

AMOSTRAGEM E ESTUDO DE SEDIMENTOS FLUVIAIS NA REGIÃO DO ROMPIMENTO DA BARRAGEM DA SAMARCO*

Nayla Evellyn Santos de Araujo¹
Diego Souza de Oliveira¹
Paulo Borges de Camargo¹
João Fonseca Junior¹
Hellen Vieira Winck¹
Marcio de Moraes Tavares²
Willy Ank de Moraes³

Resumo

Dentro de um contexto de longo prazo, este trabalho apresenta os primeiros resultados da caracterização das primeiras amostras coletadas. Ao longo da penúltima semana do mês de julho, foram extraídas 9 (nove) amostras de cursos d'água nos municípios de Mariana (MG) e Barra Longa (MG) em locais atingidos ou não pelo material liberado pelo rompimento da barragem de rejeitos de Fundão, pertencente à mineradora Samarco S/A em 5 de Dezembro de 2015. Estas amostras foram recolhidas em locais demarcados por coordenadas GPS e deverão ser recolhidas semestralmente para analisar a evolução dos resultados. Neste trabalho estão sendo apresentados os resultados da análise granulométrica, através da classificação por sequência de peneiras, com e sem separação magnética, visando caracterizar a distribuição de partículas destas amostras. Os resultados apontam uma variação perceptível entre as amostras.

Palavras-chave: Meio ambiente; Tragédia de Mariana; Análise granulométrica.

SAMPLING AND STUDY OF FLUVIAL SEDIMENTS IN THE SAMARCO DAM FAILURE REGION

Abstract

Inside a long term project, this work presents the first results of the characterization of the first samples collected. During the penultimate week of July, 9 (nine) samples of water courses were collected in the municipalities of Mariana (MG) and Barra Longa (MG), in areas affected or not by the material released by the rupture of the Fundão dam, belonging to the mining company Samarco S / A on December 5, 2015. These samples were collected at locations marked by GPS coordinates and should be collected every six months to analyze the evolution of the results. In this work, the results of the granulometric analysis are presented, through the classification by sieve sequence, with and without magnetic separation, aiming to characterize the particle distribution of these samples. The results indicate a perceptible variation between the samples.

Keywords: Environment; Tragedy of Mariana; Granulometry analysis.

¹ Graduando em Engenharia Civil pela Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP-Guarujá). Estagiários na WILLY ANK – Soluções para o Setor Metal-Mecânico, Guarujá, SP, Brasil. E-mail: alunosunaerpwillyanksolucoes@gmail.com.

² Engenheiro Químico, Mestre em Engenharia Mecânica, Doutorando em Engenharia Química, Coord. do Curso de Eng. Civil e de pós-graduação em Eng. de Segurança do Trabalho da UNAERP-Guarujá, Guarujá, SP, Brasil. E-mail: mtavares@unaerp.br.

³ Doutorando, Mestre, Engenheiro e Técnico em Metalurgia e Materiais, Consultor Técnico na INSPEBRAS, Sócio-Diretor da Willy Ank Soluções Metal-Mecânica, Professor da UNAERP-Guarujá, Guarujá, SP, Brasil. E-mail: wmorais@unaerp.br.

1 INTRODUÇÃO

No dia 5 de Novembro de 2015 o país presenciava o início do que muitos especialistas têm considerado como o maior acidente ambiental já ocorrido [1]: o rompimento da barragem de Fundão, de propriedade da mineradora SAMARCO S/A e localizada na região norte do Município de Mariana em Minas Gerais. Um total de 32,6 milhões de m³ de rejeitos desceu da barragem de Fundão, conforme informações da SAMARCO [2] e cuja posição da crista original está sendo considerada neste trabalho como sendo o “marco zero” do acidente.

Antes de sair da área da mineradora, o material ainda passou por cima de outra barragem de contenção, chamada de Santarém, que reteve parte dos rejeitos. Em seguida, a parcela restante desse material atingiu Bento Rodrigues – distrito do município de Mariana (MG) situado a 8 quilômetros de distância da estrutura de Fundão e continuou se deslocando e diluindo ao longo do rio Doce. A sequência destes eventos pode ser melhor entendida pela Figura 1, que mostra os locais citados.



Figura 1.Localização do Complexo da Samarco S/A, das barragens de contenção de rejeitos e do subdistrito Bento Rodrigues antes do rompimento da barragem do Fundão [3].

