

**Letícia Couto Garcia, Danilo Bandini Ribeiro, Fabio de Oliveira Roque, Jose Manuel Ochoa-Quintero, and William F. Laurance. Brazil's worst mining disaster: Corporations must be compelled to pay the actual environmental costs. *Ecological Applications***

---

Appendix S1

The Portuguese translation of the paper.

---

Author(s)

Letícia Couto Garcia

Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, CP 79070-900, P.O. Box 549, Campo Grande, MS, Brazil (garcialcbio@yahoo.com.br)

Danilo Bandini Ribeiro

Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, CP 79070-900, P.O. Box 549, Campo Grande, MS, Brazil (biodbr@gmail.com)

Fabio de Oliveira Roque

Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, CP 79070-900, P.O. Box 549, Campo Grande, MS, Brazil; Centre for Tropical Environmental and Sustainability Science, and College of Science and Engineering, James Cook University, Cairns, Queensland 4878, Australia ([roque.eco@gmail.com](mailto:roque.eco@gmail.com))

Jose Manuel Ochoa-Quintero

Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, CP 79070-900, P.O. Box 549, Campo Grande, MS, Brazil; Corporación para Investigaciones Biológicas, CIB, Cra 72 A No 78 B 141, Medellín 050034, Colombia  
([jmochoaquintero@gmail.com](mailto:jmochoaquintero@gmail.com))

William F. Laurance

Centre for Tropical Environmental and Sustainability Science, and College of Science and Engineering, James ([bill.laurance@jcu.edu.au](mailto:bill.laurance@jcu.edu.au))

---

## **Description**

The Portuguese translation of the paper originally published in English.

---

## **Appendix S1**

**Este documento é a tradução do artigo original publicado em inglês na revista internacional *Ecological Applications***

*Publicação em 2016*

**Como citar:** Garcia, L.C.; Ribeiro, D.B.; Roque, F.O.; Ochoa-Quintero, J.M., Laurance, W.F. 2016. Brazil's worst mining disaster: Corporations must be compelled to pay the actual environmental costs. *Ecological Applications*.

# **O pior desastre em mineradoras no Brasil: empresas devem ser compelidas a pagar pelos custos ambientais gerados**

Letícia Couto Garcia<sup>1,\*</sup>, Danilo Bandini Ribeiro<sup>1</sup>, Fabio de Oliveira Roque<sup>1,2</sup>, Jose Manuel Ochoa-Quintero<sup>1,3</sup>, William F. Laurance<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, CP 79070-900, P.O. Box 549, Campo Grande, MS, Brasil

<sup>2</sup>Centre for Tropical Environmental and Sustainability Science, and College of Science and Engineering, James Cook University, Cairns, Queensland 4878, Australia

<sup>3</sup>Corporación para Investigaciones Biológicas, CIB, Cra 72 A No 78 B 141, Medellín 050034, Colombia

\*Autor para correspondência. Email: [garcialcbio@yahoo.com.br](mailto:garcialcbio@yahoo.com.br)

**Resumo.** Em novembro de 2015, uma grande barragem de rejeitos de mineração no Brasil, pertencente à empresa Samarco rompeu, gerando uma onda expressiva de lama tóxica que se espalhou por todo Rio Doce abaixo matando 20 pessoas, afetando a biodiversidade ao longo de vários quilômetros do rio, bem como áreas ripárias e costa do oceano Atlântico. Além das perdas desastrosas de vidas humanas e prejuízos socio-econômicos, estimamos perdas de serviços ambientais regionais em torno de R\$1,694 bilhões por ano. Embora nossa estimativa seja conservativa, é seis

vezes maior do que as multas impostas à Samarco pelo IBAMA. Para reduzir essas discrepâncias entre perdas estimadas e multas aplicadas, defendemos uma política em prol de “caução ambiental” que considere o risco potencial e os serviços ambientais que poderiam ser afetados em casos de irresponsabilidades nas atividades em áreas de mineração. Cauções e seguros ambientais são instrumentos políticos comumente utilizados em muitos países, mas não há políticas claras a este respeito no Brasil. Cauções ambientais são possivelmente mais efetivos em assegurar

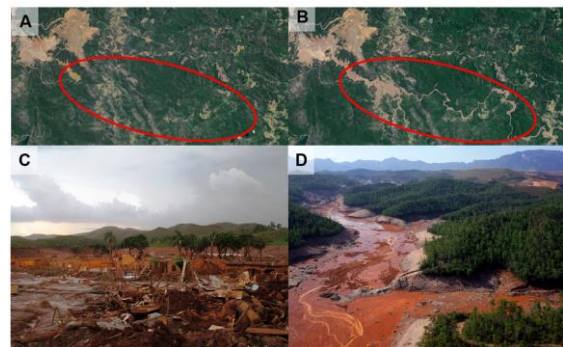
a reparação ambiental do que muitas pós-desastres, as quais geralmente são inadequadas e não pagas. Estimamos também que pelo menos 126 represas de contenção podem se romper nos próximos anos. Esses eventos podem possivelmente ter consequências ambientais e sociais graves, evidenciando a necessidade de estratégias de gestão de desastres para grandes escalas de operações de mineração.

