

**O maior desastre ambiental brasileiro: de Mariana (MG) a Regência (ES).
The biggest Brazilian environmental disaster: from Mariana (MG) Regency (ES).
El mayor desastre ambiental brasileño: De Mariana (MG) a laregencia (ES).**

Danielle Letícia da Silva, Matteus Carvalho Ferreira, Maria Rita Scotti¹

RESUMO

Em 5 de novembro de 2015 ocorreu o rompimento da barragem de rejeitos minerários de Fundão (Mariana/MG), bem como de parte da barragem de Santarém, ambas pertencentes à empresa de mineração Samarco. Este rompimento, cuja vazão foi de mais de 55 milhões de metros cúbicos de rejeito de mineração, caracterizou o maior desastre ambiental do Brasil. O ferro é o metal mais utilizado do mundo, sendo extraído da natureza sob a forma de minério. Durante seu processamento, é utilizado o sistema de flotação catiônica reversa, que ocorre em pH alcalino (entre 10 e 10,5). Neste sistema, a precipitação do minério de ferro é promovida pela adição de amido, enquanto a flotação do material restante na ganga (rejeito) é promovida pela adição de aminas. Estas últimas são altamente corrosivas e potencialmente tóxicas aos sistemas biológicos. O rompimento da barragem de rejeitos gerou impactos na qualidade e disponibilidade da água, vegetação ripária, fertilidade e microbiota do solo. Estes impactos foram ocasionados tanto pelo acúmulo de sedimentos, quanto pela sua toxicidade (em especial devido à presença de aminas, que elevaram o pH da água e do solo). Os impactos sobre a mata ciliar são passíveis de recuperação, desde que sejam utilizadas técnicas adequadas de contenção física e estabelecimento de vegetação que seja simultaneamente tolerante à toxicidade das aminas e capaz de promover a agregação do solo.

Palavras-chave: Barragem de rejeitos de mineração, impacto ambiental, aminas, recuperação de áreas degradadas.

¹ Bióloga, doutora, professora e pesquisadora da Universidade Federal de Minas Gerais. Av. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha - Belo Horizonte – MG.

ABSTRACT

On November 5, 2015 occurred the collapse of the mining tailings dam of Fundão (Mariana/MG), as well as part of the Santarém dam, both belonging to the mining company Samarco. This disruption, which flow rate was more than 55 million cubic meters of mining tailings, led to the largest environmental disaster in Brazil. Iron is the most used metal in the world, being extracted from nature in the form of iron ore. During the iron ore processing, it is used the reverse cationic flotation system, which occurs at alkaline pH (between 10 and 10.5). In this system, the precipitation of iron ore is promoted by the addition of starch, while the flotation of the gangue remaining material (tailing) is promoted by the addition of amines. The latter are highly corrosive and potentially toxic to biological systems. The disruption of these tailings dams has generated impacts on the quality and availability of water, on the riparian vegetation, as well as on the soil fertility and microbiota. These impacts were caused both by the accumulation of sediments, as by its toxicity (especially due to the presence of amines, which raised the soil and water pH). The impacts on the riparian vegetation can be recovered if they are used appropriate techniques of physical restraint and the correct vegetation, which must be both tolerant to the amines toxicity, as able to promote soil aggregation.

Keywords: Dam mine waste, environmental impact, amines, recovery of degraded areas.

Descrição do desastre ambiental

No dia 5 de novembro de 2015 começou a ocorrer o maior desastre ambiental da história do Brasil e o maior do mundo relacionado a barragens de rejeito: o rompimento da barragem de rejeitos minerários de Fundão no município de Mariana (MG) e de parte da barragem de Santarém (Figura 1), pertencentes à empresa de mineração Samarco, empresa controlada pela BHP Billiton Brasil Ltda. e pela Vale S.A. (Samarco, 2016).



Figura 1: Barragens de Fundão, Germano e Santarém. (Adaptado de Governo de Minas Gerais, 2016).

O rompimento da barragem deu vazão a mais de 55 milhões de metros cúbicos de rejeito do processo de beneficiamento do minério de ferro (Governo de Minas Gerais, 2016). Tal volume, equivalente a um cubo com aproximadamente 400 metros de lado, causou a morte de 18 pessoas e o desaparecimento de uma, e impactou diretamente o Rio Gualaxo do Norte, Rio do Carmo e Rio Doce, bem como os fragmentos de mata ciliar. Atingiu um total de 39 municípios limítrofes desde Mariana (MG) até a foz na vila de Regência no município de Linhares (ES) (Figura 2). Além disso, parte dos rejeitos foi carreada ao Oceano Atlântico impactando diversas praias na região e alterando o ecossistema marinho.

