



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA  
DE ENGENHARIA E AMBIENTAL

# RBGEA

REVISTA BRASILEIRA DE  
GEOLOGIA DE ENGENHARIA  
E AMBIENTAL

**Volume 11 (02)**  
2021  
ISSN 2237-4590



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA  
DE ENGENHARIA E AMBIENTAL

**REVISTA BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL**

*Publicação Científica da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental*

**EDITORES**

Prof. Dra. Alessandra Cristina Corsi – IPT  
Prof. Dr. Eduardo Soares de Macedo – IPT  
MSc. Erik Wunder – Estelar Engenheiros Associados

**REVISORES**

Adalberto Aurélio Azevedo – Consultor	João Francisco Alves Silveira – Consultor
Alberto Pio Fiori – UFPR	Jorge Kazuo Yamamoto – USP
Aline Freitas da Silva – DRM-RJ	José Alcino Rodrigues de Carvalho – Univ. Nova de Lisboa (Port.)
Andrea Valli Nummer – UFSM	José Augusto de Lollo – UNESP
Angelo José Consoni – TSAP	José Domingos Gallas – USP
Antonio Cendrero – Univ. da Cantabria (Espanha)	José Eduardo Zaine – UNESP
Antonio Manoel Santos Oliveira – UNG	José Luiz Albuquerque Filho – IPT
Candido Bordeaux Rego Neto – IPUF	Leandro Eugênio da Silva Cerri – Consultor
Carlos Geraldo Luz de Freitas – IPT	Luis de Almeida Prado Bacellar – UFOP
Clovis Gonzatti – CIENTEC	Luiz Fernando D’Agostino – SENAI
Denise de la Corte Bacci – USP	Luiz Nishiyama – UFU
Diana Sarita Hamburger – UFABC	Malva Andrea Mancuso – UFSM
Dirceu Pagotto Stein – Geoexec	Marcelo Denser Monteiro – Metrô – SP / UAM
Edilson Pissato – USP	Marcilene Dantas Ferreira – UFSCar
Eduardo Brandau Quitete – IPT	Marcio A. Cunha – Consultor
Eduardo Goulart Collares – UEMG	Maria Heloisa B.O. Frascá – Consultora
Emilio Velloso Barroso – UFRJ	Marta Luzia de Souza – UEM
Eraldo L. Pastore – Consultor	Nelson Meirim Coutinho – GEORIO
Fábio Soares Magalhães – Walm Engenharia	Newton Moreira de Souza – UnB
Filipe Antonio Marques Falcetta – IPT	Noris Costa Diniz -UnB
Flávio Almeida da Silva – Engecorps	Reinaldo Lorandi – UFSCar
Frederico Garcia Sobreira – UFOP	Renato Luiz Prado – USP
Ginaldo Campanha – USP	Ricardo Vedovello – IG/SIMA
Helena Polivanov – UFRJ	Yociteru Hasui – Consultor
Jair Santoro – IG/SIMA	

**APOIO EDITORIAL**

Denise Amaral e Didiana Dórea

**PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO**

Rita Motta – Editora Tribo da Ilha

---

**Volume 11 (02)**

2021

ISSN 2237-4590



## DIRETORIA ABGE GESTÃO 2021/2022

**Presidente:** Delfino Luiz Gouveia Gambetti  
**Vice Presidente:** Fernando Facciolla Kertzman  
**Diretora Secretária:** Marcela Penha Pereira Guimaraes  
**Diretora Financeira:** Silvia Maria Kitahara  
**Diretora de Comunicação:** Maria Heloisa B. Oliveira Frascá  
**Diretor de Eventos:** Otávio C. Brasil Gandolfo

**Conselho Deliberativo da ABGE:** Ana Elisa Abreu, Delfino Luiz Gouveia Gambetti, Fabio Augusto Gomes Vieira Reis, Fernando Facciolla Kertzman, Iramir Barba Pacheco, Ivan José Delatim, João Antônio Curtis, João Paulo Monticeli, José Luiz Albuquerque Filho, José Tarcísio de Melo Pinheiro, Marcela Penha Pereira Guimarães, Maria Heloisa B. Oliveira Frascá, Otávio C. Brasil Gandolfo, Renata Augusta Rocha N. de Oliveira, Ricardo Antônio Abrahão, Ricardo Vedovello e Silvia Maria Kitahara.

### NÚCLEO RIO DE JANEIRO

**Presidente:** Marcela Tuler Castelo Branco  
**Conselho Deliberativo:** Thiago Dutra dos Santos, Aline Pimentel da Silva, Altair Carrasco de Souza, Ana Caroline Duarte Dutra, Analice Ramos Pereira Gomes, Cristiane Tinoco dos Santos, Giovanna Tristão da Cunha, Nelson Meirim Coutinho e Raquel Batista Medeiros da Fonseca.

### NÚCLEO MINAS GERAIS

**Presidente:** Romildo Dias Moreira Filho  
**Conselho Deliberativo:** Frederico Nascimento Mendes Bezerra, Ellen Delgado Fernandes, Alberto Ferreira do Amaral, Ângelo Almeida Zenobio, Fabio Soares Magalhães, Inácio Diniz Carvalho, Luís de Almeida P. Bacellar, Maria Giovana Parizzi, Thiago Baptista Teixeira e Yan Lucas de Oliveira Pereira dos Santos.

### NÚCLEO SUL

**Presidente:** Erik Wunder  
**Conselho Deliberativo:** Débora Lamberty, Adriana Ahrendt Talamini, Mariano Badalotti Smaniotto, Malva A. Mancuso, Andréa V. Nummer, Cezar Augusto Burkert Bastos, Adelir José Strieder e Karina Retzlaff Camargo.

### NÚCLEO CENTRO OESTE

**Presidente:** Gabriel do Nascimento Ribeiro  
**Conselho Deliberativo:** Bruna Maria Cruz Fernandes, Caiubi Emanuel Souza Kuhn, Patrícia de Araújo Romão, Rodrigo Luiz Gallo Fernandes, Diogo Eduardo de Oliveira Martins, Raphael Teixeira de Paiva Citon e Kurt João Albrecht.

### NÚCLEO NORTE

**Presidente:** Dianne Danielle Farias Fonseca  
**Conselho Deliberativo:** Milena Marília Nogueira de Andrade, Sheila Gatinho Teixeira, Claudio Fabian Szlafsztein, Elton Rodrigo de Andretta, Iris Celeste Nascimento Bandeira e José Sidney Barros.

### SECRETARIA ABGE

**Gerente Executiva:** Luciana Marques  
**Analista Administrativa:** Didiana Dórea  
**Estagiária Administrativa:** Denise Amaral

### ABGE Central

Av. Prof. Almeida Prado, 532 | Prédio 36 | Cidade Universitária | São Paulo – SP  
Fones: (11) 3767-4361 | (11) 3719-0661  
E-mail: [abge@abge.org.br](mailto:abge@abge.org.br) | Site: [abge.org.br](http://abge.org.br)



# APRESENTAÇÃO

Sejam todos bem-vindos à segunda edição de 2021 da RBGEA - Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, a revista da ABGE.

Nesta edição reunimos 5 artigos técnico-científicos que desenvolvem temas da estabilidade de encostas naturais, da cartografia geotécnica, do planejamento urbano, dos processos de erosão costeira e da geotecnia aplicada à mineração. Apesar desta ser a 2ª edição de 2021, a reunião destes temas não poderiam ter maior relevância, pertinência e tempestividade em função dos acontecimentos vividos por toda a sociedade brasileira no início de 2022.

Blaudt e colaboradores publicam as características petrográficas, estruturais e tecnológicas das rochas que, junto com as condições climáticas circunstanciais, contribuíram para a deflagração do acidente ocorrido na cidade de Petrópolis (RJ) em novembro de 2016. Bitar e colaboradores nos apresentam uma síntese do mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa e a inundações realizado na região que envolve os 174 municípios que integram a Macrometrópole Paulista. Teixeira e Bandeira dividem conosco a caracterização dos agentes e processos erosivos, a qual, junto à identificação dos tipos de ocupação antrópica, possibilitou diferenciar padrões de recuo de linha de costa em 12 municípios do Pará. Noronha apresenta sua contribuição ao tema de segurança de barragens de mineração, com a construção em ambiente SIG de um zoneamento da suscetibilidade a movimentos de massa no entorno das barragens de mineração de Minas Gerais. Por fim, Raffaelli e Moretti mostram o resultado da análise

de publicações de periódicos técnicos entre 2010 a 2018 sobre a interface entre riscos geológicos, riscos hidrológicos e planejamento urbano.

Nesta edição, a RBGEA oferece também 3 artigos compilados do workshop “Riscos Geológicos: Regionalidade e Gestão”, promovido e organizado pelos Núcleos Regionais da ABGE. No trabalho apresentado por Souza, é feita uma discussão dos instrumentos definidos como obrigatórios pela Lei 12.608, voltados à gestão do risco e manejo dos desastres, analisando a abrangência e aplicabilidade das informações e produtos que estão sendo gerados e entregues aos municípios brasileiros. Fernandes e Canello nos mostram os resultados da setorização de risco geológicos e hidrológicos nos estados de Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, realizados pelo Serviço Geológico do Brasil - CPRM, ao longo dos últimos dez anos. E finalmente, Parizzi nos fala sobre os condicionantes geológicos de escorregamentos, enchentes e inundações no município de Belo Horizonte, Minas Gerais.

Na seção Nossa História, resgatamos o trabalho elaborado pelo geólogo Sérgio Brito (*in memoriam*) para a sua Conferência Especial ocorrida no 5º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, em São Paulo, em 1987. O título do trabalho é “Desafios atuais do Geólogo de Engenharia no Brasil”, e nos dá a oportunidade de resgatar a história de importantes assuntos técnicos que ainda hoje nos demandam atenção e cuidado. O comentário ao trabalho de Sérgio Brito é feito pelo geólogo João Jerônimo Monticeli, presidente da ABGE na gestão 2012-2013 e editor, junto com

geólogo Antônio Manuel dos Santos Oliveira, da re-edição do livro *Geologia de Engenharia e Ambiental* (2018).

Na seção *Contribuições e Reflexões*, publicamos importantes colaborações de profissionais e colegas de experiência indiscutível na geologia aplicada à engenharia e ao meio ambiente. O geólogo Álvaro Rodrigues dos Santos com sua "Proposta de estruturação de um curso de Geologia de Engenharia", o geólogo Fernando Kertzman, presidente da ABGE na gestão 2009-2011 com seu instigante "O Meio Ambiente merece respeito. Merece gestão. Merece soluções", e o geólogo Ge-

raldo Magela Pereira com texto sobre "Projetos de Usinas Hidrelétricas".

Ciente e ansioso pelo nosso próximo congresso, o Corpo Editorial da RBGEA abre o espaço para a Comissão Organizadora do 17º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental.

Participe de nossa revista enviando seu artigo técnico, seu texto de reflexão, seu comentário ou sua sugestão para que possamos juntos fazer da RBGEA a revista de divulgação e integração da Geologia de Engenharia e Ambiental no Brasil.

Desejamos a todos uma ótima leitura.



# O 17º CONGRESSO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL

A ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental realizará o 17º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, no período de 25 a 28 de setembro de 2022, no Mercure Lourdes Hotel, em Belo Horizonte, MG. A programação do 17º CBGE está sendo cuidadosamente organizada, de modo a propiciar um ambiente produtivo de discussões e troca de experiências entre pesquisadores de instituições de ensino e pesquisa, profissionais das áreas técnicas, gestores públicos e demais membros da comunidade técnico-científica.

A Região Metropolitana de Belo Horizonte caracteriza-se por três importantes domínios geológicos e geomorfológicos: A Depressão Periférica do São Francisco, onde o relevo foi esculpido em rochas granito-gnáissicas e em rochas do Grupo Bambuí, destacando-se o relevo cárstico de extrema beleza, complexidade e fragilidade, O Quadrilátero Ferrífero um dos mais importantes centros mineradores do país onde ocorrem rochas do Super Grupo Minas e Super Grupo Rio das Velhas e as exuberantes serras, patamares e escarpas do Cipó com as rochas do Supergrupo Espinhaço.

Belo Horizonte, sede do governo de Minas Gerais, apresenta em toda a região metropolitana aspectos diversos que justificam estudos nas áreas de Geologia de Engenharia, Geotecnia e Meio Ambiente. Em nível nacional é a terceira capital brasileira em população. Centro bastante desenvolvido conta com infraestrutura digna de seu porte. A vocação mineral de Minas Gerais com jazidas de ferro propicia a montagem de parques industriais com siderúrgicas, comércio bastante

desenvolvido, etc. Algumas das maiores jazidas brasileiras de ferro encontram-se na periferia ou proximidade da capital no Quadrilátero Ferrífero e ainda diversas minas de ouro.

A construção civil é grande consumidora de materiais de construção como brita advinda das pedreiras de gnaiss ou calcário, e areia proveniente de aluviões e terraços das bacias hidrográficas do São Francisco e do Rio Doce. Ocorrem importantes depósitos de calcários utilizados na fabricação de cimento, brita e cal, para fins siderúrgicos e, principalmente, como insumos na agricultura como corretivo de solo.

A expansão urbana é acompanhada por demanda crescente em estudos e investimentos na área de Geotecnia, Geologia de Engenharia e Meio Ambiente. Desastres relacionados aos processos de movimento de massa, hidrológicos, cársticos, decorrentes das atividades urbanas e minerárias, infelizmente, têm marcado a região, tais como rupturas de barragens de rejeito, inundações e deslizamentos. Por outro lado, muito tem sido feito no sentido de busca de soluções seguras tanto do ponto de vista tecnológico quanto social.

O 17º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia Ambiental em BH proporcionará o reencontro da comunidade da ABGE, após dois anos de isolamento, distanciamento, e muita preocupação e sofrimento devido à pandemia. Uma grande oportunidade para debatermos os grandes desafios da Geologia de Engenharia no mundo, no Brasil e em Minas Gerais. Serão dez simpósios discutindo sobre as temáticas de Educação, Gestão de Cidades, Grandes Obras, Inves-

tigações Geotécnicas, Meio Ambiente e Mineração. Uma vasta programação pré-congresso, com palestras, apresentações, simpósios e minicursos já está ocorrendo e todos devem ficar atentos aos prazos de envio dos trabalhos com data limite para 22 de fevereiro de 2022.

Acompanhe a programação e regulamentos do 17º CBGE pelo site <https://17cbge.abge.org.br/home>

Esperamos por vocês em 2022 porque *“Nós Acreditamos na Geologia de Engenharia e Ambiental”*.  
Atenciosamente,

**Comissão Organizadora e  
Técnica Científica do 17º CBGE**



# SUMÁRIO

**4** APRESENTAÇÃO

**6** O 17º CONGRESSO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL

## ARTIGOS CIENTÍFICOS

**11** CONDICIONANTES GEOLÓGICAS DE MOVIMENTOS DE MASSA EM MACIÇOS ROCHOSOS: ESTUDO DO ACIDENTE OCORRIDO NA RUA URUGUAI, PETRÓPOLIS, RIO DE JANEIRO, BRASIL

*Larissa Mozer Blaudt*

*Rubem Porto Jr*

*Yuri Garin*

**29** MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA E INUNDAÇÕES NA REGIÃO DA MACROMETRÓPOLE PAULISTA

*Omar Yazbek Bitar*

*Sofia Júlia Alves Macedo Campos*

*Ana Cândida Melo Cavani Monteiro*

*Priscilla Moreira Argentin*

*Alessandra Cristina Corsi*

*Nivaldo Paulon*

**50** PADRÕES DIFERENCIADOS DE RECUO DA LINHA DE COSTA E SUA CORRELAÇÃO COM PROCESSOS EROSIVOS E AS ÁREAS DE RISCO À EROÇÃO COSTEIRA NO ESTADO DO PARÁ

*Sheila Gatinho Teixeira*

*Íris Celeste do Nascimento Bandeira*

**64** RISCO E PLANEJAMENTO URBANO E SUA ABORDAGEM NOS PERIÓDICOS CIENTÍFICOS

*Cristina Boggi da Silva Raffaelli*

*Ricardo de Sousa Moretti*

**81** SUSCETIBILIDADE GEOLÓGICA DAS BARRAGENS DE MINERAÇÃO NO ESTADO DE MINAS GERAIS: UM PANORAMA PRELIMINAR A PARTIR DE MODELAGEM ESTATÍSTICA E MORFOMÉTRICA

*Fabio de Lima Noronha*



## **WORKSHOP DE RISCO**

- 102** PANORAMA DA CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E DOS INSTRUMENTOS EXISTENTES NO BRASIL RELACIONADOS AO PLANEJAMENTO URBANO E À GESTÃO DE RISCO GEOLÓGICO E HIDROLÓGICO  
*Leonardo Andrade De Souza*
- 121** PANORAMA DOS RISCOS GEOLÓGICOS NO CENTRO OESTE  
*Rodrigo Luiz Gallo Fernandes*  
*Vivian Athaydes Canello*
- 145** RISCOS GEOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS NO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE, MG  
*Maria Giovana Parizzi*

## **NOSSA HISTÓRIA**

- 163** DESAFIOS ATUAIS DO GEÓLOGO DE ENGENHARIA NO BRASIL  
*Sérgio Nertan Alves de Brito*
- 184** COMENTÁRIO À CONFERÊNCIA DO SÉRGIO BRITO  
*João Jerônimo Monticelli*

## **CONTRIBUIÇÕES E REFLEXÕES**

- 187** O MEIO AMBIENTE MERECE RESPEITO. MERECE GESTÃO. MERECE SOLUÇÕES  
*Fernando Facciola Kertzman*
- 190** PROJETOS DE USINAS HIDRELÉTRICAS  
*Geraldo Magela Pereira*
- 199** PROPOSTA DE ESTRUTURAÇÃO DE UM CURSO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA  
*Álvaro Rodrigues dos Santos*

---

# ARTIGOS CIENTÍFICOS

# CONDICIONANTES GEOLÓGICAS DE MOVIMENTOS DE MASSA EM MACIÇOS ROCHOSOS: ESTUDO DO ACIDENTE OCORRIDO NA RUA URUGUAI, PETRÓPOLIS, RIO DE JANEIRO, BRASIL

*GEOLOGICAL CONDITIONS OF MASS MOVEMENTS IN ROCKY MASSIFS: STUDY OF THE ACCIDENT THAT OCCURRED IN URUGUAI STREET, PETRÓPOLIS, RIO DE JANEIRO, BRASIL*

LARISSA MOZER BLAUDT  
*Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil  
larissamozer13@gmail.com*

RUBEM PORTO JR  
*Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil  
rubempjr@gmail.com*

YURI GARIN  
*Prefeitura de Petrópolis  
Petrópolis, Rio de Janeiro, Brasil  
ygarin@geologia.ufrj.br*

## RESUMO ABSTRACT

Movimentos de massa em maciços rochosos são comuns nas cidades serranas do Brasil e reconhecer quais fatores determinam a sua ocorrência é de grande importância para a segurança das populações que vivem em áreas de risco. O objetivo deste artigo é levantar as características geológicas que contribuíram para a deflagração do acidente ocorrido na Pedra do Quitandinha em novembro de 2016 e que atingiu residências na Rua Uruguai, cidade de Petrópolis, Rio de Janeiro, Brasil. Foram determinadas as características petrográficas, estruturais e tecnológicas das rochas do maciço em questão, além das interações entre essas características e o clima da região. Os resultados obtidos podem ser aplicados como base para estudos em outros maciços rochosos existentes em situações climáticas e geomorfológicas semelhantes.

**Palavras-chave:** movimentos de massa, queda de blocos; escorregamentos; risco geológico

Mass movements in rocky massifs are common in the mountainous cities in Brazil and recognizing which factors determine their occurrence is very important for the safety of the populations living in risk areas. The purpose of this paper is to survey the geological features that contributed to the deflagration of the accident occurred in Quitandinha Massif in November 2016 and that reached some residences in Uruguai Street, Petrópolis city, Rio de Janeiro, Brazil. The petrographic, structural and technological features of the massif were determined, in addition to the interactions between these features and the region's climate. The results can be applied as a basis for studies in other rocky massifs that exist in similar climatic and geomorphological situations.

**Keywords:** mass movements; rock fall; landslides; geological risk

## 1 INTRODUÇÃO

Os casos de movimentos de massa associados a maciços rochosos são comuns a muitas áreas do sudeste do Brasil, principalmente à Serra do Mar, feição geomorfológica de importância nesta área e onde se inserem importantes cidades, principalmente no Estado do Rio de Janeiro. Durante o verão, as chuvas intensas que se formam a partir da ascendência orográfica da umidade vinda do oceano causam enchentes e deslizamentos, ocasionando perdas materiais e de vidas (Guerra *et al.*, 2007).

Determinar quais fatores levam à ocorrência de movimentos de massa associados a maciços rochosos é muito importante para demarcar as áreas de risco e coordenar os investimentos em obras de contenção, de maneira a evitar que mais vidas sejam afetadas por esse tipo de acidente. Sendo assim, o objetivo deste artigo é levantar as características geológicas associadas à ocorrência do movimento de massa ocorrido na Rua Uruguai, município de Petrópolis, em novembro de 2016.

O estudo deste acidente se faz importante, pois ele ocorreu em condições tipicamente encontradas em outros pontos da Serra do Mar no Estado do Rio de Janeiro. No mesmo município de Petrópolis, outro caso relevante de queda de blocos ocorreu no distrito da Posse, em 22 de janeiro de 2019, atingindo seis casas. Outro caso de destaque ocorreu em Nova Friburgo em 12 de janeiro de 2011, no bairro Duas Pedras, quando blocos de rocha atingiram um hospital. Todos estes outros acidentes apontam para processos de detonação e movimentação similares.

## 2 ÁREA DE ESTUDO

A cidade de Petrópolis foi a primeira cidade planejada do Brasil, sendo projetada para abrigar a Família Imperial brasileira e sua corte durante os meses de verão. O Imperador D. Pedro II contratou o engenheiro alemão Major Júlio Frederico Koeler para criar um plano de urbanização para as fazendas da região, especialmente a Fazenda do Córrego Seco e a Fazenda Quitandinha (Pedroso, 2014). O Plano Koeler, como foi conhecido o projeto urbanístico, dividiu a cidade em lotes, chamados “*prazos de terra*”, com diferentes fun-

ções, desde os lotes destinados à agricultura, até os lotes destinados às funções administrativas do Império.

O Major Koeler passou cerca de dois anos na região estudando suas características topográficas e demarcando as terras. O objetivo desse estudo prévio era adaptar o traçado urbano ao meio ambiente da área. Os “*prazos de terra*” foram distribuídos ao longo do traçado dos rios, com as ruas e avenidas os margeando, e as encostas não poderiam ser ocupadas, para evitar deslizamentos e garantir a conservação das matas e das águas (Pedroso, 2014). O traçado urbano também visava resolver questões de saneamento. As residências deveriam ser construídas nos fundos dos lotes, valorizando os rios e evitando a contaminação das águas por dejetos vindos das casas.

A cidade foi ocupada por famílias de colonos alemães, grande parte vinda do Grão Ducado de Hesse, onde é o atual estado alemão Renânia-Palatinado, no sudoeste do país. A chegada dos imigrantes ocorreu em 29 de junho de 1845, data oficial da fundação da cidade (Pedroso, 2014). Poucos anos após a fundação, com o crescimento da população e a valorização dos terrenos, os colonos venderam partes de seus lotes e vias transversais foram criadas, extinguindo as características originais do Plano Koeler. Uma grande expansão populacional ocorreu na cidade na segunda metade do Século XX, com a ocupação das áreas mais inclinadas e com maior risco de deslizamentos (Guerra *et al.*, 2007).