**Palavras-chave:** *perdas biológicas, compensação, políticas ambientais para mineradoras, responsabilidade por danos, Pagamentos por Serviços Ambientais, reabilitação, restauração, rompimento de barragens de rejeito.*

### **Introdução**

Desastres associados a mineradoras frequentemente tem sido destaques nas manchetes e, recentemente, com evidência o rompimento de uma grande barragem de rejeitos de minério de ferro no Brasil. Esse rompimento liberou uma enorme

enxurrada de lama tóxica que espalhou ao longo do Rio Doce, no estado de Minas Gerais (Fig.1), o segundo rio mais extenso da região hidrográfica do Atlântico Sudeste. Instantaneamente, em torno de 17 km<sup>2</sup> de terras foram diretamente destruídas pelo evento, extraindo 8,35 km<sup>2</sup> da já criticamente comprometida vegetação de Mata Atlântica em região ripária (SOS Mata Atlântica e INPE 2015, IBAMA 2016a).



**Figura 1** – A região próxima à barragem de rejeito de mineração em Minas Gerais, Brasil (A) antes do desastre e (B) depois do desastre (círculo vermelho). Rio Doce (C) imediatamente após o rompimento da barragem e (D) a enorme onda de lama tóxica. Créditos das fotos: (A) e (B): NASA/GSFC/METI/ERSDAC/JAROS e U.S./Japão ASTER Science Team; (C): Letícia Camarano; e (D) IBAMA banco de dados fotográfico.

Esse desastre matou 20 pessoas e milhões de peixes de água doce, degradando terras indígenas locais,

poluindo o mar em uma região vulnerável de desova de tartarugas marinhas. Um ano depois, os limites do desastre continuam incertos. Existem evidências de que sete mil km<sup>2</sup> de pluma atingiram importantes áreas de conservação da biodiversidade no Oceano Atlântico, incluindo o Parque Nacional de Abrolhos, uma das áreas protegidas mais emblemáticas do Brasil, e mais três áreas marinhas protegidas Costa das Algas, Santa Cruz, e Comboios no estado do Espírito Santo, ameaçando espécies raras e endêmicas da fauna marinha (Morandini et al. 2009, Miranda e Marques 2016, Fioravanti 2016, IBAMA 2016b). Modelos de dissipação de descarga fluvial preveem consequências de longo prazo próximo à cidade do Rio de Janeiro (Marta-Almeida et al. 2016) e consequências do rompimento da barragem no Oceano Atlântico ainda não foram completamente avaliadas. Contaminantes químicos, os quais podem acumular-se nos sedimentos oceânicos, podem ser reinjetados na coluna d'água

através de distúrbios (por exemplo, tempestades, movimentos dos animais, atividades humanas) resultando em uma contaminação recorrente ao longo do tempo (Mahiques et al. 2016).

Uma rede independente de cientistas analisou amostras do Rio Doce após o rompimento da barragem e encontraram níveis elevados de arsénico, chumbo, cádmio, cromo, níquel, selênio e magnésio, todos acima dos níveis permitidos legalmente (Escobar 2015, GIAIA 2016). Testes de lixiviação/extração também sugerem que Ba, Pb, As, Sr, Fe, Mn e Al têm alto potencial de mobilização da lama para a água e bio-ensaios toxicológicos em amostras do solo e da lama do rejeito indicam riscos potenciais de citotoxicidade e danos em DNA (Segura et al. 2016). Esses dados contradizem relatórios da Samarco, a empresa responsável pela represa de rejeito de extração mineral, e o governo declarou que os níveis de metais pesados no Rio Doce estão em limites

aceitáveis.

O Rio Doce e seus afluentes abrigam muitos peixes e moluscos endêmicos, incluindo espécies recentemente descritas (Salvador and Cavallari 2014, Roxo et al. 2014) que podem ser localmente endêmicas. Além da poluição química, os rejeitos pesados que se espalharam no rio reduzem a disponibilidade de oxigênio, aumenta a turbidez, interrompe movimentos reprodutivos de muitas espécies de peixes migratórias e podem afetar o funcionamento de toda a rede ecológica (Lambertz and Dergam 2015, Massante 2015). Na Mata Atlântica, área com elevada biodiversidade, muitos endemismos e ameaças por atividades antrópicas que causam alta fragmentação, programas de restauração ativa podem levar décadas para restaurar interações e funções complexas (Garcia et al. 2015, 2016). Um rompimento de barragem gigantesco como o que ocorreu no Rio Doce exigirá períodos consideravelmente

mais longos para a reabilitação e recuperação dessas áreas degradadas. Minas abandonadas frequentemente retêm níveis altos de metais associados ao longo de décadas (Younger 1997). Derramamentos de resíduos que ocorrem sobre vastas áreas, tais como as do Rio Doce, podem potencialmente contaminar sedimentos e lençol freático por longos períodos caso nenhum esforço seja realizado para remover os resíduos e revolver os solos contaminados (Fields 2001, Simón et al. 2001).