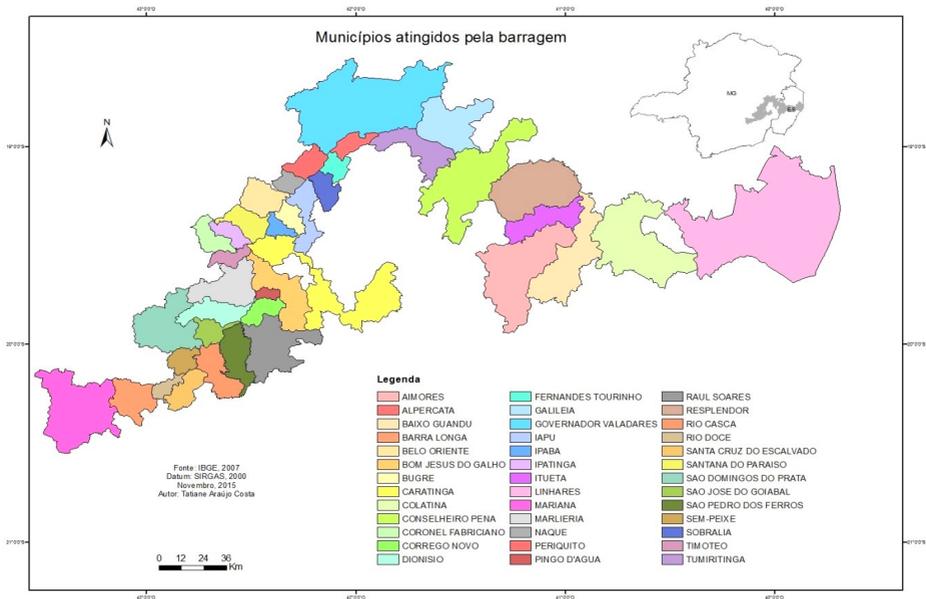


Figura 2: Localização dos municípios afetados pelo rompimento das barragens. (Fonte: Tatiane Araújo Costa, 2015).

O beneficiamento de minério

O ferro é o metal mais utilizado do mundo, sendo extraído da natureza sob a forma de minério, o qual é rico em óxidos de ferro. Diferentes etapas podem ser empregadas na extração do ferro, a depender da qualidade do minério. Minérios de alto teor normalmente são submetidos a etapas de cominuição e classificação. Por outro lado, para a extração a partir de minérios pobres é necessária sua concentração, o que eleva os custos operacionais do processo (Figura 3) (Araújo *et al.*, 2008). Os minérios de ferro podem ser concentrados por meio das seguintes técnicas: gravíticas, magnéticas ou flotação.

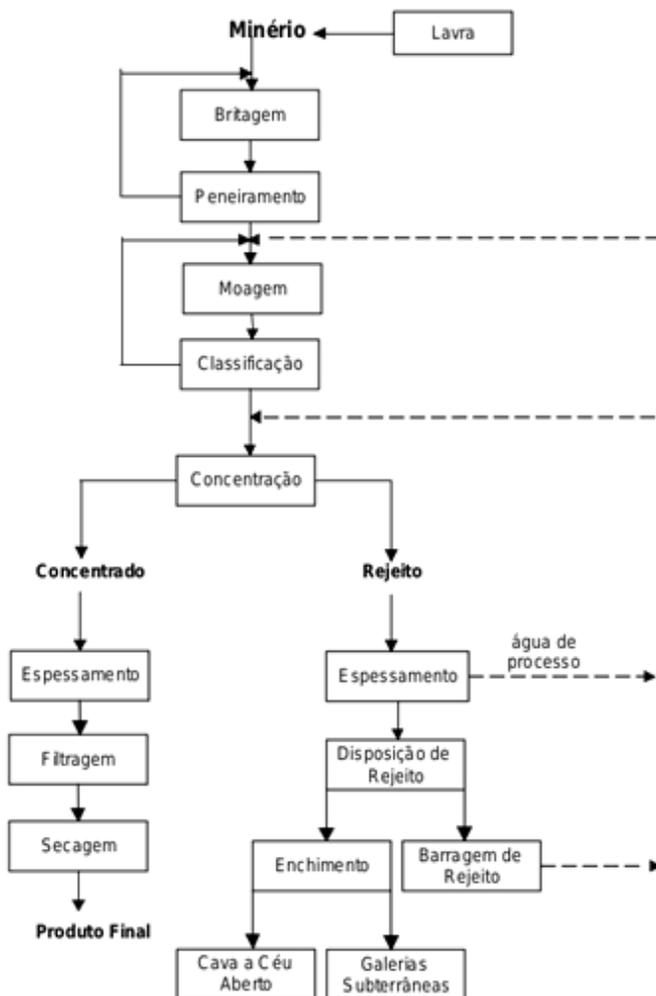


Figura 3: Fluxograma típico do processamento mineral. (Fonte: Tavares, 2009).

O sistema de flotação baseia-se na diferença de capacidade de umedecimento dos diferentes minerais. As partículas variam entre aquelas com afinidade pela água (hidrofílicas) e aquelas que são repelidas por ela (hidrofóbicas). Se uma mistura de partículas hidrofílicas e hidrofóbicas é suspensa em água e aerada, aquelas hidrofóbicas tendem a prender-se às bolhas de ar e então flutuar até

a superfície, permanecendo retidas na camada de espuma formada na interface água-ar. Isto torna possível sua remoção como um produto separado. As partículas hidrofílicas, que apresentam menor tendência a se aderir às bolhas de ar, permanecem em suspensão e podem ser carregadas separadamente daquelas hidrofóbicas (Figura 4). Em condições naturais tanto as partículas de hematita quanto as de quartzo são hidrofílicas. Alguns tratamentos químicos podem ser empregados a fim de alterar a polaridade das moléculas, de acordo com a finalidade do processo. (Darling, 2011).

