CONFLITOS, RISCOS E IMPACTOS ASSOCIADOS A BARRAGENS

UNICAMP

Universidade Estadual de Campinas

Reitor
Paulo Cesar Montagner

Coordenador Geral da Universidade
Fernando Antonio Santos Coelho

EDITORA UNICAMP

Conselho Editorial

Presidente
Edwiges Maria Morato

Carlos Raul Etulain – Cicero Romão Resende de Araujo
Dirce Djanira Pacheco e Zan – Frederico Augusto Garcia Fernandes
Iara Beleli – Marco Aurélio Cremasco – Pedro Cunha de Holanda
Sávio Machado Cavalcante – Verónica Andrea González-López

Jefferson L. Picanço
José Mario Martínez
Claudia Pfeiffer
João Frederico Meyer
(Org.)

CONFLITOS, RISCOS E IMPACTOS ASSOCIADOS A BARRAGENS

EDITORA UNICAMP

SISTEMA DE BIBLIOTECAS DA UNICAMP
DIVISÃO DE TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO
Bibliotecária: Gardênia Garcia Benossi – CRB-8ª / 8644

C76 Conflitos, riscos e impactos associados a barragens / organizadores Jefferson L. Picanço ... [*et al.*] – Campinas, SP : Editora da Unicamp, 2025.

1. Meio ambiente. 2. Falhas em barragens. 3. Impacto ambiental. 3. Falhas em barragens – Modelos matemáticos. 4. Divulgação científica. I. Picanço, Jefferson de Lima, 1963-.

CDD – 333.7
– 363.349
– 363.7
– 620.0040151
– 507

ISBN: 978-85-268-1803-3

Copyright © Jefferson L. Picanço
José Mario Martínez
Claudia Pfeiffer
João Frederico Meyer
Copyright © 2025 by Editora da Unicamp

Opiniões, hipóteses e conclusões ou recomendações expressas neste livro são de responsabilidade dos organizadores e não necessariamente refletem a visão da Editora da Unicamp.

Direitos reservados e protegidos pela lei 9.610 de 19.2.1998.
É proibida a reprodução total ou parcial sem autorização, por escrito, dos detentores dos direitos.

Foi feito o depósito legal.

Editora associada à

Associação Brasileira das Editoras Universitárias

Direitos reservados a

Editora da Unicamp
Rua Sérgio Buarque de Holanda, 421 – 3º andar
Campus Unicamp
CEP 13083-859 – Campinas – SP – Brasil
Tel.: (19) 3521-7718 / 7728
www.editoraunicamp.com.br vendas@editora.unicamp.br

Agradecimentos

Um livro como este não se faz sozinho. Além dos organizadores e dos autores, muitas pessoas mais colaboraram para que este livro surgisse. Agradecemos aos revisores dos capítulos, cujo trabalho competente ajudou muito a melhorar os textos técnicos e tão cheios de jargões que produzimos. A montagem e a revisão de um livro deste porte contaram com diversos apoios preciosos. Agradecemos a Ivan Nascimento, doutor em Matemática Aplicada pela Unicamp, que montou a primeira estrutura do livro em LaTeX. Da mesma forma, agradecemos ao Prof. Dr. Diego Samuel Rodrigues, o qual, com muito esforço e paciência, efetuou muitos acertos ao longo do livro. A revisão final do arquivo ficou a cargo do trabalho minucioso do Prof. Dr. Maicon Ribeiro Correa, a quem somos muito gratos. Fica aqui igualmente registrado um agradecimento especial à Profa. Dra. Verónica Andrea González-López, por sua atuação decisiva no processo de finalização deste livro. Também somos gratos ao corpo técnico da Editora da Unicamp pelas observações e pelas sugestões que tanto melhoraram a estrutura do livro. Somos igualmente muito gratos ao Instituto de Estudos Avançados da Unicamp (IdEA), que deu suporte decisivo para muitas de nossas iniciativas. Agradecemos também aos colegas todos do Grupo de Pesquisa, Extensão e Ação sobre Riscos e Impactos Associados a Barragens (Criab), que participaram, cada qual do seu modo, de todo o processo de discussão, elaboração e finalização do livro. A toda a comunidade acadêmica de outros grupos de estudo e universidades, que sempre participou de nossas discussões, nos apoiou e nos deu suporte, também nosso muito obrigado. Por último, mas não menos importante, nossa solidariedade a todos os atingidos por rompimentos de barragens de rejeitos de mineração, ainda lutando por sua dignidade e por seus direitos.