### ***Perdas ambientais e responsabilidade empresarial***

As proporções dramáticas deste evento despertam uma questão fundamental: como estratégias de gestão de catástrofes podem incorporar os riscos de perdas seríssimas dos serviços ambientais e da biodiversidade?

Pagamentos compensatórios são formas úteis de instrumentos políticos por levarem alguma justiça aos afetados pelas

atividades antrópicas que causam desastres sociais e ambientais. No caso do Rio Doce, além das numerosas mortes de seres humanos, contaminação da água e do solo, atividades socioeconômicas importantes como a pesca tiveram que ser interrompidas indefinidamente. Além da necessidade de financiamento para as atividades de reabilitação e recuperação dessas áreas degradadas, o processo de compensação deveria considerar a perda de serviços ambientais chave (Neves et al. 2016), incluindo a perda de serviços como a pesca. Desastres de mineradoras têm estimulado a proposta de disposições sobre compensações e mecanismos que podem considerar as perdas de serviços ambientais e o tempo de espera pela restauração (Laurance 2008, Bai et al. 2011, Vela-Almeida et al. 2015). Uma maneira de determinar o nível de compensação apropriado é multiplicar os valores empregados por hectare antes do desastre para pagar serviços ambientais na região do Rio Doce pelo tamanho da bacia

do Rio Doce. Uma pesquisa de avaliação de contingente antes do desastre sobre o valor da Disposição a Receber média estimada foi de R\$203,21/ha/ano para os Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) em uma sub-bacia da região (Oliveira et al. 2013). A bacia do Rio Doce abrange 83.400 km<sup>2</sup> (Euclides 2010), em torno do tamanho da Áustria. Seu principal rio foi completamente comprometido bem como seus alguns de seus afluentes (a extensão da dos corpos hídricos diretamente afetados foi de mais de 650 km), liberando substâncias tóxicas que podem bioacumular ao longo da rede trófica (Miranda e Marques 2016). Desse modo, é provável que o derramamento prejudique toda a bacia. Multiplicando os valores de PSA pela área da bacia gera um valor total de R\$1.694.771.400,00 por ano. Esse valor é conservativo, uma vez que nele não incorporamos alguns serviços ambientais vulneráveis, como o valor individual das espécies, processos de

polinização, recursos genéticos e impactos no oceano.

Esta estimativa de perda anual é seis vezes maior do que a soma de todas as sete multas impostas à Samarco pelo IBAMA que totalizaram R\$ 292.800.000,00 (estes valores são baseados em um teto estabelecido por lei, atualmente tramita um projeto de lei que visa alterar este valor máximo das multas, PL 4.286/2016). Subsequentemente, vários segmentos de governos brasileiros e da Samarco ajustaram um acordo para fomentar reparações no valor de 20 bilhões de reais (BHP Billiton 2016a), mas o Supremo Tribunal Federal suspendeu essas negociações (STF 2016). Mesmo com o improvável evento em que todo esse valor acordado fosse revertido atividades de reabilitação e recuperação dessas áreas degradadas, cobriria apenas 12 anos de perdas de serviços ambientais. Doze anos seria apenas uma fração do tempo necessário para a recuperação completa da região amplamente e altamente afetada.

Mais esperança e uma restituição mais adequada foi proposta por uma Ação Civil Pública ajuizada pelo Ministério Público Federal no mês de maio (R\$ 155 bilhões em reparação aos danos causados - BHP Billiton 2016b). Essa ação inclui 200 diferentes pedidos de compensação social, ambiental e econômica. Entretanto, mesmo que essa Ação tenha sucesso será um grande desafio conseguir que a Samarco a pague. Até agora, a Samarco recorreu e apelou de todas as multas, da Ação Civil Pública e de numerosas ações jurídicas em curso. De acordo com o IBAMA, de 2011 a 2014, apenas 8,7% de todas as multas ambientais aplicadas foram pagas no Brasil. Desse modo, não há muita esperança para que as multas impostas venham a ser pagas.