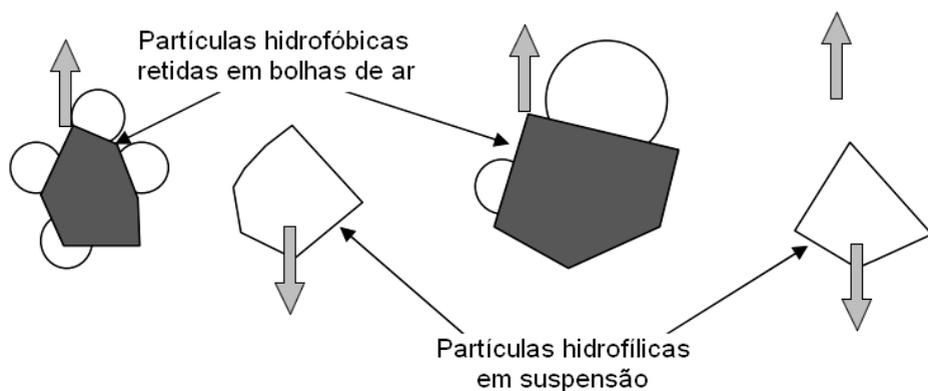


Figura 4: Comportamento diferencial de partículas hidrofóbicas e hidrofílicas em suspensão aquosa aerada. Partículas hidrofóbicas se fixam às bolhas de ar, que tendem à flutuar até a superfície; enquanto partículas hidrofílicas tendem a permanecer na suspensão aquosa e, eventualmente, decantar (Adaptado de Darling, 2011).

A flotação catiônica reversa tem sido utilizada pela Samarco desde o final da década de 1970. Este sistema ocorre em meio aquoso, consistindo na precipitação do minério de ferro e flotação do material restante na ganga (rejeito), que contém barita (BaSO_4), hematita ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), silte, argila, quartzo (SiO_2) e outros minerais. Para que tal separação ocorra, alguns reagentes devem ser adicionados ao sistema. Os principais deles são o amido, utilizado como depressor dos minerais de ferro, e as aminas (éter mono-amina e éter di-amina; Figura 5), sendo que estas exercem as funções de coletor dos minerais de quartzo e de estabilizador da espuma através da flotação (Batisteli,

2007; Mark, 2012). As aminas são os únicos coletores catiônicos usados industrialmente. Sua ionização ocorre em solução aquosa por protonação. Os coletores catiônicos são adsorvidos e desorvidos de forma rápida e fácil. Em função disso, são menos seletivos que os coletores aniônicos e mais afetados por modificadores de coleta. Sua aplicação típica é na flotação de não-metálicos, tais como o quartzo (no beneficiamento do itabirito), silicatos, aluminosilicatos, óxidos, talcos e micas (Houot, 1983; Lima, 1997).

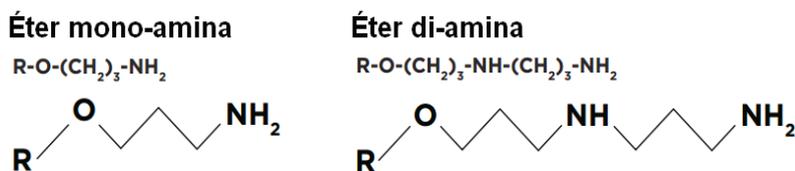


Figura 5: Éter mono-amina e éter di-amina, utilizadas em sistemas de flotação reversa (Fonte: Clariant, 2016).

A reação de flotação reversa ocorre em pH alcalino, geralmente entre 10 e 10,5. Sob essas condições, a sílica apresenta carga negativa e a amina é adsorvida na superfície do quartzo, formando uma espuma, a qual é removida na parte superior das máquinas de flotação e constitui o rejeito de mineração. O amido é adicionado como depressor para evitar que o óxido de ferro seja flotado, uma vez que ele também se torna negativamente carregado no pH do sistema. As moléculas de amido adsorvidas na superfície da hematita fazem com que essas partículas sigam o fluxo da água, sendo removidas na parte inferior das máquinas de flotação, constituindo o concentrado (Luz, 1998; Araújo *et al.*, 2008).

Com a escassez de minérios ricos em ferro, há uma necessidade crescente de utilização de minérios pobres. Isto tem levado a um aumento na quantidade de aminas utilizadas nos últimos anos pela Samarco para a flotação do minério (Samarco, 2009; Samarco, 2013) (Figura 6). Conseqüentemente, há também um aumento da quantidade desse composto nas barragens de rejeito.

