

ARTIGO ORIGINAL



Desastres em barragens de mineração como riscos sistêmicos

Mining dams disasters as systemic risks

Carlos Machado de Freitas^I , Mariano Andrade da Silva^{II} , Fernanda Carvalho de Menezes^{II} , Zélia Maria Profeta da Luz^{II}

^IFundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública, Centro de Estudos e Pesquisas em Emergências e Desastres em Saúde – Rio de Janeiro (RJ), Brazil.

^{II}Fundação Oswaldo Cruz, Instituto René Rachou, Observatório de Desastres – Rio de Janeiro (RJ), Brazil.

RESUMO

Entre 2015 e 2019, o Brasil registrou os dois mais graves desastres envolvendo barragens de mineração do século XXI. O objetivo deste artigo é oferecer a compreensão desses desastres como riscos sistêmicos, que envolvem desde processos globais e nacionais relacionados aos determinantes sociais que se concretizam em um complexo sistema de barragens distribuídas pelo País com seus riscos intrínsecos. Quando ocorrem, resultam em um conjunto de impactos com potencial de danos e efeitos imediatos combinados com impactos secundários e terciários que podem desencadear reações em cadeia, promovendo fatores de riscos de ocorrência heterogênea e complexa. Abordar esses eventos com base no conceito de risco sistêmico permite uma compreensão mais ampla tanto da singularidade de cada um desses desastres e seus múltiplos processos de exposição, riscos e doenças, como também das características estruturais com que os processos e dinâmicas sociais, políticas e econômicas reproduzem, em múltiplos territórios, um padrão comum de desastres e seus efeitos. Concluímos que a promoção da saúde da população e de territórios sustentáveis deve orientar a organização dos processos produtivos e não o contrário, com a externalização dos custos humanos, ambientais e sociais da mineração e seus desastres.

Palavras-chave: Desastre. Rompimento de barragens. Mineração. Riscos sistêmicos. Redução de riscos de desastres.

AUTOR CORRESPONDENTE: Carlos Machado de Freitas. Avenida Brasil, 4.036, Prédio Expansão, sala 916, CEP: 21040-361, Rio de Janeiro (RJ), Brasil. E-mail: carlos.freitas@ensp.fiocruz.br

CONFLITO DE INTERESSES: nada a declarar

COMO CITAR ESSE ARTIGO: Freitas CM, Silva MA, Menezes FC, Luz ZMP. Desastres em barragens de mineração como riscos sistêmicos. Rev Bras Epidemiol. 2022; 25:e220004.supl.2. <https://doi.org/10.1590/1980-549720220004.supl.2.1>

Esse é um artigo aberto distribuído sob licença CC-BY 4.0, que permite cópia e redistribuição do material em qualquer formato e para qualquer fim desde que mantidos os créditos de autoria e de publicação original.

Recebido em: 19/07/2022

Revisado em: 22/08/2022

Aceito em: 25/08/2022



INTRODUÇÃO

Entre o fim de 2015 e o início de 2019, o Brasil registrou os dois mais graves desastres envolvendo barragens de mineração do século XXI. Em 2015, na mineradora Samarco, em Mariana/MG, houve 19 óbitos e derramamento no meio ambiente de volume >50 milhões m³ de rejeitos, que atingiu 36 municípios em 650 km ao longo da Bacia do Rio Doce. No desastre da Vale S.A., em 2019, foram 270 vítimas e a liberação de 13 milhões de m³ de rejeitos que atingiram, ao menos, 18 municípios na bacia do Rio Paraopeba¹. Dados globais e nacionais demonstram que desastres em barragens não são raros e resultam em imensos custos humanos, ambientais e sociais da indústria extrativa à sociedade.

Para a Saúde Coletiva é importante compreendê-los como produções sociais e riscos sistêmicos. Seus impactos estão muito além do potencial de mortes imediatas e danos à sociedade. Eles envolvem, em sua origem, determinantes com seus processos sociais, políticos e econômicos do global ao local; e, em seus impactos e riscos sistêmicos, combinam contaminantes ambientais que determinam contextos mais amplos de exposição e risco, mudanças abruptas nos contextos socioeconômicos e ambientais e decisões em condições de urgência, carregadas de incertezas, para interromper ou reduzir a exposição, bem como para recuperar as localidades mais afetadas. Por um lado, exigem estratégias específicas para responder aos problemas e necessidades de saúde e doença de curto, médio e longo prazos; por outro, políticas mais amplas que atuem sobre os determinantes sociais para a redução do risco de desastres (RRD)^{1,2}.