Além de definir um pagamento de compensação apropriado, uma política clara para convencer as empresas a manterem níveis elevados de gerenciamento de riscos ambientais poderia auxiliar a prevenir desastres



(Gerard 2000, White et al. 2012, Edwards e Laurance 2015). Por exemplo, considerando a atual política de gerenciamento de barragens de rejeito. Rejeitos de mineração não são considerados como “resíduos perigosos”, assim, não estão sujeitos a Lei de Crimes Ambientais. Isso significa que planos de gestão de resíduos perigosos, incluindo medidas de redução do volume e risco dos resíduos e seguro de responsabilidade por danos ao meio ambiente e à saúde pública não são exigidos aos rejeitos de mineração. Um projeto de lei está sendo apreciado pelo Congresso brasileiro a fim de acabar com a brecha de que permite a instalação dessas barragens perto de comunidades humanas, mas essa proposta ainda não inclui proteção à biodiversidade (Projeto de Lei n. 3775/2015). Como destacado por Meira et al. (2016), o *lobby* da mineração no Brasil é tão poderoso que os pagamentos das multas à Samarco têm sido subordinados à autorização da reabertura de outras atividades minerárias

na região. Além de melhores leis e políticas de controle das operações minerárias, técnicas novas para instalações de armazenamento de rejeitos, tais como a remoção da água livre das bacias de rejeito, são estratégias essenciais para a redução de riscos (Franks et al. 2011, Jones e Boger 2012).

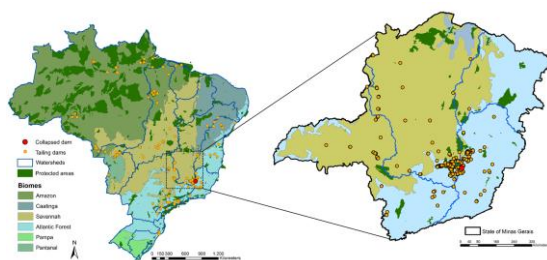
Como parte de política ambiental para mineradoras, cauções ambientais poderiam ser utilizados para incentivar as mineradoras a melhorar os sistemas de monitoramento e manejo. Nestes casos, o caução ambiental é estabelecido quando fundos empresariais são depositados previamente à instalação das atividades do empreendimento e são conservados em contas caucionadas aguardando até o final da mineração e devolvido quando as operações de recuperação foram concluídas com sucesso (Gerard 2000). A cobertura financeira concedida por este caução poderia basear-se nos riscos relativos das atividades minerárias e nas perdas potenciais dos serviços ambientais.

A obrigatoriedade dos cauções ambientais evitaria que as empresas que não têm o capital necessário para cobrir os gastos potenciais envolvidos em um acidente ou as que propõe operações de grande risco não teriam condições de prosseguir com seus planos iniciais. Assim, eles teriam que reduzir o tamanho potencial e/ou o risco de dar prosseguimento às suas operações. Caso bem planejada, essa política poderia melhorar significativamente o cumprimento legal dos regulamentos ambientais ao mesmo tempo que incentivaria as mineradoras a minimizarem seus riscos e passivos e, conseqüentemente aumentaria as medidas de proteções ambientais. Certamente seria melhor do que o contexto atual. Embora alguns projetos de lei têm sido apresentados para que sejam exigidos seguros ambientais mínimos (por exemplo, o Projeto de Lei do Senado PL 767/2015), até o momento, no Brasil falta uma estratégia política clara e uma estrutura regulamentar para seguros e cauções

ambientais. Por exemplo, no mês de julho deste ano, O Ministério Público de Minas Gerais apresentou o Projeto de Lei (No 3695/2016) originado de uma iniciativa popular que inclui caução ambiental para responsabilidades socioambientais em casos de danos e que seria obrigatório antes das decisões relativas ao licenciamento de mineração (Assembleia Legislativa de Minas Gerais 2016). Existem várias estratégias de seguros ou cauções ambientais em outros países, incluindo a Austrália e os Estados Unidos, os quais servem de modelo para políticas similares no Brasil (Gerard 2000, Boyd 2002, White et al. 2012).

A urgência para tais ações pode ser ressaltada pelo fato de que existem centenas de mineradoras com barragens de rejeito ativas no Brasil, em várias bacias colocando os biomas da Amazônia, Pantanal, Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica em risco. De acordo com o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM 2015), a represa que se

rompeu no Rio Doce era considerada de baixo risco de acidente e apenas 8% das barragens de rejeito de mineradoras existentes são consideradas de alto risco. Acreditamos que estes valores estejam subestimados. O Brasil teve mais de 80 desastres ambientais relacionados a mineradoras, e um inventário sobre mineradoras da América do Sul encontrou que, no último século, o risco de rompimento foi, em geral, de 19% (Azam e Li 2010, Nazareno e Vitule 2016). Baseado nestes valores e no grande número de barragens de rejeito de minério registradas no Brasil (662) (DNPM 2015) (Fig. 2 e veja Data S1 para as barragens de rejeito de minério registradas em Minas Gerais), estimamos que 126 barragens de rejeito de mineração podem vir eventualmente a romper.