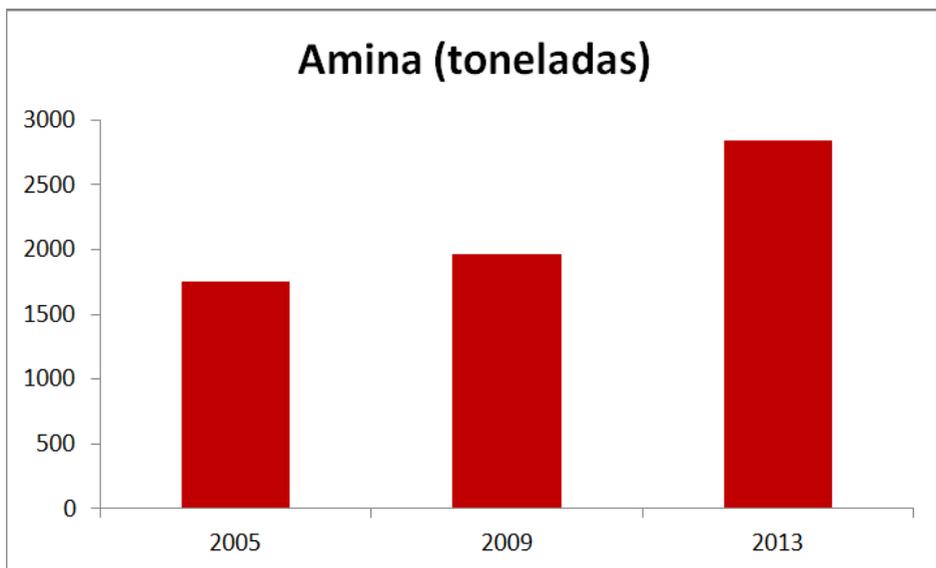


Figura 6: Consumo específico de amina entre os anos de 2005 e 2013 pela mineradora Samarco (Fonte: adaptado de Samarco, 2009; Samarco, 2013).

O comportamento das aminas nas barragens de rejeitos - especialmente no que diz respeito à sua degradação e aos produtos gerados - ainda não é completamente compreendido. Portanto, não é possível dimensionar com precisão o impacto gerado pelo rompimento destas barragens (Araújo *et al.*, 2010).

Diagnóstico dos Impactos ambientais

O impacto causado pelo rejeito pode ser observado em imagens de satélite como na figura 7. Nela é possível identificar o material pela coloração roxa em contraste com a azul dos corpos d'água não afetados. O maior impacto ocorreu na região entre Mariana e a Usina Hidrelétrica de Candonga (município de Rio Doce), em um trecho de 77 km de drenagem. O rejeito recebido pelas calhas estreitas em declividade do Ribeirão Santarém e Rio Gualaxo do Norte

favoreceu o aumento da energia cinética, ocasionando o arraste de toda a vegetação e áreas urbanas na planície de inundação. A Usina Hidrelétrica Candonga (UHE) também teve papel na retenção de grande parte do material carreado dos municípios e vegetações afetadas (Figura 8), além de contribuir para a redução da energia cinética do rejeito extravazado.

É importante ressaltar que em certos locais, como no encontro do Rio Gualaxo do Norte com Rio do Carmo, houve movimento contracorrente do rejeito devido ao seu grande volume e energia cinética, impactando vários quilômetros da região a montante. Este movimento contracorrente ocorreu em outros afluentes de menor porte, provavelmente comprometendo a qualidade da água e a biodiversidade. Como este impacto não é visualizado pelas imagens de satélite, sua extensão global pode estar sendo subestimada.

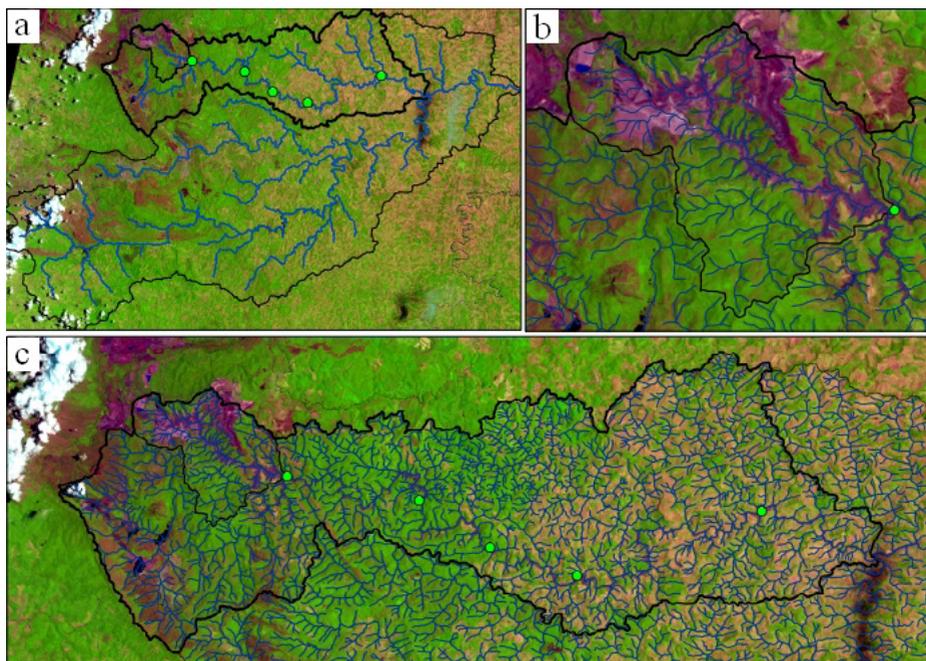


Figura 7: Imagens de satélite das áreas afetadas pelo rejeito. (a)Bacia do Rio Doce; (b)Bacia do córrego Santarém; (c)Bacia do Rio do Carmo. Em (b) e (c) percebe-se o caminho dos rejeitos pela coloração roxa em contraste com a azul dos corpos d'água não afetados.(Fonte: Adaptado de USGS, 2015).

