

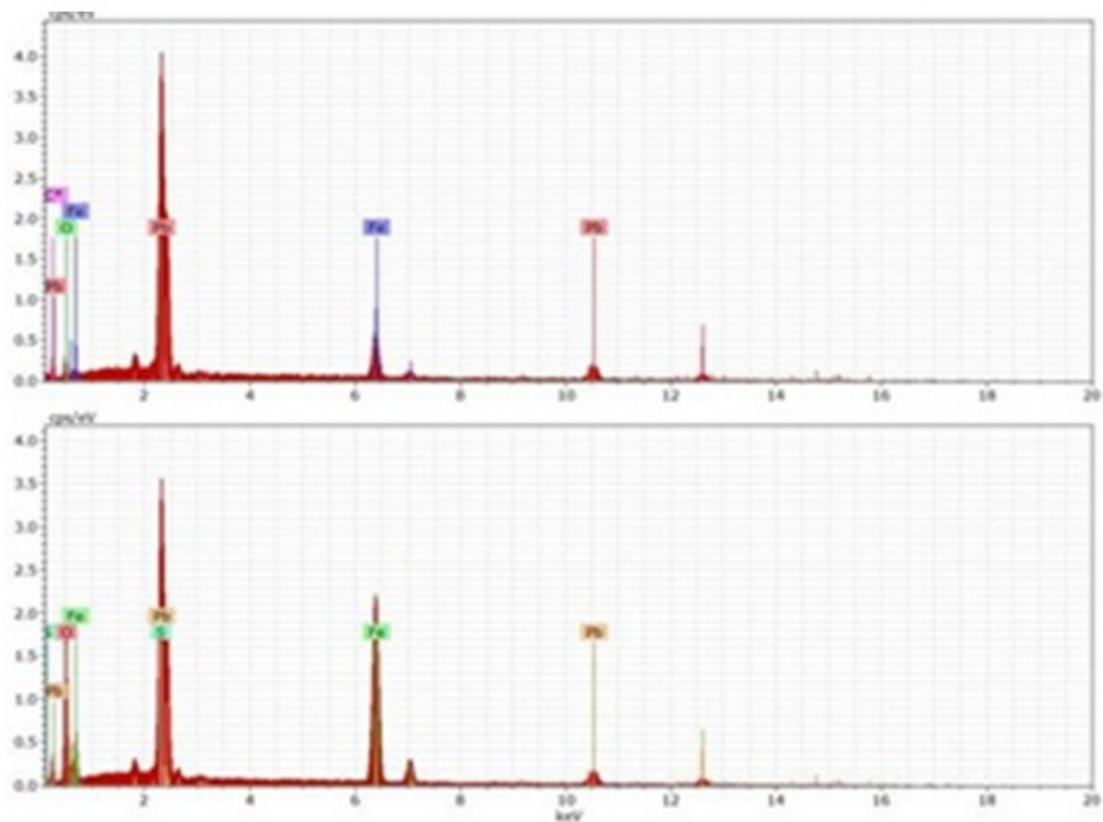
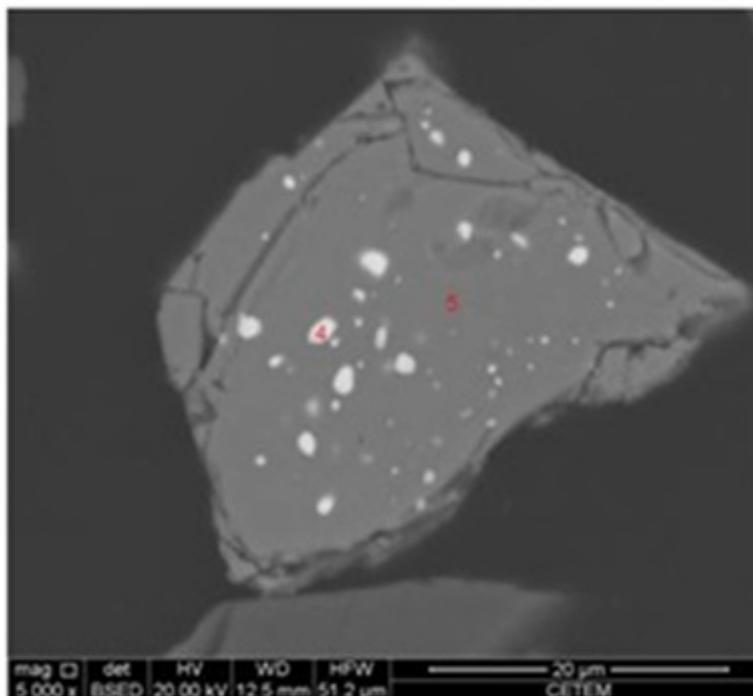
## 5.2 Caracterização Mineralógica - MEV

A caracterização mineralógica foi realizada a partir de análises com MEV nas seções polidas das amostras B01-C, B02-A, B03 e B04, no Setor de Caracterização Tecnológica do CETEM. As análises através do MEV permitiram a identificação dos minerais a partir diferenciação de tons de cinza presentes na imagem e através das análises de EDS.

As análises permitiram identificar que os minerais portadores de chumbo estão presentes em todas as frações granulométricas na forma de partículas livres ou inclusos em outros minerais.

A figura 18 corresponde à amostra B01-C. Nela, são observados dois tons de cinza. A análise com EDS no ponto 4 sugeriu que se tratasse de uma partícula de cerussita e no ponto 5, uma partícula de hematita ou magnetita, ambos óxidos de ferro. A partícula de cerussita se apresenta contida na partícula maior, pelo que se assemelha com uma inclusão.

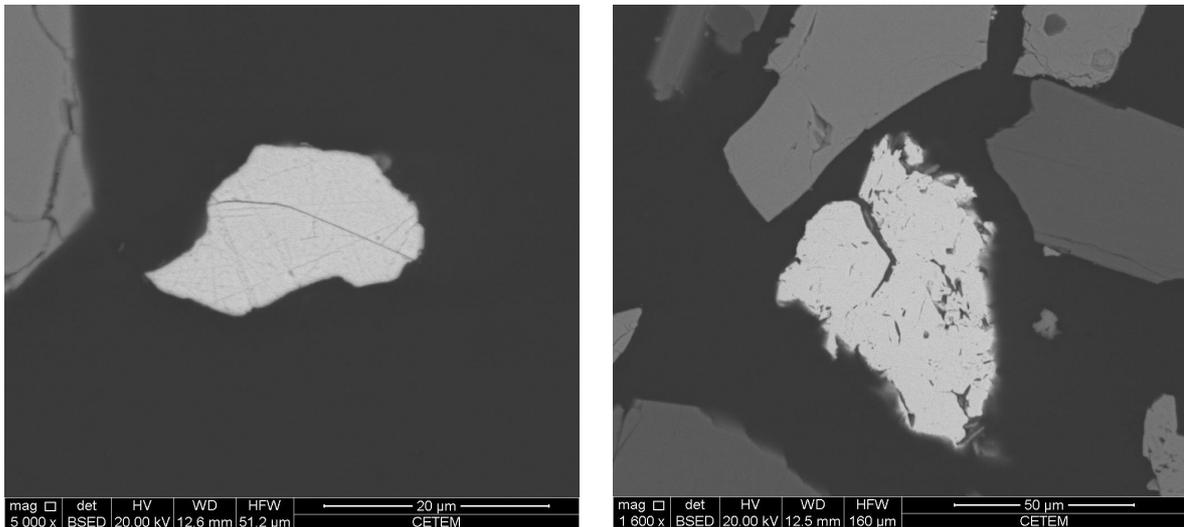
Figura 18 - Imagem da amostra B01-C. Elétrons retroespalhados - MEV e EDS dos pontos indicados na imagem



Fonte: ALVES, 2014

As próximas duas imagens apresentadas (figura 19) correspondem a partículas de cerussita. Foi detectado, através do EDS (usado para espectroscopia de energia dispersiva), picos para o enxofre(S), que poderiam induzir para a identificação da partícula como Galena. No entanto, o pico apresentado para este elemento é o mesmo apresentado para o chumbo. Além disso, a difratometria de raios X revelou uma presença muito escassa de galena, como já foi observado na tabela 8. Na amostra em questão (B01-C), por exemplo, a quantidade de galena é de apenas 0,2%. Portanto, conclui-se que as partículas apontadas nas imagens da figura 19 são de cerussita devido a sua morfologia e aos dados obtidos com a difratometria de raios X.

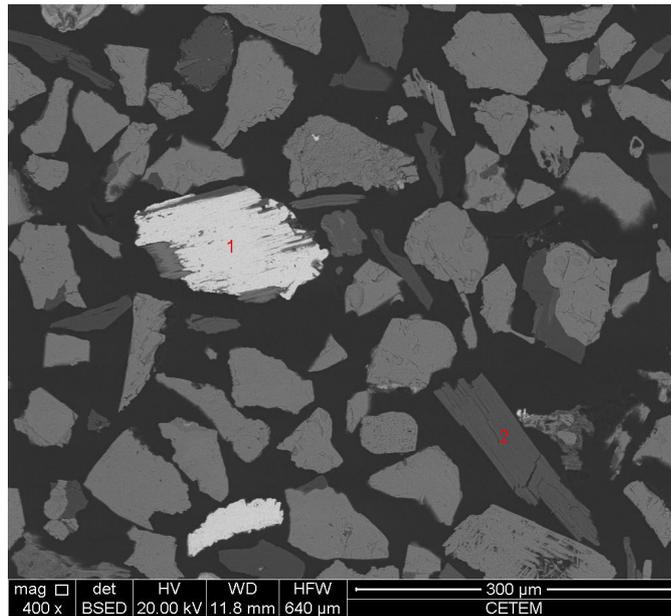
Figura 19 - Imagens da amostra B01-C. Elétrons retroespalhados – MEV



Fonte: ALVES, 2014

A imagem da figura 20, referente à amostra B02-A apresenta uma partícula, representada pelo número 1, de cerussita, e uma partícula 2. A partícula 2, através da análise com EDS, pôde ser classificada como um grão de talco ou serpentina, devido à sua morfologia, além de dados complementares extraídos através de análises de DRX e lupa.