O objetivo deste artigo é oferecer a compreensão desses desastres como produções sociais e riscos sistêmicos.

O QUE SÃO DESASTRES

Desastres em barragens de mineração constituem a ponta de um *iceberg*, materializando e potencializando riscos ambientais e à saúde presentes nos territórios em que são realizadas as atividades econômicas minerárias, bem como inúmeros incidentes e acidentes que ocorrem nelas.

Tendo como referência a definição do Escritório das Nações Unidas para Redução de Riscos de Desastres³, desastre constitui qualquer evento ou situação que resulta em uma grave perturbação no cotidiano de uma comunidade ou sociedade, produzindo um conjunto de impactos ambientais, econômicos e sociais, bem como efeitos sobre as condições de vida e saúde, que irão se manifestar em curto, médio e longo prazos. A depender da magnitude do evento, outra característica é exceder as capacidades da comunidade ou sociedade de lidar com o conjunto de seus impactos fazendo uso de seus próprios recursos.

Para que um desastre se realize, é necessário que combine um conjunto de fatores:

1. Um agente ou processo considerado perigoso ou a combinação de ambos, como, por exemplo, o rompi-

mento de uma barragem de mineração envolvendo metais pesados;

2. A exposição de um território e população ao(s) agente(s) ou processo perigoso disparador;
3. Condições de vulnerabilidade social e/ou ambiental, que fazem os territórios e populações, ou partes de ambos, sofrerem maiores e mais duradouros impactos;
4. As capacidades de redução de riscos nos níveis municipal, estadual e nacional, o que envolve um conjunto de órgãos responsáveis pela prevenção (regulação, licenciamento e monitoramento), mitigação (meio ambiente, assistência social, saúde coletiva, proteção e defesa civil) e reconstrução/recuperação em suas diversas dimensões (econômica, social, ambiental e saúde).

Nesse conjunto de fatores que constituem os desastres, óbitos, sintomas, doenças e agravos imediatos constituem apenas uma parte dos efeitos e impactos de um complexo sistema não linear de produção social de múltiplas causas e efeitos.

Nessa perspectiva, os efeitos dos desastres que envolvem barragens de mineração não podem ser reduzidos somente aos aspectos relativos à singularidade do tipo de barragem, à magnitude do rompimento e à extensão geográfica de seus impactos, às características e composição biogeoquímica do rejeito. Envolvem também as dinâmicas da sociedade relacionadas à organização social, política e econômica que sustentam a mineração e suas barragens, como também produzem desigualdades e iniquidades definindo quem será afetado e quem ficará livre de responsabilidades, quem terá garantido dividendos de lucros com a mineração e quem não terá direito integral ao processo de reparação, reabilitação e reconstrução de suas condições de vida e saúde.

CARACTERÍSTICAS DOS DESASTRES EM BARRAGENS DE MINERAÇÃO

A barragem é uma das alternativas para a disposição de rejeito e vem sendo utilizada em larga escala no território brasileiro⁴. O estágio atual da tecnologia empregada na indústria permite minerar em solos de baixa riqueza mineral⁵, elevando a produção de rejeito. Em média, para extrair uma tonelada de minério, cerca de 200 toneladas de rejeitos são produzidas⁴. Apesar do baixo custo econômico associado, quando combinada com políticas frágeis e instituições de fiscalização e controle precarizadas, essa tecnologia constitui-se em cenário profícuo para a ocorrência de desastres⁴, com a externalização dos custos humanos, ambientais e sociais desse processo.

A questão do armazenamento seguro de rejeitos pode se tornar ainda mais desafiadora nos próximos anos. Bowker e Chambers analisaram 214 acidentes em barragens de rejeito de mineração ocorridos nos anos 1940 e 2010. Demonstraram elevação na frequência e gravidade dos desastres, passando as ocorrências gra-

ves ou muito graves de 1/3 (entre 1940 e 1989) para 2/3 dos registros entre o fim do século XX e o início do XXI¹⁵, acompanhada do aumento nos registros de óbitos e na extensão geográfica do impacto, especialmente nas barragens de grande porte^{6,7}.