Dentre os principais fornecedores de aminas comercialmente disponibilizadas, destacam-se os produtos da empresa Clariant®, os quais são utilizados em sistemas flotação reversa e que, de acordo com suas fichas técnicas, são aminas altamente corrosivas e potencialmente tóxicas, com possibilidade de danos irreversíveis por inalação, em contato com a pele e por ingestão. Além disso, as medidas de controle para derramamento ou vazamento incluem: manter as pessoas afastadas (a fim de evitar inalação) e não permitir que o produto atinja águas superficiais, subterrâneas ou de canalização (Clariant, 2009).



Figura 8: Material carreado depositado na Usina Hidrelétrica Candonga. (Fonte: Autoria própria).

A partir de visitas à área afetada e análise técnica de diferentes relatórios (IBAMA, 2015; Governo de Minas Gerais, 2016; SEMAD, 2015; EMBRAPA, 2015; IGAM, 2015), foram compilados os seguintes impactos ambientais:

- Qualidade e disponibilidade da água
 - Assoreamento dos corpos d'água: este assoreamento é visível (Figuras 8, 9), mas ainda não há registro da quantificação do material assoreado nem dentro da calha, nem na mata ciliar. O rejeito está depositado sobre a mata ciliar, alterando geomorfológicamente a bacia.
 - Acúmulo de sedimentos instáveis nas margens, com ravinamentos profundos, favorecendo intenso processo erosivo e lixiviação (Figura 10).
 - Contaminação química por éter-aminas potencialmente tóxicas, oriundas do processo de flotação catiônica reversa do beneficiamento de minério de ferro da mineradora Samarco, responsável pela imiscibilidade do rejeito nas drenagens.
 - Elevada turbidez se encontra presente nas águas em valores superiores ao permitido pela legislação (DN COPAM 01/2008).
 - Contaminação pelos metais: arsênio, (provavelmente oriundo da arsenopirita presente nas áreas mineradas), ferro, manganês, cobre, chumbo, magnésio e alumínio em valores superiores aos estabelecidos na legislação (CONAMA 357/2005).
 - Ressuspensão dos sedimentos estabilizados nas partes mais profundas no leito desses rios, aumentando para níveis tóxicos a concentração de metais pesados, tais como o mercúrio. Este efeito pode ser amplificado especialmente no período chuvoso.
 - Perda drástica de biodiversidade da fauna e flora, ainda não quantificada.



Figura 9: Rio Gualaxo do Norte com leito visível devido ao assoreamento.(Fonte: Autoria própria).



Figura 10: Processo de ravinamento. (a): Margens do Rio Gualaxo do Norte; (b) Margens do Rio do Carmo. (Fonte: Autoria própria).

- Impactos no solo e fertilidade
 - Sedimento de composição granulométrica com cerca de 90% de areia e silte e apenas 10% de argila, implicando em baixa capacidade de trocas catiônicas e, portanto, baixa fertilidade.
 - Compactação do material depositado nas margens, baixa porosidade e presença de concreção ferruginosa quando ressecado (Figura 10), o que gera uma barreira física muito resistente ao crescimento radicular vegetal e ambiente anaeróbico para os micro-organismos.
 - Baixa coesão e características higroscópicas, que propiciam o surgimento e agravamento dos processos erosivos.
 - Ausência de estrutura do solo, baixa fertilidade devido ao déficit de cátions disponíveis, de matéria orgânica e de argila.
 - Presença de valores elevados de ferro, manganês e alumínio.
 - Valores de arsênio superiores ao limite permitido pela legislação (CONAMA 454/2012).
 - Resultados ainda não publicados por nossa equipe, bem como dados da EMBRAPA (Governo de Minas Gerais, 2016) evidenciam uma alteração do pH da mata ciliar de 4.5 para 8.9, prejudicando as atividades celulares de plantas, animais e micro-organismos.
 - Presença de grande quantidade de aminas potencialmente tóxicas aos sistemas biológicos e toxicidez de amônio, conforme estimado na barragem de Fundão (Mroczkowski, Stuczyński, 2006).

- Impactos na vegetação ripária
 - Entre as barragens de Fundão e Santarém até o trecho do Rio Gualaxo do Norte próximos ao Rio do Carmo estima-se perda de 560,35 ha de vegetação, sendo 384,71 ha de Mata Atlântica.
 - Na área subsequente do Rio Gualaxo do Norte até a foz do Rio Doce estima-se perda de 1026,65 ha de vegetação, sendo 126,37 de Mata Atlântica.
 - Total de 1587 ha de vegetação perdida, sendo 511,08 ha de Mata Atlântica. (Figura 11).