**Figure 2** - (A) Banco de dados disponível das barragens de rejeito de mineração no Brasil (círculos laranja) em diferentes limites de regiões de bacias hidrográficas mostrando a distância à várias Unidades de Conservação. Embora tenham registradas 662 barragens de rejeito de mineração no Brasil, as coordenadas geográficas estão disponíveis apenas para 317 no cadastro do Departamento Nacional de Produção Mineral do Brasil (DNPM 2015). (B) Mapa das 293 coordenadas disponíveis das barragens de rejeito de mineração do estado de Minas Gerais, com a represa de Bento Rodrigues destacada no mapa (círculo vermelho) (veja Data S1 – dados disponíveis (até 12 de maio de 2016) para 426 barragens de rejeito de mineração registradas pela Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais (FEAM)).

Atividades de mineração têm tido impactos ambientais e sociais imensos no Brasil. O retrocesso de certas leis ambientais (Ferreira et al. 2014, Sugai et al. 2014, Brancalion et al. 2016, Meira et al. 2016, El Bizri et al. 2016), a aprovação de novas concessões minerárias em áreas protegidas e a exclusão de áreas protegidas em regiões de alto potencial minerário têm sido muito debatidos tanto publicamente quanto no Congresso brasileiro. Apesar dos últimos retrocessos das leis ambientais, existem alguns projetos de lei que têm sido considerados no Congresso

brasileiro objetivam evitar novos acidentes ocorram (PL 4286, 4287/2016). A calamidade no Rio Doce serve como uma oportuna advertência para a necessidade de ações urgentes a fim de limitar os riscos de danos sérios relacionados a mineradoras tanto no Brasil quanto no mundo inteiro.

#### **AGRADECIMENTOS**

À Dr. Erik Nelson, Dr. Arnildo Pott e dois revisores anônimos pelos valiosos comentários do texto, à Letícia Camarano pelo compartilhamento da foto da cidade de Bento Rodrigues e seu entorno após o desastre, à Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais (FEAM) pelo compartilhamento dos dados disponíveis das 426 barragens de rejeito de mineração registradas de Minas Gerais até 12 de maio de 2016.

**Data S1-** Data S1 – dados disponíveis (até 12 de maio de 2016) para 426 barragens de rejeito de mineração registradas pela Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais (FEAM)).

#### **LITERATURA CITADA**

- Assembleia Legislativa de Minas Gerais. 2016. Projeto de Lei No 3.695/2016 Estabelece normas de segurança para as barragens destinadas à disposição final ou temporária de rejeitos de mineração no Estado. ([http://www.almg.gov.br/atividade\\_parlamentar/tramitacao\\_projetos/texto.html?a=2016&n=3695&t=PL](http://www.almg.gov.br/atividade_parlamentar/tramitacao_projetos/texto.html?a=2016&n=3695&t=PL))
- Azam, S., and Q. Li. 2010. Tailings dam failures: a review of the last one hundred years. *Geotechnical News* **28**: 50–53.
- Bai, Y., R. Wang, and J. Jin. 2011. Water eco-service assessment and compensation in a coal mining region – A case study in the Mentougou district in Beijing. *Ecological Complexity* **8**: 144–152.
- BHP Billiton. 2016a. Samarco – Agreement reached with Brazilians authorities.

- (<http://www.bhpbilliton.com/investors/news/samarco-agreement-reached-with-brazilian-authorities>).
- BHP Billiton. 2016b. Samarco update. (<http://www.bhpbilliton.com/investors/news/samarco-update>)
- Brancalion, P. H. S., L. C. Garcia, R. Loyola, R. R. Rodrigues, V. P. Pillar, and T. M. Lewinsohn. 2016. A critical analysis of the Native Vegetation Protection Law of Brazil (2012): updates and ongoing initiatives. *Natureza & Conservação* **14**: 1–15.
- Boyd, J. 2002. Financial responsibility for environmental obligations: are bonding and assurance rules fulfilling their promises? *Research in Law and Economics* **20**: 417–486.
- DNPM. 2015. Cadastro Nacional de Barragens de Mineração. Departamento Nacional de Produção Mineral. (<http://www.dnpm.gov.br/assuntos/barragens/arquivos-barragens/cadastro-nacional-de-barragens-de-mineracao-dentro-da-pnsb>)
- Edwards, D. P., and W. F. Laurance. 2015. Preventing tropical mining disasters. *Science* **350**: 1482.
- El Bizri, H. R., Macedo, J. C. B., Paglia, A. P., Morcatty, T. Q. 2016. Mining undermining Brazil's environment. *Science* **353**: 228–228.
- Escobar, H. 2015. Mud tsunami wreaks ecological havoc in Brazil. *Science* **350**: 1138–1139.
- Euclides, H. P. 2010. Atualização dos estudos hidrológicos na bacia hidrográfica do rio Doce. In: Atlas digital das águas de Minas: uma ferramenta para o planejamento e gestão dos recursos hídricos. RURALMINAS & UFV. ([http://www.atlasdasaguas.ufv.br/doce/resumo\\_doce.html](http://www.atlasdasaguas.ufv.br/doce/resumo_doce.html))
- Ferreira J., L. E. O. C. Aragão, J. Barlow,