Ao longo do trajeto, a 115,5 km abaixo do marco zero, encontra-se a usina hidrelétrica Risoleta Neves, conhecida como “Candonga”, localizada na zona rural do município de Santa Cruz do Escalvado (MG). Esta usina conseguiu reter cerca de 2/3 dos resíduos, de forma que um total de 10,5 milhões de m³ de rejeitos foram carreados além dos limites do reservatório de Candonga, conforme informações da própria mineradora [2]. A Figura 2 ilustra o aspecto da barragem da usina, após o acidente, que precisou ser esvaziado às pressas [4], operação que se tornou necessária devido ao risco de rompimento devido à sobrecarga gerada pelos resíduos que foram depositados no interior de seu reservatório.



Figura 2. Reservatório da usina hidrelétrica Risoleta Neves, em Santa Cruz do Escalvado (MG) [4].

O material que saiu pela barragem de Fundão impactou cerca de 680 km de corpos hídricos e 39 municípios ao longo desta bacia hídrica nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo até chegar ao oceano Atlântico. O mapa apresentado na Figura 3 ilustra a região que foi atingida pelo derramamento dos rejeitos.

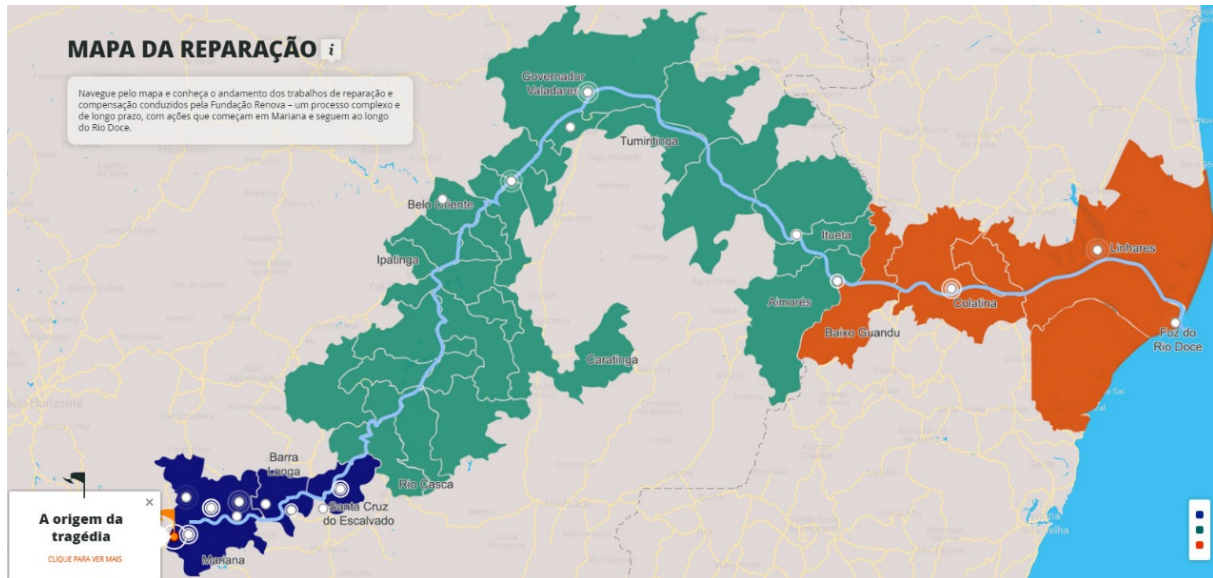


Figura 3. O caminho feito pelos rejeitos pelos cursos d'água entre a zona rural de Mariana (MG), próximo ao subdistrito de Bento Rodrigues, até a foz do Rio Doce na Vila de Regência, pertencente ao município de Linhares (ES) [5].

Uma das formas de mitigar os impactos causados por um acidente de tal magnitude como o rompimento da barragem de Fundão é oferecendo à população atingida segurança ambiental e novas formas de desenvolvimento econômico-social. A análise de amostras coletadas depositado ao longo da bacia dos cursos d'água atingidos irá permitir ter uma visão e um esclarecimento melhor a respeito do material liberado pela barragem de Fundão e parcialmente misturado com os sedimentos já existentes. Com as informações levantadas será possível executar projetos e ações focados no uso deste material em aplicações para a construção civil voltados para a população local, visando melhorar suas condições de vida. Assim sendo, o objetivo do presente trabalho é analisar a granulometria das amostras do material sedimentado nos leitos dos rios e córregos d'água da região de Mariana e Barra Longa (MG). Os dados obtidos estão sendo empregados em análises para o desenvolvimento de aplicações deste material na área da engenharia Civil [6].

2 REVISÃO GERAL

O processo de mineração empregado pela SAMARCO S/A consta da extração de óxido de ferro, basicamente na composição de Fe_2O_3 , de massas minerais itabiríticas. O itabirito é uma rocha, formada por camadas alternadas de sílica na forma de quartzo (SiO_2) e hematita (Fe_2O_3), mas que também podem conter outras formas de óxidos de ferro, conforme apontado por Resende [7], como por exemplo a magnetita (Fe_3O_4) e contaminantes em geral (gangas). A Figura 4 ilustra o aspecto do Itabirito e de sua ocorrência local, na região de Mariana (MG).