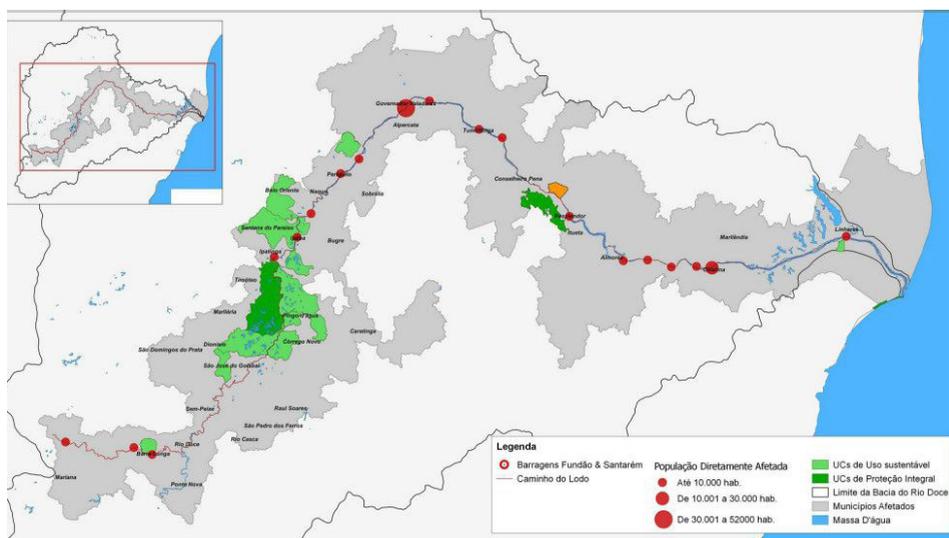


Figura 11: Vegetação impactada em pelo rompimento da Barragem de Fundão.
 Fonte: BBC (Disponível em: <bbc.com/portuguese/noticias/2015/12/151201_dados_mariana_cc>; acessado em 25/02/2016).

- Impactos na microbiota do solo e da água

Resultados preliminares baseados em quantificação de material genético microbiano mostraram que houve drástica redução da população microbiana nas águas e solos atingidos pelo rompimento da Barragem de Fundão. Provavelmente isto se deve à toxicidade causada pelo pH alcalino, necessário ao funcionamento do sistema de flotação reversa utilizado no beneficiamento do minério. Nestas condições, a população microbiana do solo é consideravelmente reduzida, já que o acúmulo da éter-amina no solo o torna tóxico para o crescimento vegetal e da microbiota (Mroczkowski, Stuczyński, 2006; Mehrer, Mohr, 1989).

Proposições de recuperação da mata ciliar

Os impactos sobre a mata ciliar são passíveis de recuperação. O material depositado às margens dos rios atingidos pelo rompimento da Barragem do Fundão é instável e sujeito à erosão por ravinamento. Sendo assim, a recuperação da mata ciliar exige técnicas de contenção física adequadas para a estabilização do processo erosivo, aliadas ao estabelecimento de uma vegetação que exerça as funções simultâneas de tolerância à toxidez das aminas e que seja capaz de ancorar o solo com seu sistema radicular, promovendo a agregação do mesmo. A indicação das técnicas e espécies vegetais mais adequadas para contenção do processo erosivo dependerá do conhecimento do grau e extensão da deposição de sedimentos, bem como da toxicidade deste material. A mitigação do impacto da toxicidade prevê a degradação das aminas presentes do rejeito.

A recuperação destes impactos deverá remediar e reabilitar, com relativo sucesso, a funcionalidade da mata ciliar com espécies nativas. Porém, as previsões são menos otimistas quando se considera o uso futuro da mata ciliar para fins agrícolas ou de produtos para consumo humano.

Mata Ciliar da Bacia do Rio Doce: Estado da Arte em abril de 2016

Ações de plantio com espécies herbáceas e mesmo arbóreas exóticas estão sendo feitas na mata ciliar da Bacia do Rio Doce, empiricamente, à revelia do entendimento científico. Como as espécies e procedimentos utilizados não são aqueles recomendáveis, corre-se o risco de geração novos impactos, cujas dimensões são imprevisíveis.

Para os ensaios empíricos de recuperação da mata ciliar, a empresa Samarco promoveu a contratação um consórcio de empresas de engenharia, que estão fazendo as seguintes ações ao longo de toda a mata ciliar dos Rios Gualaxo do Norte e Rio do Carmo:

1 - Plantio de espécies de uso agrônômico através de sementes. Como é possível perceber (Figura 12), as espécies plantadas não conseguiram se estabelecer, já que não houve cobertura do sedimento, nem sua estabilização. Ressalta-se a inadequação das espécies e procedimentos para a recuperação de uma mata ciliar. Uma vez que essa ação não foi bem-sucedida, outras ações estão sendo realizadas.