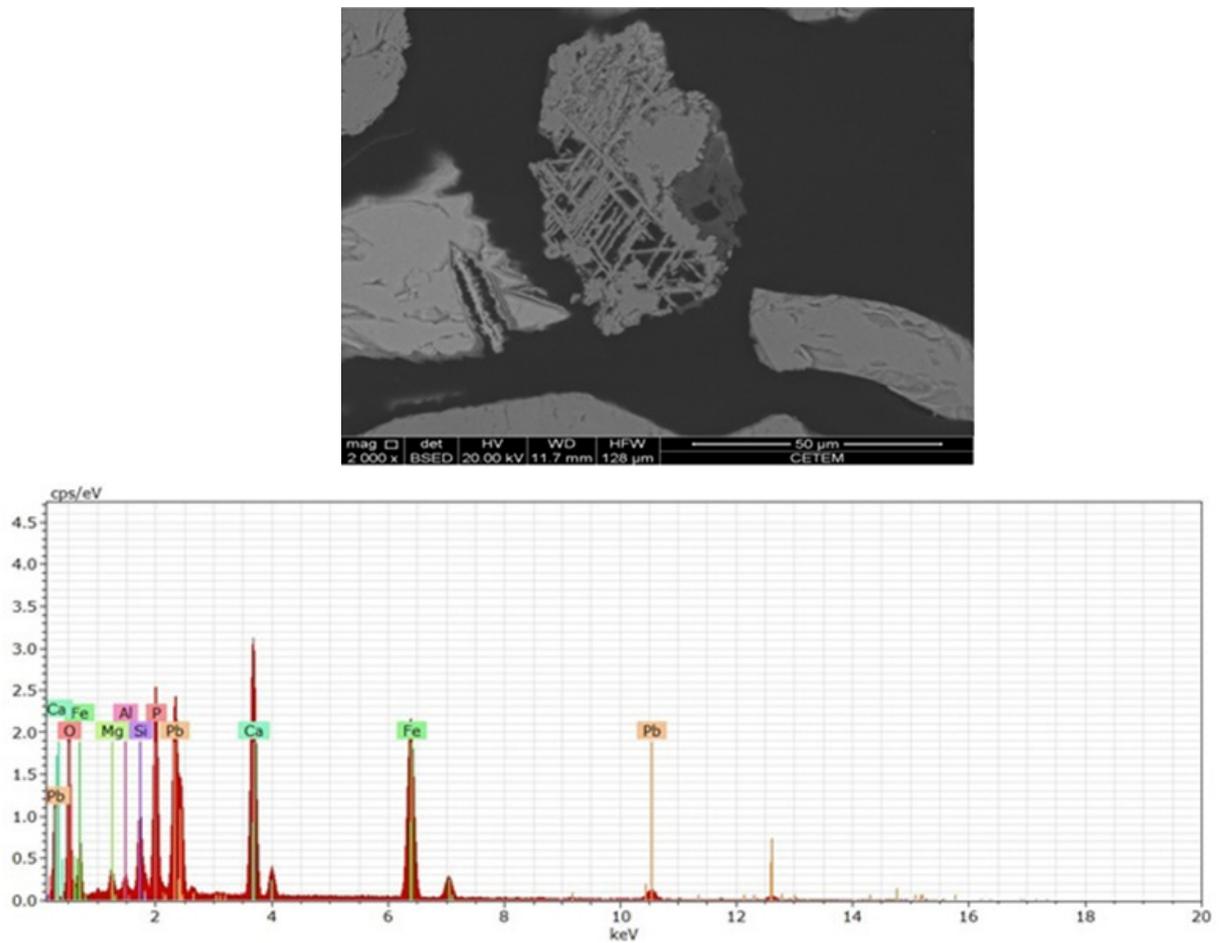
Figura 20 - Imagem da amostra B02-A. Elétrons retroespalhados – MEV



Fonte: ALVES, 2014

Além disso, foi observada na imagem representada na figura 21, uma partícula de cummingtonita, anfibólio presente na maioria das amostras analisadas.

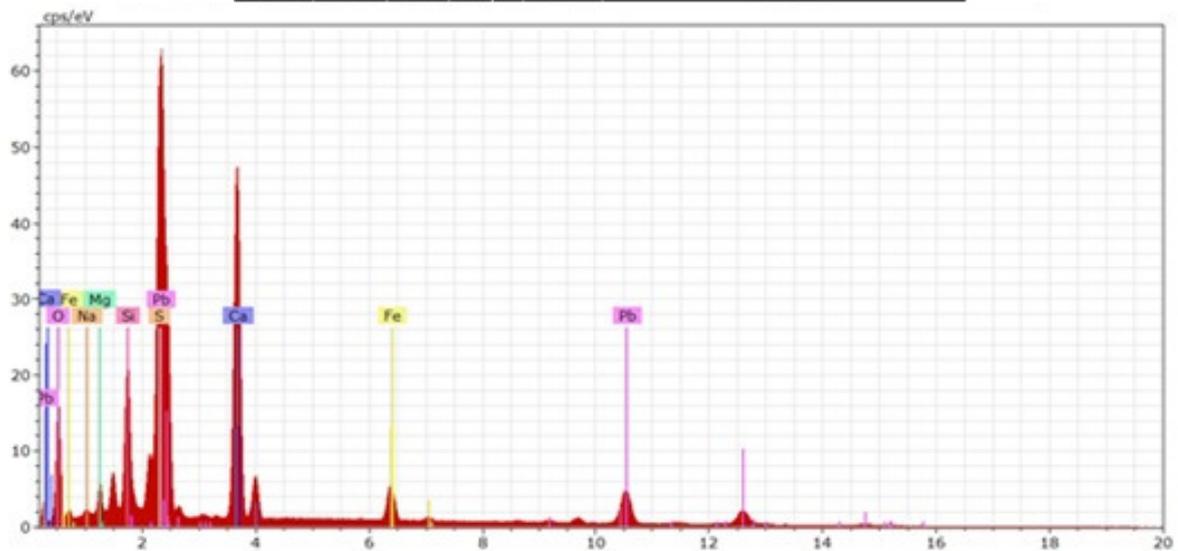
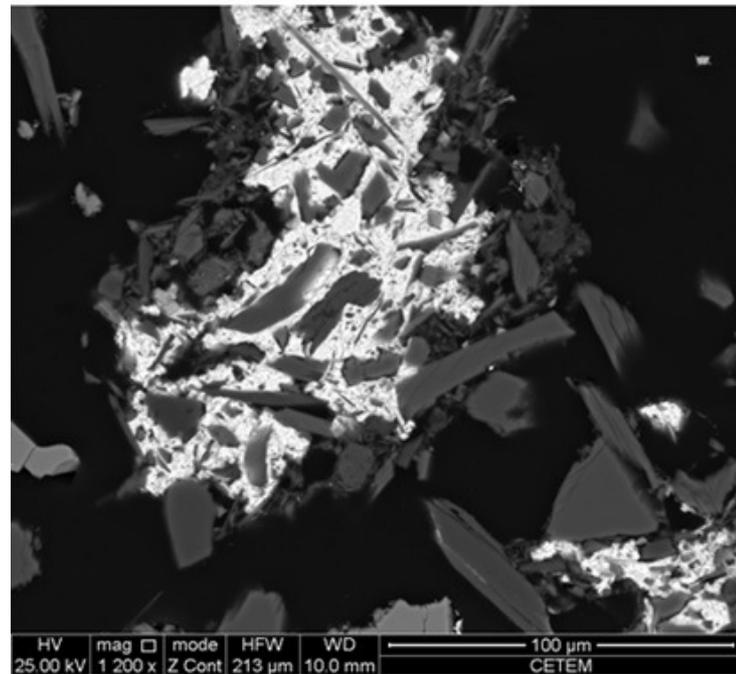
Figura 21- Imagem da amostra B02-A. Elétrons retroespalhados – MEV e EDS



Fonte: ALVES, 2014

Na figura 22 observa-se a presença de anglesita ( $\text{PbSO}_4$ ), com inclusões de anfibólio. A bibliografia sugere que a anglesita pode ocorrer em um nível de profundidade da jazida, naturalmente. Entretanto, não é o caso da partícula observada na imagem em questão. A mesma trata-se de um mineral secundário, proveniente do processo de beneficiamento do minério de chumbo.

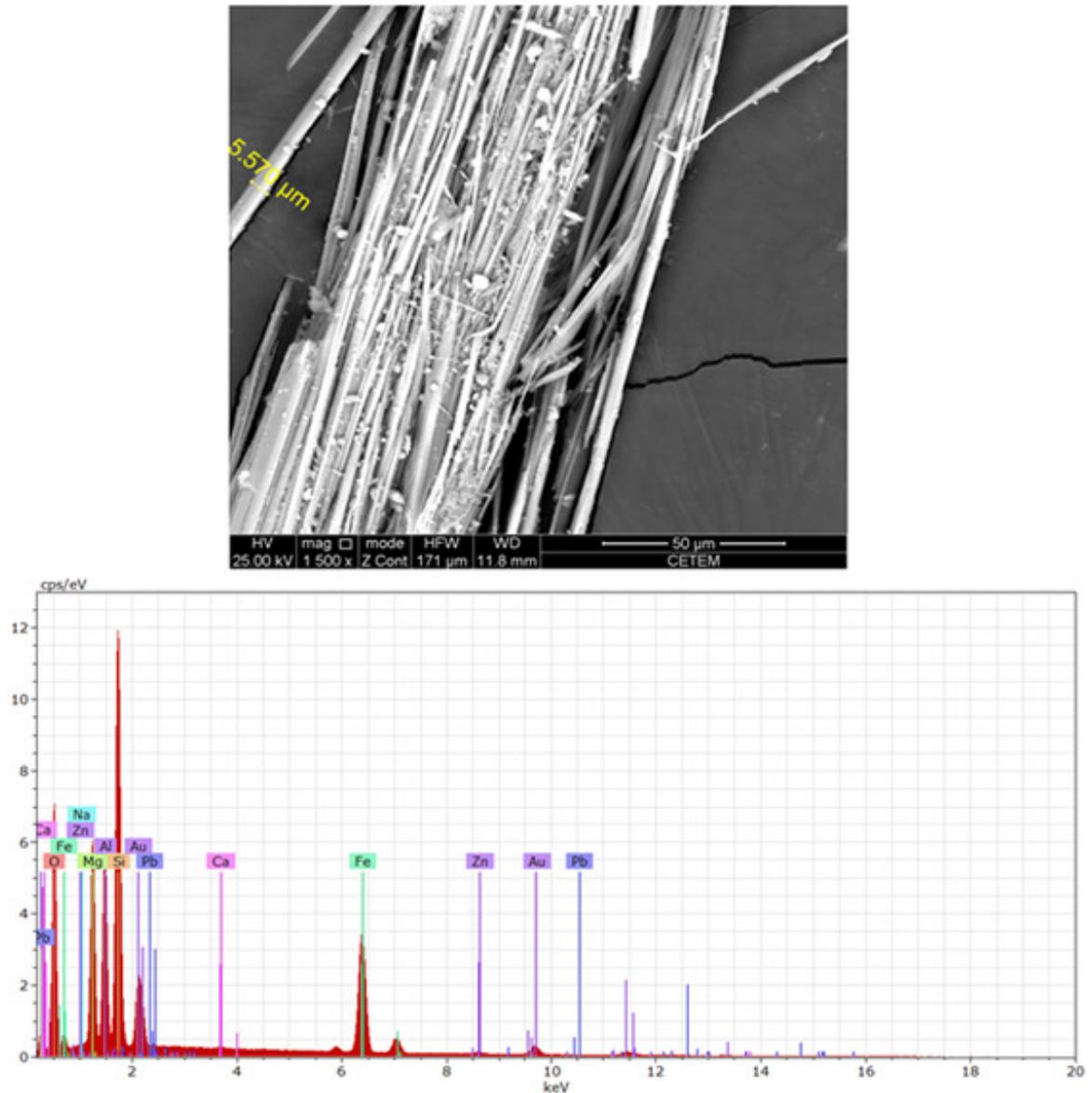
Figura 22 - Imagem da amostra B03. Elétrons retroespalhados – MEV e EDS



Fonte: ALVES, 2014

A figura 23 apresenta a imagem de um mineral de hábito fibroso que ocorre em todas as amostras estudadas. A composição química sugerida pela análise por EDS pode ser relacionada com a composição química dos minerais cummingtonita, lizardita e talco, anteriormente identificados por DRX.