A combinação de clima e relevo são fatores condicionantes na ocorrência de áreas de risco de ocorrência de movimentos de massa na cidade de Petrópolis. A cidade está localizada na Região das Escarpas e Reversos da Serra do Mar, especificamente na Unidade Geomorfológica da Serra dos Órgãos (Guerra *et al.*, 2007), sendo caracterizada por vales alongados, segmentos de drenagem retilíneos, maciços graníticos, grandes desníveis altimétricos e escarpas íngremes.

O relevo acidentado permite o processo de ascendência orográfica, que é o aumento da turbulência do ar durante a passagem de frentes frias. Episódios intensos e prolongados de precipitação ocorrem, pois o ar quente e úmido se eleva e perde temperatura, formando grandes nuvens de chuva (Guerra *et al.*, 2007). O clima da cidade é defini-

do como Tropical de Altitude, com pluviosidade média anual acima de 2.500 mm e temperaturas médias inferiores a 18°C no inverno e pouco superiores a 21°C no verão. As chuvas se concentram de outubro a março, com médias pluviométricas mensais de cerca de 300 mm (Guerra *et al.*, 2007).

A cidade de Petrópolis é drenada pelo Rio Piabanha, que possui cerca de 80 km de extensão e uma área de drenagem de 2.065 km<sup>2</sup> e é um dos principais afluentes do Rio Paraíba do Sul. Os dois principais afluentes do Rio Piabanha na cidade de Petrópolis são os rios Palatinado e Quitandinha (IBGE, 2017). A combinação de obras realizadas nos canais, assoreamento dos leitos e o escoamento rápido das águas, que ocorre por conta das encostas íngremes e urbanizadas, gera inundações frequentes em episódios de chuvas intensas.

Entre 1985 e 2004 ocorreu um aumento de 45% da área urbana de Petrópolis, principalmente ao longo dos eixos rodoviários de acesso à cidade

do Rio de Janeiro, e as áreas de vegetação originais diminuíram em 57% (Guerra *et al.*, 2007). A ocupação irregular das encostas, acentuada a partir das décadas de 1970 e 1980, oferece grande risco para a população de Petrópolis. A condição socioeconômica dos residentes dessas áreas também é um fator relevante para a condição de risco. Em geral, os moradores possuem baixo poder aquisitivo e isso implica em baixo padrão construtivo, uso de materiais impróprios, falta de acompanhamento técnico e uso de técnicas inadequadas (Guerra *et al.*, 2007).

O movimento de massa gravitacional (MMG) aqui estudado ocorreu às 22h40min do dia 14 de novembro de 2016, no Bairro Quitandinha, Petrópolis, especificamente entre as residências nº70 e nº199 da Rua Uruguai (Figura 1). O material mobilizado atingiu um compartimento de água responsável pelo abastecimento do bairro, quatro casas e levou duas pessoas a óbito (Figura 2).

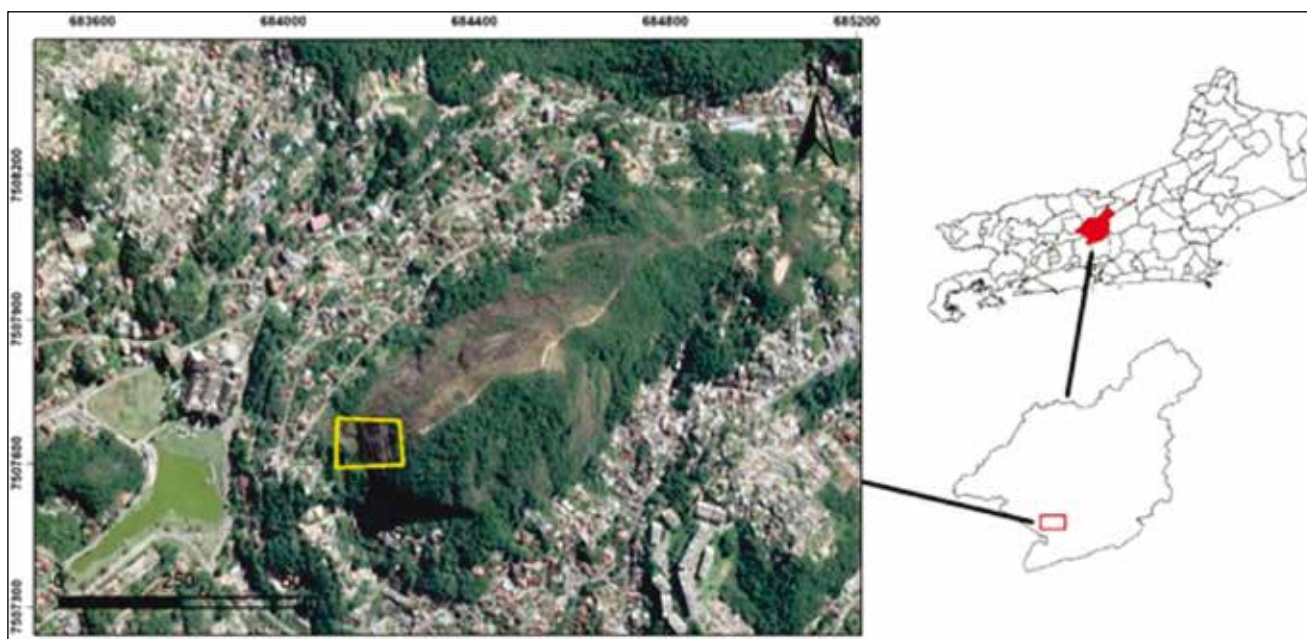


Figura 1. Localização da área do acidente.





(a)



(b)

**Figura 2.** Em (a), residências existentes na Rua Uruguai antes do deslizamento; em (b), residências atingidas pelo deslizamento. Fotos cedidas pelo Departamento Técnico da Defesa Civil de Petrópolis (DT-SDCAV).

Os estudos realizados pelos técnicos da Prefeitura de Petrópolis o caracterizaram como um deslizamento planar de lascas e blocos rochosos, que se iniciou no terço superior da encosta. O movimento foi do tipo queda livre até atingir o plano inclinado do depósito de tálus, onde se encontravam as residências atingidas (Relatório DRM-RJ, 2016). O material mobilizado, formado por solo areno-argiloso, blocos de rocha e troncos de árvo-

re, foi desacelerado pelo impacto com os materiais do depósito de tálus, com as próprias residências destruídas e com o platô formado pela Rua Uruguai (Figura 3a). A expansão lateral do material foi limitada pela existência de um grande bloco rochoso na lateral direita da encosta, concentrando o fluxo de blocos na área das residências destruídas (Figura 3b).



(a)



(b)

**Figura 3.** (a) Imagem aérea da Rua Uruguai e das residências atingidas; observar que o material não ultrapassa o platô formado pela rua; (b) À direita da figura, bloco rochosos que limitou a expansão lateral do movimento. Fotos cedidas pelo DT-SDCAV.

A encosta, da Rua Uruguai até o seu topo, apresenta cerca de 160 metros de altura e inclinação média de  $43^\circ$ , sendo que na área de origem do evento a inclinação é de  $66^\circ$ , na área de transporte é de  $48^\circ$  e na área de deposição é de  $21^\circ$  (Figura 4).

O acidente ocorreu durante a passagem de uma frente fria pelo Estado do Rio de Janeiro, que provocou chuvas contínuas no mês de novembro,

principalmente entre os dias 12 e 14, gerando uma média antecedente de cerca de 270 mm. Apesar de os dados do pluviômetro mais próximo (Rua Amazonas-Quitandinha, CEMADEN) não terem registrado precipitações significativas no momento do acidente, o acumulado de 24 horas foi de 112,8 mm para o dia 13/11 e o acumulado mensal foi de 383,6 mm (Figura 5)

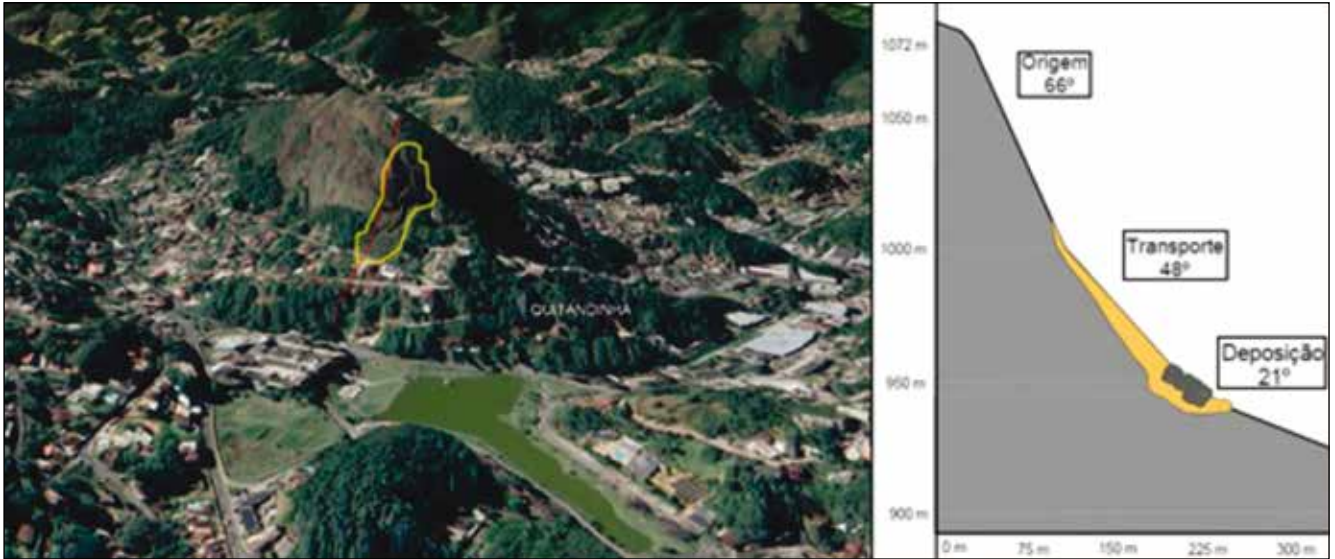


Figura 4. Perfil de inclinação da encosta com as características do acidente.



Figura 5. Precipitação acumulada para o pluviômetro da Estação Rua Amazonas-Quitandinha. Retirado de Relatório CPRM, 2016 e elaborado pelo CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais).



Após o acidente foram realizadas vistorias pela Defesa Civil e pelo DRM-RJ (Departamento de Recursos Minerais – RJ) a fim de avaliar o risco remanescente de outras movimentações na área atingida e de outros deslizamentos nas áreas adjacentes, definindo a necessidade de interdição das residências vizinhas (Relatórios de Ocorrência SDCAV nº 32759, 32769 e 32869). As medidas emergenciais realizadas foram a desobstrução da Rua Uruguai e a interdição das residências inseridas na área de risco remanescente (Relatório DRM-RJ, 2016). O material mobilizado pelo acidente foi utilizado para a construção de um dique de blocos na área das residências atingidas, amparando possíveis quedas de outros blocos (Figura 6).



**Figura 6.** Dique construído com o material rochoso que deslizou da encosta. Fotos cedidas pelo DT-SDCAV.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Por definição, os maciços rochosos são heterogêneos, anisotrópicos e descontínuos e sua estabilidade depende fortemente da presença e das características de descontinuidades, como abertura, espaçamento, persistência e preenchimento (Pinotti e Carneiro, 2013; Serra Junior e Oujima, 1998). Sendo assim, estudar e reconhecer as características estruturais de um maciço rochoso é de suma importância para determinar as áreas de risco de quedas de blocos. A presença de descontinuidades permite a percolação de água pelo maciço, promovendo a alteração da rocha e a perda de suas características mecânicas.

Para determinar quais fatores levaram à ocorrência do movimento de massa estudado foram determinadas as características litológicas,

estruturais e tecnológicas do maciço, além da recuperação de dados e imagens da Defesa Civil do município de Petrópolis.

Nos trabalhos de campo foram feitas observações quanto à litologia existente e de seu padrão estrutural, obtendo-se dados como medidas de direção e mergulho das fraturas, descrições sobre a composição mineralógica e as características texturais das rochas. Também foram observadas as características de alterações intempéricas químicas e físicas da rocha e das fraturas que ocorrem no maciço. Por conta das dificuldades de acesso ao terreno, não foi possível observar com detalhes as relações de contato entre os dois tipos de rochas presentes no maciço. Foi realizada amostragem de rochas com diferentes graus aparentes de alteração para serem analisadas em laboratório.

As análises laboratoriais foram divididas em três etapas: 1) análise macroscópica e microscópica dos litotipos para determinar as características mineralógicas, texturais e de alteração das rochas, além de realizar a sua classificação; 2) análise dos dados estruturais através dos softwares Stereonet 9.2.3 e Stereo 32 1.0.1, para determinar as famílias de direções preferenciais das fraturas existentes no maciço e; 3) testes de Ultrassom e Esclerômetro de Schmidt, com o objetivo de determinar o grau de alteração das rochas que se desprenderam no movimento.

### 4 RESULTADOS

#### 4.1 Caracterização litológica

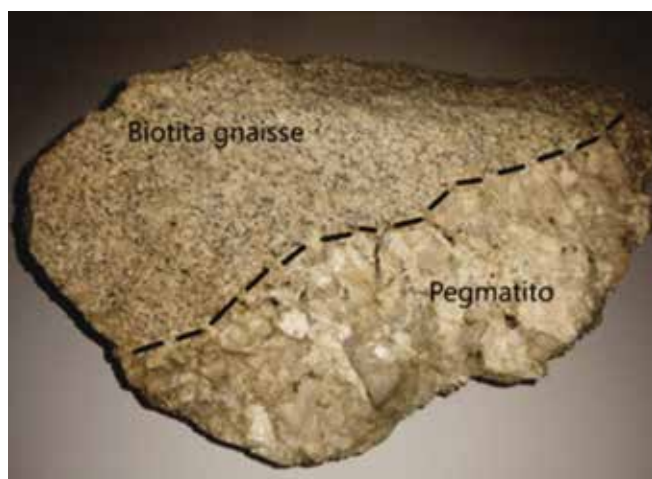
A geologia da região de Petrópolis é caracterizada pela ocorrência de um complexo granítico-gnáissico-migmatítico definido por Rosier (1965) como “Série Serra dos Órgãos”. Esse complexo foi subdividido por Penha *et al.* (1981) em cinco unidades de mapeamento: Unidade Santo Aleixo, Unidade Bingen, Unidade o, Granito Suruí e Granito Andorinha. A Unidade Bingen, na qual está inserida a área de estudo, é formada por um biotita gnaiss granítico homogêneo, de granulometria fina a média e cor clara. Apresenta gnaissificação moderada com porções internadas com texturas ainda tipicamente relacionadas ao protólito magmático de composição granítica.



Para a caracterização dos litotipos ocorrentes na área estudada foram coletadas amostras de rocha na trilha que acessa o topo da Pedra do Quitandinha e amostras do dique de contenção da Rua Uruguai. No maciço foram identificados dois tipos de rocha: um gnaiss homogêneo e veios de pegmatito, sendo o primeiro predominante.

#### 4.1.1 Biotita-hornblenda gnaiss homogêneo

Por toda a área mapeada do maciço, o biotita gnaiss se apresenta como uma rocha homogênea, sem bandamento metamórfico bem definido, dobras ou qualquer outra estrutura típica de rochas de alto grau metamórfico, mas com uma observação detalhada das amostras de mão pode-se observar que os grãos de biotita estão orientados segundo planos subparalelos (Figura 7).

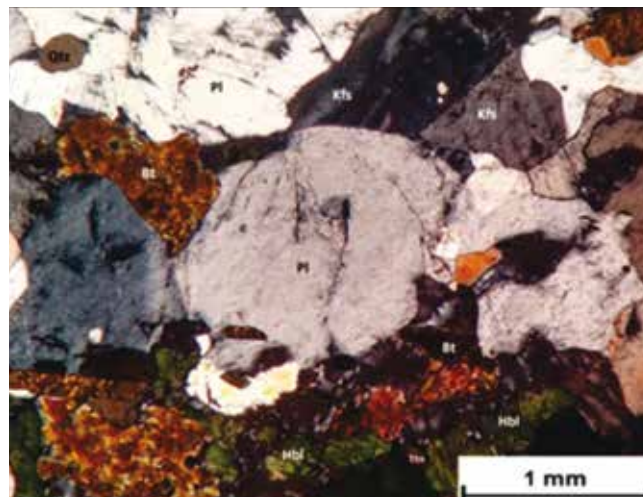


**Figura 7.** Amostra de mão do biotita gnaiss com veio de pegmatito. É possível observar que os minerais máficos se encontram orientados

Trata-se de uma rocha leucocrática, de cor cinza claro, equigranular de granulação média (1 a 10 mm) e com textura lepidonematoblástica. Sua composição mineralógica básica é plagioclásio, microclina, quartzo, hornblenda, biotita e titanita e seus minerais acessórios são apatita, zircão e minerais opacos (Figura 8).

Existem dois tipos de grãos de plagioclásio. O primeiro é caracterizado por grãos subédricos, de cerca de 1 mm, nos quais é possível visualizar geminação (Figura 9). Estão levemente fraturados e pouco alterados, apresentando alteração apenas nos poucos planos de clivagem e nas fraturas. Podem ter inclusões de outros grãos de plagioclásio

arredondados e zircão. O segundo tipo é reconhecido como grãos anédricos a subédricos tabulares/prismáticos, variando de 1 a 2 mm. Nesses grãos a geminação é muito fraca ou ausente e a alteração é leve, podendo ocorrer apenas nos seus núcleos ou nos planos de clivagem e nas fraturas (Figura 10). Podem ocorrer inclusões de zircão.



**Figura 8.** Aspecto geral do biotita-hornblenda gnaiss. É possível observar seus minerais principais: quartzo (Qtz), microclina (Kfs), plagioclásio (Pl), biotita (Bt) e hornblenda (Hbl). Observar a orientação dos minerais máficos e a textura equigranular média.

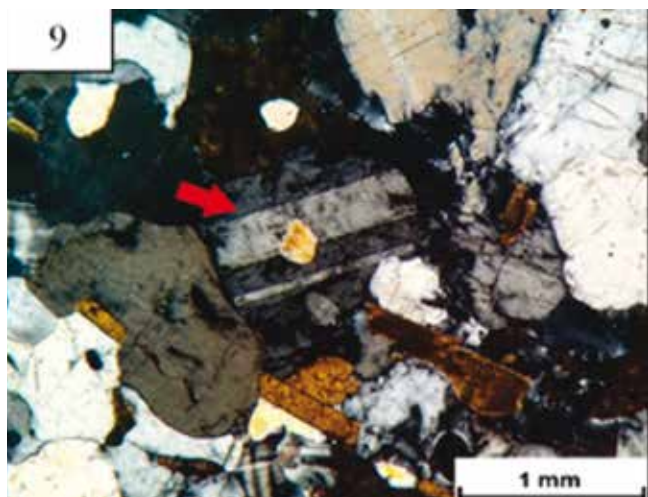
A microclina se caracteriza por grãos anédricos a subédricos tabulares que variam de 0,5 a 1 mm. Suas bordas podem estar corroídas por grãos de quartzo (Figura 11). Alguns grãos podem ter quartzo arredondado, biotita e zircão inclusos (Figura 12). Os grãos estão pouco alterados e quando ocorre, o processo de concentração nas suas bordas, especialmente quando estas estão fraturadas. Os grãos de quartzo são anédricos, intersticiais, possuem cerca de 1 mm e podem ter extinção ondulante (Figura 13). Também ocorrem como grãos arredondados de menos de 0,5 mm inclusos em outros minerais.

A hornblenda é descrita como grãos anédricos que variam de 0,5 a 1 mm. Apresentam pleocroísmo de marrom-claro para verde-escuro e se organizam em aglomerados orientados com biotita, titanita, zircão, apatita e minerais opacos (Figura 14). Os grãos de biotita são subédricos de hábito tabular e possuem de 0,5 a 1 mm. Existe uma variação pouco ou nada alterada, que apresenta pleocroísmo de marrom-claro para marrom-escuro (Figura 15) e uma variação mais alterada, com

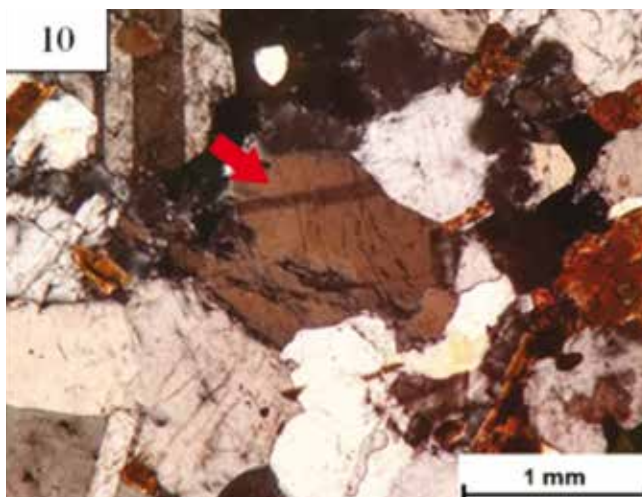
pleocroísmo fraco de castanho para marrom-escuro (Figura 16). Ambas as variações se encontram orientadas nos aglomerados de minerais máficos.

A titanita ocorre como grãos de 0,5 a 1 mm. Em geral os grãos maiores são subédricos de hábito rômboico e estão intensamente fraturados (Fi-

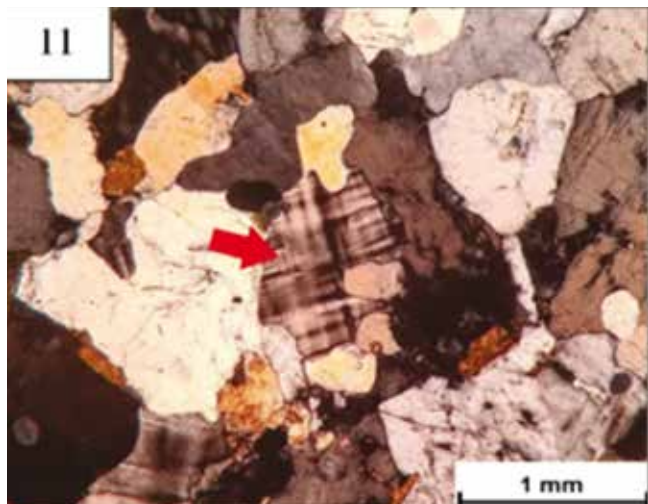
gura 17) e os grãos menores são anédricos (Figura 18). Em relação aos minerais acessórios, zircão e apatita ocorrem inclusos em outros minerais e os minerais opacos, que são escassos, ocorrem principalmente associados aos grãos de biotita.