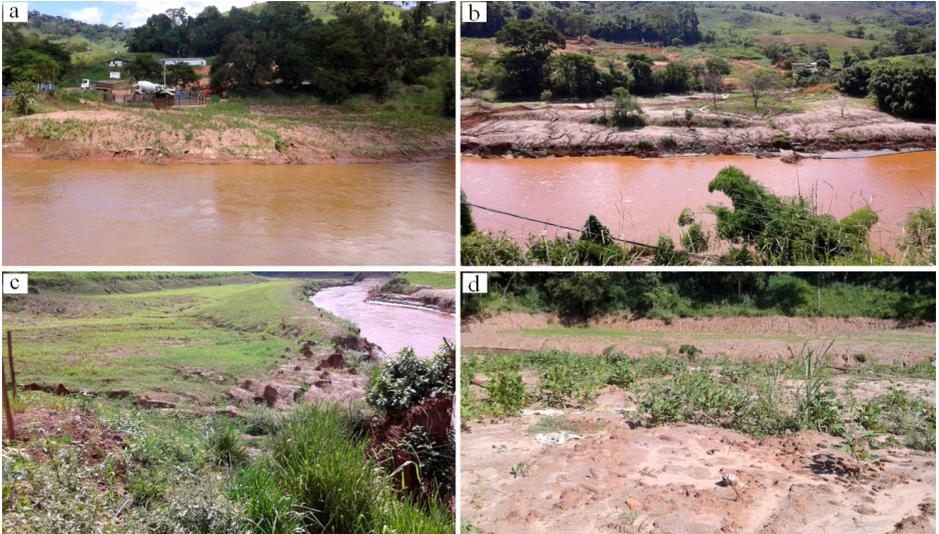


Figura 12: Ações de plantio realizadas pelas empresas contratadas pela Samarco nas matas ciliares dos Rios Carmo (a, b) e Gualaxo do Norte (c,d).

- 2 – Remoção mecânica de sedimentos depositados na área de mata ciliar. O rejeito oriundo da barragem que foi depositado nas matas ciliares está sendo removido através de maquinário (figura 13 a).
- 3 – Transporte de sedimentos através de caminhões (figura 13 b).
- 4 – Deposição do material transportado pelos caminhões em pilhas (figura 13 c e d).

O acondicionamento de material contaminado em pilhas é uma técnica de remediação utilizada na bioengenharia e que pode ser bem-sucedida, desde que sua realização seja tecnicamente correta, salientando-se a escolha do local de alocação da pilha e a impermeabilização total da área, evitando-se a contaminação do lençol freático e corpos hídricos superficiais.



Figura 13: Remoção de sedimento da área de mata ciliar, transporte de material por caminhões e alocação do material em pilhas. Remoção do sedimento nas margens do rio (a), transporte de material para pilhas (b), construção das pilhas (c,d).

5 - Desmatamento de áreas preservadas de porte arbóreo, incluindo áreas de topo de morro. A figura 14 (a, b, c e d) mostra uma ação de desmatamento das empresas supramencionadas ao longo do Rio Gualaxo do Norte. As figuras 14 (c e d) evidenciam a presença de maquinário realizando a intervenção.

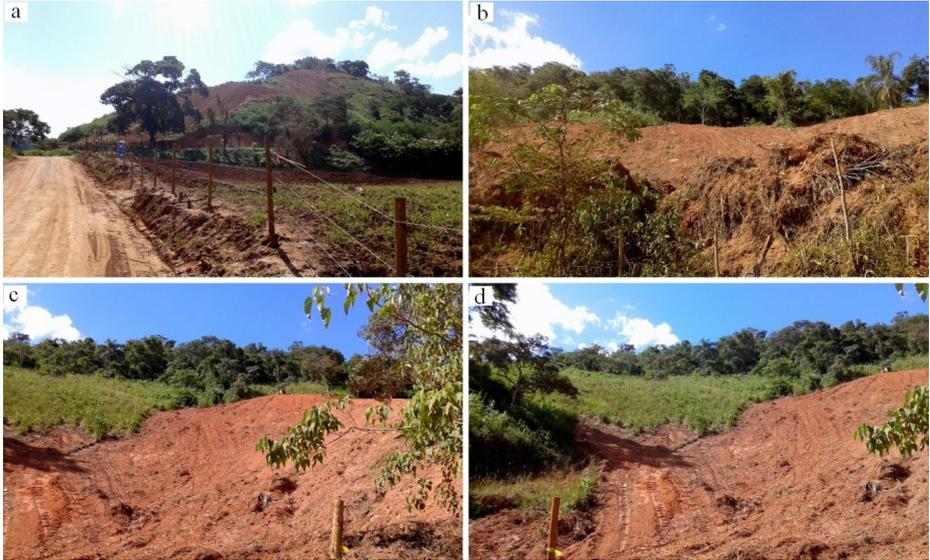


Figura 14: Desmatamento de áreas preservadas, incluindo topos de morros, ao longo do Rio Gualaxo do Norte (02/04/2016).