- P. Barreto, E. Berenguer, M. Bustamante, T. A. Gardner, A. C. Lees, A. Lima, J. Louzada, L. Parry, C.A. Peres, R. Pardini, P. S. Pompeu, M. Tabarelli, and J. Zuanon. 2014. Brazil's environmental leadership at risk. *Science* **346**: 706–707.
- Fields, S. 2001. Tarnishing the earth: gold mining's dirty secret. *Environmental Health Perspectives* **109**: 474–481.
- Fioravanti, C. 2016. Impactos visíveis no mar. *Pesquisa FAPESP* **242**: 42–47.
- Franks, D. M., D. V. Boger, C. M. Côte, and D. R. Mulligan. 2011. Sustainable development principles for the disposal of mining and mineral processing wastes. *Resources Policy* **36**: 114–122.
- Garcia, L. C., D. B. Ribeiro, M. V. Cianciaruso, F. A. M. Santos, and R. R. Rodrigues. 2015. Flower functional trait responses to restoration time. *Applied Vegetation Science* **18**: 402–412.
- Garcia, L. C., R. J. Hobbs, D. B. Ribeiro, J. Tamashiro, F. A. M. Santos, and R. R. Rodrigues. 2016. Restoration over time: is it possible to restore trees and non-trees in high-diversity forests? *Applied Vegetation Science* **19**: 655–666.
- Gerard, D. 2000. The law and economics of reclamation bonds. *Resources Policy* **26**: 189–197.
- GIAIA - Grupo Independente de Avaliação do Impacto Ambiental. 2016. Relatório-técnico determinação de metais pesados na bacia do Rio Doce (período dezembro-2015 a abril-2016). ([http://giaia.eco.br/wp-content/uploads/2016/06/Relatorio-GIAIA\\_Metals\\_Vivian\\_revisto5.pdf](http://giaia.eco.br/wp-content/uploads/2016/06/Relatorio-GIAIA_Metals_Vivian_revisto5.pdf))
- IBAMA. 2016a. NOT. TEC. 02001.000606/2016-36 CGMAM/IBAMA

- ([http://www.ibama.gov.br/phocadownload/noticias\\_ambientais/nota\\_tecnica\\_02001\\_000606-2016\\_36.pdf](http://www.ibama.gov.br/phocadownload/noticias_ambientais/nota_tecnica_02001_000606-2016_36.pdf))
- IBAMA. 2016b. Ibama e ICMBio apuram se lama da Samarco atingiu Arquipélago de Abrolhos. (<http://www.ibama.gov.br/publicacoes/ibama-e-icmbio-apuram-se-lama-da-samarco-atingiu-arquipelago-de-abrolhos>)
- Jones, H., and D. V. Boger. 2012. Sustainability and waste management in the resource industries. *Industrial & Engineering Chemistry Research* **51**: 10057–10065.
- Lambertz, M., and J. A. Dergam. 2015. Mining disaster: huge species impact. *Nature* **528**: 39.
- Laurance, W. F. 2008. The real cost of minerals. *New Scientist* **199**: 16.
- Mahiques, M. M., T. J. J. Hanebuth, C. C. Martins, I. Montoya-Montes, J. Alcántara-Carrio, R. C. L. Figueira, and M.C. Bicego. 2016. Mud depocentres on the continental shelf: a neglected sink for anthropogenic contaminants from the coastal zone. *Environmental Earth Sciences* **75**: 44–55.
- Marta-Almeida, M., R. Mendes, F. N. Amorim, M. Cirano, and J. M. Dias. 2016. Fundão Dam collapse: Oceanic dispersion of River Doce after the greatest Brazilian environmental accident. *Marine Pollution Bulletin*. **In Press**.
- Massante, J. C. 2015. Mining disaster: restore habitats now. *Nature* **528**: 39.
- Meira, R., M. S. A. Peixoto, A. L., Coelho, M. A. N., Ponzio, A. P. L., Esteves, V. G. L., Silva, M. C., Câmara, P. E. A. S., Meira-Neto, J. A. A. 2016. Brazil's mining code under attack: giant mining companies impose unprecedented risk to biodiversity. *Biodiversity & Conservation* **25**: 407–409.