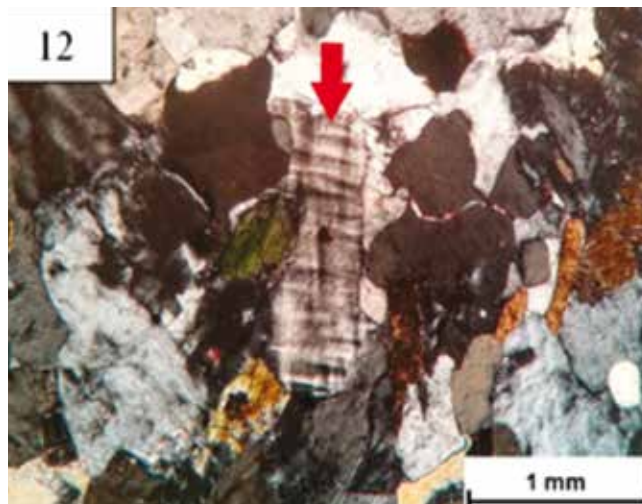
**Figura 9.** Grão de plagioclásio tabular de aproximadamente 1 mm, pouco alterado, com geminação visível e com inclusões de quartzo arredondado.



**Figura 10.** Grão de plagioclásio de hábito tabular com aproximadamente 1 mm. Sua geminação é mais difícil de ser identificada.

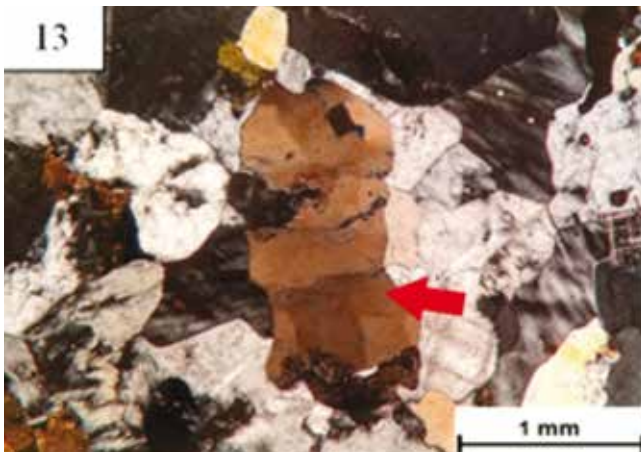


**Figura 11.** Grão de microclina de aproximadamente 1 mm e hábito tabular. Suas bordas estão corroídas por grãos de quartzo arredondados.

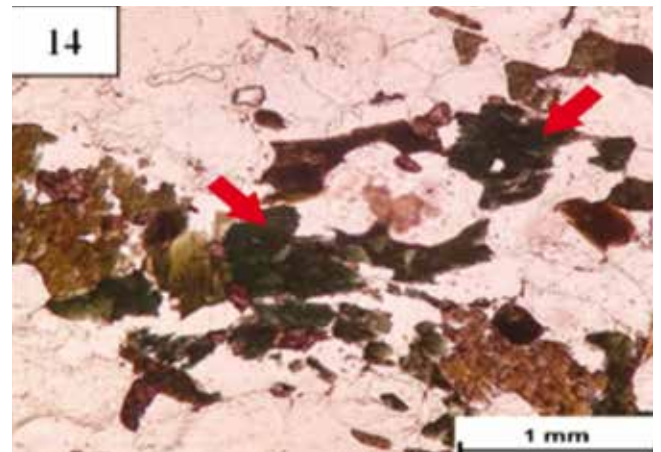


**Figura 12.** Grão de microclina de hábito prismático e aproximadamente 1 mm. Suas bordas estão modificadas por grãos de quartzo e hornblenda e ocorre inclusão de biotita.

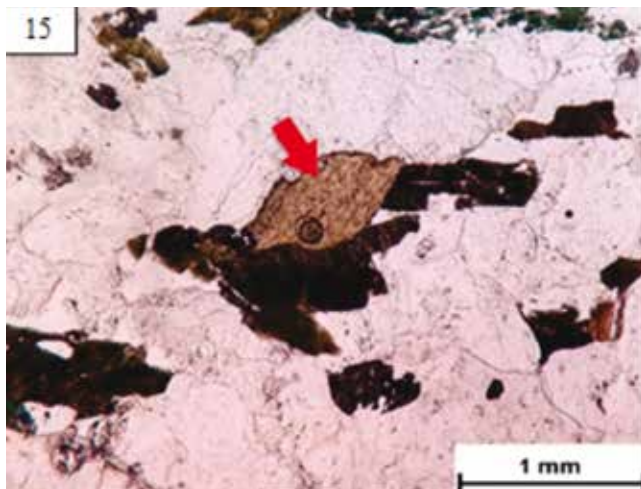




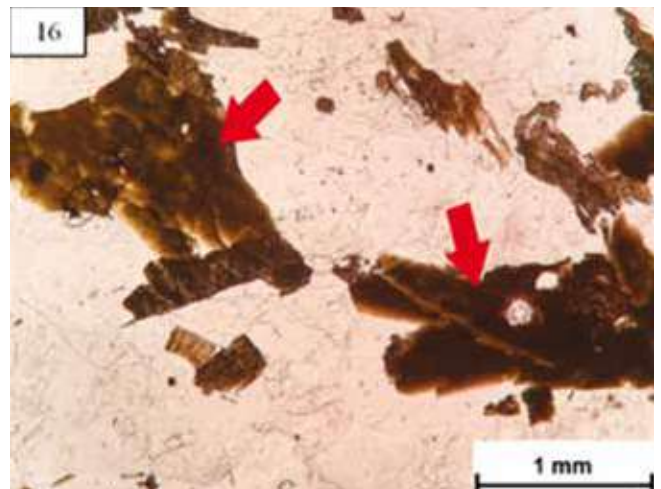
**Figura 13.** Grão de quartzo intersticial, anédrico e com aproximadamente 1,5 mm. Apresenta extinção ondulante.



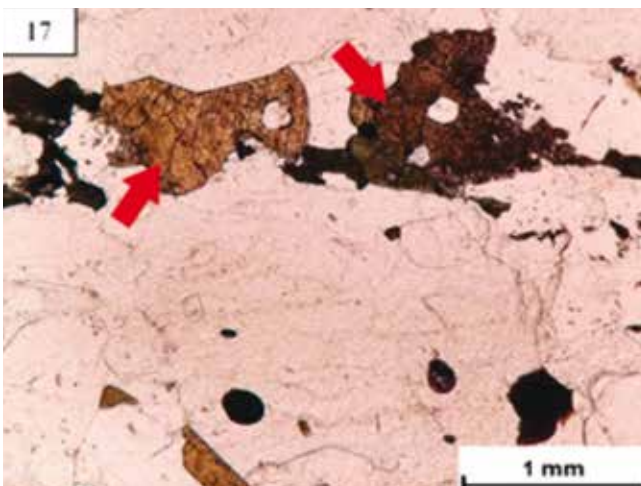
**Figura 14.** Aglomerado de minerais máficos com hornblenda, biotita e titanita. Grãos de hornblenda anédricos de aproximadamente 0,5 mm.



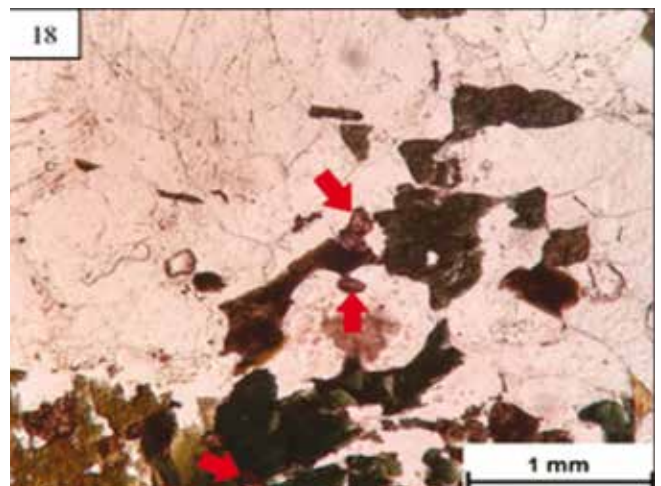
**Figura 15.** Aglomerado de grãos de biotita pouco ou nada alterados, de aproximadamente 0,5 mm e hábito tabular.



**Figura 16.** Grãos de biotita alterados, de hábito tabular e aproximadamente 1 mm. Apresentam pleocroísmo muito fraco de castanho para marrom-escuro.



**Figura 17.** Grãos de titanita intensamente fraturados, de aproximadamente 1 mm e hábito rômboico.



**Figura 18.** Grãos de titanita anédricos com menos de 0,5 mm, em aglomerado máfico.

#### 4.1.2 Veios de pegmatito

O pegmatito ocorre na forma de bolsões e veios de espessuras e orientações variadas, disseminados por toda a extensão da área estudada (Figura 19). Trata-se de uma massa hololeucocrática, de cor branco acinzentado e granulação grossa a muito grossa. Os principais minerais encontrados são microclina, quartzo, plagioclásio e biotita. Os minerais acessórios são zircão, apatita e minerais opacos.



**Figura 19.** Veios de pegmatito disseminados pelo gnaiss na área de ruptura do movimento. Foto cedida pelo DT-SDCAV.

Macroscopicamente, a granulação varia de grossa a muito grossa, sendo que os grãos de plagioclásio variam de 4 a 20 mm, os grãos de microclina variam de 5 a 40 mm, o quartzo possui de 2 a 7 mm e a biotita possui de 1 a 7 mm. A composição média da rocha é: microclina (36%), quartzo (31%), plagioclásio (11%), biotita (11%) e outros (2%). A partir desta composição é possível classificar a rocha como um monzogranito, segundo Streckeisen (1974).

#### 4.1.3 Alteração das rochas

Os dois conjuntos rochosos possuem respostas levemente diferentes em relação aos processos de alteração. O biotita gnaiss, por sua característica textural, apresenta um comportamento mais homogêneo do que o pegmatito. No gnaiss ocorre intensa alteração do plagioclásio, que se trans-

forma em um material esbranquiçado de granulometria muito fina e que nas partes mais externas se torna amarelado (Figura 20). Em amostra de mão não é possível observar alteração dos grãos de biotita. Já nos veios de pegmatito, a alteração modifica e individualiza os grãos, gerando um material friável. Os cristais de microclina e plagioclásio perdem o brilho e assumem um tom amarelado e a biotita se transforma em vermiculita (Figura 21).



**Figura 20.** Aspecto do biotita-hornblenda gnaiss alterado. Os retângulos em vermelho indicam as áreas onde a alteração dos minerais é mais perceptível.



**Figura 21.** Aspecto do pegmatito alterado. O retângulo em vermelho sinaliza a presença de cristal de microclina alterado e o círculo em azul indica a presença de biotita parcialmente alterada para vermiculita.

## 4.2 Caracterização estrutural

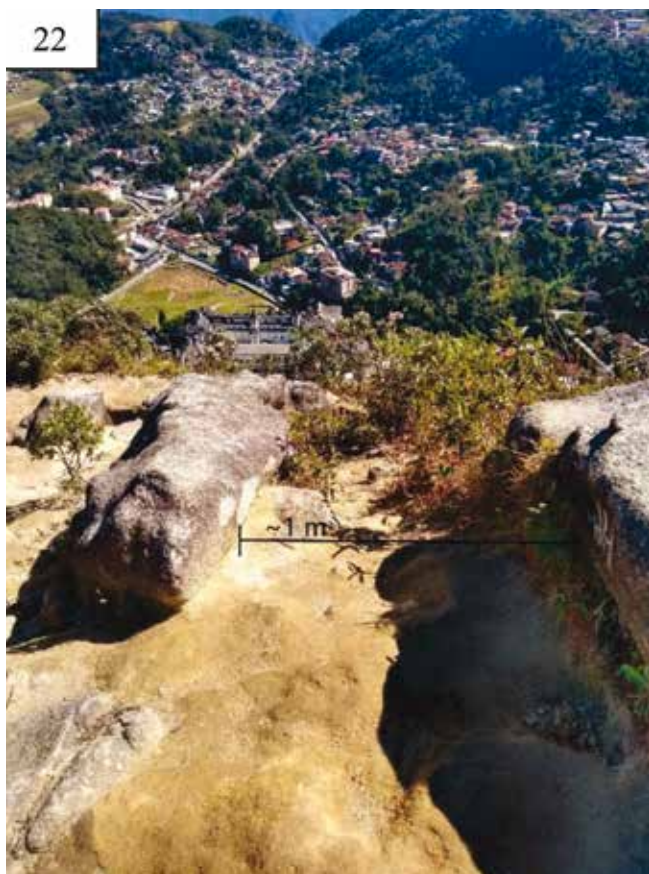
Nas análises de campo foram identificados dois tipos de estruturas no maciço: fraturas tectônicas e fraturas de alívio. As direções preferenciais dessas estruturas foram determinadas com o uso de estereogramas e gráficos de frequência.



#### 4.2.1 Fraturas tectônicas

Nos afloramentos visitados foi possível identificar dois conjuntos principais de fraturas tectônicas, um com orientação N-S e outro com orientação E-W. Esses dois padrões se cruzam e

formam blocos que são encontrados na área. Uma característica muito notável em relação às fraturas é a sua abertura, que varia de poucos centímetros até aproximadamente um metro (Figura 22), permitindo inclusive o crescimento de vegetação (Figura 23).



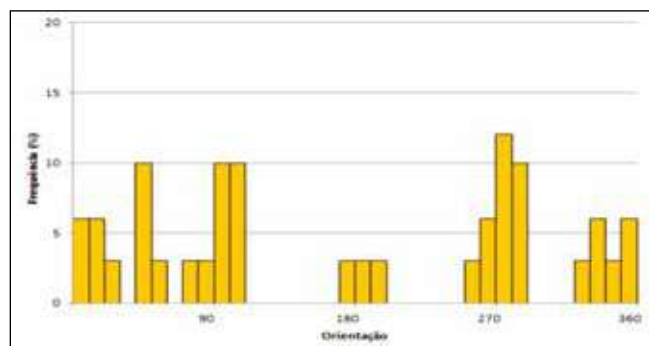
**Figura 22.** Fraturas tectônicas com abertura de aproximadamente 1 metro no topo da Pedra do Quitandinha. Observar também a formação de blocos pela interseção das fraturas.



**Figura 23.** Crescimento de vegetação em fratura tectônica com abertura de cerca de 20 centímetros.

A partir da avaliação dos dados de orientação coletados em campo, foram definidas quatro direções preferenciais de fraturas tectônicas (Tabela 1). A direção mais frequente é a E-W, que apresenta mergulho elevado ( $70^{\circ}$ - $90^{\circ}$ ) tanto para N quanto para S. A segunda direção mais frequente

é a N-S, apresentando mergulho moderado a elevado ( $50^{\circ}$ - $80^{\circ}$ ) tanto para E quanto para W. As direções menos frequentes são a direção NE-SW, de mergulho moderado a elevado ( $60^{\circ}$ - $80^{\circ}$ ) para SE e a direção NNW-SSE, de mergulho moderado a elevado ( $60^{\circ}$ - $80^{\circ}$ ) para NE (Figura 24).



**Figura 24.** Gráfico de frequência das medidas de direção das fraturas tectônicas medidas na Pedra do Quitandinha.

**Tabela 1.** Frequência das medidas de direção das fraturas tectônicas.

Direção	Frequência	Frequência Total
N-S	0°-10°	27%
	10°-20°	
	170°-180°	
	180°-190°	
	190°-200°	
	350°-360°	
NE-SW	20°-30°	16%
	40°-50°	
	50°-60°	
E-W	70°-80°	47%
	80°-90°	
	90°-100°	
	100°-110°	
	250°-260°	
	260°-270°	
	270°-280°	
	270°-280°	
NNW-SSE	320°-330°	12%
	330°-340°	
	340°-350°	

#### 4.2.2 Fraturas de Alívio

As fraturas de alívio foram reconhecidas tanto dos afloramentos visitados quanto nas fotografias e filmagens do deslizamento. Nos afloramentos as fraturas são caracterizadas por seu mergulho muito baixo, às vezes quase horizontal (Figura 25), que aumenta conforme se afasta do topo do maciço. Nas fotografias obtidas após o deslizamento é possível identificar as fraturas de alívio com mergulhas moderado a elevado, acompanhando a morfologia da encosta (Figura 26).



**Figura 25.** Fraturas de alívio sub-horizontais encontradas no topo da Pedra do Quitandinha.

Os dados de medidas de orientação das fraturas (Tabela 2) foram obtidos nos afloramentos da parte mais superior do maciço, logo, o seu mergulho tende a ser horizontal a baixo (0°-30°). Todas as fraturas possuem mergulho para os quadrantes a oeste, sendo possível identificar três famílias de fraturas: uma família mais frequente, com mergulho para NW, outra com mergulho para W e uma menos ocorrente com mergulho para SW (Figura 27).

**Tabela 2.** Frequência das medidas de sentido de mergulho das fraturas de alívio encontradas da Pedra do Quitandinha.

Sentido do mergulho	Frequência	Frequência Total
NW	0°-10°	45%
	310°-320°	
	320°-330°	
	330°-340°	
	340°-350°	
	350°-360°	
W	260°-270°	25%
	270°-280°	
	280°-290°	
SW	200°-210°	20%
	210°-220°	

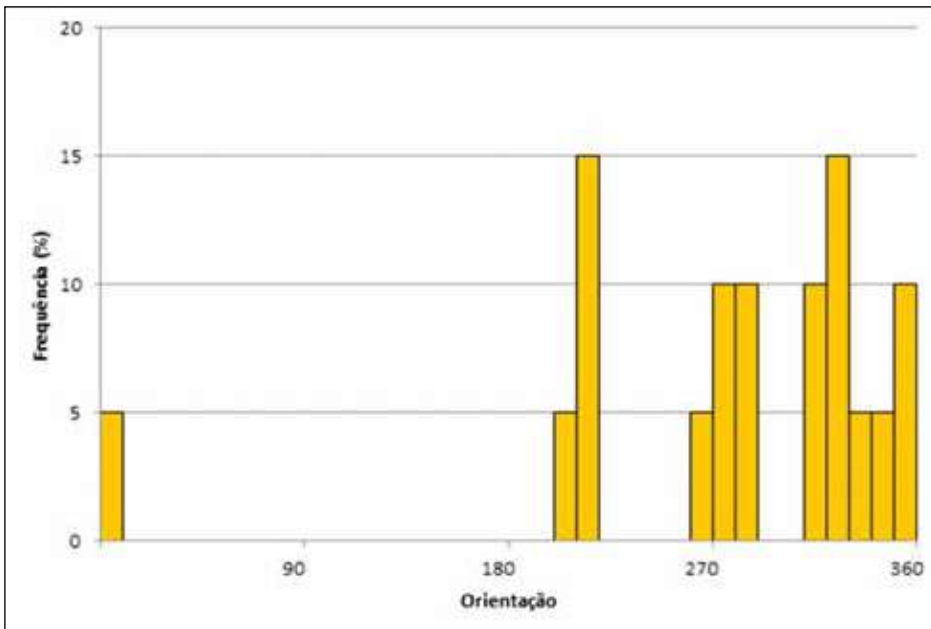


Figura 27. Gráfico de frequência dos valores de sentido de mergulho das fraturas de alívio.

#### 4.3 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

Uma das propriedades mais importantes para determinar a qualidade de um maciço rochosos é o seu grau de alteração, que é o nível de degradação das características mineralógicas de uma rocha. A degradação das rochas ocorre a partir de modificações físico-químicas relacionadas à interação entre a rocha e a hidrosfera e a atmosfera (Serra Junior & Oujima, 1998).

Considerando o tipo de rocha existente na área do acidente, quanto maior for o seu grau de alteração, maior será a perda das suas propriedades mecânicas e, conseqüentemente, maior será a susceptibilidade a ocorrer algum tipo de movimento de massa.

Para definir o grau de alteração das rochas envolvidas no deslizamento foram coletadas amostras da litologia predominante que estivessem visualmente sãs, medianamente alteradas e muito alteradas. Apesar de ocorrer em pouco volume, também foi coletada uma amostra de um veio de pegmatito como fator de comparação (Tabela 3).

Tabela 3. Identificação do grau de alteração aparente das amostras coletadas em campo.

Número da amostra	Características de campo
1	Gnaiss aparentemente são
2	Gnaiss moderadamente alterado
3	Gnaiss bastante alterado
4	Pegmatito levemente alterado

##### 4.3.1 Determinação da massa específica

Os valores de massa específica para cada amostra foram calculados a partir da relação entre as suas dimensões, medidas com um paquímetro, e a sua massa em gramas, obtida a partir de uma balança de precisão de três dígitos.

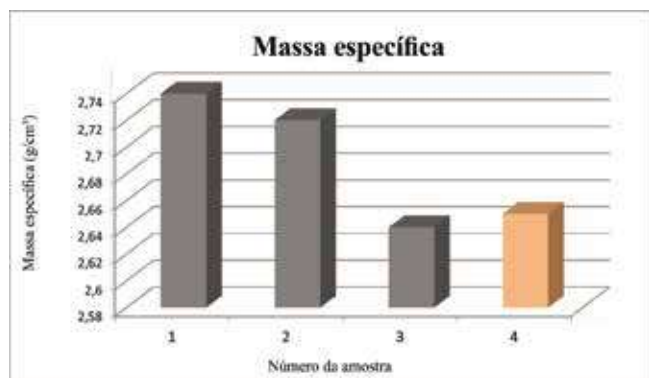
Os valores de massa específica determinados para as amostras de biotita gnaiss apresentam valores decrescentes da amostra 1 para a amostra 3 (Tabela 4). Não houve variação significativa entre as amostras 1 e 2, entretanto a amostra 3 apresenta um valor bastante inferior (Figura 28). Isso acontece, provavelmente, pois a amostra 3 está mais alterada e, conseqüentemente, é mais porosa. O aumento da porosidade implica em presença de ar no volume da amostra, o que diminui a sua densidade.



A amostra de pegmatito apresenta um valor de massa específica relativamente baixo, consequência de sua composição mineralógica. Uma vez que a rocha é composta quase totalmente por microclina e quartzo, sua massa específica será reflexo da densidade desses minerais.

**Tabela 4.** Valores determinados de massa específica para as amostras coletadas.

Amostra	Massa Específica (G/cm³)
1	2,74
2	2,72
3	2,64
4	2,65



**Figura 28.** Gráfico com valores de massa específica para cada amostra. Em cinza estão representadas as três amostras de biotita-hornblenda gnaiss e em rosa está representada a amostra de pegmatito.

### 4.3.2 Ensaio de ultrassom

Por definição, onda é uma perturbação que se propaga através de um meio, transmitindo energia sem transportar matéria (Medeiros, 2007). As ondas podem ser classificadas quanto à natureza em eletromagnéticas, que se propagam tanto no vácuo quanto em todos os materiais, e mecânicas, que necessitam de um meio para se propagar. As ondas sonoras são classificadas como ondas mecânicas e podem ser diferenciadas de acordo com suas frequências em ondas subsônicas (frequências de até 16 Hz), ondas sônicas (frequências entre 16 Hz e 20 Hz) e ondas ultrassônicas (frequências entre 20 Hz e 1000 MHz) (Medeiros, 2007).

A velocidade das ondas depende principalmente do meio de propagação, sendo maior nos sólidos e menor nos líquidos e gases. A velocidade

de de propagação das ondas ultrassônicas em um material sólido, homogêneo e isotrópico depende da densidade e das propriedades elásticas desse material.