No que tange aos determinantes sociais, rompimentos de barragens de mineração possibilitam vislumbrar cenários de riscos pouco acessíveis em “situações normais”. Por um lado, expõem características do mercado global de *commodities*, pressões para o aumento da produção, processos limitados de licenciamento ambiental, redução de custos e controle público em favor do autocontrole privado, com consequente precarização das condições de trabalho e segurança⁴. Por outro lado, permite visualizar uma cadeia de eventos que favorece sua ocorrência, mas também amplifica e multiplica os danos^{4,8}.

Além do potencial de danos e efeitos imediatos, os impactos secundários e terciários dos rompimentos de barragens de mineração podem desencadear reações em cadeia, que promovem fatores de riscos de ocorrência complexa e heterogênea. Seus impactos ambientais, que envolvem contaminantes dispersos e acumulados em diferentes compartimentos ambientais (ar, água, solo, alimentos etc.), resultam em uma multiplicidade de efeitos sobre a saúde, como doenças de pele e respiratórias, ampliação e/ou agravamento de doenças crônicas, potencialização da presença de contaminantes nos organismos, saúde mental, entre outros) — efeitos subclínicos, desenvolvimento de doença e agravos ou mesmo a morte — a depender da nocividade do poluente, da intensidade e tempo da exposição e da suscetibilidade individual^{1,8-10}.

Por associarem características de desastres como inundações bruscas e deslizamentos de terra com as de desastres que envolvem contaminantes ambientais, os rompimentos de barragens representam imensos desafios para a Saúde Coletiva em suas dimensões de vigilância e atenção à saúde em longo prazo¹¹. Sua dinâmica resulta em

uma complexidade de problemas e necessidades de saúde que se transformam nos espaços e no tempo, em contextos que envolvem fortes disputas políticas e poderosos interesses econômicos, controvérsias e incertezas científicas, diferentes atores e perspectivas em jogo^{12,13}.

CENÁRIO DE RISCO NACIONAL

Até 1º de junho de 2022, o Brasil possuía, cadastrados na Agência Nacional de Mineração (ANM), 912 projetos minerários que utilizam barragens para a disposição de rejeito em 20 Estados da Federação¹⁴ (Gráfico 1) e que estão presentes em 181 municípios (Figura 1), com Minas Gerais concentrando mais de 1/3 (38,4%).

Das 912 de barragens da mineração classificadas no Sistema de Gestão de Segurança de Barragem de Mineração, 261 (28,6%) estavam classificadas como de dano potencial (DP) alto e 114 (15,8%) como categoria de risco (CR) alto, com outras 400 (43,9%) não classificadas em relação ao DP e à CR. Das 375 classificadas, 37 estavam simultaneamente nas categorias DP e CR alto (Tabela 1), das quais 92% (n=34) em Minas Gerais. Vale ressaltar que as barragens de Fundão, em 2015, e do Córrego do Feijão, em 2019, possuíam classificação de CR baixo e DP alto.

Considerando a exposição ao risco como central no debate sobre barragens de mineração, simulamos *buffers* de 2, 3, 4, 5 e 10 km, com base na coordenada geográfica disponível na ANM, e avaliamos os setores censitários que interseccionavam esses *buffers* para estimar, mesmo que de modo ainda preliminar, o quantitativo populacional e de domicílios que estaria exposto aos impactos da mineração nesses territórios. O cenário de 2 km contemplou 1.955 setores censitários, 251.345 domicílios e 865.056 moradores. Quando considerado o cenário de 10 km, identificamos 21.979 setores, 3.665.452 domicílios e 12.087.719 moradores (Tabela 2)^{15,16}, com milhões de domicílios e moradores expostos aos riscos da mineração.