Sumário

Prefácio **13**

Introdução **15**

1 Contaminação de sedimentos, solos e da biota em rompimentos de barragens de rejeitos: contribuições da geoquímica e da ecotoxicologia **21**
1.1 Introdução 21
1.2 Contaminação de bacias hidrográficas por rejeito de mineração 23
1.3 A contaminação de sedimentos 25
1.4 Impactos do fluxo de rejeitos nos solos 27
1.5 Ecotoxicologia de água e solo 28
1.6 Testes agudos e crônicos 29
1.7 Bioindicadores utilizados 30
1.8 Protocolos 33
1.9 Perspectivas atuais e futuras 36
Referências 37

2 Fitotecnologias: interação entre plantas e microrganismos para remoção de elementos potencialmente tóxicos **47**
2.1 Introdução 47
2.2 Contaminação do solo 48
2.3 Fitorremediação como técnica para recuperação de áreas degradadas 50
2.4 A importância socioambiental da fitorremediação em áreas contaminadas pela mineração 51
2.5 Metodologias para fitorremediação e emprego de plantas hiperacumuladoras 53
2.6 Fitoextração induzida por agentes quelantes 57
2.7 Simbioses radiculares como mediadores nos processos de fitorremediação . . 58
2.8 Indicadores de qualidade e monitoramento de áreas impactadas por elementos-traço 60

2.9 Considerações finais e perspectivas 61
Referências 62

3 A produção de desastres na mineração em larga escala (2000-2021) 71
3.1 Introdução 71
3.2 Barragens de rejeitos de mineração em larga escala 72
3.3 Rompimentos de barragens de mineração em larga escala 76
3.4 A produção de desastres 79
3.5 Considerações finais 82
Referências 83

4 Insegurança hídrica em área atingida por desastre: uma análise sobre o Rio Paraopeba e seus afluentes em Brumadinho/MG 91
4.1 A ocupação histórica no Rio Paraopeba e seus afluentes em Brumadinho . . 92
4.2 O impacto da lama de rejeitos no Rio Paraopeba e seus afluentes em Brumadinho 96
4.3 Segurança hídrica em zonas de desastre 98
4.4 Considerações finais 103
Referências 104

5 O uso da Internet das Coisas (IoT) para segurança de barragens e da comunidade 113
5.1 Introdução 113
5.2 Arquiteturas, modelos, tecnologias e protocolos selecionados pela IoT 114
5.3 Aplicações selecionadas pela IoT 115
5.4 O uso das tecnologias da IoT em segurança de barragens e de comunidades . 117
5.5 Sistema de monitoramento de segurança de barragens de rejeitos 120
5.6 Proposta de projeto de uma rede de IoT para segurança de barragens e da comunidade 121
Referências 123

6 Segurança de barragens e a legislação brasileira 125
6.1 Legislações 125
6.2 Fiscalização 129
6.3 Conclusões 139
Referências 140

7 Introdução à modelagem numérica de canais naturais 143
7.1 Introdução 143
7.2 Modelagem do Escoamento em canais 144
7.3 Resolução Numérica das Equações de Saint-Venant 151
7.4 Estudos Numéricos 155
7.5 Conclusões 160
Referências 160

8 Modelos matemáticos de brechas em barragens 163
8.1 Introdução 163
8.2 Primeira metodologia: DLBreach 165
8.3 Segunda metodologia: modelando a brecha como um canal 176
Referências 191

9 Identificação do impacto da ruptura de barragens de rejeitos 193
9.1 Introdução 193
9.2 Fundamentos 199
9.3 Estimações e estratégia 202
9.4 Casos especiais 212
9.5 Conclusão 216
Referências 218

