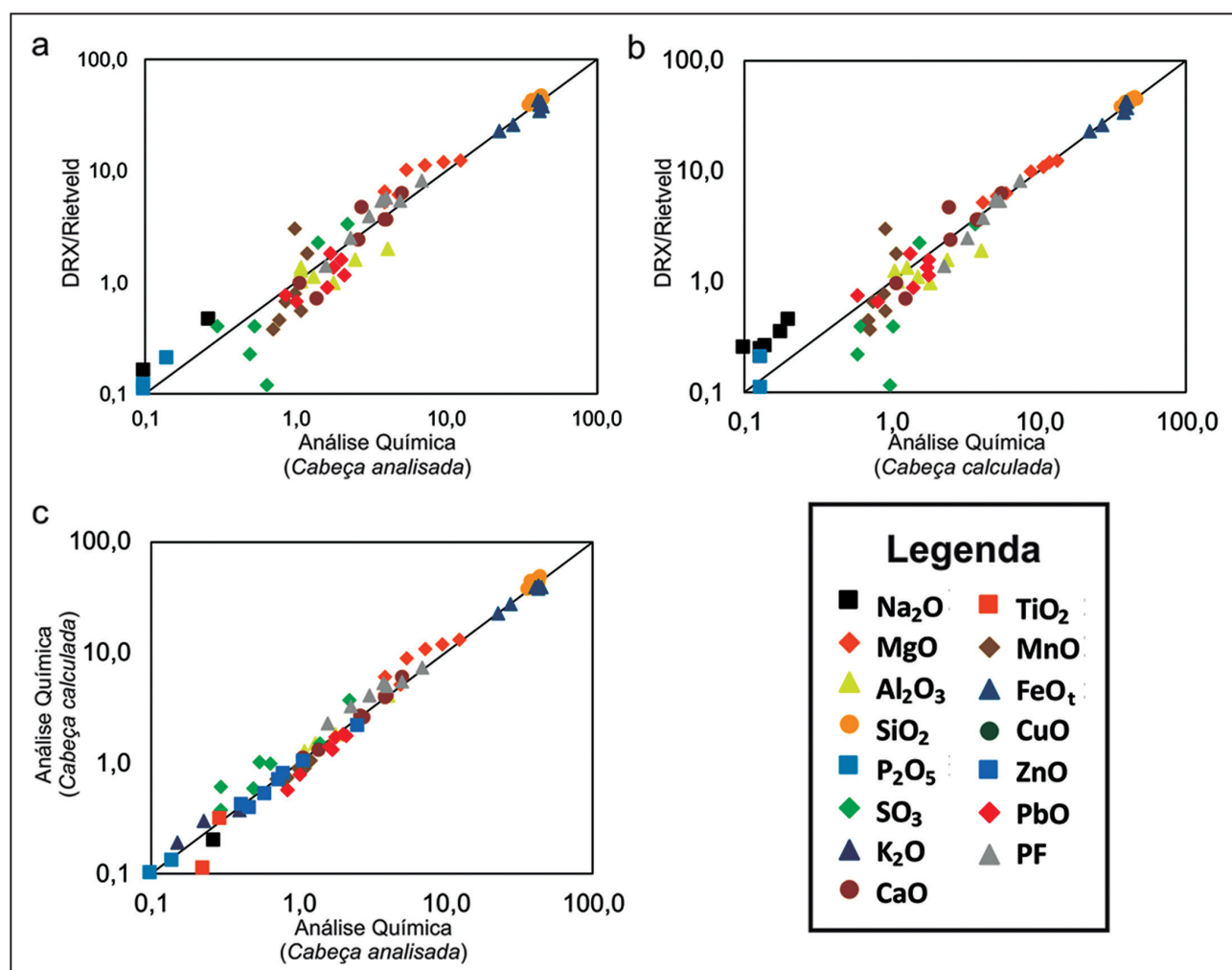


Figura 4 Conciliação entre as composições químicas obtidas por diferentes métodos para as diferentes amostras: (a) *Cabeça Rietveld* x *cabeça analisada*; (b) *Cabeça Rietveld* x *cabeça calculada*; e (c) *Cabeça calculada* x *cabeça analisada*. Resultados expressos em % de massa.