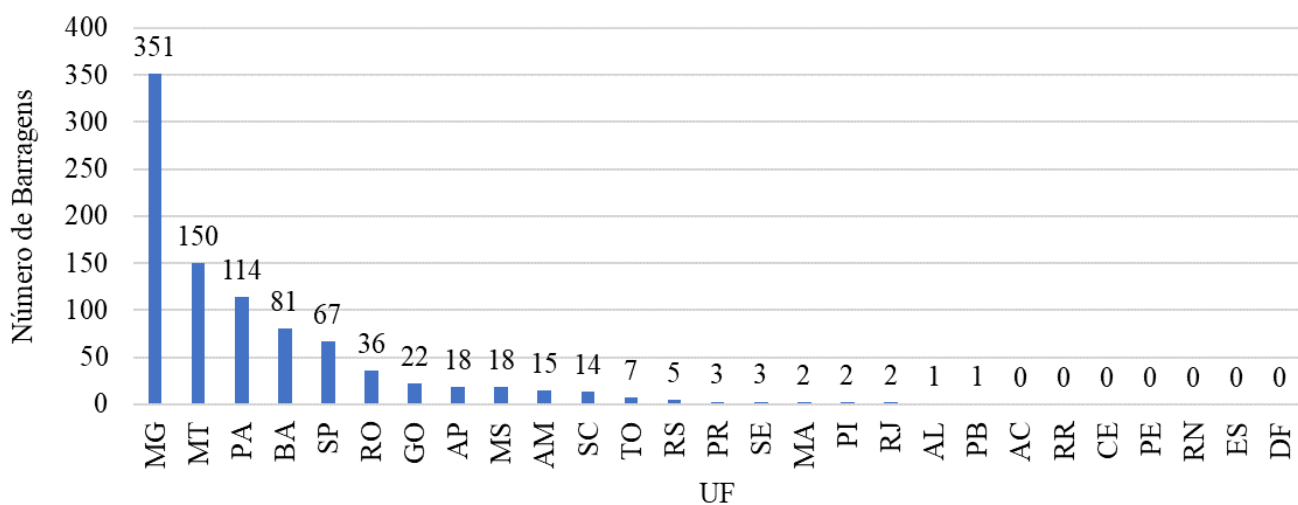


Gráfico 1. Barragens de mineração cadastradas na Agência Nacional de Mineração por unidade federativa (UF), Brasil, 2022¹⁴.

Esses números, ainda que imprecisos, revelam a importância de ampliar o debate sobre riscos, exposições e impactos da mineração, bem como sobre a necessidade

de disponibilidade e transparência em dados relativos a populações expostas a eles. Ao mesmo tempo, a simulação dos *buffers* deve alertar aos gestores dos três níveis do Sistema Único de Saúde (SUS) sobre a necessidade urgente de incorporação do problema numa discussão mais ampla sobre os cenários de riscos e riscos sistêmicos nos planos de saúde dos municípios com barramentos e seu entorno, nos Estados e em nível federal. Com isso será possível a estruturação de pactuações para ganho de escala para o monitoramento ambiental e da saúde da população desde o processo de implantação dos empreendimentos nos territórios e durante toda a existência deles e das barragens — antes, durante e depois de qualquer desastre.

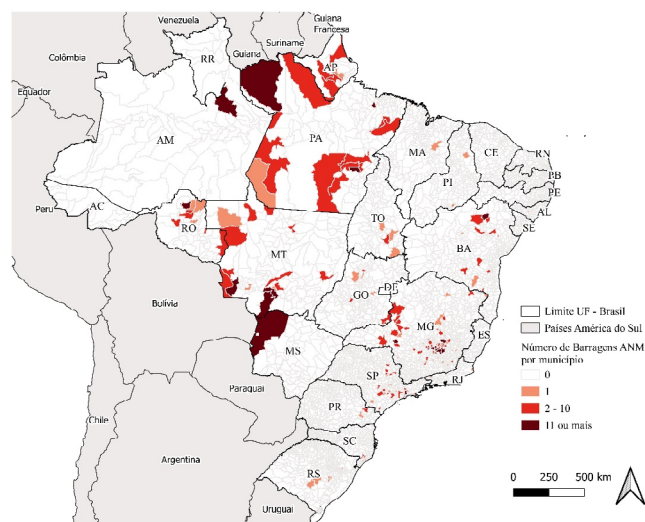


Figura 1. Número de barragens cadastradas na Agência Nacional de Mineração por município. Brasil, 2022¹⁴.