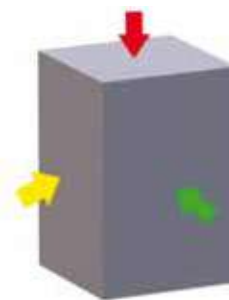
O Ensaio de Ultrassom consiste na medição do tempo de propagação das ondas ultrassônicas através de um determinado material, entre um emissor e um receptor, chamados transdutores. O comprimento do material analisado dividido pelo tempo de propagação resulta na velocidade média de propagação da onda ultrassônica (NBR 8802, 2019).

É possível correlacionar a velocidade de propagação das ondas ultrassônicas com o grau de alteração das rochas (Tabela 5). Quanto maior for a alteração de uma rocha, maior será a sua porosidade e, conseqüentemente, menor será a velocidade de propagação das ondas. Isso acontece em razão dos poros estarem preenchidos por ar e as ondas ultrassônicas se propagarem com menor velocidade por esse meio (Pinho, 2016).

**Tabela 5.** Correlação entre grau de alteração das rochas e valores de velocidade ultrassônica em m/s. Retirado de Pinho, 2016.

Grau de Alteração	Velocidade Ultrassônica (m/s)
Sã	>5000
Suavemente Alterada	5000-4000
Moderadamente Alterada	4000-3000
Altamente Alterada	3000-2000
Totalmente Alterada	<2000

As análises foram realizadas nas quatro amostras considerando suas diferentes direções (Figura 29) e os resultados estão apresentados na Tabela 6.



**Figura 29.** Bloco diagrama representativo das três direções de análise realizadas no Ensaio de Ultrassom: Direção 1 (vermelho), Direção 2 (amarelo) e Direção 3 (verde).



**Tabela 6.** Resultado das análises de ultrassom realizadas em diferentes direções nas amostras coletadas em campo.

Direção	Valor medido (m/s)	Valor médio (m/s)	Classificação
Amostra 1			
1	5246	5363	Rocha sã
2	5481		
Amostra 2			
1	4523	4367	Rocha suavemente alterada
2	4407		
2.1	4109		
3	4430		
Amostra 3			
1	3053	3587	Rocha moderadamente alterada
2	3577		
3	4130		
Amostra 4			
1	5641	4447	Rocha suavemente alterada
2	3716		
3	3984		

A partir da observação dos resultados das análises realizadas, é possível caracterizar um aumento progressivo do grau de alteração da Amostra 1 para a Amostra 3, representado pela diminuição na velocidade de propagação das ondas ultrassônicas (Figura 30).

**Figura 30.** Gráfico do valor médio de velocidade ultrassônica, em m/s, para cada amostra analisada.

A amostra de pegmatito apresentou diferenças consideráveis de velocidade de propagação das ondas para cada direção. A direção 1 apresentou velocidade compatível com a classe de rocha

sã, enquanto as direções 2 e 3 apresentaram velocidades compatíveis com a classe de rocha moderadamente alterada. Uma possível explicação para isto é a característica anisotrópica da rocha, com orientação dos cristais de microclina segundo a direção 1.

#### 4.3.3 Esclerômetro de Schmidt

O Esclerômetro de Schmidt é um equipamento que mede a dureza superficial de um material rochoso e a correlaciona com a sua resistência à compressão. O ensaio, caracterizado como não destrutivo, é utilizado para determinar propriedades das rochas, concreto, asfalto, argamassa e outros materiais (Brandi *et al.*, 2015).

O princípio mecânico de funcionamento do esclerômetro é a liberação de um pistão sustentado por uma mola sobre uma superfície. A energia de impacto do pistão na superfície é em parte devolvida ao martelo, promovendo seu rebote. O valor do rebote do pistão representa a resistência da superfície ao impacto (Brandi *et al.*, 2015). O valor de rebote é uma consequência das propriedades do material, como elasticidade, resistência e dureza, e pode ser relacionado ao coeficiente de compressão uniaxial através de um gráfico de conversão.

Em geral, rochas pouco alteradas apresentam valores maiores de resistência à compressão uniaxial, quando comparadas a rochas alteradas de mesma composição ou de composições similares, resultado de sua maior resistência mecânica. As rochas mais alteradas apresentam valores progressivamente menores de resistência, reflexo da perda das suas propriedades mecânicas pelo processo de intemperismo.

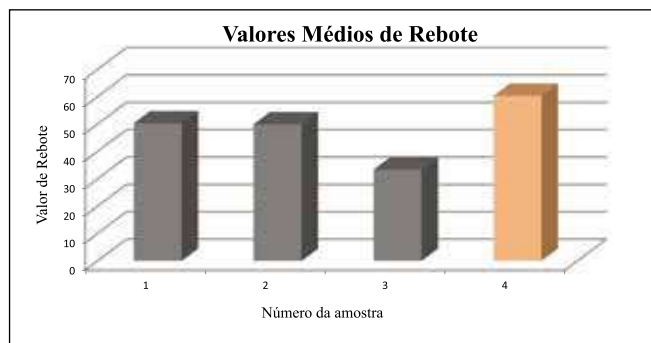
Para determinar a resistência à compressão uniaxial das rochas envolvidas no acidente da Rua Uruguai, foram realizados dez testes em cada uma das quatro amostras. Os valores de rebote estão apresentados na tabela a seguir:

**Tabela 7.** Valores de rebote obtidos para cada amostra.

Teste	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
1	49	50	26	52
2	52	52	40	60
3	52	42	32	64
4	49	44	34	65
5	50	50	34	62
6	50	52	30	63
7	50	52	33	63
8	48	54	37	53
9	50	54	34	62
10	52	49	33	59
Média	50,2	49,9	33,3	60,3

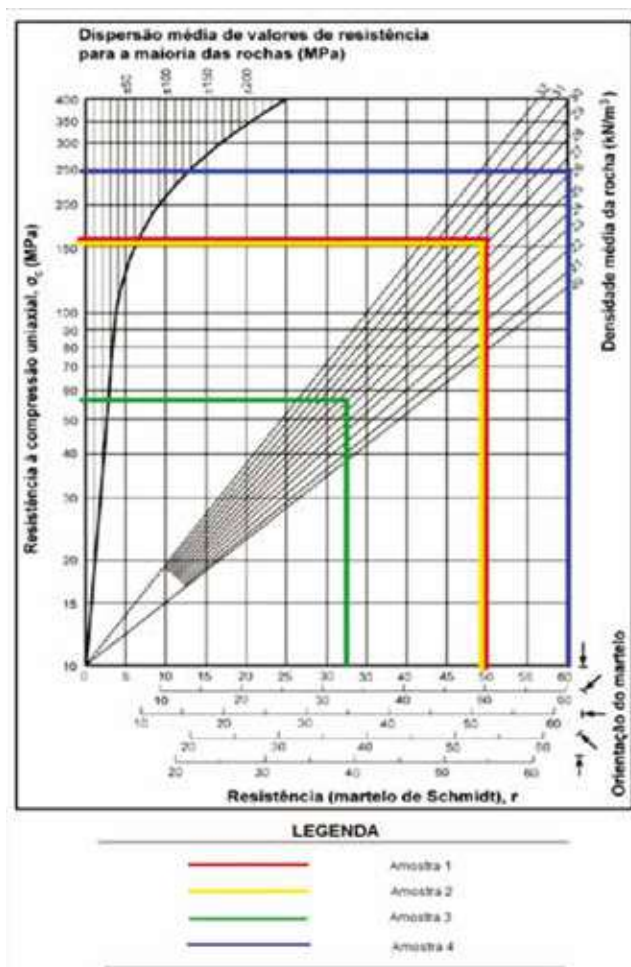
Apesar de possuírem graus de alteração diferentes, as amostras 1 e 2 (gnaiss são e gnaiss moderadamente alterado, respectivamente) não apresentaram variação significativa do valor de rebote. Entretanto, a amostra 3 (gnaiss bastante alterado) apresentou um valor consideravelmente inferior, indicando que é necessário atingir um grau de alteração maior para que as propriedades mecânicas da rocha se alterem (Figura 31).

A amostra de pegmatito (Amostra 4) apresentou um valor de rebote substancialmente elevado em comparação com as amostras de gnaiss. Isso acontece por conta das características mineralógicas e texturais do pegmatito: a presença de grandes cristais de microclina e quartzo tornam o material mais resistente ao impacto do esclerômetro.



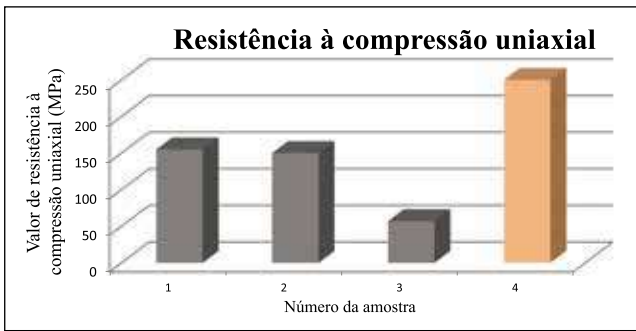
**Figura 31.** Gráfico dos valores de rebote determinados para cada amostra.

Os valores de rebote foram convertidos para valores de resistência à compressão uniaxial (Figura 32) através de um gráfico que relaciona os valores de rebote com a massa específica da amostra.



**Figura 32.** Ábaco de Miller -gráfico de correlação entre os valores de rebote e de resistência à compressão uniaxial das amostras analisadas.

Os valores de resistência à compressão uniaxial seguem o mesmo padrão dos valores de rebote (Figura 33). As amostras 1 e 2 apresentam valores muito semelhantes, enquanto a amostra 3 apresenta um valor bastante inferior. Mais uma vez é possível observar que é necessário um grau de alteração mais elevado para que a rocha perca suas características mecânicas. A amostra de pegmatito exibe um valor muito elevado de resistência à compressão uniaxial quando comparado com os valores das amostras de gnaiss. Esse valor encontrado é reflexo das suas características texturais e mineralógicas, já citadas anteriormente.

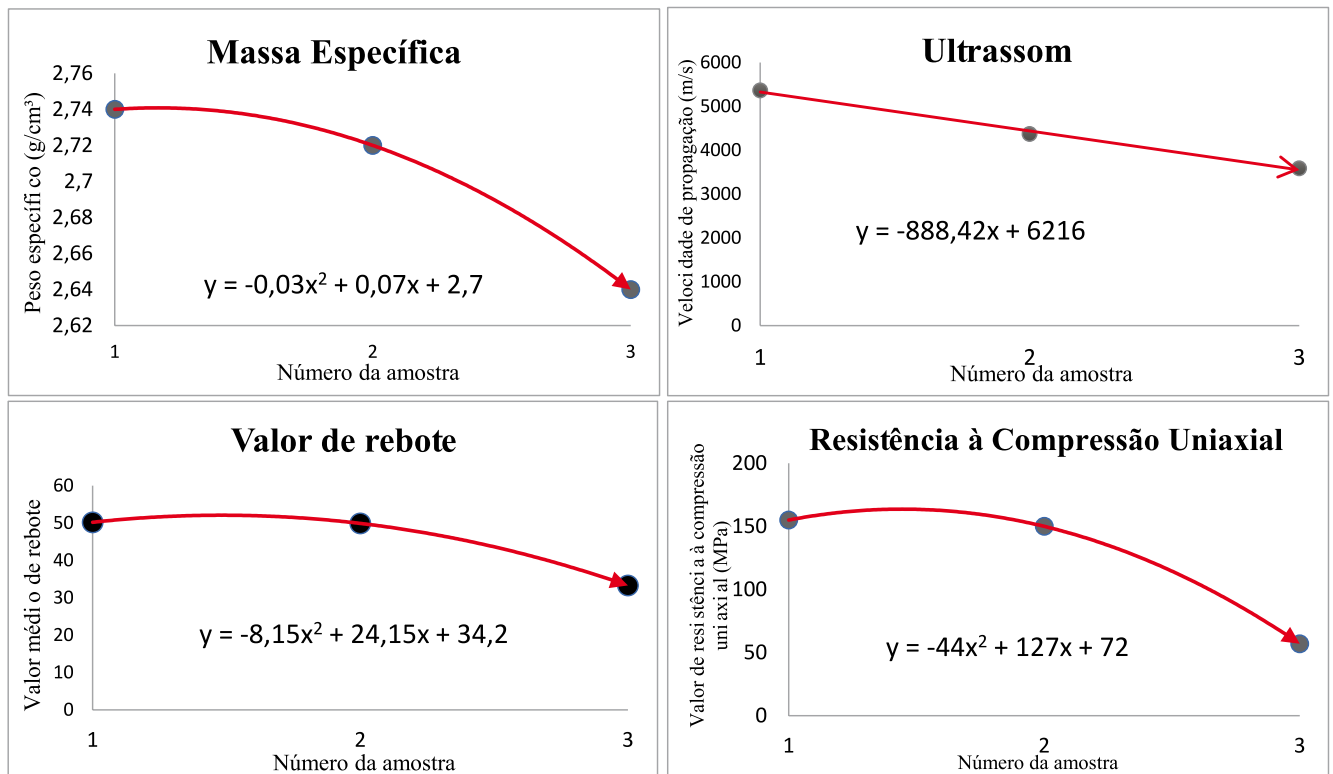


**Figura 33.** Gráfico com os valores de resistência à compressão uniaxial de cada amostra.

## 6 CONCLUSÕES

O mapeamento da área do deslizamento permitiu caracterizar diversos aspectos condicionan-

tes que contribuíram para a sua ocorrência. Além dos fatores climáticos, as características geológicas são extremamente importantes para que um movimento de massa ocorra. Observando todos os dados levantados, é possível concluir que o deslizamento ocorreu pela reunião de diversos fatores. A presença de diversas fraturas permite a formação de blocos na parte superior da encosta e ajuda no processo de percolação de água pelo maciço. A água que percola pelas fraturas promove a alteração progressiva da rocha, que perde suas propriedades mecânicas, o que foi observado a partir das análises tecnológicas realizadas (Figura 34).



**Figura 34.** Comparação dos resultados das análises tecnológicas para as amostras do biotita-hornblenda gnaiss

A associação de uma rocha intensamente fraturada, e cada vez menos resistente, com uma encosta muito inclinada, gera grande instabilidade e risco. Com tanta instabilidade latente, bastou um grande volume de chuva acumulado para que a força da gravidade superasse a coesão e a resistência da rocha e o deslizamento acontecesse.

O padrão que levou à ocorrência do movimento de massa na Rua Uruguai se repete por toda a encosta da Pedra do Quitandinha, onde ainda existem diversas residências que poderiam ser atingidas por novos deslizamentos, o que demanda ações objetivas e atenção ao problema por parte dos órgãos competentes.

## REFERÊNCIAS

- ABNT - NBR 8802 (2019) - Concreto endurecido - Determinação da velocidade de propagação da onda ultrassônica. 11p.
- Brandi, I; Barbosa, M; Guimarães, R. (2015) - Uso do Esclerômetro de Schmidt na avaliação da resistência geomecânica de cavidades naturais subterrâneas em terrenos ferríferos, Carajás-PA. In: Rasteiro, M.A.; Sallun Filho, W. (orgs.) Congresso Brasileiro de Espeleologia, 33, 2015, Eldorado. Anais do 33º Congresso Brasileiro de Espeleologia. Campinas: SBE, 2015. p.: 627-654.
- Guerra, A.J.T.; Gonçalves, L.F.H.; Lopes, P.B.M. (2007) - Evolução histórico-geográfica da ocupação desordenada e movimentos de massa no Município de Petrópolis, nas últimas décadas. Revista Brasileira de Geomorfologia, Rio de Janeiro, v.8, p.: 35-43.
- Medeiros, A. (2007) - Aplicação do ultrassom na estimativa de profundidade de fendas superficiais e na avaliação da eficácia de injeções em elementos de concreto armado. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- PPGEC/UFSC, Florianópolis.
- Penha, H.M.; Ferrari, A.L.; Ribeiro, A.; Amador, E.S.; Pentagna, F.; Junho, M.C.B.; Brenner, T.L. (1980) - Geologia da Folha Petrópolis. In: Congresso Brasileiro De Geologia, XXXI, 1980, Balneário de Camboriú. Anais do XXXI Congresso, Volume 5. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia. p. 2965-2974.
- Pinotti, A.M.; Carneiro, C.D. (2013) - Geologia Estrutural na previsão e contenção de queda de blocos em encostas: aplicação no Granito Santos, SP. Terrae Didactica, Campinas, v.9, n.2, p. 132-168, 2013.
- Pedroso, M.M.M. (2014) - Petrópolis: de povoação-colônia a elevação à categoria de cidade, um estudo sobre sua formação urbana. 2014. Dissertação (Mestrado em História Social da Cultura) - Departamento de História Social, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro.
- Pinho, T. M. (2016) - Estudo e análise do grau de alteração em granitos tardi/pós-orogênicos da Faixa Ribeira, no Estado do Rio de Janeiro, através de ondas ultrassônicas, 2016. Monografia (Graduação em Geologia) - Departamento de Geociências, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.
- Relatório CPRM (2016) - Relatório de visita técnica ao Município de Petrópolis. Serviço Geológico do Brasil (Representado por Thiago Dutra dos Santos, Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff e Marcelo Jorge).
- Relatório DRM-RJ (2016) - Correlação chuvas x escorregamentos no Estado do Rio de Janeiro no mês de novembro de 2016. Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro, Niterói.
- Serra Junior, E.; Ojima, L.M. (1998) - Caracterização e Classificação de Maciços Rochosos. In: Oliveira, A.M.S.; Britto, S.N.A. (Ed.). Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. Cap. 13, p.: 221-226.

# MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA E INUNDAÇÕES NA REGIÃO DA MACROMETRÓPOLE PAULISTA

MAPPING OF AREAS SUSCEPTIBLE TO GRAVITATIONAL MASS MOVEMENTS AND  
FLOODS IN THE "MACROMETRÓPOLE PAULISTA" REGION

OMAR YAZBEK BITAR

*Geólogo, Dr., Pesquisador do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do  
Estado de São Paulo – IPT, 11 3767.4489/4938, omar@ipt.br;*

SOFIA JÚLIA ALVES MACEDO CAMPOS

*Enga. Civil, Ma., Pesquisadora do IPT, scampos@ipt.br;*

ANA CÂNDIDA MELO CAVANI MONTEIRO

*Matemática, Ma., Pesquisadora do IPT, anacandi@ipt.br;*

PRISCILLA MOREIRA ARGENTIN

*Geógrafa, Pesquisadora do IPT, priscillam@ipt.br;*

ALESSANDRA CRISTINA CORSI

*Geóloga, Dra., Pesquisadora do IPT, accorsi@ipt.br;*

NIVALDO PAULON

*Tecnólogo, Pesquisador do IPT, nivaipt@ipt.br.*

## RESUMO ABSTRACT

Este artigo sintetiza os resultados finais dos trabalhos de mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa e inundações efetuados na região da Macrometrópole Paulista, que compreende 174 municípios do Estado de São Paulo. Os trabalhos de mapeamento foram realizados entre 2013 e 2020, por meio de parceria entre o Serviço Geológico do Brasil e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, em vista da implantação da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil e da execução do Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais, bem como do Programa Estadual de Prevenção de Desastres Naturais e de Redução de Riscos do Estado de São Paulo. O objetivo geral do mapeamento realizado é o de elaborar o zoneamento cartográfico das distintas susceptibilidades a processos geológicos e hidrológicos que ocorrem na Macrometrópole Paulista. Os métodos empregados na elaboração das cartas de suscetibilidade geradas consideraram os principais

This article summarizes the final results of the mapping of areas susceptible to gravitational mass movements and floods in the "Macrometrópole Paulista" region, which comprises 174 municipalities in the São Paulo State. The mapping work was carried out between 2014 and 2020, through a partnership between the Geological Service of Brazil and the Institute for Technological Research of the São Paulo State, in view of the implementation of the National Policy for Protection and Civil Defense and the execution of the National Plan for Risk Management and Response to Natural Disasters, as well as the State Program for Natural Disaster Prevention and Risk Reduction of the São Paulo State. The main goal of the mapping is to elaborate the cartographic zoning of the distinct susceptibilities to geological and hydrological processes that occur in the "Macrometrópole of São Paulo". The methods employed in the elaboration of the susceptibility maps consider the main physical environment processes occurring in the



processos do meio físico incidentes na região, analisados a partir da compilação, tratamento e integração de dados geológicos, geomorfológicos, hidrológicos e outros materiais previamente disponíveis ou obtidos durante os trabalhos, utilizando-se modelagens computacionais e verificação de campo. Os resultados obtidos compreendem a classificação do território de cada município da região em zonas de alta, média e baixa suscetibilidade, segundo dois conjuntos básicos de processos: deslizamento, rastejo e queda de bloco; e inundação e/ou alagamento. Apontam-se também as bacias de drenagem suscetíveis à geração de corrida de massa e enxurrada. A carta síntese de suscetibilidade elaborada contém, ainda, feições correlatas aos processos mapeados, bem como indicadores que propiciam estimar a incidência em área referente a cada classe no município. Ao final, apresentam-se conclusões sobre os trabalhos realizados e recomendações gerais para utilização das cartas de suscetibilidade produzidas, tanto por parte das administrações municipais quanto no planejamento regional.

**Palavras-chave:** Carta de suscetibilidade; Carta geotécnica; Macrometrópole Paulista.

## INTRODUÇÃO

O mapeamento de áreas suscetíveis a processos geológicos e hidrológicos que podem gerar desastres no País é um dos requisitos estabelecidos pela Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC - Lei Federal 12.608/2012; BRASIL, 2012). O conhecimento prévio sobre a distribuição espacial das distintas classes de suscetibilidade incidentes em cada município tende a auxiliar as prefeituras e a sociedade de modo geral a evitar a ocupação das áreas mais suscetíveis e a consequente geração de novas áreas de risco no futuro, orientando as demandas associadas às dinâmicas territoriais urbanas para zonas onde ocorrem baixas suscetibilidades aos processos do meio físico.

A PNPDEC estabelece que a execução do mapeamento de áreas suscetíveis no País seja integrada às demais políticas setoriais, incluindo as de ordenamento territorial, desenvolvimento urbano e meio ambiente, de modo a subsidiar as ações locais e regionais de planejamento territorial e de prevenção de desastres. A carta de sus-

ceptibilidade gerada por esse tipo de mapeamento se constitui, ainda, como um dos requisitos a ser cumpridos previamente pelos municípios para pleitear o acesso a recursos financeiros da União, destinados a apoiar medidas e obras de redução de riscos (Lei Federal 12.340/2010). A carta de suscetibilidade representa também um insumo básico para a elaboração da carta geotécnica de aptidão à urbanização, a ser realizada em escala de detalhe e prevista também na denominada Lei Lehmann (Lei Federal 6.766/1979), que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e na qual a PNPDEC introduziu dispositivo que vincula a aprovação de novos projetos de parcelamento do solo urbano ao atendimento dos requisitos constantes da CGAU. Além disso, o Estatuto da Cidade (Lei Federal 10.257/2001) explicita que, no plano diretor municipal, instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana, a identificação e o mapeamento de áreas de risco devem levar em conta as cartas geotécnicas, as quais dependem também do mapeamento prévio das áreas suscetíveis.