Caracterização Mineralógica do Rejeito da Mineração de Chumbo em Boquira, Estado da Bahia, Brasil
Felipe Emerson André Alves; Luiz Carlos Bertolino & Julio Cezar Mendes

Amostra	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CuO	ZnO	PbO	PPC*	Total
B1 (210 µm)	0,02	0,52	0,15	4,01	0,01	0,35	0,02	0,37	nd	0,05	1,49	nd	0,05	0,07	0,48	7,58
B1 (105 µm)	0,02	2,10	0,35	15,66	0,02	0,08	0,03	0,77	nd	0,24	5,66	nd	0,13	0,27	1,30	26,63
B1 (53 µm)	0,03	1,70	0,20	11,65	0,03	0,14	0,02	0,72	0,01	0,20	12,51	0,01	0,12	0,29	1,18	28,81
B1 (-53 µm)	0,04	1,67	0,41	12,44	0,07	0,41	0,03	0,70	0,04	0,26	18,80	0,01	0,22	0,78	1,15	37,01
B1 _(CC)	0,10	5,98	1,11	43,76	0,13	0,98	0,09	2,57	0,06	0,75	38,47	0,02	0,52	1,40	4,11	100,02
B1 _(CA)	nd	3,90	1,10	42,90	0,09	0,64	0,13	2,70	0,05	0,85	42,40	nd	0,60	1,61	3,06	98,42
B1 _(RTV)	0,26	6,49	1,04	44,51	0,11	0,12	nd	2,36	nd	0,68	39,27	nd	nd	0,91	3,89	99,63
B2 (210 µm)	0,01	0,36	0,09	1,33	nd	2,01	0,01	1,48	nd	0,03	0,70	nd	0,03	0,06	0,41	6,54
B2 (105 µm)	nd	0,43	0,09	1,48	nd	0,08	0,01	0,16	nd	0,04	0,83	nd	0,03	0,07	0,23	3,46
B2 (53 µm)	0,01	0,93	0,22	2,99	0,01	0,08	0,03	0,27	nd	0,09	1,53	nd	0,07	0,17	0,48	6,87
B2 (-53 µm)	0,17	11,47	2,00	35,17	0,08	1,50	0,33	3,82	0,07	0,91	19,12	0,02	0,67	1,50	6,24	83,06
B2 _(CC)	0,18	13,18	2,40	40,97	0,09	3,67	0,38	5,75	0,08	1,07	22,18	0,02	0,79	1,80	7,35	99,93
B2 _(CA)	nd	12,50	2,50	43,30	0,10	2,20	0,40	5,20	0,07	1,20	22,90	0,03	0,81	2,00	6,90	100,11
B2 _(RTV)	0,35	12,48	1,61	39,92	0,12	3,39	nd	6,23	nd	1,84	22,94	nd	nd	1,63	8,23	98,74
B3 (210 µm)	0,01	0,63	0,26	4,65	nd	0,24	0,03	0,30	0,01	0,05	1,61	nd	0,07	0,06	0,51	8,43
B3 (105 µm)	0,08	4,01	0,57	20,26	0,03	0,15	0,04	1,67	0,01	0,38	7,84	0,01	0,15	0,27	2,35	37,81
B3 (53 µm)	0,03	2,52	0,23	9,10	0,03	0,17	0,02	1,22	0,01	0,28	12,72	nd	0,08	0,17	1,64	28,22
B3 (-53 µm)	0,03	1,70	0,23	5,80	0,03	0,46	0,03	0,79	0,02	0,18	15,00	nd	0,10	0,31	0,71	25,36
B3 _(CC)	0,14	8,87	1,28	39,81	0,08	1,01	0,12	3,97	0,05	0,89	37,17	0,01	0,41	0,80	5,21	99,82
B3 _(CA)	nd	5,40	1,10	40,20	0,07	0,54	0,09	4,10	0,06	1,00	42,20	nd	0,42	1,02	3,76	98,94
B3 _(RTV)	0,27	10,23	1,37	41,78	0,10	0,40	nd	3,56	nd	0,79	34,38	nd	nd	0,67	5,42	98,96
B4 (210 µm)	nd	0,12	0,03	0,39	nd	0,02	nd	0,03	nd	0,01	0,24	nd	0,01	0,01	0,05	0,91
B4 (105 µm)	0,05	2,02	0,28	7,98	0,01	0,03	0,03	0,55	0,01	0,15	3,15	nd	0,08	0,11	0,86	15,30