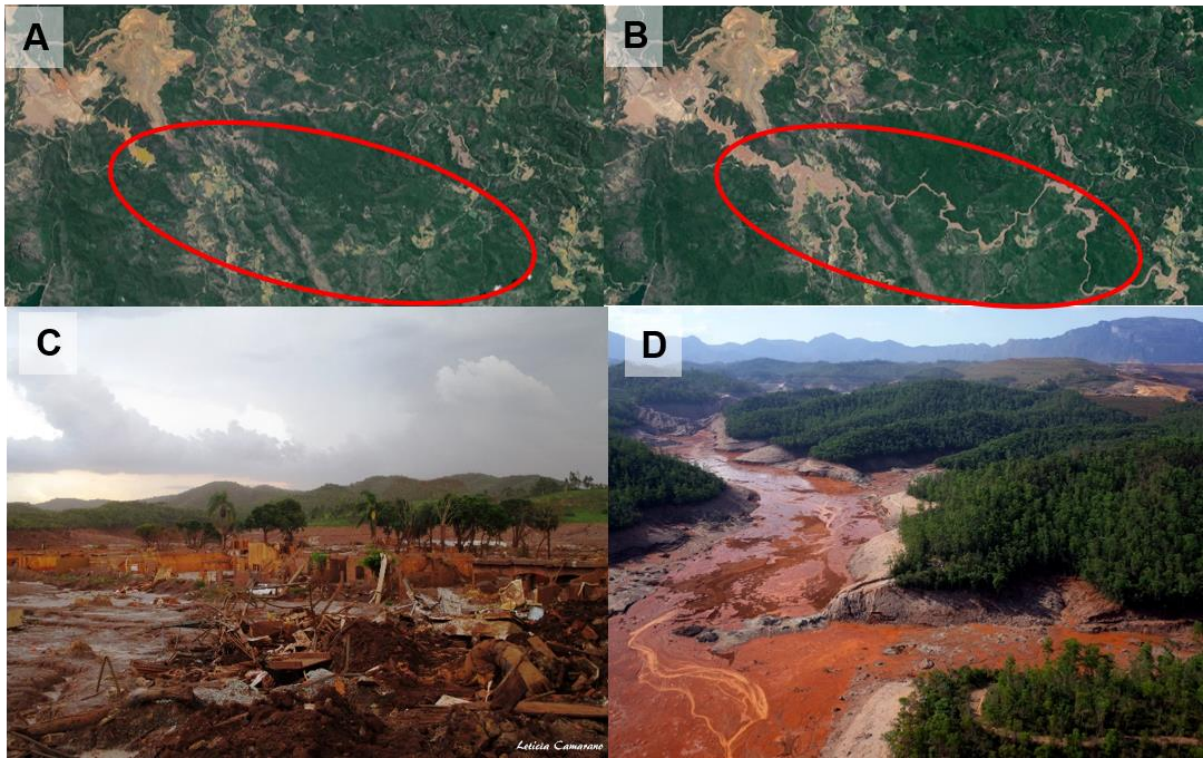
- Miranda, L. S., and A. C. Marques. 2016. Hidden impacts of the Samarco mining waste dam collapse to Brazilian marine fauna - an example from the staurozoans (Cnidaria). *Biota Neotropica* **16**: e20160169.
- Morandini, A. C., S. N. Stampar, A. E. Migotto, and A. C. Marques. 2009. *Hydrocoryne iemanja* (Cnidaria), a new species of Hydrozoa with unusual mode of asexual reproduction. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* **89**: 67–76.
- Nazareno, A. G., and J. R. S. Vitule. 2016. Too many mining disasters in Brazil. *Nature* **531**: 580.
- Neves, A. C. O., F. P. Nunes, F. A. Carvalho, and G.W. Fernandes. 2016. Neglect of ecosystems services by mining, and the worst environmental disaster in Brazil. *Natureza & Conservação* **14**: 24-27.
- Oliveira, A. C. C. O., M. B. Vilar, L. A. G. Jacovine, M. O. Santos, and A. D. Jacon. 2013. Histórico e implementação de sistemas de Pagamentos por Serviços Ambientais no Estado de Minas Gerais. *Sustentabilidade em Debate* **4**: 139–60.
- Roxo, F. F., G. S. C. Silva, C. H. Zawadzki, and C. Oliveira. 2014. *Neoplecostomus doceensis*: a new loricariid species (Teleostei, Siluriformes) from the rio Doce basin and comments about its putative origin. *ZooKeys* **440**: 115–127.
- Salvador, R. B., and D. C. Cavallari. 2014. A new species of *Leiostracus* (Gastropoda, Pulmonata, Orthalicoidea) from Espírito Santo, Brazil. *Iheringia* **104**: 364–366.
- Segura, F. R., E. A. Nunes, F. P. Paniz, A. C. C. Paulelli, G. B. Rodrigues, G. U. L. Braga, W. R. Pereira Filho, F. Barbosa Jr., G. Cerchiaro, F. F.