**Keywords:** susceptibility map; geotechnical map; Macro metropolitan region of Sao Paulo.

O Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais (PNGRRDN – BRASIL, 2013) deflagrou a elaboração de cartas de suscetibilidade em diferentes regiões do País, sob a coordenação do Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Para o desenvolvimento das cartas, a CPRM estabeleceu parceria com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). As premissas para a elaboração das cartas de suscetibilidade compreenderam a formulação de um modelo de mapeamento que propiciasse a aplicabilidade nacional, com as adaptações necessárias a cada região, bem como a comparabilidade entre os municípios mapeados, com padronização dos produtos elaborados e, ainda, objetividade no atendimento às diretrizes da PNPDEC e ações do PNGRRDN, disponibilizando quanto antes os resultados aos municípios. Desde 2013, mais de 600 municípios foram mapeados no País, cujos dados completos têm sido progressivamente incluídos no acervo digital da CPRM (2021) para acesso público.

No caso do Estado de São Paulo (ESP), após a execução dos primeiros mapeamentos, estabeleceu-se a meta de completar os municípios da região da Macrometrópole Paulista, no âmbito do Programa Estadual de Prevenção de Desastres Naturais e de Redução de Riscos (PDN – criado inicialmente pelo Decreto Estadual 57.512/2011 e reorganizado posteriormente pelo Decreto Estadual 64.673/2019). A Macrometrópole Paulista compreende a região do ESP onde os problemas associados a deslizamentos e inundações tendem a afetar de maneira o desenvolvimento econômico, social e ambiental de maneira significativa, especialmente quanto à urbanização, infraestrutura e industrialização, sendo importante o conhecimento das áreas suscetíveis para auxiliar as administrações locais e regionais em suas ações preventivas referentes ao uso e ocupação do solo.

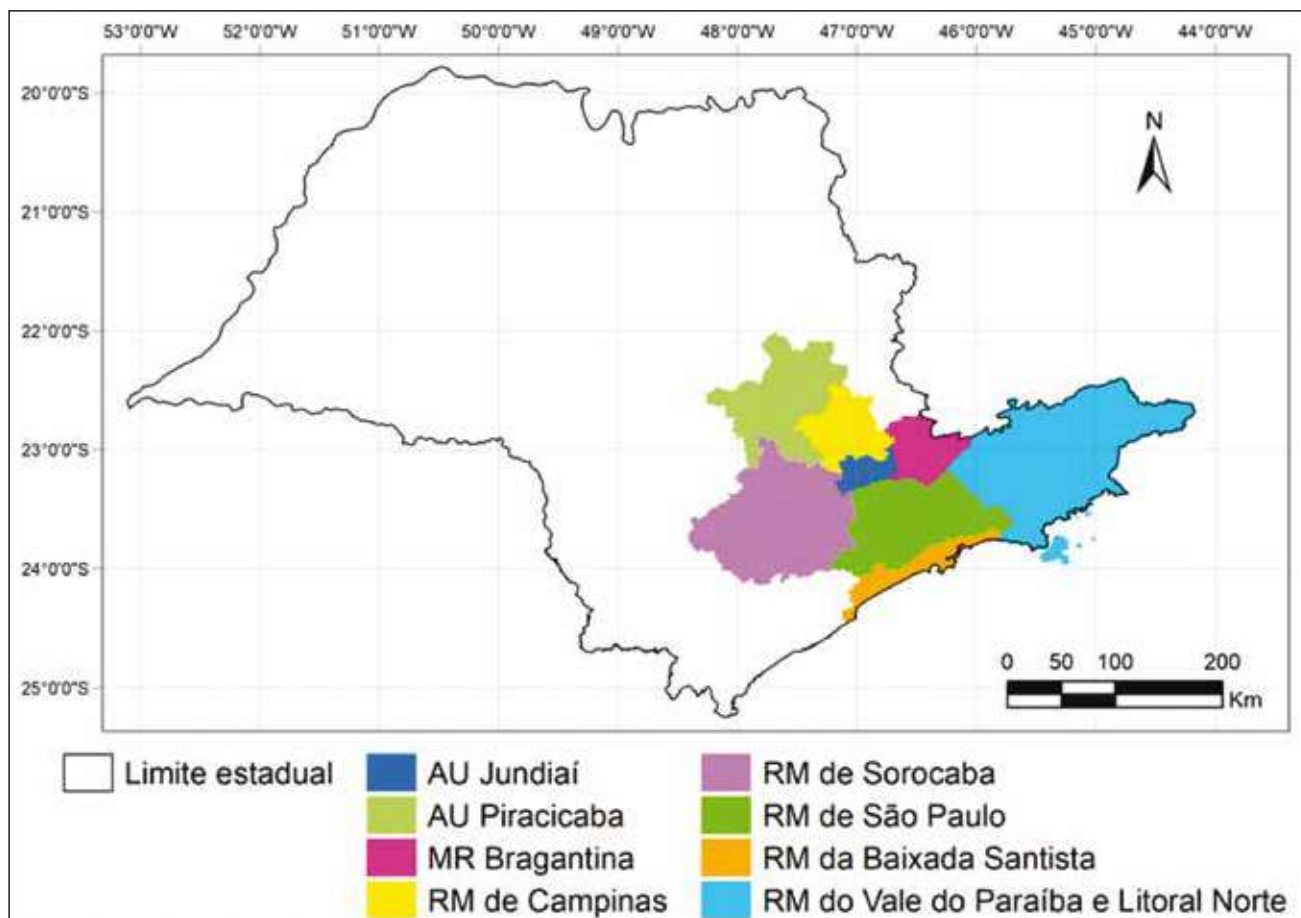
Este artigo apresenta breve síntese dos resultados finais obtidos acerca do mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa e inundações realizados na totalidade dos 174 municípios que compõem a Macrometrópole Paulista, entre 2013 e 2020. Resultados parciais sobre a evolução dos mapeamentos realizados nessa região, bem como em outras do ESP e do País, foram apresentados e discutidos em Silva e

Bitar (2014), Bitar e Silva (2015), Bitar et al. (2018) e Bitar (2019). Os dados aqui sintetizados incluem ajustes pontuais em relação aos mapeamentos parciais citados e que contemplam municípios da Macrometrópole Paulista, efetuados durante a consolidação dos resultados gerais. Os trabalhos de mapeamento de áreas suscetíveis na Macrometrópole Paulista foram executados pelo IPT (144 municípios) e CPRM (30 municípios), com apoio da Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil (CEPDEC/SP) e das prefeituras dos municípios mapeados.

## 2 A REGIÃO DA MACROMETRÓPOLE PAULISTA

A região da Macrometrópole Paulista foi proposta originalmente em 2014 pela Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano, em seu Plano de Ação da Macrometrópole Paulista voltado ao ano de 2040, como ferramenta de planejamento de longo prazo para dar suporte à formulação e implementação de políticas públicas integradas e às ações de governo no conjunto das regiões metropolitanas e aglomerações urbanas contíguas e instituídas legalmente no ESP. Abrange um território com 53 mil km<sup>2</sup> (21,5 % do total do ESP), compreendendo 50 % da área urbanizada, 74,6 % da população residente, 82,8 % do Produto Interno Bruto (PIB) e, ainda, um contingente populacional com aproximadamente 2,68 milhões de habitantes vivendo em assentamentos habitacionais considerados precários ou subnormais (EMPLASA, 2018).

A Macrometrópole Paulista considerada nos trabalhos de mapeamento de áreas suscetíveis reportados neste artigo contempla 174 municípios, distribuídos em oito sub-regiões nucleadas por cidades que apresentam dimensões populacionais e de urbanização de médio a grande porte: Aglomeração Urbana de Jundiaí; Aglomeração Urbana de Piracicaba; Micro Região Bragantina; Região Metropolitana de Campinas; Região Metropolitana de Sorocaba; Região Metropolitana de São Paulo; Região Metropolitana da Baixada Santista; e Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte (Figura 1 e Tabela 1).



Siglas: AU-Aglomeracão Urbana; MR-Micro Região; e RM- Região Metropolitana.  
**Figura 1.** Localizaco das sub-regiões da Macrometrópole Paulista no Estado de São Paulo. Fonte: Emplasa (2018).

**Tabela 1.** Sub-regiões e quantidade de municípios da Macrometrópole Paulista.

Sub-região	Quantidade de municípios
Aglomeracão Urbana de Jundiaí (AUJ)	7
Aglomeracão Urbana de Piracicaba (AUP)	23
Micro Região Bragantina (MRB)	10
Região Metropolitana da Baixada Santista (RMBS)	9
Região Metropolitana de Campinas (RMC)	20
Região Metropolitana de São Paulo (RMSP)	39
Região Metropolitana de Sorocaba (RMS)	27
Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte (RMVPLN)	39
<b>Total</b>	<b>174</b>

Fonte: Emplasa (2018).

Convém salientar que, durante o ano de 2021, a configuracão geral das regiões metropolitanas e aglomeraes urbanas do ESP se encontrava em processo de discussão e mudanças no âmbito do legislativo estadual, com prováveis reflexos  composio da Macrometrópole Paulista. Não obstante, dado que os mapeamentos reportados neste estudo se referem ao período 2013 a 2020, as sub-regiões contempladas pelos mapeamentos realizados se referem  composio expressa na Figura 1.



### 3 OBJETIVOS

O objetivo geral dos trabalhos realizados é o de elaborar o zoneamento das suscetibilidades aos principais processos geológicos e hidrológicos que ocorrem na Macrometrópole Paulista, estabelecendo as bases tecnológicas para o desenvolvimento contínuo do conhecimento acerca das características do meio físico inerentes ao território da região.

Os objetivos específicos compreendem: efetuar a análise, classificação e zoneamento das suscetibilidades a movimentos gravitacionais de massa e inundações em áreas ocupadas e não ocupadas dos territórios municipais, na escala geográfica de referência 1:25.000; e disponibilizar os dados gerados na internet, por meio dos portais da CPRM, CEPDEC/SP, Plataforma IPT Pró-Municípios e, ainda, nas infraestruturas de dados espaciais (IDEs) do Datageo da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente (SIMA/SP) e do Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC).

### 4 MÉTODOS E MATERIAIS UTILIZADOS

O conceito de *suscetibilidade* adotado para as finalidades dos trabalhos de mapeamento realizados, tendo em conta as diretrizes da PNPDEC e a literatura técnico-científica do campo das geociências aplicadas, relaciona-se com a predisposição ou propensão dos terrenos à geração e desenvolvimento de um fenômeno ou processo do meio físico em uma dada área (FELL et al., 2008; JULIÃO et al., 2009; SOBREIRA e SOUZA, 2012; DINIZ, 2012; COUTINHO, 2013; BRESSANI e COSTA, 2013; MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2013).

Para o desenvolvimento do modelo de mapeamento empregado foram considerados diversos estudos como base de orientação, podendo-se salientar o Guia para Zoneamento de Suscetibilidade, Perigo e Risco a Deslizamentos (FELL et al., 2008), elaborado pelo *Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes (JTC-1)*, órgão ligado a *International Association for Engineering Geology and The Environment (IAEG)*, conforme apresentado em Macedo e Bressani (2013). De acordo com o Guia, o mapeamento de suscetibilidade não deve ser confundido com o de perigo e tampouco com o de risco, os quais constituem tipos dis-

tintos de mapeamento, estes necessariamente em escalas de maior detalhe. Sobreira e Souza (2012) distinguem as cartas geotécnicas de planejamento, segundo as escalas geográficas e os processos identificáveis: cartas de suscetibilidade (em escala 1:25.000 ou maior); cartas de aptidão à urbanização (em escala 1:10.000, 1:5.000 ou maior); e cartas de riscos geológicos (em escala 1:2.000 ou maior). Essa diferenciação é apontada e discutida também em Diniz (2012) e IPT (2015).

Os métodos e técnicas utilizados no mapeamento de áreas suscetíveis, bem como a tipologia dos diversos materiais cartográficos reunidos e empregados nos trabalhos, como os diversos mapas temáticos necessários (relevo, geologia, hidrologia, modelo digital de elevação, declividade, altimetria, hipsometria, ocorrência registradas e outros), foram definidos em conjunto pelo IPT e CPRM e estão resumidos em Bitar et al. (2014). Os procedimentos metodológicos foram aplicados de modo similar a cada município, envolvendo basicamente: compilação bibliográfica, elaboração de mapas temáticos e estruturação da base de dados digitais; análise, classificação e zoneamento das suscetibilidades aos processos do meio físico considerados no mapeamento; fotointerpretação de feições associadas aos processos analisados, efetuada sobre imagens aéreas e de satélites; composição do pré-mapa de áreas suscetíveis mediante utilização de técnicas, equipamentos e *softwares* de geoprocessamento, em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG); confecção do quadro-legenda correspondente aos zoneamentos de suscetibilidade gerados, contendo as características predominantes em cada classe de suscetibilidade; verificação e validação do pré-mapa de áreas suscetíveis em atividades de campo; revisão do pré-mapa; e consolidação da carta de suscetibilidade e da base de dados digitais referentes ao município mapeado.

#### 4.1 Procedimentos metodológicos no zoneamento das suscetibilidades

Para análise, classificação e zoneamento das suscetibilidades em cada município, integraram-se, em especial, dados e materiais cartográficos referentes a fatores predisponentes de natureza

geológica, geomorfológica e hidrológica, previamente disponíveis ou gerados durante os trabalhos, resultando em uma classificação relativa de suscetibilidade a cada processo considerado. Os terrenos foram analisados para as finalidades de zoneamento de acordo com dois conjuntos básicos de processos: deslizamento, envolvendo também rastejo e queda de bloco; e inundação, envolvendo também alagamento. Delimitaram-se, ainda, as bacias de drenagem suscetíveis à geração de corrida de massa e/ou enxurrada, mediante critérios específicos e apropriados a esses dois processos.

Dessa forma, os procedimentos específicos a cada conjunto de processos compreenderam, no caso de deslizamento: mapeamento dos fatores predisponentes; construção do modelo digital de elevação; fotointerpretação de imagens e ortofotos e tratamento de dados em sistemas de geoprocessamento; mapeamento de cicatrizes de deslizamento em área-piloto; validação da área-piloto a cada município, de acordo com a similaridade local em relação ao contexto geológico-geomorfológico da área-piloto considerada; cálculo do índice de suscetibilidade, a partir dos parâmetros mapeados (declividade, curvatura de encosta e lineamentos estruturais); testes de aferição do índice, efetuados em diferentes municípios; classificação da suscetibilidade em relação à área-piloto; e zoneamento da suscetibilidade no município correspondente. Suscetibilidades a rastejo e queda de rocha foram apontadas localmente, tendo-se em conta a presença de feições correspondentes, como depósitos de acumulação em sopé de encosta (no caso de rastejo) e campos de blocos rochosos e paredões rochosos (no caso de queda de rocha), entre outras associadas a ocorrências registradas e/ou a condições potenciais identificadas em fotointerpretação e verificadas em atividades de campo.

No caso de inundação, três etapas de trabalho foram desenvolvidas para análise, classificação e zoneamento das suscetibilidades: a) abordagem em nível regional, com a caracterização da morfologia das bacias hidrográficas abrangentes para identificação daquelas que tendem a favorecer o transbordamento do nível do curso d'água principal por ocasião de chuvas intensas, mediante obtenção do modelo digital de elevação, definição de direção de fluxos, cálculo da área de acu-

mulação, extração de drenagens e delimitação de bacias e sub-bacias hidrográficas, seleção e extração de parâmetros morfométricos das sub-bacias hidrográficas contribuintes (área de contribuição, relação de relevo, densidade de drenagem, índice de circularidade e índice de sinuosidade) e classificação e zoneamento das suscetibilidades a inundação (classes: alta, média e baixa); b) abordagem em nível local, mediante aplicação do modelo denominado HAND (*Height Above Nearest Drainage*), conforme Rennó et al. (2008), para classificação e zoneamento de suscetibilidades a inundações (classes: alta, média e baixa); e c) integração dos zoneamentos anteriores (regional e local), mediante cruzamento das duas classificações obtidas por matriz de correlação, com recorte nas áreas de padrões de relevo referentes a planícies aluviais e/ou marinhas atuais e a terraços fluviais e/ou marinhos antigos, resultando no zoneamento geral igualmente classificado em zonas de alta, média e baixa suscetibilidade. Suscetibilidades a alagamento foram apontadas localmente, tendo-se em conta a presença de feições correspondentes, como áreas úmidas, áreas alagadas e outras associadas a ocorrências registradas e/ou a condições potenciais identificadas em fotointerpretação e verificadas em atividades de campo.

Para a delimitação de bacias de drenagem suscetíveis a corrida de massa, consideraram-se os seguintes parâmetros: a delimitação de unidade ou padrão de relevo serrano; incidência de suscetibilidade alta a deslizamento; amplitude de relevo; área de bacias de drenagem; e Índice de Melton, conforme Wilford (2004), definido pela razão entre amplitude de relevo e a raiz quadrada da área da bacia de drenagem. Para enxurrada, consideraram-se a presença de padrão de relevo serrano e/ou de morros altos, bem como amplitude de relevo e área da bacia de drenagem. As suscetibilidades a esses processos nas bacias de drenagem puderam ser verificadas em atividades de campo, mediante identificação de feições associadas a eventos pretéritos, como a presença de blocos e depósitos correlatos a jusante. De acordo com a abordagem empregada, as bacias de drenagem suscetíveis a corrida de massa são consideradas suscetíveis também em relação à ocorrência de enxurrada, enquanto que o inverso nem sempre se verifica.

Os fatores e parâmetros utilizados na abordagem dos processos do meio físico considerados no mapeamento de áreas suscetíveis na Macrometrópole Paulista encontram-se sintetizados no Quadro 1. Feições adicionais referentes a outros processos não contemplados nas análises podem

estar apontadas nas cartas de suscetibilidade, a depender do município, como ravinas erosivas e subsidências e colapsos associados a processos cársticos, porém sem resultar no zoneamento correspondente.

**Quadro 1.** Fatores predisponentes e parâmetros considerados no mapeamento de áreas suscetíveis na Macrometrópole Paulista, de acordo com o tipo de processo do meio físico.

Conjunto de processos considerados	Fatores predisponentes e parâmetros, de acordo com o tipo de processo	Classes de suscetibilidade geradas
Movimentos gravitacionais de massa (exceto corrida de massa)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Deslizamento:</b> declividade, curvatura de encosta e densidade de lineamentos (falhas, fraturas, juntas e outras descontinuidades estruturais)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta, média ou baixa</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Rastejo:</b> presença de feições locais correspondentes (depósitos de acumulação em sopé de encosta, depósitos de tálus, depósitos coluvionares e outras), indicativas de suscetibilidade ao processo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta, média ou baixa, conforme a classe a deslizamento</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Queda de rocha:</b> presença de feições locais correspondentes (campo de blocos rochosos, paredão rochoso e outras), indicativas de suscetibilidade ao processo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta, média ou baixa, conforme a classe a deslizamento</li> </ul>
Inundações e/ou alagamentos (expresso em planícies e terraços)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Inundação:</b> características morfológicas das bacias hidrográficas, regionais (área de contribuição, relação de relevo, densidade de drenagem, índice de circularidade e índice de sinuosidade) e locais (aplicação do modelo HAND), com integração e recorte em padrão de relevo de planícies e terraços</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta, média ou baixa</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Alagamento:</b> presença de feições locais correspondentes (áreas úmidas, áreas alagadas e outras), indicativas de suscetibilidade ao processo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta, média ou baixa, conforme a classe a inundação</li> </ul>
Corrida de massa e/ou enxurrada (bacias de drenagem com alta suscetibilidade)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Corrida de massa:</b> padrão de relevo serrano; incidência de suscetibilidade alta a deslizamento; amplitude de relevo &gt; 500m; bacias de drenagem com Área &lt; 10km<sup>2</sup>; e Índice de Melton "M" &gt; 0,3, onde M=amplitude/raiz quadrada da Área</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Enxurrada:</b> padrão de relevo serrano e/ou de morros altos; amplitude de relevo &gt; 300m; e bacia de drenagem com Área &lt; 10km<sup>2</sup>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta</li> </ul>

Fonte: IPT e CPRM.

#### 4.2 Abrangência e limitações das classificações e zoneamentos gerados

As cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações elaboradas representam um primeiro estágio de conhecimento acerca de características do meio físico inerentes aos terrenos na região da Macrometrópole Paulista, mostrando as áreas suscetíveis à geração dos processos considerados em vista de eventuais fatores deflagradores que possam atuar no meio

físico, como a precipitação pluviométrica e o uso e ocupação do solo. Não se indicam o alcance territorial dos materiais potencialmente mobilizáveis (solos, rochas, vegetação e outros), como em deslizamento e corrida de massa, e tampouco a cumulatividade e sinergia entre os processos considerados, que devem ser objeto de análises de maior detalhe. O modelo de mapeamento desenvolvido é fundamentado em fatores predisponentes espacializáveis e validação em campo. Fatores não incluídos acerca dos processos considerados, ou

mesmo de outros processos não abordados num dado município, podem ser agregados à medida que haja disponibilidade das informações correspondentes, uma vez que a base de dados digitais produzida encontra-se em SIG.

A utilização dos métodos e técnicas em diferentes regiões do País foi discutida em Silva e Bitar (2015), que ressaltam a compatibilidade relativamente maior entre as cartas elaboradas nas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste do Brasil, sobretudo em relação aos dados e informações observados durante a realização dos trabalhos de verificação e validação de campo. Dificuldades específicas foram encontradas em relação às aplicações dos métodos e técnicas em municípios da região Norte, denotadas particularmente pela ausência de dados básicos compatíveis com a escala de trabalho adotada e pelos tipos de modelos digitais de elevação disponíveis, requerendo adaptações e complementações para geração de produtos que se aproximassem mais da realidade observada durante os trabalhos de campo.