BARRAGENS DE MINERAÇÃO COMO RISCOS SISTÊMICOS

Maskrey et al.² destacam a importância que o conceito de risco sistêmico vem ganhando nas pesquisas acadêmicas e nas políticas públicas sobre desastres. Esse conceito é fundamental para a compreensão dos efeitos de desastres em barragens de mineração, como os de 2015 e 2019,

Tabela 1. Número de barragens segundo categoria de risco e dano potencial associado das barragens cadastradas na Agência Nacional de Mineração, Brasil, 2022¹⁴.

		Dano potencial associado				Total
		Alto	Médio	Baixo	Não classificada	
Categoria de risco	Alto	37	22	55	-	114
	Médio	32	40	14	-	86
	Baixo	192	100	20	-	312
	Não classificada	-	-	-	400	400
Total		261	162	89	400	912

Tabela 2. Simulação de número de domicílios e moradores considerando os setores censitários do Censo de 2010 que interseccionam os *buffers* de 2, 3, 4, 5 e 10 km - Brasil.

Simulação <i>buffer</i>	Número de setores censitários que interseccionam o <i>buffer</i>	Número de setores em branco*	Setor rural	Setor urbano	Número de Municípios (setores censitários que interseccionam o <i>buffer</i>)	Domicílios [†]	% Domicílios	Moradores [‡]	% Moradores
Impacto 2 km	1.955	418	758	1.197	250	251.345	0,44	865.056	0,46
Impacto 3 km	3.432	729	1.035	2.397	273	474.206	0,83	1.625.350	0,86
Impacto 4 km	5.146	1.081	1.313	3.833	293	737.935	1,29	2.519.382	1,33
Impacto 5 km	7.315	1.490	1.601	5.714	317	1.098.472	1,92	3.719.600	1,96
Impacto 10 km	21.979	3.671	3.126	18.853	466	3.665.452	6,39	12.087.719	6,37
Total Brasil	335.527	26.196	77.076	258.451	5.565	57.319.607	100	189.773.996	100

*Número de setores com informação sobre domicílio e moradores em branco; [†]Domicílios particulares permanentes ou pessoas responsáveis por domicílios particulares permanentes (Censo Tabela Básico V001); [‡]Moradores em domicílios particulares permanentes ou população residente em domicílios particulares permanentes (Censo Tabela Básico V002). Para cálculos métricos em camadas geográficas SRC Sirgas 2000, foi realizada a conversão de 1 grau=111.000 m. Dessa maneira, 10.000 m equivalem a aproximadamente 0,09009 grau. Como limite máximo, foi estruturado um *buffer* de 0,09009 grau na camada de pontos das barragens que corresponde a aproximadamente 10 km, definidos em lei (Portaria nº 70.389, de 17 de maio de 2017)¹⁵ como zona de autossalvamento (ZAS: região do vale à jusante da barragem em que se considera que os avisos de alerta à população são da responsabilidade do empreendedor, por não haver tempo suficiente para uma intervenção das autoridades competentes em situações de emergência, devendo-se adotar a maior das seguintes distâncias para a sua delimitação: a distância que corresponda a um tempo de chegada da onda de inundação igual a trinta minutos ou 10 km). Como limite mínimo, foi utilizado o *buffer* de 2 km.

Fonte: Dados extraídos das planilhas do Censo do universo via Plugin do QGIS Censo IBGE.¹⁶

sobre a saúde. O conceito de risco sistêmico permite um entendimento mais amplo tanto da singularidade de cada um desses desastres e de seus múltiplos processos de exposições, riscos e doenças, como também das características estruturais com que os processos e dinâmicas sociais, políticas e econômicas reproduzem, em múltiplos territórios, um padrão comum de eventos e seus efeitos.