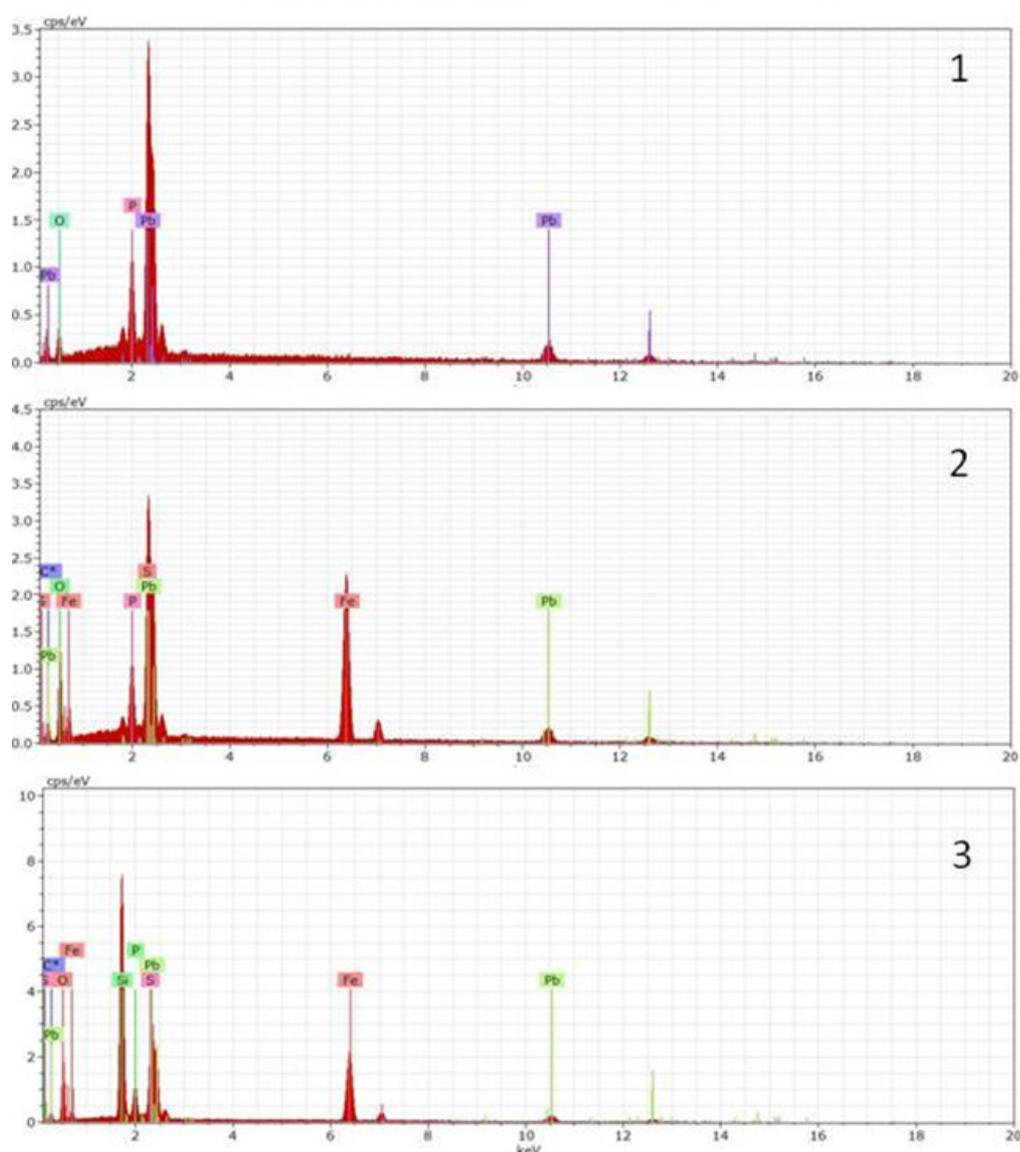
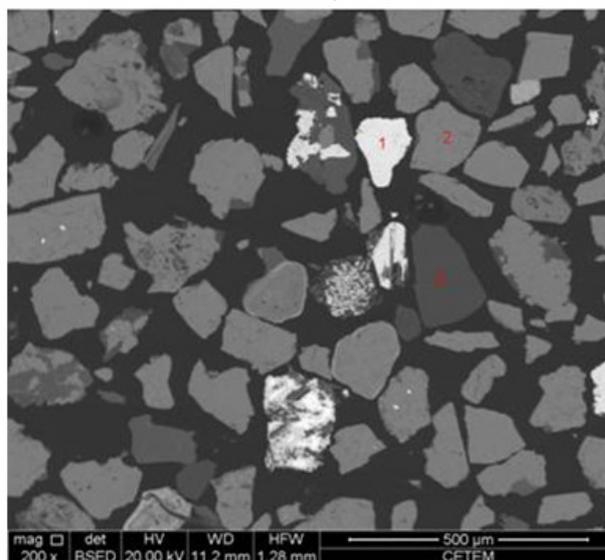
Figura 23 - Imagem da amostra B04. Elétrons retroespalhados – MEV e EDS



Fonte: ALVES, 2014

A análise das imagens da amostra B04 no MEV indica a grande incidência de óxidos de ferro, representadas pelos pontos 2 e 3, os mais escuros na figura 24. O ponto representado pelo número 1 na figura se diferencia dos demais pela coloração, demonstrando massa elevada e, portanto, mais passível de ter Pb em sua composição. Através da análise com EDS, foi possível identificar tal ponto como sendo uma cerussita pelos seus elementos constituintes, comprovando também a percentagem de cerussita encontrada na amostra através do DRX, que foi de 2,2%, uma das maiores dentre as amostras analisadas.

Figura 24 - Imagem da amostra B04. Elétrons retroespalhados – MEV e EDS



Fonte: ALVES, 2014

### 5.3 Fluorescência de Raios X

Os valores apresentados na tabela 6 foram obtidos através da análise química (FRX), medidos em óxidos e normalizados a 100% para todas as amostras coletadas. A análise de FRX foi feita com dois preparos diferenciados: fundido (fun) e prensado (pren), de acordo com metodologia presente em Alves, 2012. A unidade de medida dos resultados apresentados, portanto, é a porcentagem. Os valores do Pb na tabela 6 estão apresentados sob a forma de óxido, enquanto que, os valores existentes na lista do CONAMA 420-2009, que expõe o limite máximo recomendável em solo residencial e industrial de concentração de chumbo e outros metais são referentes ao elemento apenas. Sendo assim, os valores calculados para a concentração final do chumbo estão expostos na tabela 6.

Tabela 6 - Resultados das Análises Químicas (%)

Óxidos	B01-A		B01-B		B01-C		B02-B		B02-A		B03		B04	
	Fun	Pren	Fun	Pren	Fun	Pren	Fun	Pren	Fun	Pren	Fun	Pren	Fun	Pren
Na <sub>2</sub> O	ND	0,03	ND	0,1	ND	0,06	ND	ND	0,1	0,1	0,27	0,29	0,06	ND
MgO	3,9	5,1	12,5	14,7	5,4	7,1	7,3	9,7	4,9	6,3	9,6	10,9	3,9	4,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,1	1,4	2,5	2,4	1,1	1,5	1,1	1,2	1,3	1,6	4,1	4,8	1,8	2,9
SiO <sub>2</sub>	42,9	43,8	43,3	39,5	40,2	36,9	36,4	35,1	45,1	48,3	38,5	38	43,7	49,2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,09	0,07	0,1	0,11	0,07	0,07	0,08	0,08	0,14	0,2	0,1	0,15	0,1	0,14
SO <sub>3</sub>	0,64	0,88	2,2	4,4	0,54	0,93	0,3	0,43	0,3	0,72	1,4	2,8	0,5	1,2
K <sub>2</sub> O	0,13	0,14	0,4	0,39	0,09	0,16	0,06	0,09	0,11	0,09	0,23	0,22	0,15	0,18
CaO	2,7	3,1	5,2	5,6	4,1	5,2	4	4,3	1,4	1,4	2,8	2,8	1,1	1,4
TiO <sub>2</sub>	0,05	0,07	0,07	0,06	0,06	0,07	0,07	0,06	0,07	0,04	0,23	0,17	0,3	0,2
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ND	0,02	ND	0,02	ND	ND	0,05	ND	ND	ND	ND	0,02	ND	ND
MnO	0,85	0,81	1,2	1,1	1	1,1	1,1	1,1	0,79	0,77	1	1	0,71	0,87
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	-	ND	ND	-	-	-	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	42,4	39,2	22,9	21,9	42,2	41,6	44,2	42,5	41	35,5	27,7	27,8	43	34
CuO	-	-	0,03	0,02	-	-	-	-	ND	0,01	0,03	0,03	ND	0,03
ZnO	0,6	0,72	0,81	0,87	0,42	0,63	0,47	0,61	0,75	0,92	2,58	3,1	1,09	1,5
Rb <sub>2</sub> O	-	-	ND	ND	-	-	-	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SrO	-	-	ND	ND	-	-	-	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND
ZrO <sub>2</sub>	ND	0,01	ND	0,01	ND	0,01	ND	ND	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02
<b>PbO</b>	<b>1,61</b>	<b>1,53</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1,02</b>	<b>0,97</b>	<b>0,85</b>	<b>0,75</b>	<b>1,8</b>	<b>1,9</b>	<b>1,7</b>	<b>1,9</b>	<b>2,1</b>	<b>2,4</b>
BaO	-	-	ND	ND	-	-	-	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND
NiO	-	-	ND	ND	-	-	-	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND
WO <sub>3</sub>	-	-	ND	ND	-	-	-	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND
I	-	-	ND	ND	-	-	-	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CdO	-	-	ND	ND	-	-	-	-	ND	ND	4,9	1,1	ND	ND

Fonte: Adaptado de ALVES, 2014

Tabela 7 - Conversão dos Resultados das Análises Químicas - Pb (ppm)