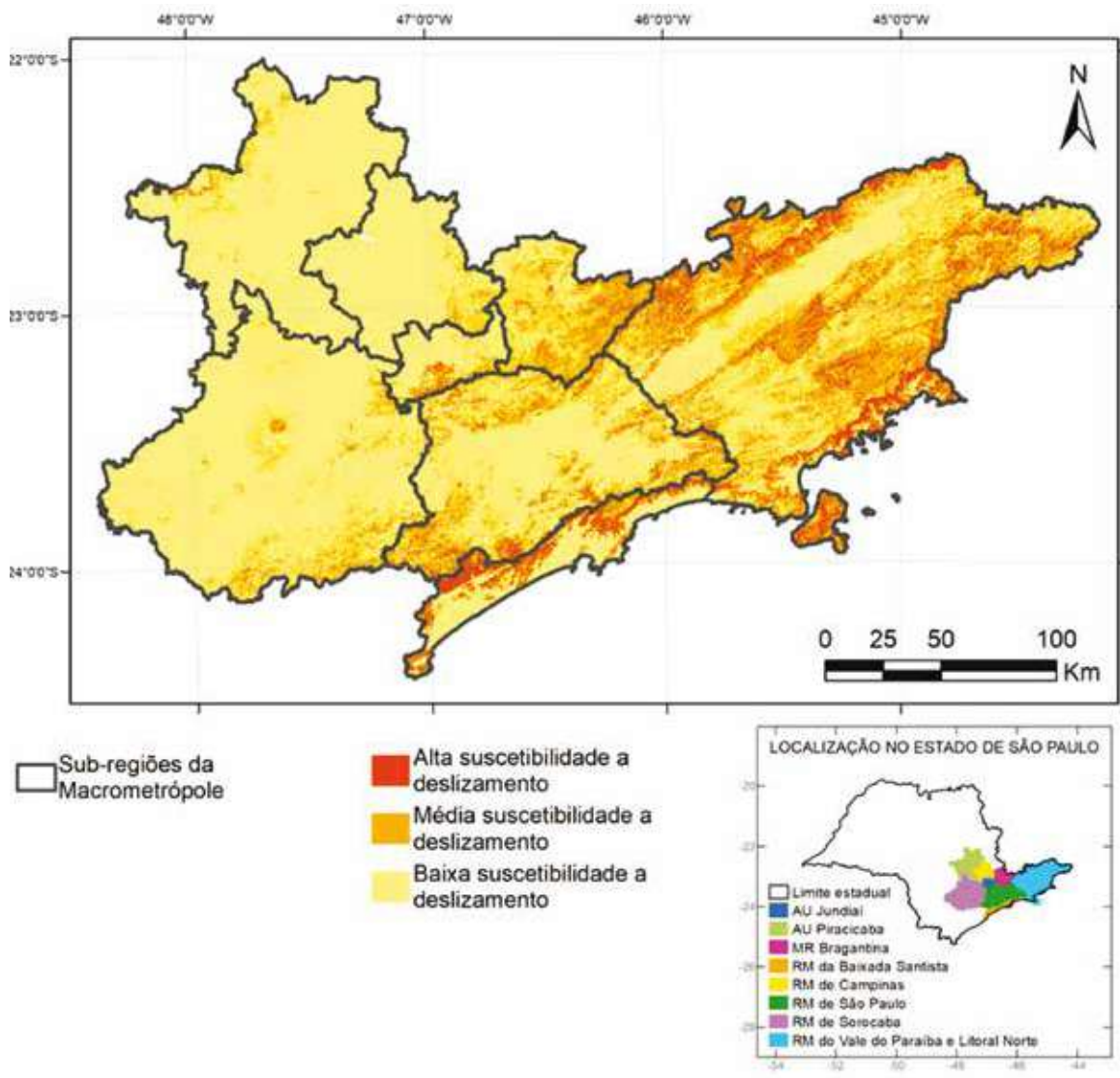
## 5 RESULTADOS GERAIS OBTIDOS E DISCUSSÃO

Os principais produtos gerados para cada município da Macrometrópole Paulista compreendem uma carta síntese de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações e uma base de dados digitais, organizadas em SIG. Essa base de dados contém todos os mapas temáticos e intermediários utilizados nos trabalhos de mapeamento, bem como informações referentes ao regime local de chuvas obtidas pela equipe de hidrologia da CPRM (PINTO, 2013). O formato geral e o conteúdo das cartas de suscetibilidade foram gerados em padrão similar para cada um dos 174 municípios da Macrometrópole Paulista. As cartas de suscetibilidade foram produzidas com base na escala geográfica 1:25.000 e sua apresentação final (em formato de impressão A0 ou A1) pode estar nessa mesma escala ou mesmo em outras escalas menores (1:50.000 ou 1:75.000, por exemplo), a depender da dimensão territorial de cada município em vista de seu enquadramento para fins de composição do chamado *layout* de saída da carta síntese em formato PDF.

Nesse contexto, ressalta-se a incidência de áreas suscetíveis a deslizamento, a inundação e/ou alagamento e a corrida de massa e/ou enxurrada, discutindo-se a seguir, de maneira breve e comparativa, os resultados obtidos em relação às oito sub-regiões mapeadas. No caso de corrida de massa e/ou enxurrada, a incidência é destacada em relação às bacias de drenagem suscetíveis à geração dos dois processos conjuntamente ou apenas a enxurrada. As abrangências territoriais consideradas se referem à área municipal total e à área urbanizada e/ou edificada, a qual engloba também as ocupações situadas além da zona urbana central (onde geralmente se localiza a sede municipal), ou seja, distritos, bairros e povoados mais afastados, além de pequenas aglomerações de edificações localizadas em zonas rurais. Cada classe de suscetibilidade é acompanhada de indicadores que apresentam uma estimativa acerca da incidência dos processos no território municipal. A composição das cartas municipais em cada sub-região possibilita a comparação dessa incidência no âmbito regional da Macrometrópole Paulista, bem como entre as sub-regiões mapeadas.

### 5.1 Áreas suscetíveis a deslizamento

Tendo em vista o mapeamento das áreas suscetíveis a deslizamento realizado (que pode incluir, a depender de cada município, a suscetibilidade a processos de rastejo e de queda de rocha mencionados), nota-se que a Região Metropolitana da Baixada Santista e a Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte correspondem às sub-regiões que abrigam a incidência maior de zonas com alta suscetibilidade, em comparação às demais sub-regiões mapeadas. Por outro lado, a Aglomeração Urbana de Piracicaba, Região Metropolitana de Campinas e Região Metropolitana de Sorocaba se destacam por apresentar maior incidência de zonas com baixa suscetibilidade a deslizamento. A Figura 2 apresenta um panorama ilustrativo da distribuição das três classes de suscetibilidade a deslizamento, conforme identificadas no território da Macrometrópole Paulista.



Siglas: AU-Aglomeração Urbana; MR-Micro Região; e RM- Região Metropolitana.

**Figura 2.** Ilustração geral da incidência de áreas suscetíveis a deslizamento na Macrometrópole Paulista. A depender do município, essa incidência pode incluir a suscetibilidade local a processos de rastejo e de queda de rocha. Fonte: IPT e CPRM.

Nesse aspecto, a Região Metropolitana da Baixada Santista se destaca por abrigar 30,67 % de seu território em zonas com alta suscetibilidade a deslizamento. A Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte apresenta também um valor significativo (22,65 %), enquanto a Região Metropolitana de São Paulo mostra uma incidência proporcionalmente menor em seu território

(10,33 %). Quanto à incidência específica de área urbanizada e/ou edificada situada em zona de alta suscetibilidade a deslizamento, a Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte se destaca novamente (2,53 %), seguida pela Região Metropolitana de São Paulo (1,80 %), Micro Região Bragançana (1,25%) e Região Metropolitana da Baixada Santista (1,20 %) (Tabela 2).



**Tabela 2.** Incidência específica de classes de suscetibilidade a deslizamento na Macrometrópole Paulista, segundo a abrangência territorial e a sub-região. Fonte: IPT e CPRM.

Abrangência territorial	Sub-região (número de municípios)	Alta		Média		Baixa		Total *
		km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>
Área municipal	AUJ (7)	86,41	6,81	177,92	14,02	1.005,03	79,18	1.269,36
	AUP (23)	43,10	0,58	290,68	3,94	7.045,48	95,48	7.379,26
	MRB (10)	262,84	9,50	1.115,75	40,32	1.388,34	50,18	2.766,93
	RMBS (9)	741,54	30,67	333,85	13,81	1.342,12	55,52	2.417,51
	RMC (20)	23,63	0,62	213,21	5,62	3.556,13	93,76	3.792,97
	RMSP (39)	821,10	10,33	1.631,18	20,53	5.494,65	69,14	7.946,93
	RMS (27)	167,58	1,44	1.017,48	8,75	10.438,70	89,80	11.623,79
	RMVPLN (39)	3.661,01	22,65	4.525,36	28,00	7.976,78	49,35	16.163,15
	Área municipal urbanizada e/ou edificada	AUJ (7)	2,85	0,95	15,00	5,00	282,11	94,05
AUP (23)		0,07	0,01	5,19	0,95	539,67	99,03	544,93
MRB (10)		3,48	1,25	77,24	27,69	198,24	71,06	278,96
RMBS (9)		3,72	1,20	1,94	0,63	303,63	98,17	309,29
RMC (20)		0,75	0,09	21,67	2,54	831,51	97,37	853,93
RMSP (39)		41,94	1,80	174,49	7,48	2.117,54	90,73	2.333,97
RMS (27)		1,76	0,17	30,36	2,85	1.032,81	96,98	1.064,93
RMVPLN (39)		21,28	2,53	94,98	11,30	724,48	86,17	840,74

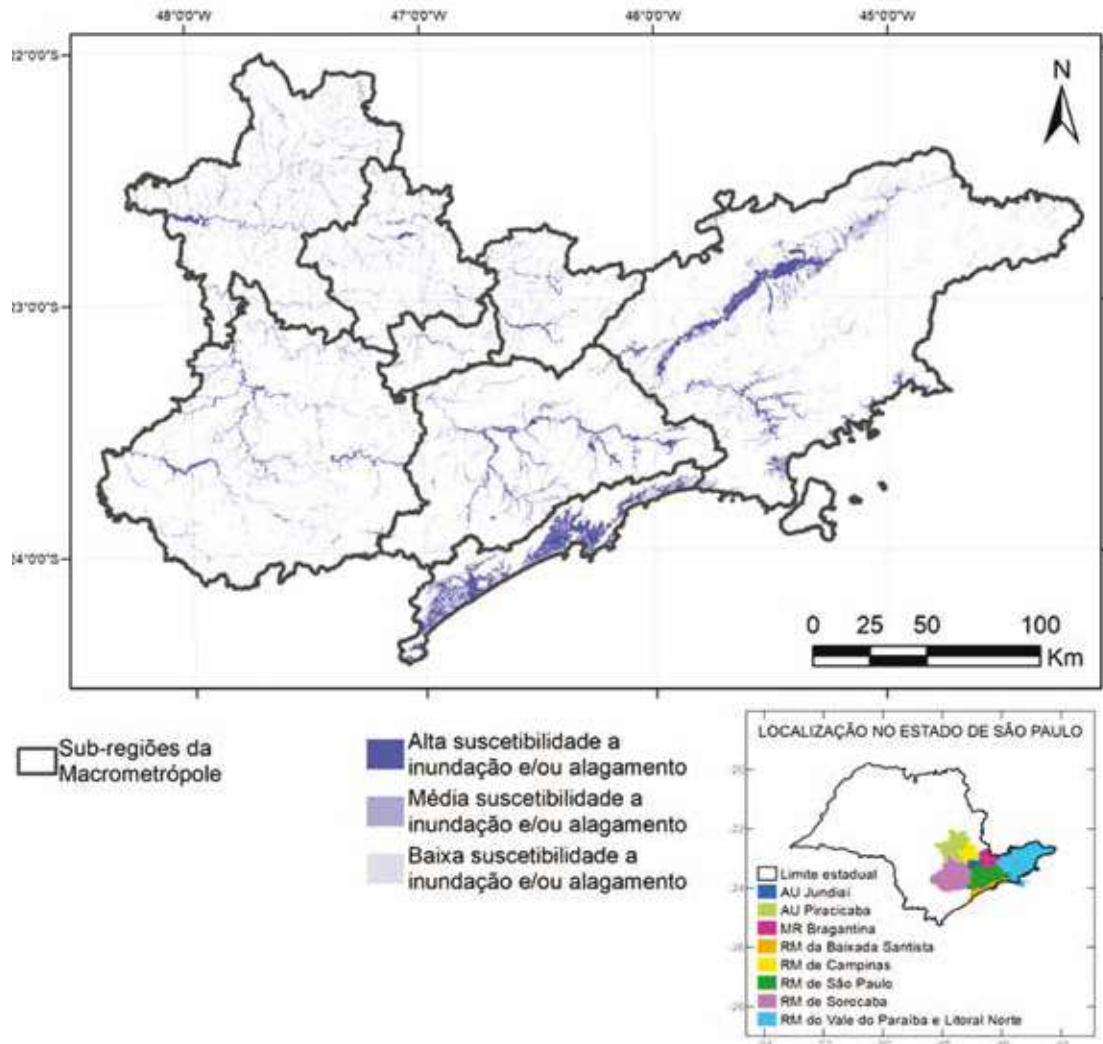
\* refere-se ao total da área da sub-região correspondente, dado que as áreas em padrão de relevo representado por planícies aluviais e/ou marinhas atuais e terraços fluviais e/ou marinhas antigos estão contabilizadas como áreas de baixa ou nula suscetibilidade a deslizamento.

Siglas: AUJ-Aglomeración Urbana de Jundiá; AUP-Aglomeración Urbana de Piracicaba; MRB-Micro Região Bragantina; RMC-Região Metropolitana de Campinas; RMS-Região Metropolitana de Sorocaba; RMSP-Região Metropolitana de São Paulo; RMBS-Região Metropolitana da Baixada Santista; e RMVPLN-Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte.

## 5.2 Áreas suscetíveis a inundações e/ou alagamentos

No que diz respeito a inundação e/ou alagamento, tendo em conta exclusivamente o domínio de padrões de relevo de planícies aluviais e/ou marinhas e terraços fluviais e/ou marinhas suscetíveis a esses processos (isoladamente ou em conjunto), observa-se a incidência maior de alta suscetibilidade ao longo da Região Metropolitana da Baixada Santista (acompanhando a orla costeira) e em porção territorial também em formato alongado na Região Metropolitana do Vale do Paraíba

e Litoral Norte, posicionada mais ao centro-norte da sub-região com direção aproximada NE-SW, correspondente ao contexto do curso do rio Paraíba do Sul. Nas demais sub-regiões se podem notar ocorrências desse mesmo domínio suscetível a inundações e/ou alagamentos, porém em áreas mais restritas, excetuando-se o contexto dos principais rios presentes em cada uma delas, cuja expressão em área tende a ser maior. A Figura 3 ilustra a distribuição territorial das classes de suscetibilidade a inundação e/ou alagamento identificadas no território da Macrometrópole Paulista.



Siglas: AU-Aglomeração Urbana; MR-Micro Região; e RM- Região Metropolitana.

**Figura 3.** Ilustração geral da incidência de áreas suscetíveis a inundação e/ou alagamento na Macrometrópole Paulista. Fonte: IPT e CPRM.

Quanto à incidência específica das distintas classes de suscetibilidade (baixa, média e alta) a inundação e/ou alagamento, em relação à área municipal, a Região Metropolitana da Baixada Santista (45,96 %) se destaca das demais sub-regiões, considerando-se apenas o domínio de relevo de planícies e terraços. No que diz respeito à porção de área urbanizada e/ou edificada situada

em zonas de suscetibilidade baixa, média e alta, a Região Metropolitana da Baixada Santista mostra 94,77 % dessa porção do seu território ocupado nessa condição, seguida à distância pela Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte e Região Metropolitana de São Paulo, respectivamente com 32,71 % e 17,53 % (Tabela 3).

**Tabela 3.** Incidência específica das classes de suscetibilidade a inundação e/ou alagamento no território da Macrometrópole Paulista, de acordo com a abrangência territorial e a sub-região. Fonte: IPT e CPRM.

Abrangência territorial	Sub-região (número de municípios)	Área total da sub-região (km <sup>2</sup> )	Alta		Média		Baixa		Total	
			km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup> *	% **
Área municipal	AUJ (7)	1.269,36	32,22	19,74	50,50	30,94	80,50	49,32	163,22	12,86
	AUP (23)	7.379,26	449,66	65,85	173,85	25,46	59,36	8,69	682,87	9,25
	MRB (10)	2.766,93	170,58	67,47	54,24	21,45	28,00	11,08	252,82	9,14
	RMBS (9)	2.417,51	505,00	45,45	299,33	26,94	306,86	27,62	1.111,19	45,96
	RMC (20)	3.792,97	160,95	33,92	119,44	25,17	194,06	40,90	474,45	12,51
	RMSP (39)	7.946,93	331,78	29,33	302,72	26,76	496,57	43,90	1.131,07	14,23
	RMS (27)	11.623,79	430,20	31,16	430,97	31,22	519,33	37,62	1.380,50	11,88
	RMVPLN (39)	16.163,15	796,09	33,88	589,27	25,08	964,53	41,05	2.349,89	14,54
	Área municipal urbanizada e/ou edificada	AUJ (7)	299,96	8,91	18,79	14,94	31,51	23,57	49,70	47,42
AUP (23)		544,93	14,19	65,72	6,12	28,35	1,28	5,93	21,59	3,96
MRB (10)		278,96	20,85	60,56	8,97	26,05	4,61	13,39	34,43	12,34
RMBS (9)		309,29	100,36	34,24	102,34	34,92	90,40	30,84	293,10	94,77
RMC (20)		853,93	17,96	27,28	16,39	24,90	31,48	47,82	65,83	7,71
RMSP (39)		2.333,97	101,47	24,79	116,87	28,56	190,90	46,65	409,24	17,53
RMS (27)		1.064,93	16,57	18,19	33,96	37,29	40,55	44,52	91,08	8,55
RMVPLN (39)		840,74	51,23	18,63	85,00	30,91	138,77	50,46	275,00	32,71

\* Refere-se à soma das áreas em padrões de relevo de planícies aluviais e/ou marinhas e terraços fluviais e/ou marinhos.

\*\* Refere-se à proporção de ocorrência desses mesmos padrões de relevo em relação à área total da sub-região.

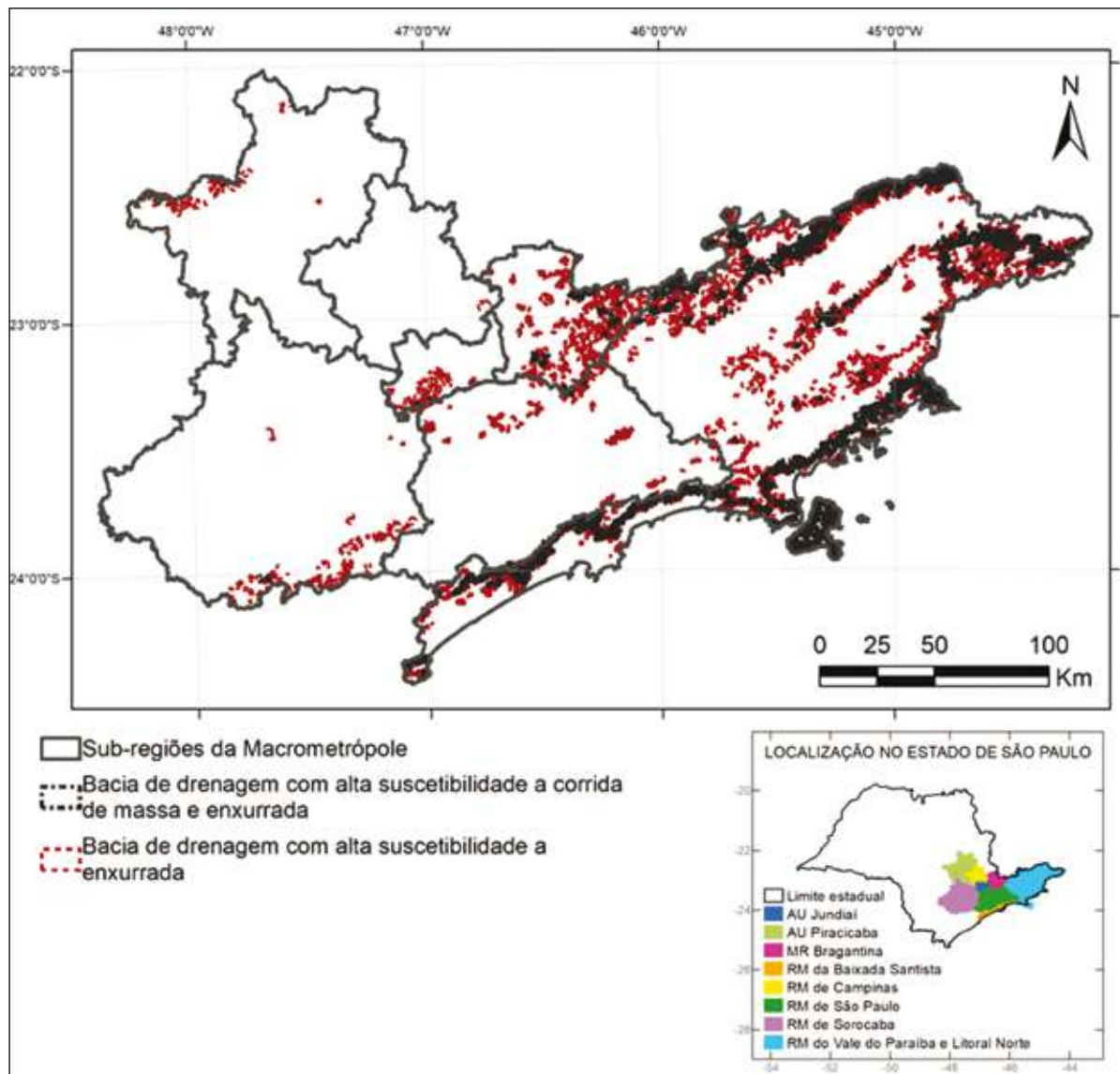
Siglas: AUJ-Aglomeración Urbana de Jundiaí; AUP-Aglomeración Urbana de Piracicaba; MRB-Micro Região Bragançana; RMC-Região Metropolitana de Campinas; RMS-Região Metropolitana de Sorocaba; RMSP-Região Metropolitana de São Paulo; RMBS-Região Metropolitana da Baixada Santista; e RMVPLN-Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte.

### 5.3 Áreas suscetíveis a corrida de massa e/ou enxurrada

Em relação ao panorama de bacias de drenagem com alta suscetibilidade a corrida de massa e/ou enxurrada, observa-se incidência maior em áreas de serras e adjacências situadas ao longo da faixa norte da Região Metropolitana da Baixada Santista (serra do Mar) e nas porções também alongadas da Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte situadas ao sul (serras do Mar e da Bocaina) e norte (serra da Mantiqueira), que alcança a parte leste da Micro Região Bragançana. As porções sul da Aglomeração Urbana de

Jundiaí (interface com as serras da Cantareira e do Japi) e sul da Região Metropolitana de Sorocaba (interface com a serra de Paranapiacaba) denotam a incidência de bacias de drenagem particularmente suscetíveis a enxurrada, assim como no oeste da Aglomeração Urbana de Piracicaba (serra do Itaqueri, onde se observam também porções localizadas do território abrigando bacias suscetíveis a corrida de massa e/ou enxurrada) e no norte da Região Metropolitana de São Paulo (serra da Cantareira). A Figura 4 ilustra a distribuição territorial das bacias de drenagem com alta suscetibilidade a corrida de massa e/ou enxurrada identificadas no território da Macrometrópole Paulista.





Siglas: AU-Aglomeração Urbana; MR-Micro Região; e RM- Região Metropolitana.

**Figura 4.** Ilustração da incidência de áreas suscetíveis a corrida de massa e/ou enxurrada na Macrometrópole Paulista. Fonte: IPT e CPRM.

Nesse contexto, a Região Metropolitana da Baixada Santista e a Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte se destacam em relação à incidência específica de bacias de drenagem com alta suscetibilidade a esses dois processos nas áreas totais municipais, respectivamente com 12,16 % e 10,01 %. No que se refere exclusivamente a bacias suscetíveis apenas a enxurrada, a Micro

Região Bragantina se sobressai, com incidência específica de 19,72 %. Quanto à presença de área urbanizada e/ou edificada em bacias de drenagem com alta suscetibilidade à geração de corrida de massa e/ou enxurrada, a Micro Região Bragantina apresenta 10,59 %, seguida pela Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte com 5,38 %. (Tabela 4).

**Tabela 4.** Incidência específica de classes de suscetibilidade a corrida de massa e/ou enxurrada na Macrometrópole Paulista, segundo a abrangência territorial e a sub-região. Fonte: IPT e CPRM.