Esses desastres apresentam, nas rotas de sua lama de rejeitos, que contém metais pesados e diferentes vias de exposição, a interdependência de processos nas dimensões biológica, ambiental, social e econômica, envolvendo modos e condições de vida e trabalho. As rupturas das barragens e suas rotas de lama provocam intensa e brusca alteração da situação socioambiental, que é o conceito que permite reunir as quatro dimensões interdependentes citadas. Ao ocorrerem, disparam um conjunto de novos processos — alguns de curto e médio prazo, que podem ser mais facilmente registrados por meio de efeitos diretos à saúde, como agravos, doenças e experiências traumáticas diversas, e outros de longo prazo, que são mediados e modulados por processos mais complexos¹⁷. Esses processos envolvem dinâmicas de retroalimentação e interações não lineares entre os riscos que já se encontravam latentes nos territórios atingidos, com os novos riscos que surgem dos desastres². Nesses novos cenários de risco, sobreposições e amplificações da exposição da população aos riscos à saúde constituem uma nova realidade⁸, de modo que os efeitos sobre a saúde não são únicos nem unicausais, mas envolvem múltiplos processos que podem resultar também em efeitos cumulativos em cascata (efeitos diretos que contribuem para efeitos secundários) e/ou compostos (combinação de efeitos simultâneos ou sucessivos)¹⁸.

Resultados de estudos sobre o desastre da Samarco realizados em 2015 apontam alteração abrupta do padrão esperado de saúde, dos ciclos de vetores e de hospedeiros de doenças meses após o evento^{8,10}. Diagnóstico realizado pela Fundação Getúlio Vargas (FGV) para a avaliação dos impactos do rompimento da barragem de Fundão sobre as comunidades atingidas¹⁹, que comparou a incidência de doenças e agravos por 100 mil habitantes nos 45 municípios considerados atingidos e 85 controles, entre 2015 e 2019, projetou a redução de três anos na expectativa de vida na população exposta quando comparada à população controle. Expostos também apresentaram associação positiva com a alteração do padrão esperado de mortalidade associada por arbovírus, com destaque para a febre amarela. Registrou-se aumento nos atendimentos ambulatoriais nos municípios expostos para: chikungunya (elevação em 38 municípios); zika (em 39), febre amarela (em 30); leishmaniose tegumentar americana (em 13); sífilis (em 27); influenza humana por novo subtipo (em 19); violência doméstica, sexual e/ou outras (em 34). Destacam-se doenças respiratórias e dengue, que apresentaram aumento de casos de mais de dez vezes nos municípios atingidos em relação aos controles; e casos de “Creutzfeldt-Jakob”, que emergiram nos municípios atingidos.

A exposição a contaminantes químicos também é fator importante de monitorar e avaliar. Em estudo de avaliação de risco à saúde humana em localidades atingidas, que adotou a metodologia de referência do Ministério da Saúde para contaminantes ambientais, foram considerados os de interesse e estabelecidas as rotas de exposição humana²⁰. Nos municípios de Mariana e Barra Longa (ambos em Minas Gerais), os dois primeiros municípios a jusante da barragem de Fundão, solo superficial foi estabelecido como rota de exposição completa (passado, presente e futuro) para os contaminantes de interesse cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobre (Cu), zinco (Zn) e níquel (Ni). Em Barra Longa, o elemento Cd destaca-se por apresentar, concomitantemente, a rota de exposição completa no ambiente doméstico, quando considerada a exposição à poeira domiciliar. Em Linhares (no Espírito Santo), na foz do Rio Doce e à distância de 600 km do local do desastre, aferiu-se a existência das rotas de exposição completas para os compartimentos ambientais solo superficial, poeira domiciliar e água para consumo humano, considerando-se os elementos arsênio (As), antimônio (Sb), Zn, Pb e Cd — tendo sido este último contaminante estabelecido como de interesse para o solo superficial. Entre as conclusões desse estudo, destaca-se que tanto municípios próximos ao local do desastre (Barra Longa/MG) quanto os distantes centenas de quilômetros (Linhares/ES) foram classificados na categoria A: perigo urgente para a saúde pública.

Esses diferentes resultados de pesquisas realizadas sobre o desastre da Samarco em 2015 revelam a complexidade dos impactos de tais eventos, demandando que avancemos em abordagens sistêmicas e de longo prazo sobre impactos e efeitos que são múltiplos e não lineares, que se transformam no tempo e se sobrepõem.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conhecer os territórios impactados pelos desastres e os problemas e necessidades de saúde das populações expostas e afetadas, incorporando as lições aprendidas com outros desastres tecnológicos ocorridos no Brasil e no mundo, é fundamental para as políticas de RRD, de modo geral, e também para o aprimoramento do SUS. No âmbito da gestão pública do SUS, os planos de saúde devem contemplar as análises e cenários de risco das barragens como problema de saúde pública, bem como integrar ações de prevenção, alerta, preparação, resposta, reconstrução e recuperação da saúde em desastres.