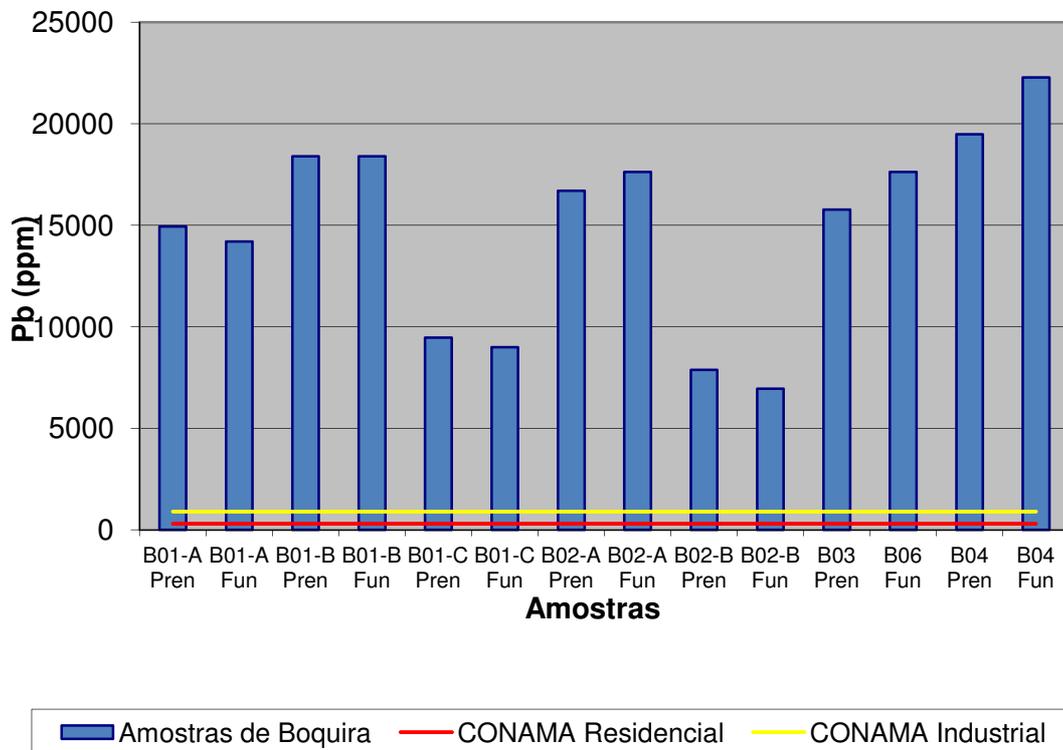
B01-A		B01-B		B01-C	
Pren	Fun	Pren	Fun	Pren	Fun
14.945,63	14.202,99	18.400,00	18400	9.468,66	9.004,51

B02-A		B02-B		B03		B04	
Pren	Pren	Pren	Fun	Pren	Fun	Pren	Fun
16.709,40	17.637,70	7.890,55	7.890,55	15.781,10	17.637,70	19.494,30	22.279,20

Fonte: A autora, 2015

Figura 25 - Gráfico Contendo os Resultados das Análises Químicas



Fonte: A autora, 2015

Os valores apresentados na tabela 7 revelam um teor de chumbo encontrado em solo muito acima dos valores de referência presentes na lista do CONAMA 420-2009. Segundo a lista, o valor máximo recomendável para chumbo em solo residencial é de 300 ppm, e em solo industrial é de 900 ppm. A tabela indica que os valores para a fração prensada são maiores do que para a fundida, nas amostras B01-A, B01-B, B01-C e B02-B. Nas amostras B02-A, B03 e B04, os valores para a fração fundida são maiores. Além disso, o gráfico da figura 25 ilustra o quanto que o teor de chumbo ultrapassa o limite previsto na lista do CONAMA 420-2009, estando as colunas, que representam os valores encontrados nas amostras de Boquira muito

acima das linhas que representam os limites de chumbo para solo em amarelo (Industrial) e vermelho (residencial). A amostra cujo valor foi considerado mais alto foi a amostra B04 (fun), apresentando o valor de 22.279,2 ppm, enquanto que o valor mais baixo foi encontrado na amostra B02-B (fun).

A amostra B04, cujos valores encontrados foram os maiores, está localizada ao final da drenagem do rejeito, próximo à rodovia BA-156. Já a amostra que apresentou valores de Pb mais baixo (B02-B) está localizada bem ao lado da bacia de rejeito, a 20 cm de profundidade. A partir dessa informação, levanta-se a possibilidade do chumbo na porção mais superficial do solo já ter sido lixiviado nos arredores da bacia, levando em conta que a quantidade mais inferior de Pb apresentada na amostra ao lado da mesma não pode ser devido à eficácia da barragem, pois não há ali nenhuma contenção para o espalhamento do material lá contido.

Também é importante observar que a mesma foi coletada sob a forma de sedimento de corrente. Ou seja, através do deslocamento pela drenagem existente, o sedimento transportou material contaminado presente no interior da bacia de rejeito.

Tendo em vista a especificação da contaminação, é importante ressaltar os danos ambientais provocados pela exposição do material rejeitado após o processo de flotação, no meio ambiente. Essa exposição, ao longo dos anos, pode provocar a contaminação do solo e dos corpos hídricos através do transporte das partículas do solo pelos agentes erosivos. Além disso, acerca de 100 m do local onde o mesmo foi depositado, existe uma vila residencial e o início da cidade é localizado a 800 m, sendo o centro (área populacional mais densa) a 1,7 km. A contaminação, uma vez detectada no lençol freático, dependendo de sua concentração, pode sistematicamente alcançar essas localidades.

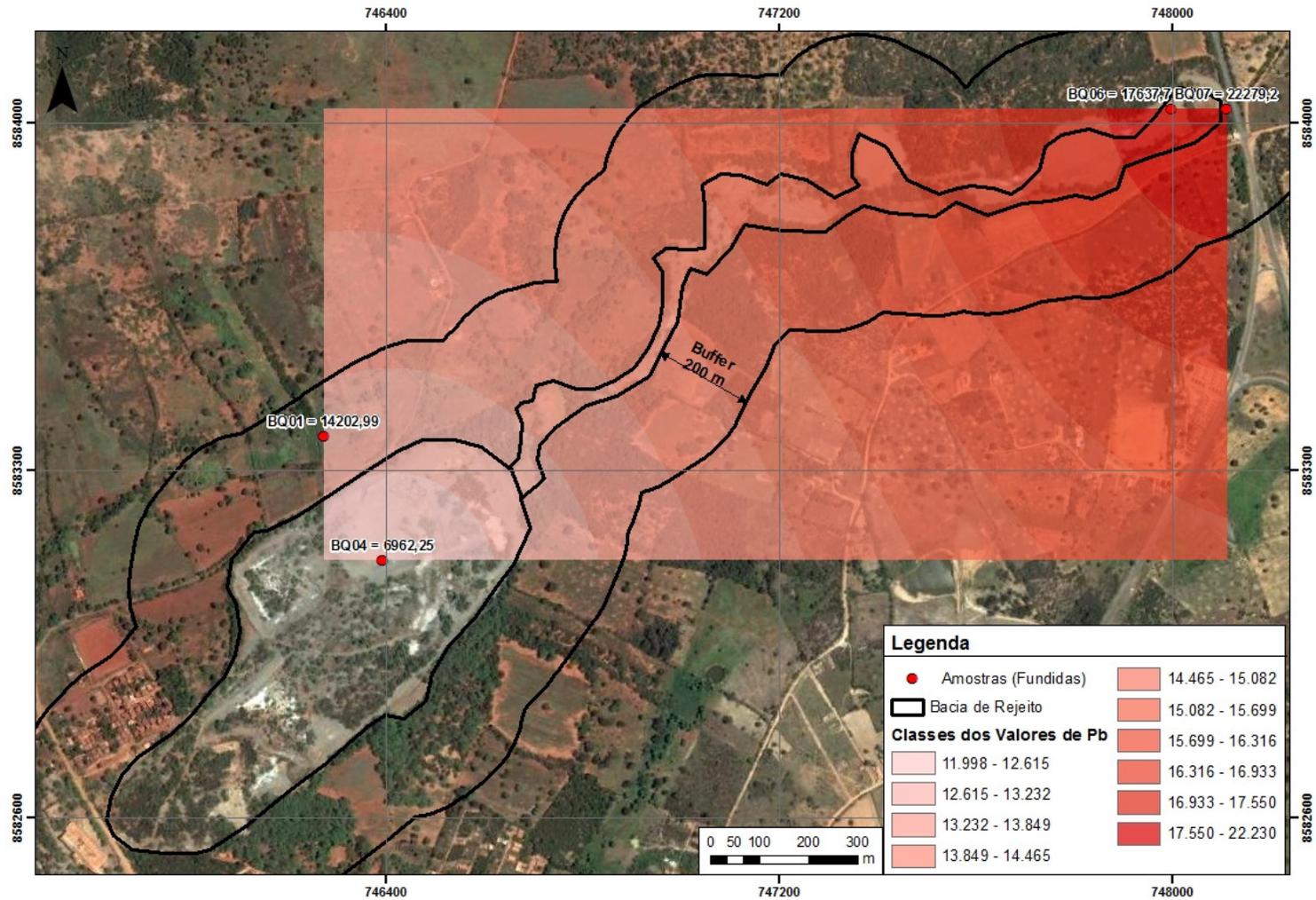
A análise dos dados químicos permitiu a elaboração de um mapa, contendo as informações espaciais contidas nesses dados, mostrando através da interpolação dos valores obtidos em cada ponto coletado, um cenário provável de contaminação do solo. As figuras 27 e 28 mostram esse cenário provável para a área compreendida entre os pontos B01-A, B02-B, B03 e B04, para as amostras fundidas e prensadas, respectivamente.

A interpolação precisou ser realizada somente com esses pontos, pois os demais se encontravam no mesmo local, porém com profundidades diferentes, o

que geraria dados de interpolação de mais de uma profundidade em um só cenário, portanto, não condizente com a realidade que se pretende demonstrar.

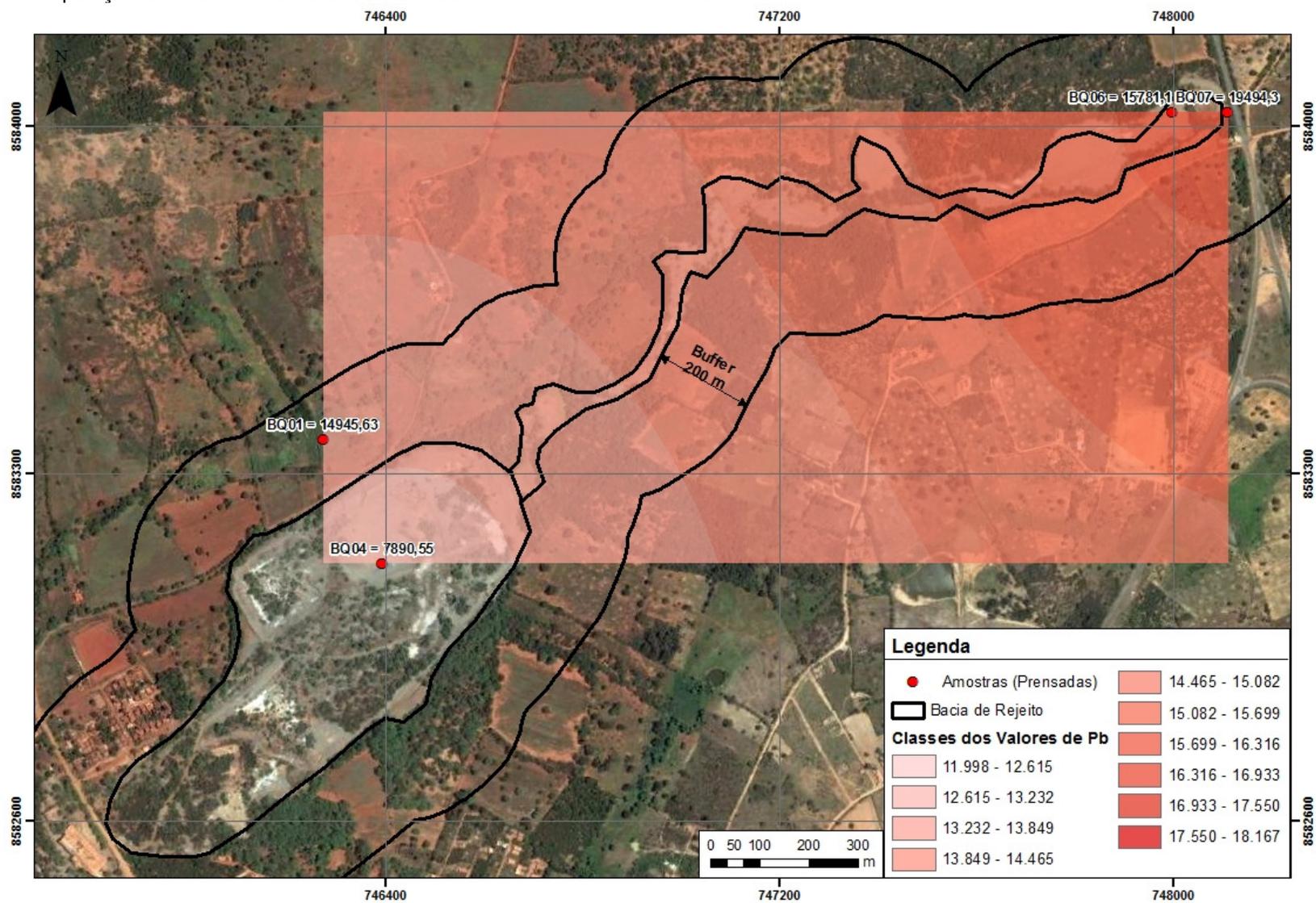
Nas duas figuras, observa-se um aumento do valor de chumbo à medida que se afastam da bacia de rejeito, sugerindo que o material tem sido lixiviado e já se encontra com teores altos em distâncias de até 2 km (extensão aproximada da drenagem que vai da bacia de rejeito até a rodovia).