B4 (53 µm)	0,03	4,09	0,32	14,16	0,03	0,16	0,13	1,46	0,02	0,32	9,35	nd	0,10	0,10	2,18	32,45
B4 (-53 µm)	0,05	4,57	0,41	14,32	0,05	0,41	0,02	1,80	0,04	0,41	26,64	0,01	0,21	0,36	1,95	51,24
B4 _(CC)	0,13	10,80	1,04	36,85	0,09	0,62	0,19	3,84	0,07	0,90	39,38	0,01	0,39	0,58	5,03	99,90
B4 _(CA)	nd	7,30	1,10	36,40	0,08	0,30	0,06	4,00	0,07	1,10	44,20	nd	0,47	0,85	3,99	99,07
B4 _(RTV)	0,25	11,23	1,27	37,51	0,12	0,41	nd	3,61	nd	0,56	37,49	nd	nd	0,76	5,68	98,89
B5 (210 µm)	0,02	0,38	0,17	5,04	0,01	0,01	0,01	0,07	nd	0,05	1,57	nd	0,07	0,10	0,33	7,82
B5 (105 µm)	0,03	1,43	0,33	14,22	0,02	0,08	0,02	0,36	0,02	0,18	7,31	nd	0,18	0,33	0,97	25,46
B5 (53 µm)	0,02	1,30	0,30	10,89	0,03	0,13	0,02	0,35	0,02	0,18	10,56	0,01	0,15	0,38	0,70	25,01
B5 (-53 µm)	nd	2,04	0,71	16,42	0,08	0,17	0,04	0,50	0,04	0,29	18,88	nd	0,29	0,92	1,29	41,68
B5 _(CC)	0,06	5,15	1,51	46,56	0,13	0,38	0,09	1,28	0,08	0,69	38,32	0,01	0,69	1,73	3,29	99,96
B5 _(CA)	0,10	4,90	1,30	45,10	0,14	0,30	0,11	1,40	0,07	0,79	41,00	nd	0,75	1,80	2,30	100,06
B5 _(RTV)	0,16	6,11	1,14	43,70	0,21	nd	nd	0,70	nd	0,46	43,45	nd	nd	1,37	2,49	99,81
B6 (210 µm)	nd	0,22	0,10	0,80	nd	0,04	0,01	0,06	nd	0,02	0,53	nd	0,05	0,03	0,14	2,02
B6 (105 µm)	nd	0,22	0,09	0,81	nd	0,04	0,01	0,05	nd	0,02	0,50	nd	0,05	0,06	0,13	1,99
B6 (53 µm)	0,01	0,78	0,27	2,83	0,01	0,11	0,01	0,17	0,01	0,06	1,81	nd	0,15	0,09	0,37	6,70
B6 (-53 µm)	0,18	10,44	3,57	38,37	0,09	1,34	0,27	2,23	0,09	0,80	24,00	0,02	1,87	1,16	4,73	89,16
B6 _(CC)	0,20	11,65	4,03	42,81	0,10	1,53	0,30	2,52	0,11	0,90	26,84	0,02	2,13	1,34	5,37	99,86
B6 _(CA)	0,27	9,60	4,10	38,50	0,10	1,40	0,23	2,80	0,23	1,00	27,70	0,03	2,58	1,70	5,00	95,24
B6 _(RTV)	0,46	12,07	1,98	41,87	nd	2,28	nd	4,61	nd	3,02	26,07	nd	nd	1,81	5,41	99,58
B7 (210 µm)	0,09	1,90	0,84	29,25	0,02	0,18	0,13	0,44	0,09	0,31	8,79	0,01	0,44	0,62	1,10	44,22
B7 (105 µm)	0,02	1,74	0,45	13,07	0,04	0,32	0,04	0,49	0,16	0,32	21,81	nd	0,40	0,85	0,73	40,45
B7 (53 µm)	nd	0,34	0,15	2,35	0,02	0,05	0,01	0,11	0,03	0,05	7,30	nd	0,09	0,23	0,16	10,90
B7 (-53 µm)	0,01	0,20	0,38	1,48	0,01	0,03	nd	0,06	0,03	0,02	1,56	nd	0,09	0,08	0,28	4,23
B7 _(CC)	0,13	4,18	1,81	46,15	0,09	0,59	0,19	1,10	0,31	0,71	39,46	0,01	1,02	1,77	2,28	99,80
B7 _(CA)	0,06	3,90	1,80	43,70	0,10	0,50	0,15	1,10	0,30	0,71	43,00	nd	1,09	2,10	1,60	100,11
B7 _(RTV)	0,21	5,22	0,98	46,45	0,11	0,23	nd	0,95	nd	0,38	42,26	nd	nd	1,15	1,40	99,35