É a promoção da saúde da população e de territórios sustentáveis que deve orientar como devem se organizar os processos produtivos, e não o contrário, com a externalização dos custos humanos, ambientais e sociais deles. Assim, é fundamental que o SUS, em todas as áreas do País onde haja atividades de mineração, se organize para repensar como lidar com a saúde da população e os empreendimentos minerários, desde seu processo licenciamento,

implantação e operação até o de descomissionamento — momento em que as atividades da estrutura se encerram e que também traz impactos sobre a saúde, como temos acompanhando no Observatório Desastres da Mineração — Redução de Riscos e Direitos Humanos, na Fiocruz MG.

REFERÊNCIAS

1. Freitas CM, Barcellos C, Asmus CIRF, Silva MA, Xavier DR. Da Samarco em Mariana à Vale em Brumadinho: desastres em barragens de mineração e Saúde Coletiva. *Cad Saúde Pública* 2019; 35(5): e00052519. <https://doi.org/10.1590/0102-311X00052519>
2. United Nations Development Programme. The social construction of systemic risk: towards an actionable framework for risk governance. Geneva: United Nations Office of Disaster Risk Reduction; 2021. [acessado em 12 mar. 2022] Disponível em: <https://www.undp.org/publications/undp-social-construction-systemic-risk-towards-actionable-framework-risk-governance>
3. United Nations Office for Disaster Risk Reduction. Words into Action man-made and technological hazards. Practical considerations for addressing man-made and technological hazards in disaster risk reduction. 2018. Geneva: United Nations Office of Disaster Risk Reduction; 2018. [acessado em 13 jan. 2019] Disponível em: https://www.preventionweb.net/files/54012_manmadetechhazards.pdf
4. Freitas CM, Silva MA. Acidentes de trabalho que se tornam desastres: os casos dos rompimentos em barragens de mineração no Brasil. *Rev Bras Med Trab* 2019; 17(1): 21-9. <https://doi.org/10.5327/Z1679443520190405>
5. Bowker LN, Chambers DM. The risk, public liability & economics of tailings storage facility failures. *Earthwork Act* 2015; 24: 1-56. [acessado em 15 jan. 2020] Disponível em: http://earthworks.org/files/pubs-others/BowkerChambers-RiskPublicLiability_EconomicsOfTailingsStorageFacility%20Failures-23Jul15.pdf
6. Silva MA. Rompimento de barragem de mineração e saúde: lições aprendidas e não aprendidas dos desastres da Samarco e da Vale S.A. [tese de doutorado]. Rio de Janeiro: Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ); 2021.
7. Rico M, Benito G, Diez-Herrero A. Floods from tailings dam failures. *J Hazard Mater* 2008; 154(1-3): 79-87. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.09.110>
8. Silva MA, Freitas CM, Xavier DR, Romão AR. Sobreposição de riscos e impactos no desastre da Vale em Brumadinho. *Cienc Cult* 2020; 72(2): 21-8. <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602020000200008>
9. Noal DS, Rabelo IVM, Chachamovich E. O impacto na saúde mental dos afetados após o rompimento da barragem da Vale. *Cad Saúde Pública* 2019; 35(5): e00048419. <https://doi.org/10.1590/0102-311X00048419>
10. Peixoto SV, Asmus CIRF. O desastre de Brumadinho e os possíveis impactos na saúde. *Cienc Cult* 2020; 72(2): 43-6. <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602020000200012>
11. Lucchini RG, Hashim D, Acquilla S, Basanets A, Bertazzi PA, Bushmanov A, et al. A comparative assessment of major international disasters: the need for exposure assessment, systematic emergency preparedness, and lifetime health care. *BMC Public Health* 2017; 17(1): 46. <https://doi.org/10.1186/s12889-016-3939-3>
12. Wynne B. Uncertainty and environmental learning. *Reconceiving science and policy in the preventive paradigm*. *Global Environmental Change* 1992; 2(2): 111-27. [acessado em 24 ago. 1996] Disponível em: http://tbauler.pbworks.com/w/file/etch/48548191/Wynne_uncertainty%20and%20enviornmental%20learning.pdf
13. De Marchia B, Ravetz JR. Risk management and governance: a post-normal science approach. *Futures* 1999; 31(7): 743-57. [https://doi.org/10.1016/S0016-3287\(99\)00030-0](https://doi.org/10.1016/S0016-3287(99)00030-0)
14. Brasil. Agência Nacional de Mineração. Sistema de Gestão de Segurança de Barragem de Mineração. Pesquisar barragens [Internet]. 2022 [acessado em 01 jun. 2022] Disponível em: <https://app.anm.gov.br/SIGBM/Publico/ClassificacaoNacionalDaBarragem>
15. Brasil. Agência Nacional de Mineração. Portaria nº 70.389, de 17 de maio de 2017. Cria o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração, o Sistema Integrado de Gestão em Segurança de Barragens de Mineração e estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem, das Inspeções de Segurança Regular e Especial, da Revisão Periódica de Segurança de Barragem e do Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração, conforme art. 8º, 9º, 10, 11 e 12 da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens — PNSB [Internet]. [acessado em 9 set. 2022] 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnmp/documentos/portaria-dnmp-n-70389-de-17-de-maio-de-2017-seguranca-de-barragens/@@download/file/portaria-no-70389-de-17-de-maio-de-2017-com.pdf>
16. QGIS.org, A free and open-source geographic information system. QGIS Geographic Information System. QGIS Association. [Internet]. [acessado em 9 set. 2022] 2017. Disponível em: <http://www.qgis.org>
17. Hales S, Butler CD, Woodward A, Corvalan C. Health aspects of the millennium ecosystem assessment. *EcoHealth* 2004; 1(2): 124-8. <https://doi.org/10.1007/s10393-004-0085-7>
18. Leppold C, Gibbs L, Block K, Reifels L, Quinn P. Public health implications of multiple disaster exposures. *Lancet Public Health* 2022; 7(3): e274-e286. [https://doi.org/10.1016/S2468-2667\(21\)00255-3](https://doi.org/10.1016/S2468-2667(21)00255-3)
19. Fundação Getúlio Vargas. Análise de agravos notificados às bases do DATASUS – Parte 1. Rio de Janeiro: FGV; 2019 [Internet] [acessado em 4 jun. 2022] Disponível em: <https://hdl.handle.net/10438/29018>
20. Silva AP. Estudo de avaliação de risco à saúde humana em localidades atingidas pelo rompimento da Barragem do Fundão. *Ambios* [Internet] 2019 [acessado em 13 jul. 2022] Disponível em: <https://apublica.org/wp-content/uploads/2019/11/ambios-arsh-mariana-e-barra-linga-final-20190417.pdf>