Figura 4.Esquerda: minério Itabirito com uma coloração escura (esquerda).
Direita: estrutura bandada ou estratificada do itabirito [8].

A SAMARCO S/A é uma empresa focada na obtenção de finos de minério de ferro para a exportação na forma 'in-natura' ou após processamento destes finos na forma de pelotas de minério de ferro. Neste último caso, a empresa era considerada, até o rompimento da barragem de Fundão, a segunda maior exportadora de pelotas de minério de ferro no mundo, com produção para mercados da Europa, Ásia, China, África e Américas.

O fluxograma apresentado na Figura 5 ilustra o processo integrado da empresa, que se inicia nas minas e instalações de beneficiamento localizadas em Mariana (MG) e termina nas instalações industriais e portuárias na ponta de Ubu, localizada no município de Anchieta (ES). O concentrado de minério de ferro, rico em óxidos de ferro, é enviado entre estas duas instalações através de três minerodutos constituídos de tubos de aço com cerca de 400 quilômetros de extensão.

O processo de beneficiamento e concentração do minério de ferro realizado nas instalações de Mariana (MG) pode ser melhor visualizado pelo fluxograma apresentado na Figura 5. Para que o material possa ser concentrado pelo processo de flotação, o mesmo deve apresentar uma baixa granulometria. Além disso, no processo de flotação são empregadas duas substâncias químicas:

1. o amido de milho - farinha feita do milho usada na culinária ou para o preparo de cremes, como espessante, inclusive na mineração, como é o presente caso;
2. a amina (NH_3) - compostos químicos orgânicos nitrogenados derivados do amoníaco empregados na produção de certos tipos de sabões, na vulcanização da borracha e na produção substâncias amaciantes usadas em condicionadores para cabelos.

Na barragem de Fundão encontravam-se os resíduos do processo de concentração que são constituídos, basicamente, de sílica (SiO_2), hematita (Fe_2O_3), magnetita (Fe_3O_4), que são óxidos de ferro não hidratados, goethita ($\text{FeO}(\text{OH})$), limonita ($\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$), além de resíduos de amido de milho e da aminas (NH_3). Podem estar presentes outros metais, em menores quantidades, tais como o magnésio, potássio, manganês, cromo e até mesmo o arsênio; também presentes na região do quadrilátero ferrífero em Mariana (MG) [9].

Importante destacar que estes resíduos que sobram do processo de beneficiamento dos minérios itabiríticos são muito finos, da ordem de 200 mesh (ou $74 \mu\text{m}$), já que:

- o processo de flotação só consegue atuar em partículas finas;

- a liberação (separação física das diferentes fases minerais presentes) só ocorreria com tamanhos de partículas realmente muito pequenos.