Figura 26 – Interpolação dos valores de Pb da Análise Química – Amostras Fundidas



Fonte: A autora, 2015

Figura 27 - Interpolação dos Valores de Pb da Análise Química – Amostras Prensadas



Fonte: A autora, 2015

#### 5.4 Matéria Orgânica e Carbono

Os ensaios para determinação de matéria orgânica e carbono foram realizados de forma a complementar os dados existentes, levando em conta a importante associação existente entre os metais e a quantidade de matéria orgânica nas amostras.

Os resultados das concentrações de matéria orgânica em g/dm<sup>3</sup> para as frações grossas foram de 0,59% para a amostra B01-A; 0,69% para a amostra B01-A-B; 0,39% para a amostra B01-C; 0,47% para a amostra B02-B; 0,43% para a amostra B02-A; 1,14% para a amostra B03 e 0,08% para a amostra B04. Já nas frações finas, os resultados foram de 0,04% para a amostra B01-A-F; 0,49% para a amostra B01-A-B-F; 0,27% para a amostra B01-C-F; 1,12% para a amostra B02-B-F; 0,20 para a amostra B02-A-F; 1,27% para a amostra B03-F e 1,08% para a amostra B04-F, conforme se apresenta nas tabelas 8 e 9.

Tabela 8 - Valores de Matéria Orgânica e Carbono (%) da fração grossa

Amostr s (Fração Grossa)	Peso da amostra (g)	Volume de	Sal de Mohr (ml) gasto	Fator de Correção 1	Fator de Correção 2	Fator de Correção 3	C (g/Kg)	MO (g/Kg)	C (%)	MO (%)
		K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> (ml)								
Branco		10	41,7							
B01-A	0,25	10	37	0,95	1,2	3	3,42	5,88	0,34	0,59
B01-A-B	0,25	10	36,5	0,95	1,2	3,5	3,99	6,86	0,40	0,69
B01-C	0,25	10	38	0,95	1,2	2	2,28	3,92	0,23	0,39
B02-B	0,25	10	37,6	0,95	1,2	2,4	2,74	4,71	0,27	0,47
B02-A	0,25	10	37,8	0,95	1,2	2,2	2,51	4,31	0,25	0,43
B03	0,25	10	34,2	0,95	1,2	5,8	6,61	11,37	0,66	1,14
B04	0,25	10	39,6	0,95	1,2	0,4	0,46	0,78	0,05	0,08

Fonte: A autora, 2015

Tabela 9 - Valores de Matéria Orgânica e Carbono (%) da fração fina

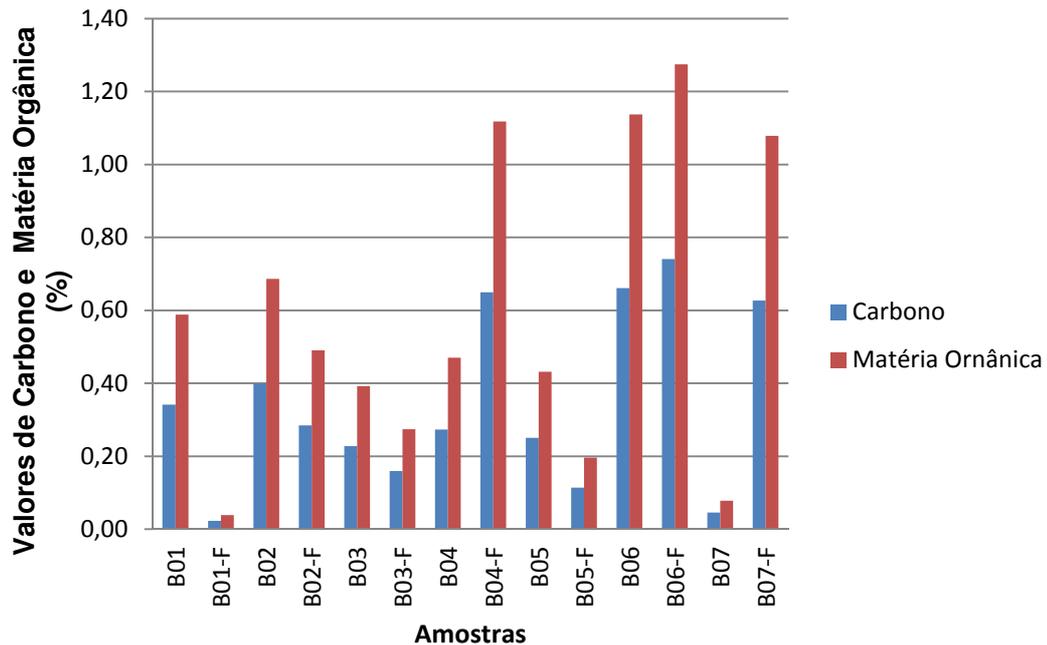
Amostras (Fração Fina)	Peso da amostra (g)	Volume de $K_2Cr_2O_7$ (ml)	Sal de Mohr (ml) gasto	Fator de Correção 1	Fator de Correção 2	Fator de Correção 3	C (g/Kg)	MO (g/Kg)	C (%)	MO (%)
Branco		10	41,7							
B01-A-F	0,25	10	39,8	0,95	1,2	0,2	0,228	0,40	0,02	0,04
B01-A-B-F	0,25	10	37,5	0,95	1,2	2,5	2,85	4,90	0,28	0,49
B01-C-F	0,25	10	38,6	0,95	1,2	1,4	1,596	2,74	0,16	0,27
B02-B-F	0,25	10	34,3	0,95	1,2	5,7	6,498	11,18	0,65	1,12
B02-A-F	0,25	30	39	0,95	1,2	1	1,14	1,96	0,11	0,20
B03-F	0,25	10	33,5	0,95	1,2	6,5	7,41	12,74	0,74	1,27
B04-F	0,25	10	34,5	0,95	1,2	5,5	6,27	10,78	0,63	1,08

Fonte: A autora, 2015

O gráfico apresentado na figura 29 indica valores mais altos de matéria orgânica, comparados aos de carbono, de uma forma geral. Além disso, as amostras B-04F, B03, B03-F e B04-F apresentam os maiores valores de matéria orgânica (ultrapassando 1%), ainda que tais valores sejam considerados baixos (RIBEIRO et al., 1999), no que se refere à matéria orgânica em solo. Segundo RIBEIRO (1999), valores de matéria orgânica em solo abaixo de 0,70% são considerados muito baixos (como foi o caso das amostras B01-A-F, B01-A-B-F, B01-C-F, B02-A-F, B01-A, B01-A-B, B01-C, B02-B, B02-A e B04). Os demais valores são considerados baixos, pois estão entre 0,71 e 2,00%.

Esse comportamento era esperado, devido às amostras terem sido coletadas da bacia de rejeito e não do solo e, portanto, não possuem as características de um solo. Esses resultados são corroborados levando em conta que o teor mais alto de matéria orgânica encontrado foi na amostra B-06F e tal amostra é a que mais se assemelha a um solo, pela sua localização e profundidade de coleta. Por outro lado, a amostra B01-A e B01-A-F, por exemplo, que apresentaram teores muito baixos de matéria orgânica (M.O.), foram coletadas na beira da rodovia e constituem-se basicamente de material lixiviado, analogamente a constituição de um solo.

Figura 28 - Gráfico dos Valores de Matéria orgânica nas Amostras Analisadas



Fonte: A autora, 2015

## 5.5 Ensaio de Ecotoxicidade

A partir das considerações geradas pela caracterização mineralógica, deve-se ressaltar a importância de estudo em que se avalie a biodisponibilidade do metal no solo. A mesma pode ser medida e estudada por ensaios ecotoxicológicos, através dos quais é possível verificar os efeitos das variáveis ambientais capazes de afetar a toxicidade das substâncias nos componentes vivos de um ecossistema (RIZZO et al., 2004). Ou seja, os ensaios de ecotoxicidade podem dizer mais precisamente o quanto tóxica é uma substância para os organismos vivos, o que a análise química por si só não faz.

A partir disso, infere-se que os resultados obtidos com os ensaios revelaram uma característica de subletalidade nos efeitos do contato dos animais testados com a substância estudada: a perda de peso gradativa dos animais, como se pode observar nas tabelas 10 e 11 apresentadas a seguir.

A perda de peso (PP) foi de 22% para o solo controle, 15% para a B01-A a 3%, 27% para a B01-A a 6% e 29% para a B01-A a 12%, 25% e 50%. Já na amostra

B04 (tabela 12) foi possível observar com mais clareza a perda de peso (PP) numa espécie de gradação: 23% de PP na B04 a 3%, 18% de PP na B04 a 6%, 28% de PP na B04 a 12%, 33% de PP na B04 a 25% e 35% de PP na B04 a 50%, sugerindo que os organismos estavam submetidos a algum tipo de *stress* ambiental (CESAR et al., 2013).

A perda de peso, conforme a metodologia presente na norma ASTM Designação: E 1676-04, quando da ocorrência de minhocas mortas, foi calculada de forma a não considerar o peso da minhoca morta. Sendo assim, o peso inicial (representando 100%) para 10 minhocas foi ajustado para que 100% correspondesse as 9 minhocas, no caso de uma morte, através da realização de regra de três simples.