10 Modelos matemáticos de rompimento das barragens de aterro, uma revisão 219
10.1 Introdução 219
10.2 Parâmetros utilizados nos modelos 220
10.3 Rompimento por galgamento e erosão interna 223
10.4 Modelos “feitos nas unhas” que usam bases de dados 226
10.5 Modelos paramétricos 228
10.6 Modelos físicos 231
10.7 Conclusões 234
10.8 Lista de siglas e acrônimos 235
Referências 235

11 Cálculo dos parâmetros necessários para a simulação de fluidos em canais naturais a partir de medições simples 239
11.1 Introdução 239
11.2 Equações de Saint-Venant 240
11.3 Formas alternativas para a equação de quantidade de movimento 243
11.4 Dificuldade para conhecer as condições iniciais 244
11.5 Determinação da forma da área transversal 244
11.6 Quando a parábola cúbica falha 247
11.7 Velocidades, conservação da massa e correção de áreas 250
11.8 Coeficientes de Manning e inclinação do solo 252
11.9 Evolução do sistema 254
11.10 Cálculos necessários em cada passo temporal para a evolução do sistema . 256
11.11 Conclusões 257
Referências 257

12 Potencial de uso de modelos de simulação 2D para prevenção de catástrofes em rompimento de barragens de rejeitos 259
12.1 Introdução 259
12.2 Simulações de escorregamentos e quedas de blocos realizadas com Titan2D 260
12.3 Experimento de aplicação do Titan2D no rompimento da barragem de rejeitos em Brumadinho 261
12.4 Experimento com uso do Hand para mapear áreas com risco de inundação na área da barragem de rejeitos em Brumadinho 270
12.5 Conclusões 271
Referências 276

13 GT Educação e Sociedade – recortes de um percurso coletivo de construções de espaços para dizer dos conflitos, riscos e impactos associados a barragens 277
13.1 Introdução 278
13.2 Bases de trabalho 279
13.3 Escritas coletivas 287
13.4 Considerações finais 300
Referências 300

Sobre as autoras e os autores **303**

Prefácio

Lira Itabirana
O Rio? É doce.
A Vale? Amarga.
Ai, antes fosse
Mais leve a carga.

Entre estatais
E multinacionais,
Quantos ais!

A dívida interna.
A dívida externa
A dívida eterna.

Quantas toneladas exportamos
De ferro?
Quantas lágrimas disfarçamos
Sem berro?

(Carlos Drummond De Andrade
Publicado originalmente em 1984 no jornal *Cometa Itabirano*)

Com satisfação ímpar lançamos o primeiro livro do Criab, o Grupo de Pesquisa, Extensão e Ação sobre Riscos e Impactos Associados a Barragens. O grupo ganhou sua forma atual aos poucos, como é próprio da ciência em curso. Seu princípio se fez em torno do rompimento da barragem em Brumadinho/MG, no dia 25 de janeiro de 2019, completando, em 2025, seis anos de consequências inomináveis.

A reunião do grupo se deve ao seu coordenador, Jefferson Picanço, docente do Instituto de Geociências da Unicamp, que pôde acompanhar *in loco* os primeiros efeitos do rompimento da barragem do Córrego do Feijão e as primeiras ações necessárias diante desse desastre-crime. Durante sua estada no território, Picanço escreveu, no *Jornal da Unicamp*, o Diário

de Brumadinho (https://www.unicamp.br/unicamp/noticias/diario-de-brumadinho), aproximando ainda mais a comunidade universitária do contexto desolador vivido pela população da região. De volta a Campinas, Jefferson Picanço propôs à administração superior da Universidade que se abrisse espaço na instituição para a construção de um grupo que envolvesse toda a comunidade com vistas a colaborar, de modos diversos, com as causas e consequências desse terrível rompimento. Ainda em fevereiro, houve uma reunião convocada por Picanço povoada por um incontável número de pessoas advindas de diferentes áreas da universidade, entre técnico-administrativos, alunos de graduação e de pós-graduação, docentes e pesquisadores. Nas reuniões que se seguiram, ainda em 2019, com o objetivo de construir um modo de funcionamento para o amplo grupo, percebeu-se que era preciso também ampliar o escopo de ação para além do acontecimento em Brumadinho. O nome do grupo materializa, em sua sigla, o objetivo geral que temos buscado alcançar: o de colaborar, em suas diferentes dimensões, com o aprofundamento da compreensão e da percepção sobre os conflitos, os riscos e os impactos associados à construção de barragens.