ABSTRACT

Between 2015 and 2019, Brazil recorded the two most serious disasters involving mining dams of the 21st century. The purpose of this article is to offer an understanding of these disasters as systemic risks. They involve from global and national processes related to social determinants that materialize in a complex system of dams distributed throughout the country with their intrinsic risks. When they occur, result in a set of impacts with potential damage and immediate effects combined with secondary and tertiary impacts that can trigger chain reactions, which promote risk factors of heterogeneous and complex occurrence. Approaching these events from the point of view of systemic risk allows for a broader understanding of both the singularity of each of these disasters and their multiple exposure, risk and disease processes, as well as the structural characteristics in which social, political processes and dynamics and economic factors reproduce in multiple territories a common pattern of disasters and their effects. We conclude that the promotion of population health and sustainable territories should guide the organization of production processes and not the opposite, with the externalization of human, environmental and social costs of mining and its disasters.

Keywords: Disaster. Dam failure. Mining. Systemic risk. Disaster risk reduction.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES: Freitas, C.M.: Análise formal, Conceituação, Escrita – primeira redação, Escrita – revisão e edição, Investigação. Silva, M.A.: Análise formal, Conceituação, Escrita – primeira redação, Investigação, Metodologia. Menezes, F.C.: Análise formal, Curadoria de dados, Investigação, Metodologia. Luz, Z.M.P.: Administração do projeto, Análise formal, Obtenção de financiamento, Recursos.

FONTE DE FINANCIAMENTO: Fundação Oswaldo Cruz por meio do Programa Inova.