Tabela 10 - Tabela de Monitoramento do Teste de Ecotoxicidade – Amostra B01-A

Montagem do teste (lotes)					Resultado do teste					
Data/Hora inicial	Nome da amostra	No. da réplica	pH inicial do lote (para s.a. ajustado)	Peso das minhocas (10 ind/lote)	Data/Hora final	pH final**	No. de minhocas vivas	Total de minhocas vivas	Peso final das minhocas	Observações de comportamento/perda de peso (PP)
27/11 12:00	C	1	5,81	4,17	11/12 14:00	7,27	10	29	3,12	pp = 22%
		2		4,12			9		2,99	
		3		4,12			10		3,28	
27/11 12:00	B01-A 50%	1	5,38	4,10	11/12 14:00	7,69	9	19	2,69	pp = 29%
		2		4,02			10		2,81	
27/11 12:00	B01-A 25%	1	-	3,93	11/12 14:00	-	10	20	2,91	pp = 29%
		2		3,92			10		2,62	
27/11 12:00	B01-A 12%	1	5,66	4,23	11/12 14:00	7,28	10	20	3,00	pp = 29%
		2		4,21			10		3,00	
27/11 12:00	B01-A 6%	1	-	4,48	11/12 14:00	-	10	20	3,23	pp = 27%
		2		4,47			10		3,26	
27/11 12:00	B01-A 3%	1	5,49	3,49	11/12 14:00	6,83	10	20	3,08	pp = 15%
		2		3,41			10		2,76	

Legenda: \*\* = amostra retirada das 3 replicas combinadas

$$PP = \frac{Pi - Pf}{Pi} \times 100$$

$$ni \neq nf$$

$$PP = \frac{xi - xf}{xi} \times 100$$

Fonte: A autora, 2015

Tabela 11 - Tabela de Monitoramento do Teste de Ecotoxicidade – Amostra B04

Montagem do teste (lotes)					Resultado do teste					
Data/Hora inicial	Nome da amostra	No. da réplica	pH inicial do lote (para s.a. ajustado)	Peso das minhocas (10 ind/lote)	Data/Hora final	pH final**	No. de minhocas vivas	Total de minhocas vivas	Peso final das minhocas	Observações de comportamento/perda de peso (PP)
27/11 12:00	B04 50%	1	5,42	4,27	11/12 14:00	6,02	10	20	2,69	pp = 35%
		2		4,23			10		2,81	
27/11 12:00	B04 25%	1	-	4,31	11/12 14:00	-	10	20	2,91	pp = 33%
		2		4,28			10		2,62	
27/11 12:00	B04 12%	1	6,32	4,02	11/12 14:00	6,16	10	20	3,00	pp = 28%
		2		3,99			10		3,00	
27/11 12:00	B04 6%	1	-	3,79	11/12 14:00	-	9	19	3,23	pp = 18%
		2		3,74			10		3,26	
27/11 12:00	B04 3%	1	5,84	3,89	11/12 14:00	7,19	10	20	3,08	pp = 23%
		2		3,91			10		2,76	

Legenda: \*\* = amostra retirada das 3 replicas combinadas

$$PP = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

$$n_i \neq n_f$$

$$P_i / n_i = x_i$$

$$PP = \frac{x_i - x_f}{x_i} \times 100$$

Fonte: A autora, 2015

O teste agudo com oligoquetas, portanto, revelou a ausência de efeitos letais significativos para todas as amostras estudadas, apesar das elevadas concentrações totais de Pb presentes nas amostras coletadas sobre a bacia de rejeito. Esses baixos níveis de mortalidade podem estar associados à presença de argilominerais expansivos nesses solos (Santos, 2011 apud CESAR, 2014), capazes de diminuir a concentração de metais na solução do solo e, conseqüentemente, sua biodisponibilidade. Cesar (2010) propõe a existência de uma relação entre a redução dos níveis de toxicidade e o aumento da matéria orgânica, da fertilidade e/ou presença de argilominerais expansivos nos solos, comprovada a partir de ensaios de ecotoxicidade aguda em oligoquetas da espécie *Eisenia foetida*.

O efeito subletal de maior relevância no experimento foi a perda de peso mais acentuada ocorrida na amostra B04 misturada em proporção de 50% a 50% com o solo referência. Tal perda de peso foi de 35%, corroborando os resultados obtidos com as análises químicas provenientes da fluorescência de raios X (FRX), que indicaram valores mais altos de chumbo na amostra B04, localizada ao final da drenagem da bacia de rejeito, junto à rodovia BA-156.

## 5.6 Teste de Mobilidade do Metal - Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP)

Os resultados obtidos com o teste de mobilidade dos metais (Cd, Pb e Zn) são apresentados a seguir sob a forma de tabela. Os testes foram realizados em triplicata, além de uma amostra de validação (Branco). Os resultados indicaram que a quantidade de chumbo presente em todas as amostras é superior ao recomendado pela EPA para resíduos, excedendo significativamente o limite regulador de 5 mg Pb/L (EPA, 1990), podendo ser classificados como perigosos a saúde.

Foram selecionadas as amostras B01-A e B04 para comparar com os dados obtidos através dos ensaios de ecotoxicidade. Além dessas, mais duas foram selecionadas: a amostra B03 por ser a única a apresentar anglesita (com um teor de 17,6% em sua composição, representando o mineral predominante da amostra), a partir da difratometria de raios X; e a B01 -B, que apresentou a maior quantidade de cerussita, observada no mesmo procedimento.

A tabela 12 apresenta os valores de chumbo disponível em mg/L para a amostra B01-A, levando em conta realização dos testes em triplicata (BO1 – 1, BO1 – 2 e BO1 – 3). Os valores apresentados indicam maior disponibilidade do metal nas amostras de granulometria 1 mm, nesse caso, apresentando a elevada média de 202,7 mg Pb/L, enquanto que nas amostras B01-A F, essa média cai um pouco, ainda que permaneça muito elevada para os padrões da EPA (1990).

Tabela 12 - Resultados TCLP- Amostra B01-A

<b>Metal</b>	<b>BO1 - 1 (mg/L)</b>	<b>BO1 - 2 (mg/L)</b>	<b>BO1 - 3 (mg/L)</b>	<b>Média (mg/L)</b>	<b>BO1 - 1F (mg/L)</b>	<b>BO1 - 2F (mg/L)</b>	<b>BO1 - 3F (mg/L)</b>	<b>Média (mg/L)</b>
<b>Cd</b>	3,1	3,0	3,4	<b>3,2</b>	1,1	1,4	1,4	<b>1,3</b>
<b>Pb</b>	202,0	195,0	211,0	<b>202,7</b>	133,0	223,0	188,0	<b>181,3</b>
<b>Zn</b>	26,9	23,8	27,9	<b>26,2</b>	16,0	25,3	23,3	<b>21,5</b>

Fonte: A autora, 2015

A tabela 13 apresenta os resultados para a amostra B02. Estes seguem o padrão da anterior: teores de chumbo elevadíssimos, sobretudo se comparados aos demais elementos analisados (Cd e Zn), com apresentação de concentração maior

nas amostras de granulometria mais grossa de média 1 mm (135 mg/L), enquanto a B01-A-B-F, de granulometria mais fina, tendo sido pulverizada, apresenta média de 95,0 mg/L.

Tabela 13 - Resultados TCLP- Amostra B02

<b>Metal</b>	<b>BO2 – 1 (mg/L)</b>	<b>BO2 – 2 (mg/L)</b>	<b>BO2 – 3 (mg/L)</b>	<b>Média (mg/L)</b>	<b>BO2 – 1F (mg/L)</b>	<b>BO2 – 2F (mg/L)</b>	<b>BO2 – 3F (mg/L)</b>	<b>Média (mg/L)</b>
Cd	1-	8,9	11,0	<b>1-</b>	6,5	7,9	6,0	<b>6,8</b>
Pb	137,0	147,0	123,0	<b>135,7</b>	112,0	59,1	114,0	<b>95,0</b>
Zn	62,2	58,5	66,9	<b>62,5</b>	39,3	50,2	43,4	<b>44,3</b>

Fonte: A autora, 2015

Os resultados apresentados na tabela 14 já configuram um cenário diferente. A média de chumbo disponível é um pouco maior na B03 F, de granulometria mais fina (112,7, enquanto a B03 apresenta 105,1). Além disso, nesse caso, os valores encontrados para zinco foram maiores que o de chumbo, chegando a quase o triplo na B03 F.

Tabela 14 - Resultados TCLP- Amostra B03

<b>Metal</b>	<b>BO3 - 1 (mg/L)</b>	<b>BO3 - 2 (mg/L)</b>	<b>BO3 - 3 (mg/L)</b>	<b>Média (mg/L)</b>	<b>BO3 - 1F (mg/L)</b>	<b>BO3 - 2F (mg/L)</b>	<b>BO3 - 3F (mg/L)</b>	<b>Média (mg/L)</b>
Cd	12,4	9,2	11,8	<b>11,1</b>	11,6	10,6	12,5	<b>11,6</b>
Pb	92,4	106,0	117,0	<b>105,1</b>	116,0	109,0	113,0	<b>112,7</b>
Zn	277,0	214,0	277,0	<b>256,0</b>	317,0	276,0	323,0	<b>305,3</b>

Fonte: A autora, 2015

A tabela 15 apresenta resultados que ainda seguem o padrão encontrado na tabela anterior, referente às amostras B03 e B03 F. A média apresentada para os valores de Pb na amostra B04 F, mais fina, (102,8 mg/L) segue maior do que a da amostra B04 (66,1 mg/L). Ainda a exemplo dos resultados da amostra B03, os teores de Zn também se mostraram bastante elevados, maiores do que os de Pb.

Tabela 15 - Resultados TCLP- Amostra B04

<b>Metal</b>	<b>BO4 - 1 (mg/L)</b>	<b>BO4 - 2 (mg/L)</b>	<b>BO4 - 3 (mg/L)</b>	<b>Média (mg/L)</b>	<b>BO4 - 1F (mg/L)</b>	<b>BO4 - 2F (mg/L)</b>	<b>BO4 - 3F (mg/L)</b>	<b>Média (mg/L)</b>
Cd	2,0	2,1	2,4	<b>2,2</b>	1,7	1,5	1,5	<b>1,6</b>
Pb	67,4	56,7	74,1	<b>66,1</b>	131,0	84,2	93,1	<b>102,8</b>
Zn	115,0	103,0	131,0	<b>116,3</b>	174,0	143,0	135,0	<b>150,7</b>

Fonte: A autora, 2015

A tabela 16, apresentada a seguir, agrupa as médias de todas as amostras analisadas. A análise da mesma revela que a amostra B01-A, cujo ponto de coleta está localizado ao lado da bacia de rejeito (ver figura 11), foi a amostra cujo teor de chumbo se encontra mais disponível no solo, em ambas as granulometrias testadas.

A amostra B01-A-B também apresenta um valor mais elevado do que o padrão das demais, apontando uma média de 135,7 mg Pb/L. Por outro lado, a amostra B04 apresentou um valor baixo, se comparado às demais amostras, levando em conta que 66,1 mg Pb/L é menos que um terço, por exemplo, de 202,7, que foi o maior valor encontrado.

As outras amostras têm variações relativamente pequenas de 95,0 mg Pb/L (B01-A-B F) a 112 mg Pb/L (B03 F), uma diferença de 17,7.