Desde 2020, o Criab se organiza em torno de três grupos temáticos. O GT Meio Físico e Biótico; o GT Engenharia Matemática; e o GT Educação e Sociedade. Cada um desses GTs, com suas formas singulares de se organizar, tem seus próprios objetivos, articulados aos objetivos gerais do Criab.

Em linhas gerais, o GT Meio Físico e Biótico busca investigar a dinâmica dos ciclos biogeoquímicos em ecossistemas atingidos por rompimentos de barragens, através do uso de metodologias, de técnicas de coletas e de análises no âmbito da geoquímica e da ecotoxicologia. Formado por pesquisadores da geologia, da biologia e da engenharia, o grupo monitora e avalia os impactos causados pelos rompimentos de barragens nas diferentes matrizes ambientais, tendo como ponto de partida que os desastres são fenômenos sociais, cuja análise depende de uma conjuntura política e social. Por seu turno, o GT Engenharia Matemática, se propõe a entender, modelar, prever e colaborar com a mitigação dos desastres vinculados a rompimento de barragens e temas relacionados, do ponto de vista físico, matemático e de engenharia. Para isso, o GT conta com matemáticos, especialistas em computação, engenheiros, estatísticos e físicos que se reúnem semanalmente para seminários e discussões interdisciplinares. Por fim, o GT Educação e Sociedade ancora seu trabalho na formação e na divulgação científica como modos de trabalhar com as populações atingidas pela presença de barragens e, ao mesmo tempo, como modos de promover a percepção sobre outros sentidos implicados na construção de barragens que normalmente não são visíveis para a sociedade em geral. O GT reúne pesquisadores de distintas áreas disciplinares, com graduandos, pós-graduandos e docentes e pesquisadores, envolvidos na construção de práticas de resistência ao modelo hegemônico.

O livro que organizamos tem o objetivo de reunir um pouco do que vem sendo realizado no interior de cada um desses grupos temáticos. Boa leitura!

Jefferson L. Picanço
José Mario Martínez
Claudia Pfeiffer
João C. A. Frederico Meyer

Introdução

Jefferson L. Picanço

Este livro nasceu da imensurável comoção provocada pelo grande desastre da Vale em Brumadinho, em 25 de janeiro de 2019. No final da tarde daquele dia, o país ficou perplexo ao se defrontar com uma tragédia em muito semelhante à que havia ocorrido no desastre da Samarco/Fundão em Mariana, somente quatro anos antes, mas agora com uma diferença crucial: o número de vítimas fatais. Em comparação às 19 vítimas fatais do desastre do rompimento da barragem do Fundão, havia agora pelo menos duas centenas de mortos, e os números finais fecharam em 272 vítimas. Um sentimento de urgência tomou conta das pessoas. Era preciso fazer alguma coisa.

A comoção do desastre pegou em cheio, também, a comunidade acadêmica. Nas universidades, todos experimentaram, em meio à tristeza e à revolta, o sentimento de que havia algo por ser feito. Na Unicamp, uma reunião no dia 12 de fevereiro de 2019 foi chamada conclamando pelas competências da Universidade para entender o que havia acontecido e o que havia por fazer, sempre olhando as vítimas mais desfavorecidas e apagadas da tragédia, como as comunidades ribeirinhas, os povos originais, as comunidades quilombolas, as populações suburbanas.