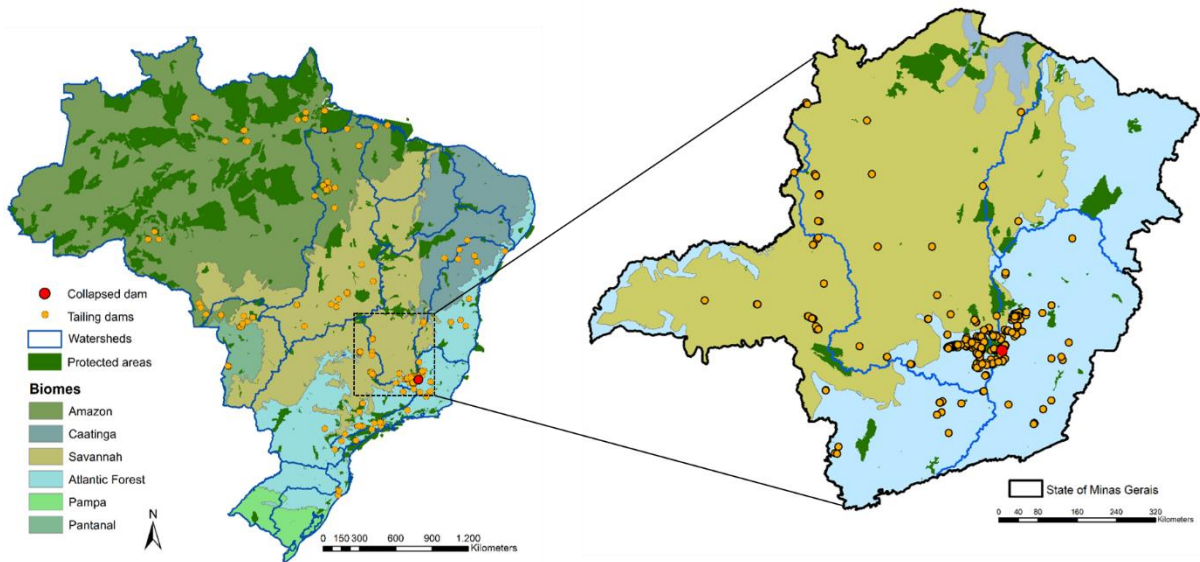
- Silva, and B. L. Batista. 2016. Potential risks of the residue from Samarco's mine dam burst (Bento Rodrigues, Brazil). *Environmental Pollution*. **In Press**.
- Simón, M., F. Martín, I. Ortíz, I. García, J. Fernández, E. Fernández, C. Dorronsoro, and J. Aguilar. 2001. Soil pollution by oxidation of tailing from toxic spill of a pyrite mine. *The Science of the Total Environment* **279**: 63–74.
- SOS Mata Atlântica and INPE. 2015. Análise do impacto sobre áreas de Mata Atlântica do rompimento da barragem localizada no subdistrito de Bento Rodrigues, no município de Mariana – MG. ([https://www.dropbox.com/s/blpifrcox1bpg3e/091215\\_Atlas-Rio-Doce\\_Relatorio\\_final.pdf?dl=0](https://www.dropbox.com/s/blpifrcox1bpg3e/091215_Atlas-Rio-Doce_Relatorio_final.pdf?dl=0))
- Superior Court of Justice (STF). 2016. Reclamação Nº 31.935 - MG (2016/0167729-7). (<http://s.conjur.com.br/dl/stj-suspende-acordo-samarco.pdf>)
- Sugai, L. S. M., J. M. Ochoa-Quintero, R. L. Costa-Pereira, and F. O. Roque. 2014. Beyond aboveground. *Biodiversity and Conservation* **24**: 2109–2112.
- White, B. 2015. Do control rights determine the optimal extension of liability to investors? The case of environmental policy for mines. *Journal of Regulatory Economics* **48**: 26–52.
- White, B. Doole, G., Pannell, D. J., and V. Florec. 2012. Optimal environmental policy design for mine rehabilitation and pollution with a risk of non-compliance due to firm insolvency. *Australian Journal of Agricultural Economics* **56**: 280–301.
- Younger, P. L. 1997. Longevity of minewater pollution: A basis for decision-making. *The Science of the Total Environment* **194–195**: 457–466.

Vela-Almeida, D., G. Brooks, and N. Kosoy. 2015. Setting the limits to extraction: a biophysical approach

to mining activities. *Ecological Economics* **119**: 189–196.



**Figura 1**



**Figura 2**