Tabela 3 Composição química das amostras obtidas a partir de análise granulométrica e química por fluorescência de raios X (nas quais CC - *Cabeça calculada*; CA - *Cabeça analisada*) e através da quantificação das fases minerais pelo método de Rietveld (RTV - *Cabeça Rietveld*). Resultados expressos em % de massa. Legenda: nd corresponde a não detectado.

de chumbo (Figura 5a e 5b). Minerais com hábito fibroso (possivelmente do supergrupo do anfibólio) eventualmente encontram-se também associados a óxido de chumbo (Figura 5c). Anglesita ocorre sempre como uma matriz que envolve partículas de diversos outros minerais presentes nas amostras (Figura 5d).

As análises químicas pontuais por EDS (Tabela 5) revelaram que a composição química dos fosfatos carregadores de chumbo gradua entre as composições de piromorfita e fosfohedifano, sendo

que o conteúdo de Cl, Al_2O_3 , SiO_2 , CaO e FeO é baixo, enquanto o de P_2O_5 e PbO é alto e varia em um amplo intervalo.

5 Conclusões

A mineralogia do material coletado na antiga bacia de rejeitos da mina de Boquira e região ao redor é predominantemente composta por quartzo, hematita, magnetita, goethita, minerais do supergrupo do anfibólio, ankerita e talco. O chumbo ocorre como óxido e, principalmente, contido nos