Abrangência territorial	Sub-região (número de municípios)	Área total da sub-região (km <sup>2</sup> )	Corrida de massa e enxurrada (a)		Enxurrada (b)		Total (a + b)	
			km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
Área municipal	AUJ (7)	1.269,36	3,55	0,28	112,64	8,87	116,19	9,15
	AUP (23)	7.379,26	1,79	0,02	134,01	1,82	135,80	1,84
	MRB (10)	2.766,93	54,76	1,98	545,67	19,72	600,43	21,70
	RMBS (9)	2.417,51	293,86	12,16	264,67	10,95	558,53	23,10
	RMC (20)	3.792,97	0,00	0,00	7,48	0,20	7,48	0,20
	RMSP (39)	7.946,93	21,91	0,28	214,64	2,70	236,55	2,98
	RMS (27)	11.623,79	6,14	0,05	189,27	1,63	195,41	1,68
	RMVPLN (39)	16.163,15	1.617,46	10,01	2.076,32	12,85	3.693,78	22,85
Área municipal urbanizada e/ou edificada	AUJ (7)	299,96	0,05	0,02	3,30	1,10	3,35	1,12
	AUP (23)	544,93	0,00	0,00	1,65	0,30	1,65	0,30
	MRB (10)	278,96	1,79	0,64	27,75	9,95	29,54	10,59
	RMBS (9)	309,29	0,42	0,14	0,90	0,29	1,32	0,43
	RMC (20)	853,93	0,00	0,00	1,51	0,18	1,51	0,18
	RMSP (39)	2.333,97	0,18	0,01	9,68	0,41	9,86	0,42
	RMS (27)	1.064,93	0,00	0,00	2,71	0,25	2,71	0,25
	RMVPLN (39)	840,74	16,75	1,99	28,48	3,39	45,23	5,38

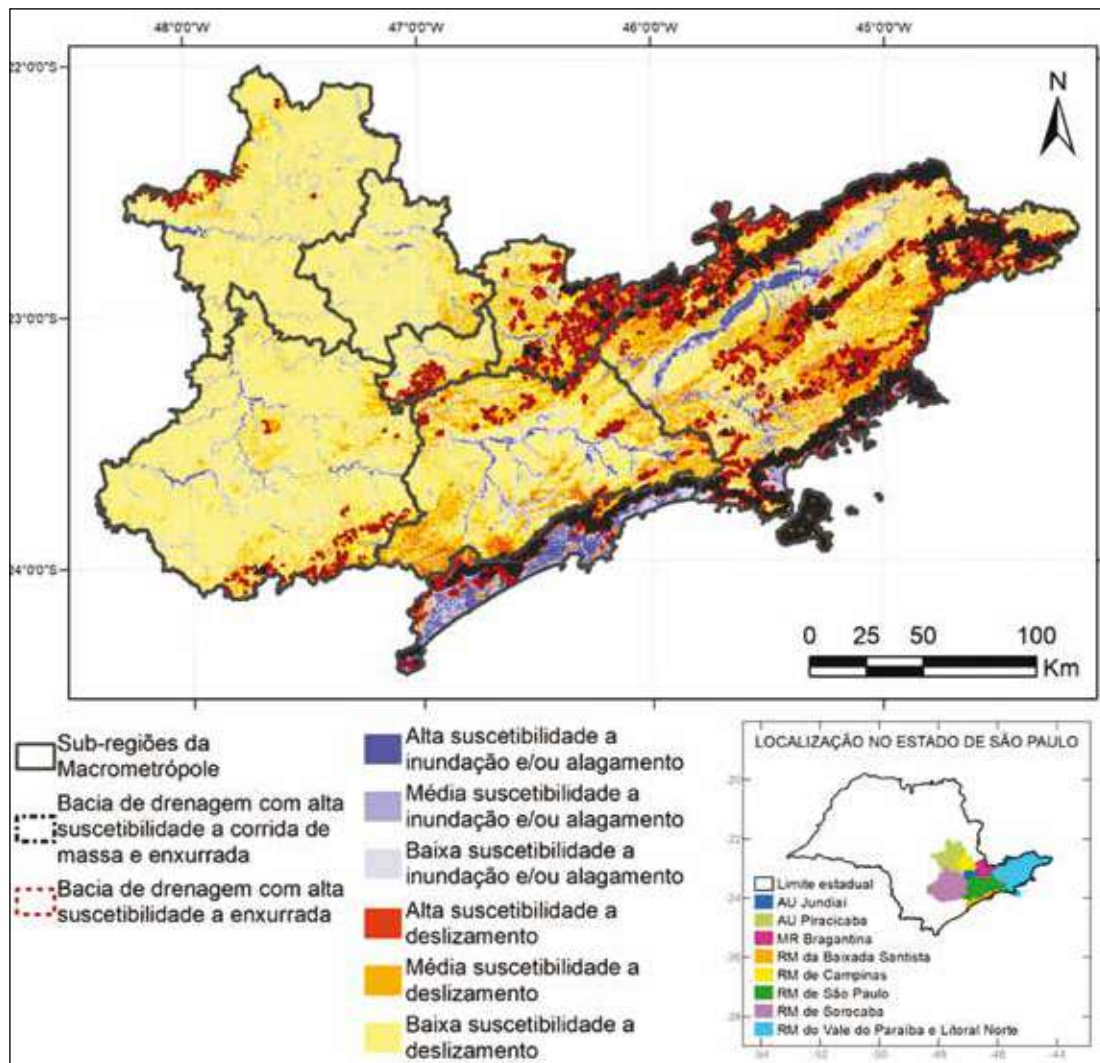
Siglas: AUJ-Aglomeracão Urbana de Jundiaí; AUP-Aglomeracão Urbana de Piracicaba; MRB-Micro Região Bragantina; RMC-Região Metropolitana de Campinas; RMS-Região Metropolitana de Sorocaba; RMSP-Região Metropolitana de São Paulo; RMBS-Região Metropolitana da Baixada Santista; e RMVPLN-Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte.

Não obstante, convém mencionar que o valor atribuído a Micro Região Bragantina encontra-se bastante influenciado pela incidência maior referente ao processo de enxurrada, considerado de forma isolada, enquanto o da Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte se deve também à significativa extensão das áreas de bacias de drenagem que abrangem corrida de massa. Entretanto, deve-se alertar que esses dados não contemplam as áreas passíveis de atingimento em um cenário de um possível evento de corrida de massa e/ou de enxurrada deflagrado por chuvas intensas e/ou extremas, refletindo apenas as áreas onde esses processos tendem a ser gerados nessas ocasiões.

#### 5.4 Áreas suscetíveis ao conjunto de processos considerados

A sobreposição da incidência de áreas suscetíveis a deslizamento, inundação e/ou alagamen-

to e a corrida de massa e/ou enxurrada, nas oito sub-regiões mapeadas na Macrometrópole Paulista, encontra-se na Figura 5. Entre outros aspectos, observa-se que a Região Metropolitana da Baixada Santista é a sub-região com incidência maior de áreas municipais em zonas com alta suscetibilidade aos processos considerados, em proporção ao seu território, seguida da Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte, Região Metropolitana de São Paulo e Micro Região Bragantina. Por sua vez, a Região Metropolitana de Sorocaba e a Região Metropolitana de Campinas se apresentam como as de incidência menor de áreas municipais em zonas com alta suscetibilidade aos processos considerados, enquanto a Aglomeração Urbana de Jundiaí e a Aglomeração Urbana de Piracicaba se mostram em posições intermediárias.



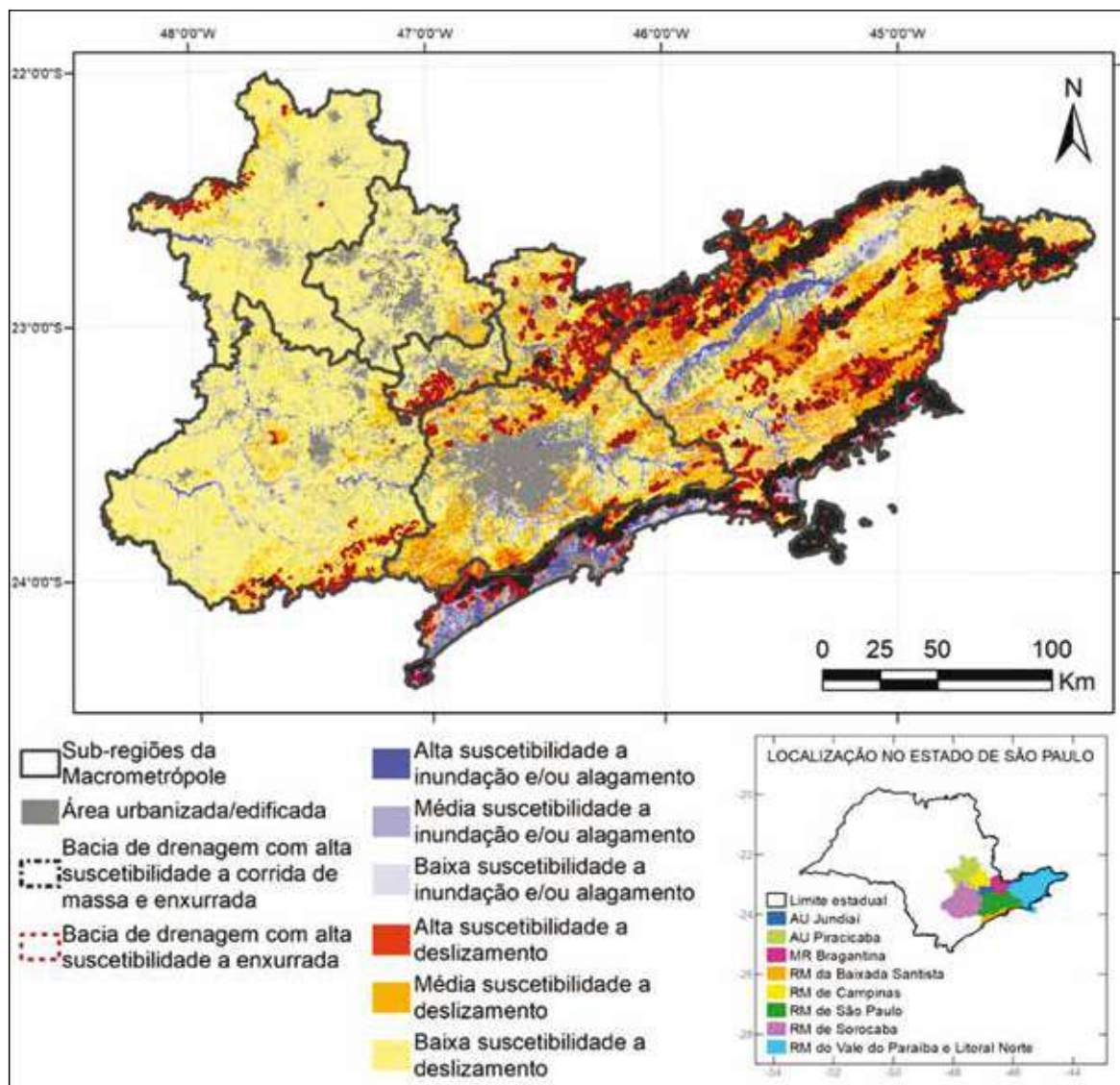
Siglas: AU-Aglomeração Urbana; MR-Micro Região; e RM- Região Metropolitana.

**Figura 5.** Ilustração da incidência geral de áreas suscetíveis a deslizamento, inundação e/ou alagamento e corrida de massa e/ou enxurrada na Macrometrópole Paulista. Fonte: IPT e CPRM.

Ao se abordar essa incidência em áreas urbanizadas e/ou edificadas (**Figura 6**) e compará-la em relação à Figura 5 anterior, na qual essa incidência não está representada, nota-se que grande parte delas se assenta sobre zonas com baixa suscetibilidade a deslizamento, pressupondo-se considerar que poucos problemas venham a ocorrer em relação ao uso e ocupação do solo. Entretanto, convém atentar para o fato de que, a depender

do modo pelo qual essa ocupação venha a se desenvolver, como se observa hoje em muitos casos onde se pode constatar o desacordo de obras em relação a boas práticas de engenharia, bem como desprovidas do conhecimento prévio acerca das suscetibilidades inerentes aos terrenos, podem ser geradas situações de perigo e risco em nível local, requerendo análises detalhadas visando gerir os prováveis problemas ocasionados.





Siglas: AU-Aglomeración Urbana; MR-Micro Região; e RM- Região Metropolitana.

**Figura 6.** Ilustração da incidência geral de áreas suscetíveis a deslizamento, inundação e/ou alagamento e corrida de massa e/ou enxurrada na Macrometrópole Paulista, incluindo-se as áreas urbanizadas e/ou edificadas. Fonte: IPT e CPRM.

De modo geral, considerando-se as sub-regiões mapeadas, observa-se na Figura 5 que o processo que apresenta incidência maior de áreas em zonas com alta suscetibilidade, em relação à soma das áreas municipais (urbanas e rurais), corresponde a deslizamento. No entanto, considerando-se apenas a área urbanizada e/ou edificada (Figura 6), ou seja, onde há populações residentes e variadas atividades sociais e econômicas em andamento, a incidência maior é de inundação e/ou alagamento. Somam-se a esse panorama as diferentes vulnerabilidades inerentes aos elementos expostos aos processos mapeados, que deverão

ser consideradas em eventuais análises de perigo e risco que venham a ser requeridas e que tendem a salientar os assentamentos humanos precários.

### 5.5 Considerações sobre a utilização das cartas de suscetibilidade

As cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações se destinam ao planejamento territorial e à prevenção de desastres, aplicáveis a planos diretores municipais e zoneamentos ecológico-econômicos, visando orientar a expansão urbana e evitar a edificação



em áreas mais suscetíveis, bem como subsidiar o licenciamento ambiental e a avaliação de impactos de empreendimentos de infraestrutura em âmbito local e regional. Ressalta-se que as cartas geradas não devem ser utilizadas para tomada de decisão em escala de projeto de engenharia, bem como para delimitação exata de zonas para fins de formulação de normas de uso e ocupação do solo em cada município, devido a sua escala de elaboração. Considera-se que as cartas devem ser revistas periodicamente, à medida que surjam novos conhecimentos acerca dos processos analisados e mapas temáticos correspondentes, em escalas compatíveis e/ou em bases cartográficas em escalas maiores para o município em questão.

A leitura da carta de suscetibilidade executada em escala 1:25.000, em vista de sua potencial aplicação ao planejamento territorial e urbano de um determinado município, deve inicialmente distinguir a incidência de áreas suscetíveis de acordo com a classe (alta, média ou baixa) e com o fato de haver áreas não ocupadas ou áreas ocupadas pela urbanização (que correspondem a áreas urbanizadas e/ou edificadas), uma vez que nestas últimas as suscetibilidades podem estar alteradas, para mais ou para menos, a depender das condições locais, particularmente em razão de prováveis efeitos geológico-geotécnicos e hidrológico-hidráulicos introduzidos pelas construções e sistemas de drenagem urbana instalados.

Desse modo, espera-se uma aplicação relativamente maior das cartas de suscetibilidade nas análises relacionadas a áreas não ocupadas pela urbanização, projetando-se, por um lado, a expansão urbana das cidades para zonas de baixas suscetibilidades e, por outro lado, a definição de áreas a proteger sob o ponto de vista ambiental e de atividades rurais em zonas de altas suscetibilidades aos processos considerados. No parcelamento do solo urbano (loteamento, desmembramento, conjunto habitacional e outros tipos), caso não se disponha de uma carta geotécnica de aptidão à urbanização, podem-se desenvolver diretrizes específicas a partir das cartas de suscetibilidade, de acordo com a classe incidente na área de interesse, explicitando-se o correspondente detalhamento dos estudos específicos de engenharia e ambientais a realizar em nível de projeto.

Não obstante, à medida que se identifiquem áreas de alta ou média suscetibilidade em coincidência com áreas urbanizadas e/ou edificadas, ou seja, em áreas ocupadas pela urbanização, há que se considerar, nessas situações, eventual necessidade de análises sistemáticas de perigo e risco a realizar em escala local e em nível de detalhe. Essas análises podem resultar na elaboração de cartas de setorização e classificação de risco, em escala 1:2.000 ou maior, assim como em planos de redução de risco, particularmente quando amparadas em evidências de instabilidades de terrenos ou mesmo em registros de ocorrências pretéritas acerca dos processos considerados no mapeamento, o que por si só pode representar uma contribuição relevante para fins de gestão municipal de riscos e prevenção de desastres. A construção de plataformas digitais para monitoramento contínuo do avanço da urbanização sobre áreas de altas suscetibilidades encontra-se nesse mesmo contexto de estudos mais detalhados que poderiam ser realizados.

Ainda, em vista da edição do Estatuto da Metrópole (Lei Federal 13.089/2015) e a obrigatoriedade de elaboração, pelos estados, do Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado (PDUI) das regiões metropolitanas e aglomerações urbanas do Brasil, tem-se que as cartas de suscetibilidade foram utilizadas na formulação do PDUI da Região Metropolitana de São Paulo, em 2017. Diante dessa experiência, bem como do subsequente compartilhamento de dados realizado durante os trabalhos de mapeamento com as equipes encarregadas do PDUI da Região Metropolitana da Baixada Santista, no mesmo ano, denota-se o potencial de aplicação das cartas de suscetibilidade ao contexto de planejamento regional das regiões metropolitanas e aglomerações urbanas do Brasil, bem como na elaboração da carta geotécnica de aptidão à urbanização, a ser realizada em escala de detalhe e em nível municipal.

As informações e os dados completos a respeito dos mapeamentos realizados na Macrometrópole Paulista estão disponíveis ao público e podem ser acessados nos portais e infraestruturas de bases espaciais da CPRM, CEPDEC/SP, Plataforma IPT Pró-Municípios e, ainda, nas infraestruturas de dados espaciais (IDEs) do Datageo da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente

(SIMA/SP) e do Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC)

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados gerais obtidos no mapeamento efetuado nos municípios e sub-regiões da Macrometrópole Paulista revelam um panorama geral sobre a distribuição territorial das zonas mais suscetíveis aos diferentes processos analisados, as quais devem merecer atenção especial nas atividades de planejamento territorial e de prevenção de desastres.

Em vista das áreas suscetíveis a deslizamento, a Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte e a Região Metropolitana da Baixada Santista se mostram como as sub-regiões que abrigam incidência relativamente maior de zonas com alta suscetibilidade, em proporção a seu território. Por outro lado, a Aglomeração Urbana de Piracicaba, Região Metropolitana de Campinas e Região Metropolitana de Sorocaba se destacam por apresentar incidência relativamente maior de zonas com baixa suscetibilidade a esse mesmo processo. A depender do município, os processos de rastejo e queda de rocha podem estar associados às classes de suscetibilidades a deslizamento.

No que diz respeito a inundações e/ou alagamentos, tendo em conta exclusivamente o domínio de relevo de planícies aluviais e/ou marinhas e terraços fluviais e/ou marinhos suscetíveis a ambos, observa-se a incidência maior de zonas com alta suscetibilidade ao longo da Região Metropolitana da Baixada Santista e da Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte. Nas demais sub-regiões se podem notar ocorrências mais restritas, excetuando-se o contexto dos principais rios presentes em cada uma delas. De maneira geral, o processo de alagamento mostra correspondência com as classes de suscetibilidade a inundação, uma vez que tendem a se salientar nas mesmas unidades de padrão de relevo consideradas no zoneamento.

Quanto a bacias de drenagem com alta suscetibilidade a corrida de massa e/ou enxurrada e apenas a enxurrada, observa-se incidência maior desse conjunto de processos em áreas de serras e adjacências situadas ao longo da faixa norte da

Região Metropolitana da Baixada Santista e nas porções alongadas situadas no sul e norte da Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte, que alcança a parte leste da Micro Região Bragantina. As porções sul da Aglomeração Urbana de Jundiá e sul da Região Metropolitana de Sorocaba denotam a incidência de bacias de drenagem particularmente suscetíveis apenas a enxurradas, assim como no oeste da Aglomeração Urbana de Piracicaba e norte da Região Metropolitana de São Paulo.

Nos dois primeiros contextos (áreas suscetíveis a deslizamento e eventualmente a rastejo e queda de rocha; e áreas suscetíveis a inundações e/ou alagamentos), considerando-se as especificidades das sub-regiões mapeadas, observa-se que o processo que apresenta incidência maior de zonas com alta suscetibilidade, em relação à soma das áreas municipais (urbanas e rurais) na Macrometrópole Paulista, corresponde a deslizamento. No entanto, considerando-se apenas a área urbanizada e/ou edificada, ou seja, terrenos onde há populações residentes e variadas atividades socioeconômicas em andamento, a incidência maior de zonas com alta suscetibilidade se refere a processos de inundação e/ou alagamento.

Sobre o conjunto de processos considerados, a Região Metropolitana da Baixada Santista se destaca como a que apresenta incidência relativamente maior de zonas com altas suscetibilidades em seu território, seguida da Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte, Região Metropolitana de São Paulo e Micro Região Bragantina. Por outro lado, a Região Metropolitana de Sorocaba e a Região Metropolitana de Campinas se apresentam com incidência relativamente menor de zonas com alta suscetibilidade a esse mesmo conjunto de processos, enquanto a Aglomeração Urbana de Jundiá e a Aglomeração Urbana de Piracicaba se mostram em posições intermediárias. Ao se analisar as áreas urbanizadas e/ou edificadas, observa-se que grande parte delas se assenta sobre zonas com baixa suscetibilidade a deslizamento. No entanto, a depender do modo de ocupação local, como em casos onde esta se realize em desacordo com as boas práticas de engenharia e, ainda, desprovida do necessário conhecimento prévio acerca das suscetibilidades inerentes aos terrenos em que as intervenções

venham a ser executadas, podem ser geradas situações de perigo e risco, requerendo abordagens detalhadas para gerir os problemas ocasionados.

Com a utilização das cartas de suscetibilidade no planejamento territorial e na prevenção de desastres, recomenda-se que as demandas e pressões acerca de expansão urbana nos municípios das sub-regiões da Macrometrópole Paulista mapeadas sejam dirigidas preferencialmente para zonas de baixa suscetibilidade, impondo-se aos municípios a gestão controlada das áreas situadas em zonas de média e de alta suscetibilidade, de modo a reduzir a possibilidade de geração de novas áreas de risco e a eventual ocorrência de desastres no futuro, bem como a definição de áreas a proteger sob o ponto de vista ambiental, sobretudo em zonas de altas suscetibilidades aos processos considerados. Por sua vez, as bacias de drenagem suscetíveis a corridas de massa e/ou enxurrada, que tendem a abrigar dinâmicas de grande energia e potencialmente mais destrutivas, devem ser objeto de estudos específicos e detalhados, focalizando as áreas ocupadas situadas em seu interior e também a jusante, analisando-se a probabilidade de atingimento em caso de ocorrência de um evento chuvoso intenso e/ou extremo. A construção de plataformas digitais para monitoramento contínuo do avanço da urbanização sobre áreas de altas suscetibilidades encontra-se nesse contexto de estudos mais detalhados a realizar.

Deve-se recomendar, ainda, conforme efetuado na Região Metropolitana de São Paulo, a utilização das cartas de suscetibilidade na elaboração do PDUI das demais sub-regiões da Macrometrópole Paulista e, nos casos em que haja disponibilidade prévia dessas cartas a todos os municípios envolvidos, também em outras regiões metropolitanas e aglomerações do ESP e do País.