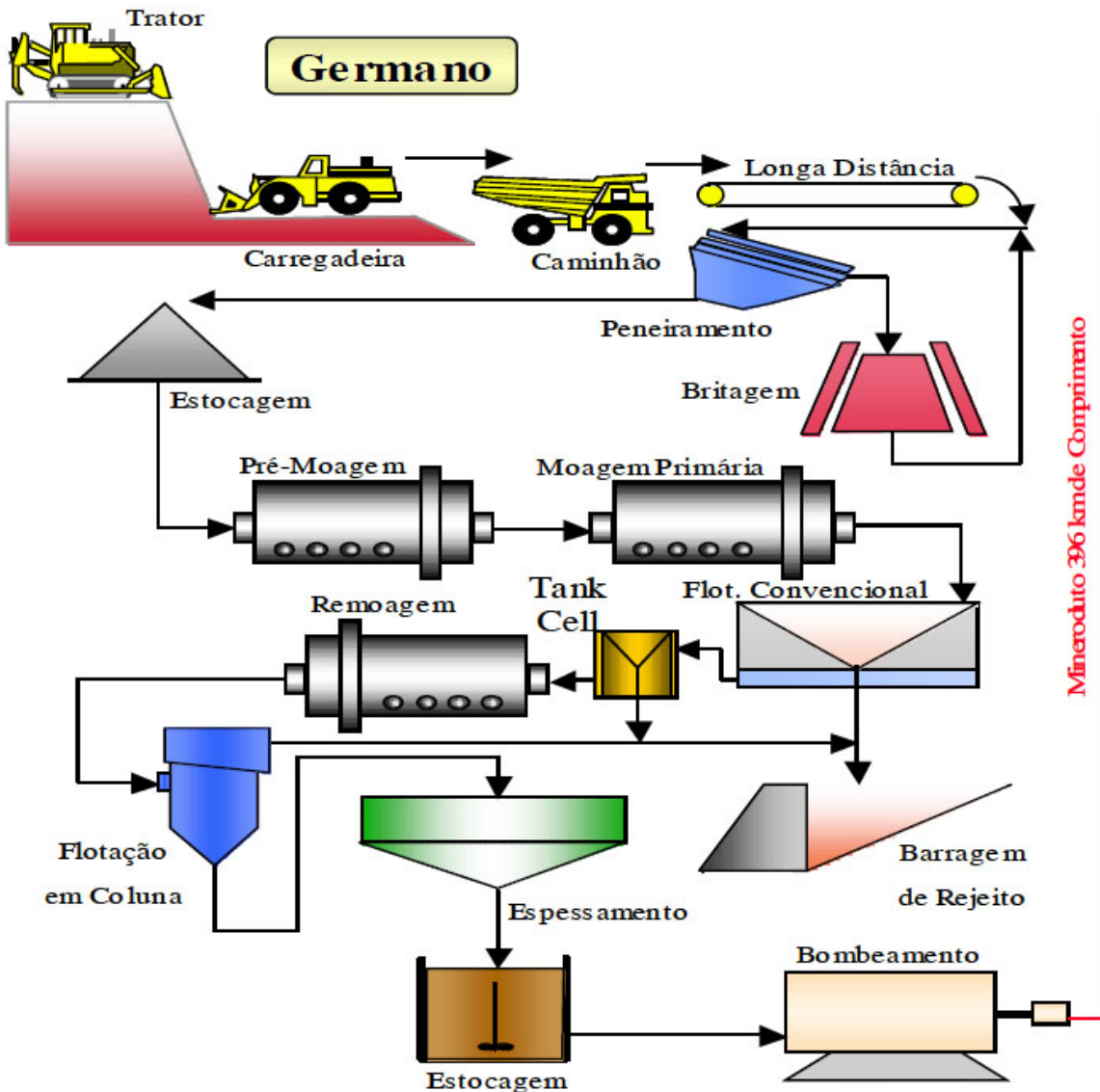


Figura 5. Fluxograma geral do processo produtivo da SAMARCO [7].

Entretanto, o material liberado pelo rompimento da barragem de Fundão, foi produzindo arraste mecânico de materiais e sedimentos por onde passou, alterando não apenas a sua granulometria, mas também as suas características físico-químicas, conforme ilustra a Figura 6. Em função do posicionamento da região onde forem avaliados os sedimentos nos cursos d'água, poderá haver uma diferenciação em relação às condições originais do rejeito contido originalmente na barragem de Fundão. Esta diferenciação deve ser conhecida não apenas para determinar as melhores aplicações e o desempenho destas, como também para levar segurança no uso do material avaliado para as aplicações a serem pesquisadas e viabilizadas a partir deste estudo.

Foram coletadas 9 amostras em cursos d'água nos municípios de Mariana (MG) e Barra Longa (MG), algumas em regiões que foram atingidas pelo derramamento do material da barragem de rejeitos e em outras não atingidas. Além de amostrar locais

mais próximos e mais afastados em uma extensão de cerca de 100 km ao longo do leito dos cursos d'água.

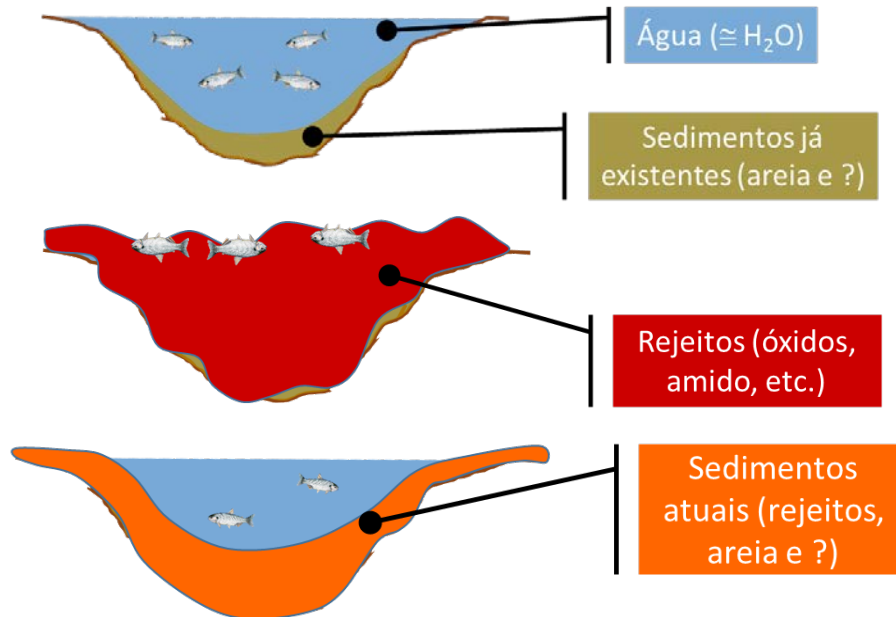


Figura 6. Ilustração esquemática das condições dos cursos d'água da região afetados pelo rompimento da barragem da SAMARCO. De cima para baixo: antes, durante e após o rompimento.