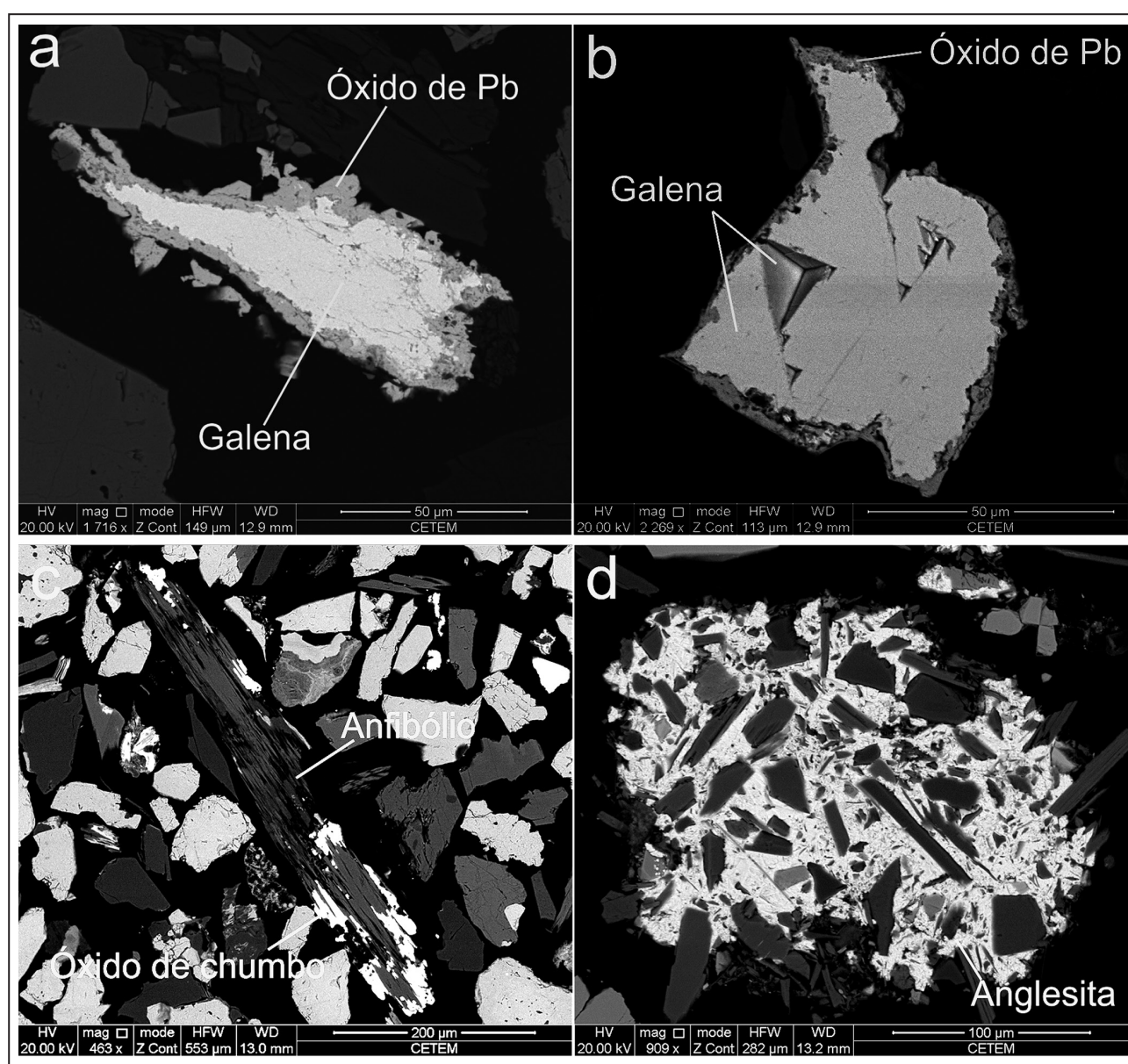


Figura 5 Imagens de elétrons retroespalhados mostrando os diferentes minerais associados à presença de chumbo: (a) e (b) – galena com borda de alteração intempérica composta por óxido de Pb; (c) – óxido de Pb associado a anfibólio; (d) – minerais envolvidos por uma matriz de cor clara composta por anglesita.

	1	2	3	4	5	6	7
FeO	0,9	0,8	4,2	nd	nd	nd	nd
PbO	80,6	79,1	81,5	80,5	80,6	82,5	75,5
P ₂ O ₅	16,7	17,1	15,8	16,8	15,3	14,1	11,8
CaO	1,0	3,1	0,1	1,2	nd	nd	nd
SiO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,8
Al ₂ O ₃	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,3
Cl	nd	nd	nd	nd	2,1	1,5	1,7
Total	99,2	100,1	101,5	98,5	98,1	98,0	92,1
Cl=O	-	-	-	-	-0,5	-0,3	-0,4
Cátions Para Base de 12 Oxigênios							
Fe	0,15	0,13	0,69	-	-	-	-
Pb	4,40	4,14	4,44	4,43	4,80	5,11	4,76
P	2,87	2,82	2,71	2,91	2,86	2,74	2,34
Ca	0,22	0,65	0,02	0,26	-	-	-
Si	-	-	-	-	-	-	0,42
Al	-	-	-	-	-	-	0,35
Cl	-	-	-	-	0,80	0,57	0,68

Tabela 5 Composição química obtida por EDS acoplado ao microscópio eletrônico de varredura. Resultados expressos em % de massa. Legenda: nd corresponde a não detectado e espaços em branco correspondem a não calculado.

minerais anglesita, cerussita, galena, fosfohedifano e piromorfita. Tal associação mineralógica, os aspectos texturais dos grãos desses minerais e suas composições químicas indicam que o material coletado é provavelmente derivado da exploração da porção oxidada do minério. No entanto, a possibilidade de alteração intempérica após a deposição do material na bacia de rejeitos não deve ser descartada.

A análise granulométrica indicou a existência de maior concentração de chumbo no intervalo de granulometria mais fino (<105 µm) para a maioria das amostras estudadas. Tal característica aliada à exposição do material ao intemperismo pode criar uma situação propícia para a mobilização e solubilização dos minerais carreadores de chumbo, com consequente liberação desse elemento, o que pode vir a implicar riscos à saúde da população que vive no entorno dos rejeitos da mineração de Boquira.