A partir dessa reunião foi fundado o Criab (Grupo de Pesquisa, Extensão e Ação sobre Riscos e Impactos Associados a Barragens), um grupo multidisciplinar que desde então procurou entender e definir o que estava acontecendo, mediante contatos com outros grupos semelhantes e principalmente com as vítimas do desastre. O grupo estabeleceu três grupos de trabalho (ou GTs) que procuraram conversar entre si: Educação e Sociedade, Meio Físico e Biótico e Engenharia Matemática. Desde então, o grupo tem participado ativamente dessa discussão, seja organizando encontros e debates, seja realizando trabalhos de pesquisa e coleta e análise de material *in loco*, seja pensando em modelos matemáticos que possam dar conta dos fenômenos observados nos desastres com barragens.

Este livro é composto das questões científicas e metodológicas que foram feitas desde então pelos pesquisadores do Criab. Essencialmente, os textos aqui presentes procuram apresentar, de maneira multidisciplinar, diversos aspectos dos desastres com barragens, do ponto de vista de cada um dos pesquisadores, partindo de suas formações e vivências. A multidisciplinaridade

tem sido um dos maiores desafios e uma das maiores virtudes do Criab. Como se sabe, a multidisciplinaridade é um processo de aproximações entre profissionais de áreas distintas que implicam a construção de uma língua comum entre as diferentes linguagens disciplinares. Tem muito da vontade de querer falar essa língua, e tem muito da vontade de se aproximar do saber do outro. Esse tem sido um dos mais constantes desafios do Criab. Este livro é uma prova e uma consequência desses processos. Os textos aqui apresentados refletem essa tentativa de estabelecer uma ciência que possa ser ao mesmo tempo multidisciplinar, participante e cidadã.

Os desastres associados ao rompimento de barragens de rejeitos de mineração, ao contrário do que se pensa, são bastante comuns. No Capítulo 3 deste livro, é discutida a ocorrência desses desastres no planeta, focando suas implicações na economia e na política. Barragens de rejeitos de mineração, como discutido no texto, são bastante frágeis, construídas com o próprio material do rejeito. Como se trata de estruturas secundárias ao processo de extração de minérios, as barragens de rejeito de mineração são, em geral, construídas com tecnologia bem inferior às demais empregadas no mesmo projeto. As mineradoras têm extraído minérios, nos anos recentes, em quantidades cada vez maiores. A relação estéril/minério tem ficado cada vez maior, com o consequente aumento na quantidade de rejeito produzida. Em função da maior exploração de recursos e da melhor tecnologia de extração disponível, essas barragens estavam ficando cada vez maiores e mais instáveis. Conforme veremos, uma vez que são estruturas secundárias e suscetíveis a cortes de financiamento em épocas de baixo investimento, os períodos de queda de preço de *commodities* são aqueles com a ocorrência de maior número de desastres. Nas minerações de grande porte, esses desastres têm se intensificado e alcançado áreas de atingimento cada vez maiores.

Quando ocorrem os desastres relacionados com o rompimento de barragens de rejeitos, uma das questões mais agudas diz respeito ao impacto que causam à sociedade e ao meio natural. Esses impactos são tratados no Capítulo 1, que apresenta e discute uma série de fenômenos envolvendo a interação da água dos sedimentos fluviais com os diferentes tipos de rejeitos de mineração. Nesse capítulo são discutidos os impactos que ocorrem durante os desastres e depois deles, e que afetam fortemente o canal dos rios e suas áreas ribeirinhas, atingindo toda a fauna e a flora da bacia afetada. Também são discutidos alguns métodos e abordagens da ecotoxicologia da água e do solo, com o objetivo de entender os impactos associados à flora e fauna ribeirinhas e bentônicas. Esses métodos envolvem o cultivo e o tratamento de amostra de solo e água para organismos bioindicadores específicos, como os *Enchytraeus crypticus*, *Folsomia candida* para as análises de solo e dos *Chironomus* para o caso da água. No texto, são discutidos os protocolos envolvidos nesses testes e seu uso, para entender os diferentes casos de contaminação que ocorrem durante e após os rompimentos de barragens.