3MATERIAIS E MÉTODOS

A coleta das primeiras 9 amostras ocorreu entre os dias 14 e 19 de Julho deste ano. Os locais escolhidos são de acesso relativamente fácil e localizadas em um perímetro de até 75 km do marco zero. A distância do ponto de retirada da amostra foi definida através do auxílio dos dados de GPS, levantados ao longo da amostragem, e pelo software *Google Earth Pro*. Neste caso, considerou-se apenas os caminhos traçados dentro dos cursos d'água. A Figura 7 ilustra o ponto de retirada de cada uma das amostras.



Figura 7. Posições de retiradas das amostras e relação aos cursos d'água da região afetada.

A Tabela 1 ilustra os dados gerais associados com as amostras recolhidas conforme os locais apresentados na Figura 7, via coordenadas GPS (latitude e longitude). Além disso, a Tabela 1 indica a localidade mais próxima à sua coleta, se a região havia sido afetada ou não pelo rompimento da barragem de Fundão, altitude, inclinação média para chegar no local e distância em relação ao marco zero.

Tabela 1. Dados de identificação e localização das 9 amostras obtidas e que foram avaliadas em termos de granulometria neste trabalho

Amostra	Latitude	Longitude	Localidade	Condição	Altitude (m)	Inclinação Média	Distância do ponto anterior (km)	Distância total do marco 0 (km)
marco0	-20,23070	-43,44238	Samarco	Afetado	759	0,00%	0,00	0,00
Ref. 1	-20,25925	-43,12548	Bento Rodrigues	Afetado	706	3,50%	5,71	5,71
1	-20,25702	-43,41586	Camargos 2	Afetado	719	6,00%	1,22	6,93
2	-20,28484	-43,39745	Camargos 1	Não afetado	749	5,60%	5,11	10,82
marco0	-20,23070	-43,44238	Samarco	Afetado	759	0,00%	0,00	0,00
3	-20,30176	-43,25040	Paracatu	Afetado	563	5,60%	36,90	36,90
Ref. 2	-20,27203	-43,19917	Pedras	Afetado	513	4,60%	12,80	49,70
4	-20,25267	-43,22589	Águas Claras	Não afetado	546	3,80%	6,54	56,24
Ref. 3	-20,25955	-43,12521	Gesteira 1	Afetado	419	5,30%	12,40	62,10
5	-20,25834	-43,12335	Gesteira 2	Afetado	419	0,00%	0,28	62,38
6	-20,23980	-43,15875	Cláudio Manuel	Não afetado	465	4,70%	6,66	68,76
7	-20,27862	-43,08822	Fazenda Curvinas	Afetado	403	4,10%	7,15	69,53
8	-20,28741	-43,06008	Confluência Leito	Afetado	382	3,70%	5,65	75,18
9	-20,28708	-43,06024	Confluência Margem	Afetado	381	0,00%	0,04	75,22

Para a avaliação granulométrica destas amostras, empregou-se, como materiais laboratoriais, os seguintes equipamentos:

1. Balança Digital, semi analítica com precisão de 0,01g;
2. Estufa para secagem das amostras;
3. Imã permanente de neodímio;
4. Agitador mecânico de peneiras.

As amostras foram levadas para o Centro Tecnológico da Universidade de Ribeirão Preto – UNAERP-Campus Guarujá. Neste ambiente laboratorial, cada amostra ficou aproximadamente 1 hora e meia na estufa, com temperatura constante de 105°C. Ao longo deste período, as amostras foram retiradas e pesadas para constatar a perda de toda a umidade.

O peneiramento foi executado empregando-se uma série de 7 (sete) peneiras, com malhas de 8, 16, 30, 40, 50, 100 e 200 mesh. Estas peneiras têm a capacidade de reter partículas com os tamanhos aproximados apresentados pela Tabela 2. O material retido entre as peneiras foi pesado e determinou-se o percentual de retido na faixa granulométrica definida por estas peneiras. O mesmo foi feito para o retido no fundo do conjunto, que foi considerado como o fino abaixo da malha de 200 mesh.