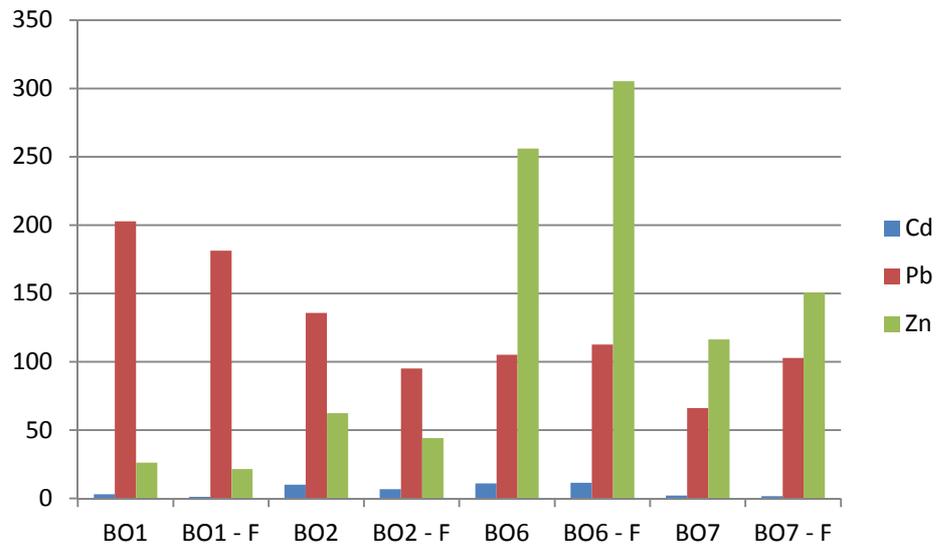
Tabela 16 - Resultados dos ensaios TCLP das amostras B01-A, B01-A-B, B03 e B04

<b>Metal</b>	<b>BO1</b>	<b>BO1 - F</b>	<b>BO6</b>	<b>BO6 - F</b>	<b>BO2</b>	<b>BO2 - F</b>	<b>BO7</b>	<b>BO7 - F</b>
	<b>(mg/L)</b>		<b>(mg/L)</b>		<b>(mg/L)</b>		<b>(mg/L)</b>	
<b>Cd</b>	3,2	1,3	11,1	11,6	10,0	6,8	2,2	1,6
<b>Pb</b>	202,7	181,3	105,1	112,7	135,7	95,0	66,1	102,8
<b>Zn</b>	26,2	21,5	256,0	305,3	62,5	44,3	116,3	150,7

Fonte: A autora, 2015

O gráfico representado na figura 29, que mostra os resultados do TCLP, ilustra mais claramente os resultados expostos nas tabelas apresentadas anteriormente. O mesmo indica altos teores de chumbo em todas as amostras analisadas, como era de se esperar. No entanto, é importante observar que nas amostras B06 e B07, nas duas frações, os teores de zinco (Zn) foram superiores ao de chumbo (Pb), sobretudo na amostra B-06-F, na qual passou de 300 mg/L.

Figura 29 - Gráfico dos resultados do TCLP



Fonte: A autora, 2015

## CONCLUSÕES

A partir da discussão dos resultados das análises realizadas de uma forma geral e voltando-se para a proposta do trabalho de avaliação da contaminação que se pretende desenvolver, foi possível desenvolver algumas conclusões.

Todas as amostras analisadas contém chumbo, dado já esperado, visto que as mesmas foram coletadas ou sobre ou nas proximidades da bacia de rejeito da mina de Boquira, que explorava principalmente, minerais de chumbo. As variações encontradas foram apenas na forma sob a qual o mesmo se apresenta, tendo este sido identificado sob 3 formas: sulfato de chumbo (anglesita-  $\text{PbSO}_4$ ), sulfeto de chumbo (galena-  $\text{PbS}$ ) e carbonato de chumbo (cerussita-  $\text{PbCO}_3$ ).

Visto isto, também é possível inferir considerações acerca das concentrações do elemento em cada amostra. A resolução do CONAMA nº420/2009 informa os valores de referência aceitáveis e recomendados para diferentes tipos de solo para diversos elementos químicos, inclusive o chumbo (Pb). A comparação com essa lista comprova que os valores encontrados são maiores do que os recomendados, uma vez que a presença de chumbo em solos em área residencial é aceitável até 300 ppm; e em área industrial, 900 ppm, valores ultrapassados em todas as amostras.

É importante ressaltar que os valores de referência aqui citados foram estabelecidos para solo, e o material coletado foi da bacia de rejeito. Não obstante, a bacia de rejeito encontra-se sobre o solo, sem tratamento e à mercê de quaisquer processos naturais que possam atuar sobre a mesma.

De uma forma geral, as amostras apresentaram alto teor de chumbo através dos resultados da fluorescência de Raios X. Os resultados obtidos através dos ensaios de ecotoxicidade e do Teste de Mobilidade do Metal (TCLP) revelaram que apesar de alto, o chumbo presente nas amostras coletadas está relativamente biodisponível, pois seu contato com os organismos vivos, as minhocas da espécie *Eisenia foetida*, não apresentou efeitos letais significativos. Por outro lado, tais organismos sofreram uma gradativa perda de peso, o que corresponde a um efeito subletal, demonstrando certo grau de biodisponibilidade do metal.

A amostra B01-A, que apresentava em sua composição um único mineral de chumbo, a Cerussita, em pequena quantidade (1,1%), teve desempenho no teste de

ecotoxicidade de forma a provocar efeitos subletais. Porém esses efeitos foram menores do que os encontrados na amostra B04, que possuía em sua composição uma maior quantidade de cerussita (2,2%) e ainda uma pequena quantidade de galena (0,4%), tendo apresentado resultados de subletalidade (perda de peso) mais expressivos no teste de ecotoxicidade. É importante ressaltar que a cerussita, entre os minerais de chumbo encontrados nas amostras, é a que tem a classificação de biodisponibilidade alta (BOSSO, 2008).

Nesse contexto, destaca-se a amostra B04 (tanto em sua fração fina quanto em sua fração grossa). A mesma apresentou resultados importantes na maioria dos procedimentos e análises realizados, como os citados anteriormente. Esta amostra foi coletada ao final de uma drenagem, por onde são lixiviados os materiais presentes na bacia de rejeito, tendo sido coletada superficialmente, sob a forma de sedimento.

Como foi observado, o chumbo está sendo lixiviado, devido às concentrações ao final da drenagem já serem maiores e mais perigosas à saúde do que as concentrações das amostras coletadas ao lado da bacia de rejeito. Levando em consideração que o contato com o chumbo em quantidades maiores do que as consideradas aceitáveis pode causar uma série de doenças na população da região, como já observado anteriormente, é necessário a contenção do espalhamento do material contaminado, para que o mesmo não atinja a população da cidade de Boquira, cuja área de ocupação começa a apenas 800 metros de onde se encontra a bacia de rejeito.

Além disso, apesar da contaminação por chumbo analisada neste trabalho ser somente do solo, a mesma não está restrita a esse meio, podendo sofrer espalhamento de diversas formas, seja sob a forma de poeira espalhada pelo vento, seja pela água superficial, através da lixiviação das partículas de chumbo e até mesmo pela contaminação da água subterrânea, tendo em vista a solubilidade do material. Todas essas formas de contaminação elevam as possibilidades do contato humano com o material já classificado como perigoso à saúde.

Sendo assim, a primeira medida para a contenção do espalhamento da contaminação do solo seria a construção de uma barragem nos entornos da bacia de rejeito. Além de conter a contaminação, estudos ambientais realizados na área revelaram a possibilidade de reaproveitamento do rejeito o que, em parte, pôde ser confirmado através das análises de fluorescência de Raios X, na difratometria de

raios X e na observação no microscópio de varredura eletrônica, os quais revelaram a significativa presença de mineral de chumbo nas amostras.

Como exemplo de estudos desse gênero, pode-se citar um estudo de viabilidade para a reativação da mina de chumbo de Boquira, realizado em 2007, pela empresa Bolland do Brasil, o qual afirmava tal viabilidade (FERNANDES et al., 2014). Uma perícia nas galerias realizada em 2008 pelo Programa de Fiscalização Preventiva Integrada, coordenado por órgãos ambientais e de fiscalização estaduais e federais e pelo Ministério Público do Estado da Bahia revelou a necessidade da realização de plano de recuperação de áreas degradadas, no qual a empresa responsável, no caso a mencionada Bolland do Brasil, deveria realizar o processamento dos rejeitos estocados na antiga mina e a exploração de 900 mil toneladas de minério que continha chumbo na bacia de rejeito através do processo químico de lixiviação (FERNANDES et al., 2014). Tais estudos comprovam a necessidade e a possibilidade de reprocessamento do rejeito, diminuindo a quantidade de chumbo na área de descarte, e destinando o resíduo a um local adequado, segundo os parâmetros ambientais recomendados.

Dessa forma, é necessário ressaltar a importância da continuidade de pesquisas na área, salientando a diferenciação da contaminação para que sua análise possibilite a especificação da mesma. Assim, será possível a realização de uma avaliação dos danos ambientais e do risco para a saúde humana, levando em conta as características peculiares da contaminação, para que sejam propostas as medidas de remediação pertinentes.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, F.E.A. *Caracterização Mineralógica de Amostras de Resíduo da Mineração de Chumbo em Boquira, (BA)*. 2014. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) – Faculdade de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.
- ALVES, F.E.A.; BERTOLINO, L.C.; LIMA, M.F.D.S. *Determinação da Contaminação por Chumbo em Boquira e Santo Amaro (BA)*. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA/UFRJ, 35., 2013, Rio de Janeiro.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil) (ANA). *HidroWeb: sistemas de informações hidrológicas*. Disponível em: <hidroweb.ana.gov.br>. Acesso em: jan. 2015.
- ANJOS, J. A. S. A; SÁNCHEZ, L. E. *Estratégias para remediação de sítios*. São Paulo: Saneamento Ambiental, 1999. v.175.
- ARAÚJO, O.; PINHEIRO, C. *Boquira Online*. 2004. Disponível em: <<http://boquiraonline.com.br/Mineracao/mineracao.htm>>. Acesso em: 20 fev. 2013.
- ARCANJO, J. B. A. et. al. *Projeto Vale do Paramirim: Estado da Bahia. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil PLGB. Convênio CBPM/CPRM*. Salvador: CPRM, 2000.
- BARRERO, F. M. C. *Análise de Áreas Degradadas pós Mineração em Municípios da Bacia do rio Paramirim*. Salvador: Instituto de Gestão das Águas e Clima - INGÁ, 2008.
- BERTOLINO, L.C. et al. *Caracterização Mineralógica Preliminar de Amostras do Rejeito da Antiga Mineração de Chumbo em Boquira, Bahia*. Porto, Portugal. 2014.
- BIZZI, L. A. et al. *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*. Brasília: CPRM, 2003.
- BOSSO, S. T.; ENZWEILER, J. *Ensaio para determinar a (Bio)disponibilidade de Chumbo em Solos Contaminados: revisão*. *Química nova*, São Paulo, v.31, n.2, 2008.
- BROWN, G. E. Jr; FOSTER, A. L.; OSTERGREN, E.; *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 1999.
- CARVALHO, F.M. et al. *Chumbo e Cádmio no Sangue e Estado Nutricional de Crianças, Bahia, Brasil*. *Rev. Saúde Pública*, São Paulo, v.21, n.1, 1987.
- CARVALHO, I.G. *Considerações sobre o quadro geotectônico do distrito de Boquira, estado da Bahia*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32., 1982, Salvador. *Anais...* Salvador: Bureau Gráfica Editora Ltda., 1982. v. 1. p. 234 – 245.