Os dados referentes a teores e mineralogia de carreadores de chumbo indicam uma possível viabilidade de reciclagem do material presente na bacia de rejeitos. Entretanto, tal alternativa necessita de estudos que comprovem: (a) a homogeneidade de teores ao longo de toda a bacia de rejeitos; (b) o volume de material presente na bacia; e (c) o estado de liberação dos minerais carreadores de chumbo, para finalmente avaliar a viabilidade de

implantação de uma planta de beneficiamento para reprocessamento do material.

6 Agradecimentos

Os autores agradecem ao Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) pela estrutura cedida para a realização do trabalho, ao CNPq pelo apoio financeiro concedido através de bolsa de iniciação científica e à CAPES pela Bolsa de Estágio Sênior no Exterior (Proc. 3955-13-3).

7 Referências

- Alves, F.E.A. & Bertolino, L.C. 2013. Determinação da contaminação por chumbo em Boquira e Santo Amaro (BA). In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL, XXI, Rio de Janeiro, 2013. *Resumos expandidos*, Rio de Janeiro, CETEM.
- Alves, F.E.A. & Bertolino, L.C. 2014. Estudo da contaminação do rejeito da mineração de chumbo em Boquira (BA). In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL, XXII, Rio de Janeiro, 2014. *Resumos expandidos*, Rio de Janeiro, CETEM.
- Alves, F.E.A. 2014. *Caracterização mineralógica de amostras de resíduo da mineração de chumbo em Boquira, (BA)*. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Trabalho de Conclusão de Curso, 66p.
- Anjos J.A.S. A. & Sanchez L.E. 2001. Plano de Gestão ambiental para sítios contaminados com resíduos industriais: o caso da Plumbum em Santo Amaro da Purificação/BA. *Bahia Análise & Dados*, 10(4): 306-309.
- Bertolino, L.C.; Alves, F.E.A.; Mendes, J.C. & Neumann, R. 2014. Caracterização Mineralógica Preliminar de Amostras do Rejeito da Antiga Mineração de Chumbo em Boquira, Bahia. *Comunicações Geológicas*, 101: 965-968.
- Camelo, M.S.M. 2006. Fechamento de mina: análise de casos selecionados sob os focos ambiental, econômico e social. Programa de Pós-graduação em Engenharia Geotécnica, Universidade Federal de Ouro Preto, Dissertação de Mestrado, 96p.
- Carvalho, I.G.; Zantop, H. & Torquato, J.R.F. 1982. Geologic Setting and Genetic Interpretation of the Boquira Pb-Zn Deposits, Bahia State, Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, 12(1-3): 414-425.
- Góes, M.A.C.; Luz, A.B. & Possa, M.V. 2010. *Amostragem*. In: LUZ, A.B.; SAMPAIO, J.A. & FRANÇA, S.C. (eds.). Tratamento de Minérios (Volume único). 5ª ed. Editora CETEM/MCT, p. 23-44.
- Jardim de Sá, E.F.; McReath, I.; Brito-Neves, B.B. & Bartels, L.S. 1976. Novos Dados Geocronológicos Sobre o Cráton do São Francisco no Estado da Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29, Ouro Preto, 1976, *Anais*, 4: 185-204.
- Neumann, R.; Costa, G.E.L.; Gaspar, J.C.; Palmieri, M. & Silva, S.E.E. 2011. The Mineral Phase Quantification of Vermiculite and Interstratified Clay Minerals-Containing Ores by X-Ray Diffraction and Rietveld Method after K Cation Exchange. *Minerals Engineering*, 24(12): 1323-1334.
- Neumann, R. & Medeiros, E.B. 2015. Comprehensive Mineralogical and Technological Characterisation of the Araxá (SE Brazil) complex REE (Nb-P) ore, and the fate of its processing. *International Journal of Mineral Processing*, 144: 1-10.
- Pouchou, J.L. & Pichoir, F. 1991. Quantitative analysis of homogeneous or stratified microvolumes applying the model "PAP". In: HEINRICH, K.F.J. & NEWBURY, D.E. (eds.). Electron Probe Quantitation. Editora New York: Plenum Press, p. 31-75.
- Rietveld, H.M. 1969. A profile refinement method for nuclear and magnetic structures. *Journal of Applied Crystallography*, 2: 65-71.
- Schobbenhaus, C. & Coelho, C.E.S. 1988. *Principais depósitos minerais do Brasil - Volume 3 - Metais básicos não ferrosos, ouro e alumínio*. Brasília, DNPM/CVRD/CPRM. 670 p.