Tabela 2. Dimensões aproximadas das partículas classificadas pela série de peneiras empregada na análise granulométrica efetuada neste trabalho

Malha	Tamanho (mm)	Malha	Tamanho (mm)
-------	--------------	-------	--------------

#8	2,362	#50	0,300
#16	1,180	#100	0,150
#30	0,600	#200	0,075
#40	0,425	> #200	< 0,075

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 apresenta as massas retidas em cada uma das peneiras na análise granulométrica das 9 amostras empregadas, já a Tabela 4 apresenta os valores percentuais dos retidos para cada amostra, com base nos valores absolutos apresentados na Tabela 3. Em ambas as tabelas estão indicadas as três amostras que foram retiradas de cursos d'água não afetados pelo derramamento dos sedimentos (rejeitos de minério de ferro) oriundos do rompimento da barragem de Fundão.

Tabela 3. Resultados das massas retidas na análise granulométrica realizada com as 9 amostras empregadas neste estudo

Peneiras / Malha	Massa (g) retida para as Amostras								
	A1	A2(*)	A3	A4(*)	A5	A6(*)	A7	A8	A9
#8	0,00	264,78	0,06	292,40	0,00	165,38	2,93	0,05	0,47
#16	0,00	60,53	0,20	76,36	0,71	56,91	8,05	0,26	0,25
#30	0,59	66,90	0,34	69,56	0,52	58,11	9,87	0,35	0,41
#40	1,60	37,14	0,26	22,15	0,20	31,03	4,31	0,39	0,41
#50	13,75	24,04	0,38	15,42	37,12	23,39	6,94	0,54	1,00
#100	110,34	20,66	26,92	18,39	164,51	21,68	129,25	99,00	120,41
#200	99,20	7,01	189,44	8,75	78,94	3,88	122,83	172,47	99,97
> #200	41,46	2,14	65,52	4,22	43,43	1,38	24,79	39,71	39,77
Total	266,94	483,20	283,12	507,25	325,43	361,76	308,97	312,77	262,69

(*) Amostras retiradas em regiões não afetadas pelo rompimento da barragem de Fundão.

Tabela 4. Resultados do percentual de massa retida na análise granulométrica realizada com as 9 amostras empregadas neste estudo

Peneiras / Malha	% Massa retida para as Amostras								
	A1	A2(*)	A3	A4(*)	A5	A6(*)	A7	A8	A9
#8	0,0%	54,8%	0,0%	57,6%	0,0%	45,7%	0,9%	0,0%	0,2%
#16	0,0%	12,5%	0,1%	15,1%	0,2%	15,7%	2,6%	0,1%	0,1%
#30	0,2%	13,8%	0,1%	13,7%	0,2%	16,1%	3,2%	0,1%	0,2%
#40	0,6%	7,7%	0,1%	4,4%	0,1%	8,6%	1,4%	0,1%	0,2%
#50	5,2%	5,0%	0,1%	3,0%	11,4%	6,5%	2,2%	0,2%	0,4%
#100	41,3%	4,3%	9,5%	3,6%	50,6%	6,0%	41,8%	31,7%	45,8%
#200	37,2%	1,5%	66,9%	1,7%	24,3%	1,1%	39,8%	55,1%	38,1%
> #200	15,5%	0,4%	23,1%	0,8%	13,3%	0,4%	8,0%	12,7%	15,1%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

(*) Amostras retiradas em regiões não afetadas pelo rompimento da barragem de Fundão.

O gráfico mostrado na Figura 8 ilustra os resultados apresentados numericamente pela Tabela 4. Através destes gráficos, traçados com base nos valores percentuais dos materiais retidos entre cada uma das peneiras. Neste gráfico, foram consideradas os valores dos tamanhos de partículas retidos em cada peneira, conforme apresentados pela Tabela 2.