O uso de fitotecnologias para trabalhos de remediação e mitigação de impactos causados por desastres com rejeitos de mineração é discutido no Capítulo 2. Nesse capítulo são discutidas as diferentes formas de contaminação de solos com elementos-traço, metais catiônicos e oxiânions que normalmente estão presentes em baixas concentrações no ambiente, bem como as diferentes técnicas de reabilitação, com destaque para os métodos de fitorremediação. Entre

os principais métodos discutidos estão a fitoestabilização, a fitodegradação, a fitovolatilização, a fitoextração e a rizodegradação. O texto apresenta também uma discussão importante sobre os indicadores de qualidade e monitoramento em áreas contaminadas por elementos-traço, como são caracterizados muitos elementos potencialmente tóxicos.

A questão das barragens também está fortemente vinculada às questões sobre o uso da água no território. O Capítulo 4 trata dos problemas de insegurança hídrica causados nas regiões mineradoras, com ênfase na região metropolitana de Belo Horizonte – pelo desastre da Vale/Brumadinho. O texto faz uma retrospectiva dos problemas históricos da luta pela água na região e um balanço dos problemas originados do imediato pós-desastre. A seguir, faz uma discussão sobre diversos aspectos da (in)segurança hídrica em regiões mineradoras.

A legislação brasileira para barragens, sejam elas barragens de água, para produção de energia elétrica, para acumulação de resíduos industriais, de mineração ou de materiais nucleares, é discutida no Capítulo 6, no qual são apresentados os marcos legais desse tema no Brasil, em especial a Lei nº 14.066/2020 e as principais alterações recentes do Plano Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). E faz uma ampla discussão dessa lei e de suas implicações, abordando temas como as características do enquadramento de barragens na legislação, os métodos construtivos, assim como as responsabilidades do empreendedor. Também trata da necessidade e estruturação da fiscalização, bem como do Relatório de Segurança de Barragens e do Plano de Ação de Barragens (PAE).

Uma questão importante nos desastres é a dos alarmes precoces. Sugere-se, no Capítulo 5, uma proposta de solução tecnológica para o aumento da segurança de barragens e consequente diminuição de risco para a comunidade e dos impactos de um rompimento. Nesse capítulo é discutido o uso de sensores, medidores e atuadores para a segurança de barragens, envolvendo uma discussão sobre sistemas de alerta para as comunidades empregando as tecnologias da internet das coisas. A modelagem matemática é uma poderosa ferramenta para estudar o rompimento de barragens e suas consequências. Os capítulos subsequentes deste livro tratam de diversos aspectos da modelagem matemática de rompimento de barragens, envolvendo discussões gerais sobre o fluxo em canais naturais (Capítulo 7), sobre os diferentes métodos de modelar esses fluxos (Capítulo 10), bem como aspectos específicos como a modelagem do rompimento de barragens através de brechas (Capítulo 8), estudos estatísticos de consequências de rompimentos de barragens (Capítulo 10) e estudos de caso discutindo aplicações de modelagem ao escoamento usando métodos específicos (Capítulo 11).

Em termos físicos, o escoamento de fluidos em canais naturais unidimensionais pode ser descrito em termos gerais, a partir das leis de balanço de massa e de momento linear que regem esses fenômenos. No Capítulo 7 são abordadas diferentes formas de expressar esses fenômenos em termos matemáticos. As equações de Saint-Venant são frequentemente utilizadas nesse contexto. Sua resolução numérica depende da caracterização geométrica do canal considerado, das condições iniciais, da inclinação do solo e do coeficiente de Manning. A partir das equações de Saint-Venant, partindo de medições físicas que dispensam o uso de equipamentos sofisticados, a descrição inicial de qualquer canal pode ser determinada com o grau de precisão suficiente para a resolução eficiente das equações de evolução do sistema, como demonstrado no Capítulo 11. No Capítulo 7 são também apresentados, em cenários simplificados, de fácil

implementação computacional, dois esquemas numéricos para sua resolução: uma abordagem de diferenças finitas clássica, similar ao esquema de Lax-Friedrichs, e um método de elementos finitos do tipo Galerkin Descontínuo de baixa ordem. É também ilustrado o comportamento das soluções numéricas dos diferentes esquemas pela resolução de um problema sintético que simula o rompimento de uma barragem em um canal unidimensional.