CARVALHO, I.G. et al. Lead- and Sulfur-Isotope Investigations of the Boquira Sediment-Hosted Sulfide Deposit, Brazil. *Intern. Geol. Review*, v. 39, p.97-106, 1997.

CESAR, R. G. et al. Distribuição de Mercúrio, Cobre, Chumbo, Zinco e Níquel em Sedimentos de Corrente da Bacia do Rio Piabanha, Estado do Rio de Janeiro. *Geochimica Brasiliensis*, v. 25, p. 35-45, 2011.

\_\_\_\_\_. Mercury, Copper and Zinc Contamination in Soils and Fluvial Sediments from an Abandoned Gold Mining Area in Southern Minas Gerais State, Brazil. *Environmental Earth Sciences*, v.64, p.211-222, 2011b.

CORREIA, D. M. B. *Avaliação dos Impactos Causados no Solo e Drenagem a Jusante da Bacia De Contenção dos Rejeitos da Mina de Boquira-BA*. 2007. Monografia (Curso de Especialização em Tecnologias Geoambientais Aplicadas à Exploração dos Recursos Físicos da Terra e ao Desenvolvimento Sustentável) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2007.

COSTA, C. N. et al. Fracionamento sequencial de cádmio e chumbo em solos. *Ciência Rural*, v.37, n.5. Santa Maria, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782007000500016>>. Acesso em: set. 2014.

CUNHA, F. C; FIGUEIREDO, B. R. *Estudos sobre a Dispersão de Chumbo em Água e Sedimentos de Corrente no Vale do Ribeira, SP-PR, Visando a Saúde Pública*. Porto Seguro: Sociedade Brasileira de Geoquímica, 1999. p.80-81.

CUNHA, J.C.C., SILVEIRA, W.P., SOARES, J.V. *Projeto Estudo dos Domínios Vulcanossedimentares das Regiões do Vale do Paramirim, Riacho de Santana e do Bloco do Gavião: Integração de Dados, Relatório Final*. Salvador: CBPM, [não publicado].

DIAS, L.S.O. et al. Utilização do radar interferométrico para delimitação automática de bacias hidrográficas. *Bahia Análise & Dados*, Salvador, v. 4, n.2, p.265-271, 2004.

DNPM. *DNPM e Secretaria de Meio Ambiente da Bahia se reúnem em Salvador*. 2006. Disponível em:&IDNoticiaNoticia=196>. Acesso em: 16 fev. 2013.

DUARTE, R.P.S.; PASQUAL, A. Avaliação do Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Níquel (Ni) e Zinco (Zn) em Solos, Plantas e Cabelos Humanos. *Energia na Agricultura*, v. 15, n. 1, 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. *Manual de métodos de análise de solos*. Brasília: Embrapa, 1997. 370p.

\_\_\_\_\_. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Rio de Janeiro: Embrapa, 1999. 412p.

ESPOURTEILLE, F.; FLEISCHER, R. Mina de chumbo de Boquira, Bahia. *Principais Depósitos Minerais do Brasil*. Brasília: DNPM, 1988.

EPA. *Method 1311 toxicity characteristic leaching procedure (TCLP)*. Washington, DC;1990.

FERNANDES, F. R. C.; BERTOLINO, L. C.; EGLER, S. *Projeto Santo Amaro – BA: Aglutinando Ideias, Construindo Soluções – Diagnósticos*. 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM/ MCTI, 2012.

\_\_\_\_\_.; ALAMINO, R. C. G., ARAUJO, E. *Recursos Minerais e Comunidade: Impactos Humanos, Socioambientais e Econômicos*. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2014. p. 127-134.

FERRAN, A. P. N. de. *A Mineração e a Flotação no Brasil - Uma perspectiva histórica*. Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), Ministério de Minas e Energia, 2007.

FLEISCHER, R. A rift model for the sedimentary diamond deposits of Brazil. *Mineralium Deposita*, v.33, p.238-254, 1998.

FLEISCHER, R., ESPOURTEILLE, F.S. The Boquirá lead-zinc mine in Central Bahia, Brazil. In: SILVA, M. G., MISI, A (eds.). *Base Metal Deposits of Brazil*. Belo Horizonte: MME/CPRM/DNPM, 1999, p. 44-53.

GALLARDO, A. Geostatística. *Ecosistemas, Mósteles*, v. 15, n. 3, p. 1-11, 2006.

GARCIA, M. V. B.; ROEMBKE, J.; MARTIUS, C. Proposal for an artificial soil substrate for toxicity tests in tropical regions. In: ANNUAL MEETING OF SOCIETY OF ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY AND CHEMISTRY (SETAC), 25., 2004, Portland. *Abstracts.....* Portland, 2004. Disponível em: <<http://abstracts.co.allenpress.com/pweb/setac2004/document/?id=41943>>. Acesso em: jun. 2014.

GODINHO, H.P., GODINHO, A.L., *Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais*. Belo Horizonte: PUC Minas, 2003.

IPCS – International Programme on Chemical Safety. *Environmental Health Criteria 165 for Inorganic Lead*, 1995.

JARDIM DE SÁ, E. F. et al. Novos dados geocronológicos sobre o Cráton do São Francisco no Estado da Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29., 1976, Ouro Preto. *Anais...* Ouro Preto: SBG, 1976. v. 5.

KEDE, M. L. F. M. et al. Estudo do Comportamento do Chumbo em Latossolos Brasileiros Tratados com Fosfatos: Contribuições para a Remediação de Sítios Contaminados. *Revista Quím. Nova*, São Paulo, v.31, n.3, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422008000300022>>. Acesso em: ago. 2014.

LINSLEY, R. K. Jr. & FRANZINI, S. B. *Engenharia de Recursos Hídricos*. Tradução e adaptação de Luiz Américo Pastorino. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1978.

LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A. *Visita técnica à mineração Boquira - relatório interno a DITRAM*. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral - CETEM/MCTI, jun. 1985.

MISI, A.; SILVA, M.G. Chapada Diamantina Oriental, Bahia. *Geologia e Recursos Minerais*. Salvador: Superintendência de Geologia e Recursos Minerais / Universidade Federal da Bahia, 1996. 194 p.

MISI, A. et al. Geological and Isotopic Constraints on the Metallogenic Evolution of the Proterozoic Sediment-hosted Pb-Zn(Ag) Deposits of Brazil. *Gondwana Research*, v. 2, n.1 p. 47-65, 1999.

MOREIRA FR, MOREIRA JC. Os efeitos do chumbo sobre o organismo humano e seu significado para a saúde. *Rev Panam Salud Publica*, v. 15(2), p.119–29, 2004.

NAVA, I. A. et al. Disponibilidade dos Metais Pesados Tóxicos Cádmiio, Chumbo e Cromo No Solo e Tecido Foliar da Soja Adubada com Diferentes Fontes de NPK+Zn. *Ciência e Agrotecnologia (UFLA)*, v. 35, p. 884-892, 2011.

PAOLIELLO, M. M. B. ; CHASIN, A. A. M. . *Ecotoxicologia do chumbo e seus compostos*. 1. ed. Salvador: Centro de recursos ambientais - CRA, 2001. v. 3. 144 p.

RAMOS, A. et al. Testes de Ecotoxicidade Utilizando Minhocas da Espécie *Eisenia Foetida* para Avaliação da Contaminação Mercurial em Solos. CT2007-121-00. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 11., 2007, Rio de Janeiro. *Participação....* Rio de Janeiro, 2007.

RIZZO, A. C. L. et al. Ensaio Ecotoxicológicos como um Instrumento de Complementação da Avaliação de Áreas Contaminadas: Resultados Preliminares em Áreas Contaminadas por Hidrocarbonetos. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE SAÚDE E AMBIENTE, 3., 2004, Rio de Janeiro. *Comunicação Técnica...* Rio de Janeiro, 2004, p. 150-154.

ROCHA, G.M.F. *Caracterização faciológica da formação ferrífera de Boquira, encaixante da mineralização de Pb/Zn*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 1985.

\_\_\_\_\_. Caracterização da fácies ferrífera de Boquira, encaixante da mineralização de chumbo-zinco. In: GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS DO ESTADO DA BAHIA: textos básicos. Salvador, 1990. vol. 8.

RODRIGUES, Luzia Cristina Valente. *Estudo da disponibilidade química de chumbo e arsênio em sedimentos de corrente e colunas de sedimentos no Vale do Ribeira, SP*. Orientador Ricardo Erthal Santelli. 2008. 1 CD-ROM. Tese (Doutorado em Geoquímica ambiental) – Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2008.

RODRIGUES-FILHO, S.; MADDOCK, J. E. L. Mercury pollution in two gold mining areas of the Brazilian Amazon. *Journal of Geochemical Exploration*, v.58, p.231-240, 1997.

RUBY, M. V. et al. *Environ. Science Technology*, 1999, 3697p.

SANTOS, J. F. *Relatório técnico* : perfil do minério de chumbo: produto 17: minério de chumbo. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia - MAE, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, 2009.

SANTOS, P.H.R. *Avaliação Preliminar dos Impactos Ambientais da Mineração de Pb-Zn de Boquira, Bahia*. Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2014.

SCHECKEL, Kirk G. et al. *Determining speciation of Pb in phosphate-amended soils: Method limitations*. Elsevier B.V. All rights reserved, 2005.

SCHOBENHAUS, Carlos e COELHO, C.E. Silva. *Principais Depósitos Minerais do Brasil: Metais Básicos, não ferrosos, ouro e Alumínio*. Brasília, 1988, vol 3.

SEI - Superintendência De Estudos Econômicos e Sociais da Bahia, 2011. Disponível em: <http://www.sei.ba.gov.br/>. Acesso em: Jan. 2015.

SOARES, J.V. et al. *Projeto Macaúbas: relatório final*. Salvador: CBPM, 1990. [não publicado].

SOBRINHO, T. A. et al. Delimitação Automática de Bacias Hidrográficas Utilizando Dados SRTM. *Eng. Agrícola*, Jaboticabal, v.30, n.1, p.46-57, jan./fev. 2010.

SPOSITO, G.; LUND, L.; CHANG A. Trace metal chemistry in arid-zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in solid phases. *Soil Science Society of America Journal*, 1982.

TAVARES, T. M. *Análise ambiental em relatório técnico integrado*. Salvador BA: EDUFBA, 1978.

TEIXEIRA, C.; SILVA FILHO, R. A.; VASCONCELLOS, H. G. *Mineração na Bahia: ciclos históricos e panorama atual*. Salvador: Superintendência de Geologia e Recursos Minerais, 1998.

YALLOUZ A.V., CESAR R.G., EGLER S.G. Potential application of a semiquantitative method for mercury determination in soils, sediments and gold mining residues. *Environmental Pollution*, v.121, p. 429-433, 2008.