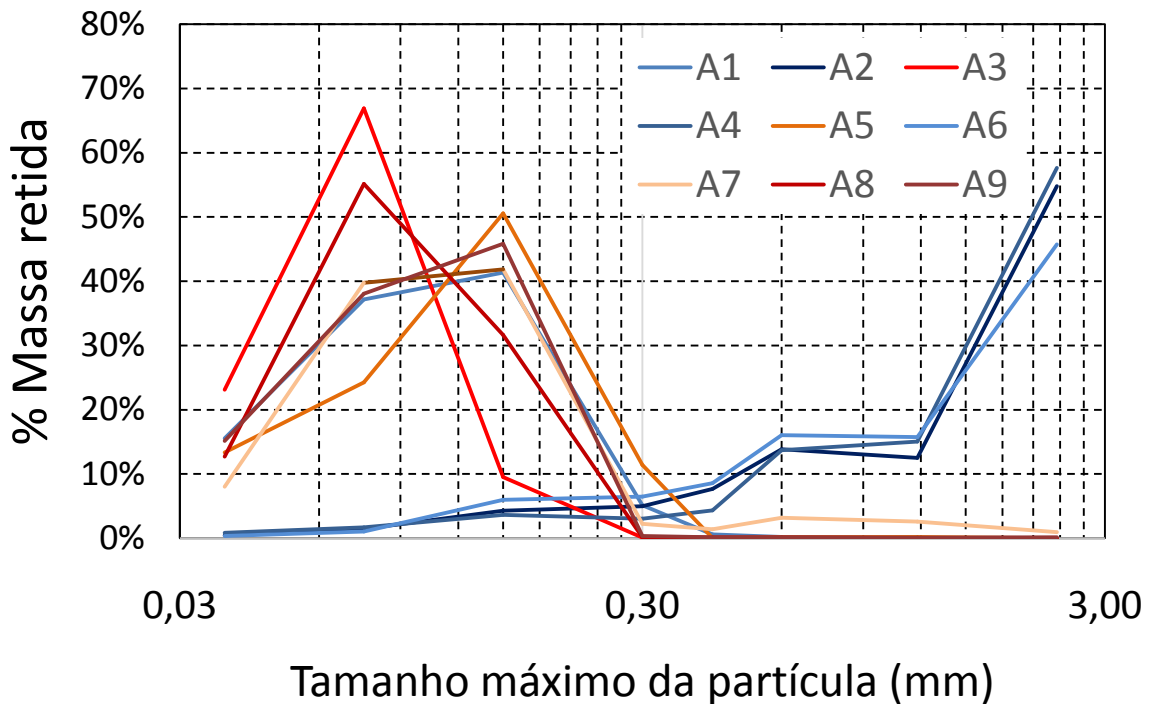


Figura 8. Resultados gráficos do percentual de massa retida na análise granulométrica realizada com as 9 amostras empregadas neste estudo. (*) Amostras retiradas em regiões não afetadas pelo rompimento da barragem de Fundão.

No gráfico da Figura 8 é possível perceber com mais clareza a diferença entre as amostras afetadas e não afetadas pelo rompimento da barragem de Fundão. As curvas mostradas ressaltam claramente as diferenças entre as amostras das regiões afetadas e não afetadas. Estas últimas mostram um perfil de granulometria bem diferente: além de possuírem partículas maiores, o máximo da distribuição de tamanho não apresenta o pico característico das demais amostras. Por outro lado, as amostras retiradas das regiões atingidas pelo material do rompimento da barragem de Fundão apresentam granulometria menor e com picos bem localizados. Dentre as amostras retiradas de regiões atingidas pelo rompimento da barragem de Fundão, as amostras #3 (“Paracatu”) e #8 (“Confluência Leito”) apresentaram menores tamanhos granulométricos diferenciados das amostras #1 (“Camargos 2”), #5 (“Gesteira 2”), #7 (“Fazenda Curvinas”) e #9 (“Confluência Margem”). A Tabela 5 apresenta os tamanhos médios das partículas presentes nas amostras, obtidos a partir de uma média ponderada baseada nos percentuais de massa retidos em cada peneira. A partir desta tabela, podem-se perceber as diferenças entre os resultados destas amostras. A razão específica para esta diferença será objeto de estudo nos trabalhos ainda em desenvolvimento.

Tabela 5. Resultados do tamanho médio das 9 amostras empregadas neste estudo

Tamanho médio das partículas nas amostras (mm)

A1	A2(*)	A3	A4(*)	A5	A6(*)	A7	A8	A9
0,115	1,580	0,076	1,656	0,137	1,428	0,181	0,097	0,111

(*) Amostras retiradas em regiões não afetadas pelo rompimento da barragem de Fundão.

O gráfico da Figura 9 apresenta uma correlação entre o tamanho médio das partículas com a posição destas em relação ao marco zero. Há uma pequena tendência de incremento no tamanho médio das partículas com o afastamento da região do rompimento da barragem de Fundão. Esta informação terá que ser constatada em futuras análises.