O Capítulo 8 surgiu de um desafio: o desafio de Lisboa, lançado durante o "6th Workshop on River and Sedimentation Hydrodynamics and Morphodynamics", organizado pelo Instituto Superior Técnico de Lisboa (ISTL). Em 2021, foi proposta uma solução matemática para calcular os impactos do rompimento de uma barragem causado por uma brecha no dique. No Laboratório de Hidráulica do ISTL foi construído um modelo físico para uma barragem de água, detalhando-se os materiais que foram usados para a construção do modelo. No experimento laboratorial, uma pequena brecha na crista do aterro foi manualmente incorporada, e o abastecimento de água a montante foi controlado de maneira que, aproximadamente, a altura da superfície da água a montante ao longo do experimento coincidisse com a altura inicial da barragem. Foi observado que, dessa maneira, a brecha aumentava com o transcurso do tempo, tanto em termos de largura como de profundidade. O Capítulo 9 trata da construção, por parte de seus autores, de modelos matemáticos e numéricos para simular a evolução da brecha proposta pelo desafio de Lisboa, segundo o experimento laboratorial, buscando a descrição do fluxo e do processo de erosão com o consequente desenvolvimento da brecha.

As barragens de aterro têm características diferentes daquelas de concreto e constituem a maioria das barragens presentes no mundo. As barragens de aterro são edificadas com material de construção que resulta ser menos coesivo e mais erodível, tornando-as propícias a rebentações que podem evoluir para um rompimento total. Estima-se que as barragens de aterro de grandes dimensões, ou seja, com mais de 15 metros de largura ou altura, são da ordem de dezenas de milhares no mundo. Existem muitos modelos matemáticos para a solução de problemas de rompimento de barragens de aterro presentes na literatura científica. O Capítulo 10 apresenta uma caracterização de vários desses modelos. Desde os anos 1980 foram desenvolvidos vários modelos matemáticos para rompimentos de barragens, classificados como a) simples, ou "feitos nas unhas", b) paramétricos e c) físicos. São discutidas no Capítulo 10 as diferenças entre os modelos, fornecendo-se algumas dicas sobre sua adequada utilização.

O Capítulo 12 apresenta um estudo simulando o movimento dos rejeitos liberados pelo rompimento da barragem em Brumadinho aplicando o modelo Titan2D. Os resultados obtidos, quando comparados com os resultados decorrentes da aplicação do modelo HAND, que define áreas inundadas estaticamente, e com a área de cicatrizes extraídas de imagens de satélite de sensoriamento remoto obtidas após o desastre de Brumadinho, mostraram o potencial de uso do Titan2D, embora, segundo os autores, devam ser realizadas novas pesquisas envolvendo comparações desse tipo.

Finalmente, o último capítulo é oriundo da contribuição do GT Educação e Sociedade, reunindo pesquisadores que procuraram dar a ver ao público leitor o modo como esse grupo se consolidou em torno de três pilares articulados de pesquisa, compartilhando o processo de construção do GT no interior da própria configuração do Criab. Além disso, as autoras e o autor recuperam alguns dos resultados de pesquisa em forma de publicações que aconteceram no

decorrer desses anos, pontuando parte do que está em jogo nas relações tensas e contraditórias inscritas na presença de barragens nos territórios com suas consequências para as populações atingidas, reordenando seus modos de vida, bem como afetando de forma incontornável a flora e a fauna desses territórios. O Capítulo 13 contribui, assim, para que as dimensões subjetivas, políticas, econômicas, sociais e ambientais sejam sempre levadas em consideração nas análises sobre a presença de barragens e sua potencial possibilidade de rompimento, assim como nos lembra do muito que se avança nas relações entre a universidade e seu entorno quando há um trabalho de pesquisa-extensão eticamente orientado para colocar os seres viventes em primeiro plano enquanto uma posição política científico-acadêmica potente.