6 - Aterramento, preparo do solo e drenagem. É possível perceber que diferentes pontos das matas ciliares estão recebendo solo (cor escura) de outra origem (Figura 15 a, b). O preparo do solo para plantio inclui técnicas de drenagem, conforme observado na figura 15c. Na figura 16 é possível observar diferentes ações e técnicas de



Figura 15: Aterramento, preparo e drenagem na área de plantio. Destaca-se o uso de solos exógenos (a, b) para aterramento e a presença de drenagem a área de plantio (c).

intervenção que vêm sendo empregadas na tentativa de recuperação das matas ciliares. Entre elas, salienta-se na figura 16:

- Plantio sem sucesso (no centro);
- Depósito do sedimento retirado, da área de mata ciliar, perpendicularmente ao Rio do Carmo (cor clara, no centro);
- Presença de caminhão para transporte de material (ao fundo, à esquerda);
- Deposição e aterramento da zona ripária com solos exógenos (cor escura, à direita);
- Presença de maquinário pesado (ao fundo, à esquerda e à direita).



Figura 16: Preparo do solo e plantio em matas ciliares. Nota-se a diferença de coloração entre o solo impactado pelo rejeito e aquele que foi alocado para a mata ciliar, a utilização de técnicas de drenagem e a presença de maquinários utilizados no preparo do solo. Também é possível perceber a presença de uma área em cujo plantio não foi bem sucedido.

Faz-se necessário saber a origem do solo (cor escura) no aterramento da área de mata ciliar, bem como a comprovação da existência de licenças para a realização do desmatamento que vem ocorrendo nas áreas preservadas de topo de morro no Rio Gualaxo do Norte (figura 14).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araújo, D.M., Yoshida, M.I., Takahashi, J.A., Carvalho, C.F., Stapelfeldt, F. (2008). Reciclagem de aminas na flotação de minério de ferro. REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, 61(4): 455-460.

Araújo, D.M., Yoshida, M.I., Carvalho, C.F., Stapelfeldt, F. (2010). Biodegradation studies on fatty amines used for reverse flotation of iron ore. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 64:151-155.

Batisteli, G.M.B. (2007). Amina residual na flotação catiônica reversa de minério de ferro. Universidade Federal de Minas Gerais. 90p. (Dissertação de Mestrado).

Clariant. (2009). Flotigam 2835-2 (Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos em acordo com a NBR-14725).

Clariant. (2016). Disponível em [http://www.clariant.in/C12575E4001FB2B8/vwLookupDownloads/Iron%20Ore.pdf/\\$FILE/Iron%20Ore.pdf](http://www.clariant.in/C12575E4001FB2B8/vwLookupDownloads/Iron%20Ore.pdf/$FILE/Iron%20Ore.pdf), acessado em 16/03/2016.

CONAMA (2005). Resolução CONAMA N° 357/2005. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>, ACESSADO EM 20/03/2016.

Darling, P. (2011). *SME Mining Engineering Handbook*. 3rd Edition. Englewood: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, 1984 p.

DN COPAM 01/2008 (2008). Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG n° 01, de 05 de maio de 2008. Disponível em <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8151>>, acessado em 19/03/2016.

EMBRAPA. (2015). Avaliação dos impactos causados ao solo pelo rompimento de barragem de rejeito de mineração em Mariana, MG: Apoio ao plano de recuperação agropecuária. *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária*. Dezembro de 2015.

Governo de Minas Gerais (2016). Relatório: Avaliação dos efeitos e desdobramentos do rompimento da Barragem de Fundão em Mariana-MG. *Secretaria de Estado de Desenvolvimento Regional, Política Urbana e Gestão Metropolitana, Minas Gerais*, 287 p.

Houot, R. (1983). Beneficiation of Iron Ore by Flotation - Review of Industrial and Potential Applications. *International Journal of Mineral Processing*. 10:183-204.

IBAMA. (2015). Laudo técnico preliminar impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais. Novembro de 2015.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2007). Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/sirgas/principal.htm>>, acessado em 28/03/2016.

IGAM. (2015). Monitoramento da qualidade das águas superficiais do Rio Doce no Estado de Minas Gerais: relatório técnico acompanhamento da qualidade das águas do Rio Doce após o rompimento da barragem da Samarco no distrito de Bento Rodrigues – Mariana/MG. Novembro de 2015.

Lima, R.M.F. (1997). Adsorção de Amido e Amina na superfície da Hematita e do Quartzo e sua Influência na Flotação. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 238p.

Luz, A. B., Costa, L., Possa, M., Almeida, S. (1998). Tratamento de Minérios. Rio de Janeiro, CETEM/CNPq.

Mark, M.A. (2012). Froth Flotation of Iron Ores. *International Journal of Mining Engineering and Mineral Processing*. 1:56-61.

Samarco. (2009). Relatório Anual de Sustentabilidade, 124 p.

Samarco. (2013). Relatório Anual de Sustentabilidade, 57 p.

Samarco. (2016). Disponível em <<http://www.samarco.com>>, acessado em 10/03/2016.

SEMAD. (2015). Instituto Estadual de Florestas. Monitoramento da cobertura vegetal na área do rompimento das barragens da Samarco, Município de Mariana, Distrito de Bento Rodrigues, Minas Gerais. Dezembro de 2015.

Tavares, L.M.M. (2009). Apostila Processamento de Recursos Minerais I.

USGS. (2015). United States Geological Survey, disponível em <<http://www.usgs.gov>>, acessado em 10/03/2016.