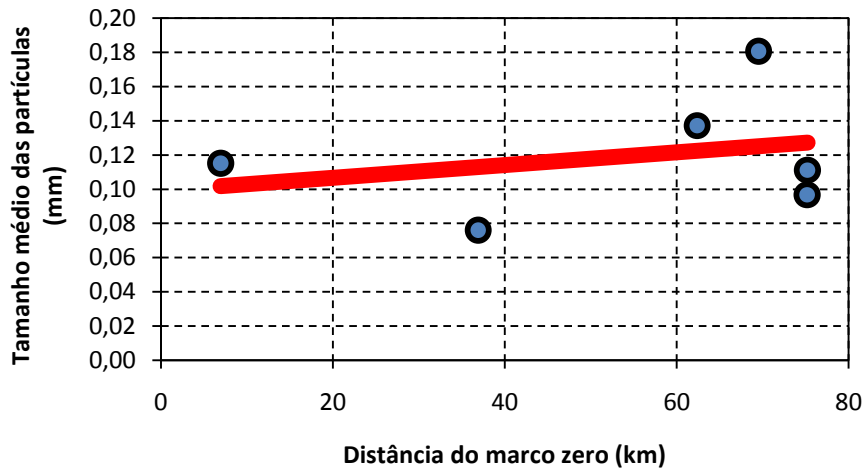


Figura 9. Gráfico comparando o tamanho médio das 9 amostras empregadas neste estudo e a distância de coleta delas em relação ao marco zero. Não foram consideradas as amostras das regiões não afetadas.

3 CONCLUSÃO

O rompimento da barragem de Fundão tornou-se um dos acidentes ambientais mais importantes do mundo e considerado o mais sério ocorrido no Brasil. Suas consequências ainda não são totalmente compreendidas, assim como os efeitos deste evento não apenas não foram completamente analisados como também ainda se encontram em evolução. Aspectos físicos, químicos e ambientais do evento ainda estão sendo investigados por diversas áreas e a mitigação das suas consequências deverá ser um trabalho de longo prazo.

Neste trabalho estão sendo apresentados os primeiros resultados da análise deste material em termos granulométricos. Nota-se que o rompimento da barragem de Fundão mudou relevantemente o perfil dos sedimentos e areias presente no leito dos cursos d'água da região dos municípios de Mariana (MG) e Barra Longa (MG), especialmente em comparação com amostras recolhidas em regiões próximas, porém em áreas que não foram atingidas pelo material oriundo do acidente. Percebeu-se uma tendência granulométrica diferenciada entre algumas amostras, que deverá ser avaliada mais detalhadamente em estudos futuros, assim como acompanhada a evolução granulométrica deste material coletado a longo prazo.

Agradecimentos

Os autores agradecem especialmente ao Sr. Elias Faria de Moraes, morador da cidade de Mariana (MG), pelo primordial apoio logístico e no traslado para a retirada da maioria das amostras que estão sendo empregadas neste projeto. Os alunos expressam seu agradecimento à WILLY ANK – Soluções para o Setor Metal-Mecânico pela oportunidade de desenvolver pesquisas, com a apresentada neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 LOPES, L. M. N. O rompimento da barragem de Mariana e seus impactos socioambientais. **Sinapse Múltipla**, 5 (1), jun 1-14, 2016.
- 2 SAMARCO: **Entenda o rompimento**. Belo Horizonte: Samarco. Disponível em: < <http://www.samarco.com/rompimento-de-fundao/> >. Acesso em: 9 out. 2017.
- 3 PASSOS, F. L.; COELHO, P. DIAS, A. **(Des)territórios da mineração: planejamento territorial a partir do rompimento em Mariana**, MG. Cadernos MetrÓpole, São Paulo, v. 19, n. 38, pp. 269-297, jan/abr 2017.
- 4 RIBEIRO, B. **Risco de rompimento de barragem esvazia reservatório**. Estadão, 30 Novembro 2015. Disponível em: < <http://brasil.estadao.com.br/noticias/geral,em-minas-gerais--reservatorio-de-usina-e-esvaziado,10000003324> >. Acesso em: 9 out. 2017.
- 5 FUNDAÇÃO RENOVA. **Mapa da Reparação**. Disponível em: < <http://www.fundacaorenova.org> >. Acesso em: 9 out. 2017.
- 6 MORAIS, W. A. **Estudo de Longo Prazo das Areias de Rios Envolvidos no Acidente de Mariana-MG para Aplicações Inovadoras na Eng. Civil**. In: XIV Simpósio Internacional de Ciências Integradas, 2017, Guarujá (SP). Anais do XVI SICI. Ribeirão Preto (SP): UNAERP, 2017.
- 7 RESENDE, A. J. C. Influência da perda por calcinação na sedimentação de concentrados de minério de ferro da Samarco Mineração S.A. **Dissertação de Mestrado** - UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas. Março, 2009.
- 8 SILVA, L. A. R. **Tratamento de Minérios III** - Aula prática sobre análises químicas de minérios. Curso técnico integrado em mineração. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. 2014.
- 9 BORBA, R. P.; FIGUEIREDO, B. R.; CAVALCANTI, J. A. Arsênio na água subterrânea em Ouro Preto e Mariana, Quadrilátero Ferrífero (MG). REM: **R. Esc. Minas**, Ouro Preto, 57(1): 45-51, jan. mar. 2004.