## AGRADECIMENTOS

Registram-se os agradecimentos a todos os colegas do IPT que colaboraram, direta ou indiretamente, na realização dos trabalhos de mapeamento sintetizados neste artigo, bem como às equipes da CPRM e da CEPDEC/SP, pela cooperação e apoio permanentes à execução das cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais

de massa e inundações. Ao IPT e à CPRM, também pelo apoio financeiro à realização contínua dos mapeamentos na Macrometrópole Paulista.

## REFERÊNCIAS

BITAR, O. Y. (Coord.). Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações-1:25.000: Nota Técnica Explicativa. São Paulo: IPT; Brasília, DF: CPRM, 2014 (Publicação IPT 3016).

BITAR, O. Y.; SILVA, S. F. da. Breve panorama sobre a incidência de áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa e inundações em municípios das regiões Sul e Sudeste do Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, 9., 2015, Cuiabá. Anais ... Cuiabá: ABGE, 2015. 1 CD-ROM. 5p.

BITAR, O.Y.; CAMPOS, S.J.A.M.; MONTEIRO, A.C.M.C; ARGENTIN, P.M.; CORSI, A.C.; PAULON, N. Áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa e inundações nas regiões metropolitanas de São Paulo, Baixada Santista e Litoral Norte do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 16, 2018, São Paulo. Anais ... São Paulo: ABGE, 2018.

BITAR, O.Y. Desenvolvimento de cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações na Macrometrópole Paulista. In: FÓRUM DE GOVERNANÇA AMBIENTAL DA MACROMETRÓPOLE PAULISTA CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 1, 2019, São Paulo. Anais ... São Paulo: IEE/USP, 2019.

BRASIL. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil-PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nos 12.340, de 1º de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de

1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 11 abr. 2012.

BRASIL. Governo Federal. Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais - PNGRRDN. [S.l.]. Disponível em: <<http://www.pac.gov.br/pub/up/relatorio/d0d2a5b-6f24df2fea75e7f5401c70e0d.pdf>>. Acesso em: set. 2013.

BRESSANI, L. A.; COSTA, E. A da. Mapeamento geotécnico: suscetibilidade, perigo, vulnerabilidade técnica, risco e risco instalado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 14, 2013, Rio de Janeiro. Anais ... Rio de Janeiro: ABGE, 2013. 1 CD-ROM.

CPRM. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Cartas de suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Prevencao-de-Desastres/Produtos-por-Estado---Cartas-de-Suscetibilidade-a-Movimentos-Gravitacionais-de-Massa-e-Inundacoes-5384.html>. Acesso em: jul. 2021.

COUTINHO, R. Q. (Coord. e Org.). Parâmetros para a cartografia geotécnica e diretrizes para medidas de intervenção de áreas sujeitas a desastres naturais. Recife: Ministério das Cidades; Universidade Federal de Pernambuco; Grupo de Engenharia Geotécnica de Encostas e Planícies - GE-GEP; DECivil, 2013. 376 p. (Documento Técnico).

DINIZ, N. C. Cartografia geotécnica por classificação de unidades de terreno e avaliação de suscetibilidade e aptidão. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, v. 2, n. 1, 2012. p.29-77.

EMPLASA - EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO. Macrometrópole Paulista. Disponível em: <https://www.emplasa.sp.gov.br/MMP>. Acesso em: 8/1/2018.

FELL, R. et al. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. Engineering Geology, v. 102, p. 83-111, 2008.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Guia Cartas geotécnicas [livro eletrônico] :orientações básicas aos municípios / autores e organizadores Omar Yazbek Bitar, Carlos Geraldo Luz de Freitas, Eduardo Soares de Macedo. -- São Paulo : IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2015. 28p. (IPT Publicação 3022).

JULIÃO, R. P. (Coord.) et al. Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de base municipal. Lisboa: Autoridade Nacional de Protecção Civil; Direcção-Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano; Instituto Geográfico Português, 2009. Disponível em: <<http://www.dgotdu.pt/detail.aspx?channelID=85E8AD30-00F8-417E-9F12-EBFAFE6A5B4&contentId=3B54E44B-603C-4445-8C8A-ECC879127CEE>>. Acesso em: 17 set. 2013.

MACEDO, E. S.; BRESSANI, L. A. (Org.). Diretrizes para o zoneamento da suscetibilidade, perigo e risco de deslizamentos para planejamento do uso do solo. São Paulo: ABGE; ABMS, 2013. 88 p.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Capacitação em mapeamento e gerenciamento de risco. [S.l.]. Disponível em: <<http://www.defesacivil.mg.gov.br/conteudo/arquivos/manuais/Mapeamento/mapeamento-grafica.pdf>>. Acesso em: 9 set. 2013.

PINTO, E. J. de A. Metodologia para definição das equações Intensidade-Duração-Frequência do Projeto Atlas Pluviométrico. Belo Horizonte: CPRM, 2013.

RENNÓ, C. D. et al. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM; Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. Remote Sensing of Environment, v. 112, p. 3469-3481, 2008.

SILVA, S. F. da; BITAR, O. Y. Incidência de áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa e inundações em municípios abrangidos pelo Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental. V.4, n.2, 2014, p.95-108.



SILVA, S. F. da; BITAR, O. Y. Aplicabilidade dos métodos de mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa e inundações em distintas regiões do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 15, 2015, Bento Gonçalves. Anais ... Bento Gonçalves: ABGE, 2015. 1 CD-ROM.

SOBREIRA, F. G.; SOUZA, L. A. de. Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, V.2, n.1, 2012, p.79-97.

WILFORD, D. J. et al. Recognition of debris flow, debris flood and flood hazard through watershed morphometrics. Landslides, v. 1, p. 61-66, 2004.

# PADRÕES DIFERENCIADOS DE RECUO DA LINHA DE COSTA E SUA CORRELAÇÃO COM PROCESSOS EROSIVOS E AS ÁREAS DE RISCO À EROSÃO COSTEIRA NO ESTADO DO PARÁ

*SHORELINE CHANGE PATTERNS AND THEIR CORRELATION WITH EROSION PROCESSES AND COASTAL EROSION RISK AREAS IN PARÁ STATE- BRAZIL*

*SHEILA GATINHO TEIXEIRA*

*Serviço Geológico do Brasil, Belém, Pará-Brasil.  
sheila.teixeira@cprm.gov.br*

*ÍRIS CELESTE DO NASCIMENTO BANDEIRA*

*Serviço Geológico do Brasil, Belém, Pará-Brasil.  
iris.bandeira@cprm.gov.br*

## RESUMO ABSTRACT

A região costeira do Estado do Pará possui uma rede complexa de estuários, submetida à macromarés, mesomarés e a altas correntes de marés, que associadas a ondas, alto índice pluviométrico e a uma geologia diversificada, composta por materiais pouco consolidados proporcionam processos erosivos costeiros diferenciados. Estas áreas suscetíveis a processos erosivos foram ocupadas sem planejamento territorial, levando ao surgimento de áreas de risco à erosão. Portanto, este trabalho tem como objetivo caracterizar os agentes e processos erosivos, associando com a forma de ocupação dos setores de risco, a fim de diferenciar padrões de recuo da linha de costa. Para isso foi realizada revisão bibliográfica, análise temporal de dois mosaicos de imagens Landsat (1988 e 2019), para verificar a dinâmica costeira em escala regional, e avaliação estatística e a forma de ocupação de 54 setores de risco alto e muito alto à erosão costeira mapeados pelo Serviço Geológico do Brasil, no período de 2012 a 2019, em 12 municípios do Estado do Pará. Foi possível identificar dois padrões de recuo de linhas de costa, que envolvem diferentes processos. Quando estes setores ocorrem nas margens dos estuários (região interna), estão associados à ocupação do topo das falésias, sendo submetidos aos processos de deslizamentos, solapamentos e erosão laminar, bem como, a influência do despejo de águas servidas na face da falésia. Quando estes ocorrem nas porções externas dos estuários, estão associados ao dé-

The coastal State of Pará has a complex estuaries network, subjected to macrotides, mesotides and high tidal currents, which associated with waves, high rainfall and a diversified geology, composed of poorly consolidated materials provide differentiated coastal erosive processes. These areas susceptible to erosive processes were occupied without territorial planning, leading to the emergence of risk erosion areas. Therefore, this work aims to characterize the erosive agents and processes, associating them with the occupation of the risk sectors, in order to differentiate patterns of shoreline retreat. For this, a bibliographic review was carried out, a temporal analysis of two Landsat images mosaics (1988 and 2019), to verify the coastal dynamics on a regional scale. And statistical evaluation and the occupation patterns of 54 sectors of high and very high risk coastal erosion mapped by the Geological Survey of Brazil, in the period from 2012 to 2019, in 12 municipalities in the State of Pará. It was possible to identify two patterns of shorelines retreat, which involves different processes. When these sectors occur on the estuaries margins (inland), they are associated with the occupation of cliffs top, being subjected to the processes of landslides, undermining and laminar erosion, as well as, the influence of the wastewater discharge on the cliff face. When these occur in the outer estuaries portions, they are associated with a sedimentary deficit on sandy beaches

ficit sedimentar nas praias arenosas e estão relacionados a processos como: retenção dos sedimentos oriundos da plataforma pelos bancos submersos localizados na foz dos estuários, ocupação desordenada da faixa dinâmica das praias e migração dos canais de maré em direção ao continente. Essa caracterização pode ser utilizada como subsídio pelos órgãos competentes no gerenciamento costeiro e na mitigação dos eventos, que devem levar em consideração as características físicas e oceanográficas locais.

**Palavras-chave:** risco geológico, desastres naturais, macromarés e zona costeira amazônica

and are associated with processes such as: retention of sediments from the platform by the submerged banks located at the mouth of the estuaries, disordered occupation of the dynamic beaches zones and migration of the channels tide towards the continent. This characterization can be used as a subsidy by competent institutions in coastal management and in the mitigation of events, which must take into account the local physical and oceanographic characteristics.

**Keywords:** geological risk, natural disaster, microtides and amazon coastal zone

## 1 INTRODUÇÃO

A região costeira é a zona mais fortemente urbanizada no mundo, cerca de 45% a 60% da população mundial vive nessa região (Syvitski et al. 2005, Church et al. 2006, Jonah et al. 2016, Boye et al. 2018). Segundo IBGE (2011), no Brasil aproximadamente 50,7 milhões de pessoas (24,6% da população) vivem na zona costeira. Essas regiões são altamente dinâmicas e frequentemente vulneráveis à processos naturais e interferências artificiais com mudanças ocorrendo continuamente em diferentes momentos e escalas espaciais (Bird 2008). As mudanças morfológicas são controladas pela constituição geológica da linha de costa, que possui diferentes graus de resistência aos vários agentes erosivos como a chuva, maré, ondas e ventos.

Segundo Souza (1997), como consequência dessas interações têm-se, o balanço sedimentar, que é a relação entre perdas/saídas e ganhos/entradas de sedimentos na zona costeira. Essas trocas podem ocorrer entre a praia e o continente, a plataforma continental e a própria praia. Assim, quando o balanço sedimentar for positivo, haverá a predominância de acreção, enquanto que o mesmo for negativo, haverá um déficit sedimentar, predominando o processo erosivo.

A ocupação desordenada dessa região, em alguns casos acelera o processo erosivo, levando à ameaça de áreas de interesse socioeconômicos e o surgimento de áreas de risco à erosão costeira (Finkl & Makowski 2013).

Conforme o inciso IV do artigo 6º da lei número 12.608/12, “compete à União apoiar os Estados, o Distrito Federal e os Municípios no mapeamento das áreas de risco”. Dessa forma, o Serviço Geológico do Brasil – CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), empresa do governo federal ligada ao Ministério de Minas e Energia, vem realizando desde novembro de 2011, o mapeamento, descrição e classificação de áreas de risco geológico alto e muito alto em municípios de todas as unidades da federação selecionados pelas Defesas Civas Nacional e Estadual. A finalidade de tal estudo é a prevenção e consequente redução de perdas sociais e econômicas relacionadas a desastres naturais. Nessas áreas o risco geológico está relacionado com a possibilidade de ocorrência de acidentes causados por movimentos de massa, feições erosivas, enchente e inundação.

No Estado do Pará o mapeamento de risco iniciou no ano de 2012 e até o final de 2019 já foram mapeados 74 municípios, o que permitiu avaliar as principais tipologias de risco que ocorrem em 50% dos municípios do estado. Entre as tipologias mapeadas está a erosão costeira que foi setorizada em 12 municípios. Desta maneira, a presente pesquisa propõe-se em analisar a tendência regional aos processos de erosão de parte da zona costeira do estado, através de análise de imagens de sensores remotos e também integrar, caracterizar e analisar os dados dos mapeamentos de risco realizados pelo SGB-CPRM, na costa do Estado do Pará, a fim de gerar informações dos processos dominantes envolvidos no recuo da costa. Estas

informações servirão de subsídios para que os órgãos competentes possam trabalhar no monitoramento, prevenção e mitigação de desastres, levando em consideração as condicionantes físicas da região.

## 2 ÁREA DE ESTUDO

De acordo com a Lei Estadual no 9.064, de 25 de maio de 2020, e para fins da Política Estadual

de Gerenciamento Costeiro, a Zona Costeira do Estado do Pará é o espaço geográfico constituído pela faixa terrestre, composta por 47 municípios subdivididos em 5 setores: I - Setor 1 - Marajó Ocidental; II - Setor 2 - Marajó Oriental; III - Setor 3 - Continental Estuarino; IV - Setor 4 - Flúvio Marítimo e V - Setor 5 - Costa Atlântica Paraense (Figura 1).

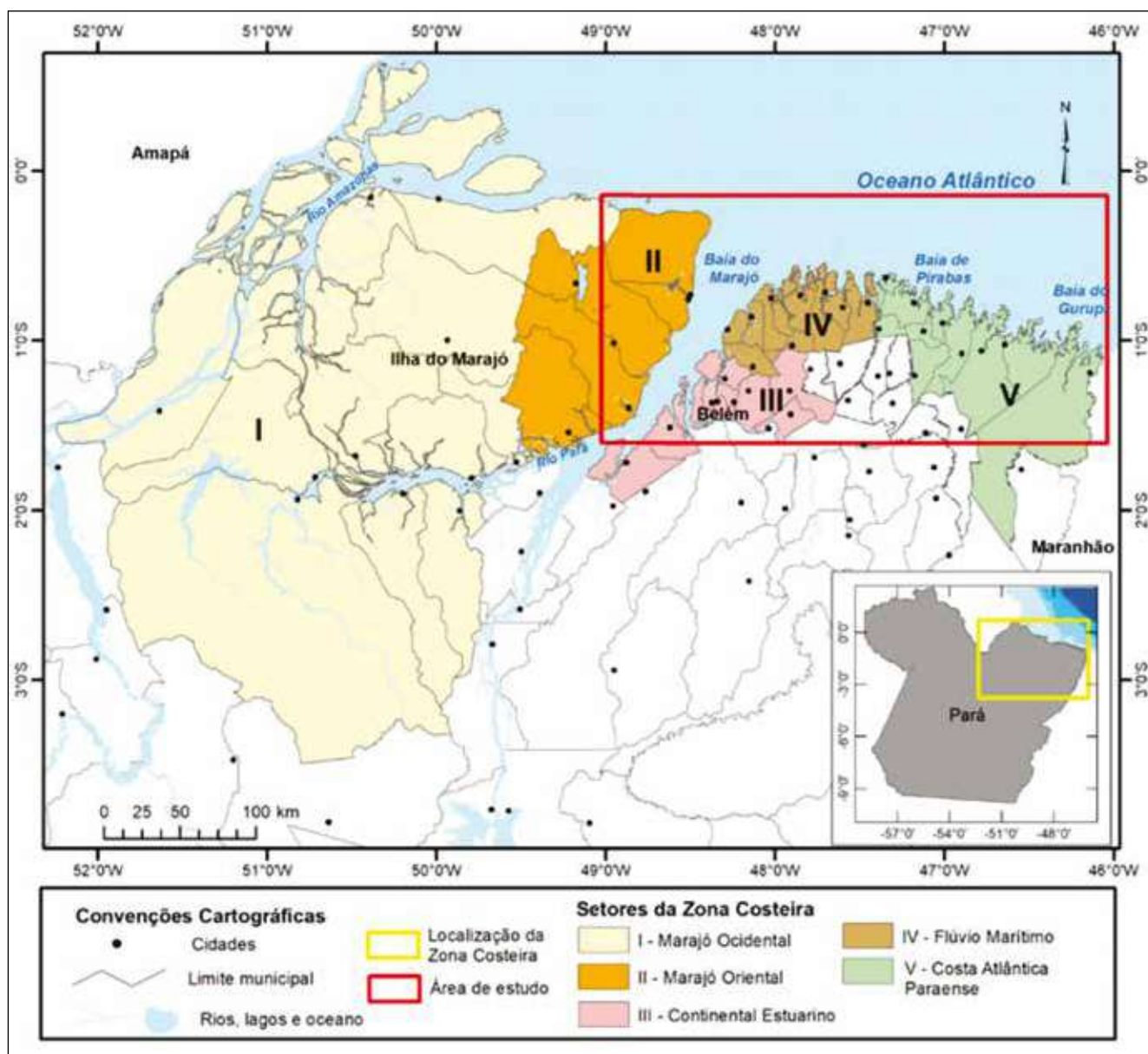


Figura 1. Setores da Zona Costeira do Estado do Pará, segundo a Lei Estadual no 9.064 e a localização da área de estudo.



A costa paraense é dominada por um clima tropical úmido, influenciado pela Zona de Convergência Intertropical, com precipitação que varia de 2500 a 3000 mm entre os meses de janeiro a abril, enquanto que no período de julho a dezembro a precipitação é inferior a 60mm, com média anual de temperatura de 27,7° C (Martorano et al. 1993).

Essa região é cortada por uma complexa rede de estuários, onde os setores Marajó Ocidental e Oriental, Continental Estuarino e parte do setor Flúvio Marítimo, são influenciados por mesomarés semi-diurnas de amplitudes que alcançam 3,65m, durante as marés de sizígia no período chuvoso (El-Robrini et al. 2018). A outra parte do setor Flúvio Marítimo, principalmente a área da foz da Baía do Marajó e a Costa Atlântica Paraense, os estuários são influenciados por macromarés semi-diurnas que alcançam 6 m de amplitude durante as marés de sizígia.

As correntes de marés são intensas na costa paraense, alcançando na Baía do Marajó valores durante a descarga máxima do rio Pará: 1,7m/s (enchente) e 1.1m/s (vazante), entretanto durante a descarga mínima, as velocidades foram de 1,5m/s (enchente) e 1,33m/s (vazante) (Prestes 2016). No estuário do Rio Caeté, costa Atlântica Paraense, Araújo e Asp (2013) indicam que durante o período chuvoso, a corrente de maré (vazante) atinge velocidade de 1,4m/s, entretanto, durante a enchente, a velocidade atinge 0,8m/s.

O litoral norte sofre influência das ondas formadas a partir dos alísios, de direção NE e E, que apresentam em regra geral, alturas abaixo de 1-1,5m em mar aberto (El-Robrini et al. 2006, Pereira et al. 2014).

A linha de costa corta afloramentos do grupo Barreiras e Pós Barreiras além de sedimentos recentes. A Ilha do Marajó é caracterizada em grande parte por um relevo plano e baixo constituído por sedimentos recentes. Na borda da ilha ocorrem os sedimentos do Grupo Barreiras e Pós-Barreiras que sustentam os tabuleiros costeiros formando as falésias ativas, assim como ocorre no setor continental estuarino, flúvio marítimo e na costa atlântica paraense até a baía de Pirabas. Em geral as falésias variam de 5 a 18 m, sendo constituídas por sedimentos pouco coesos do Grupo Barreiras, composto na base por argilito laminado

de coloração cinza a avermelhada, gradando para camadas de pelitos com intercalações de areia, sobrepostas por um nível de concreções ferruginosas e no topo ocorrem os sedimentos da Unidade Pós-Barreiras, que são caracterizados por um pacote de sedimento arenoso, de granulação fina com contribuição de silte, homogêneo de coloração creme amarelada, muito friável (Teixeira e Bandeira 2020). Estas falésias estão sujeitas à ação das ondas e correntes de marés, descritas anteriormente e ocorrem associadas as praias estuarinas, que geralmente são estreitas e formam enseadas (El-Robrini et al. 2006).

Entre as baías de Pirabas e Gurupi, os tabuleiros estão recuados em direção ao sul e formam falésias inativas, em geral, com cotas mais baixas. Os manguezais atingem uma largura de aproximadamente 30km, as baías são largas e os estuários alcançam cerca de 80km em direção ao continente (Franzinelli 1992, Souza Filho 2005). Nas porções externas dos estuários ocorrem as praias oceânicas, que geralmente são retilíneas com extremidades recurvadas e largas da ordem de centenas de metros durante a baixamar (El-Robrini et al. 2018).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho iniciou com uma extensa revisão bibliográfica sobre aspectos físicos e oceanográficos da região costeira do Estado do Pará, em seguida foi feita a avaliação da variação linha de costa, onde foram analisadas oito cenas Landsat sendo quatro do Landsat-5 TM do ano de 1988 e quatro cenas do Landsat 8 OLI de 2019. As cenas foram adquiridas no formato *geotiff*, já georreferenciadas, gratuitamente, no site da USGS (United States Geological Survey) <https://earthexplorer.usgs.gov/>. As imagens foram analisadas com resolução espacial de 30m, como forma de minimizar a interferência do tamanho de pixel na análise comparativa. As datas de aquisição selecionadas correspondem aos meses de julho e agosto para o ano de 1988 e junho para o ano de 2019 (Tabela 1), coincidentes com o verão amazônico e também com a mínima cobertura de nuvens.

**Tabela 1.** Características das imagens utilizadas.

Satélite	Sensor	Órbita/Ponto	Data de aquisição	Resolução espacial (m)
Landsat 5	TM	222/061	31/07/1988	30
Landsat 5	TM	223/060	22/07/1988	30
Landsat 5	TM	223/061	07/08/1988	30
Landsat 5	TM	224/061	14/08/1988	30
Landsat 8	OLI	222/061	19/06/2019	30
Landsat 8	OLI	223/060	26/06/2019	30
Landsat 8	OLI	223/061	26/06/2019	30
Landsat 8	OLI	224/061	17/06/2019	30

As imagens foram submetidas a correções radiométrica e atmosférica no software ENVI 5.5. Nas imagens foram utilizadas as composições coloridas falsa cor, com as composições das bandas 5R4G3B para as cenas Landsat - 5 TM e 6R5G4B para as cenas Landsat - 8 OLI, pois estas bandas possuem o mesmo comprimento de onda das bandas analisadas do Landsat-5 TM. Em seguida para cada ano foi construído um mosaico de imagens. Esses mosaicos foram organizados em planos de informações diferentes no ArcGis 10.7, a partir dos quais foram digitalizadas as linhas de costa para os anos de 1988 e 2019. As linhas de costa foram traçadas seguindo a metodologia sugerida por Dolan et al. 1980 e Crowell et al. (1991) adotada por França (2003) e Souza Filho & Parrella (2003), na zona costeira do Pará, que utilizam como linha de costa a linha de maré alta de sizígia, que corresponde: à linha de contato entre os manguezais e os cordões arenosos duna/praias; interface falésia e cordão arenoso praias e interface campo e cordões arenosos duna/praias.

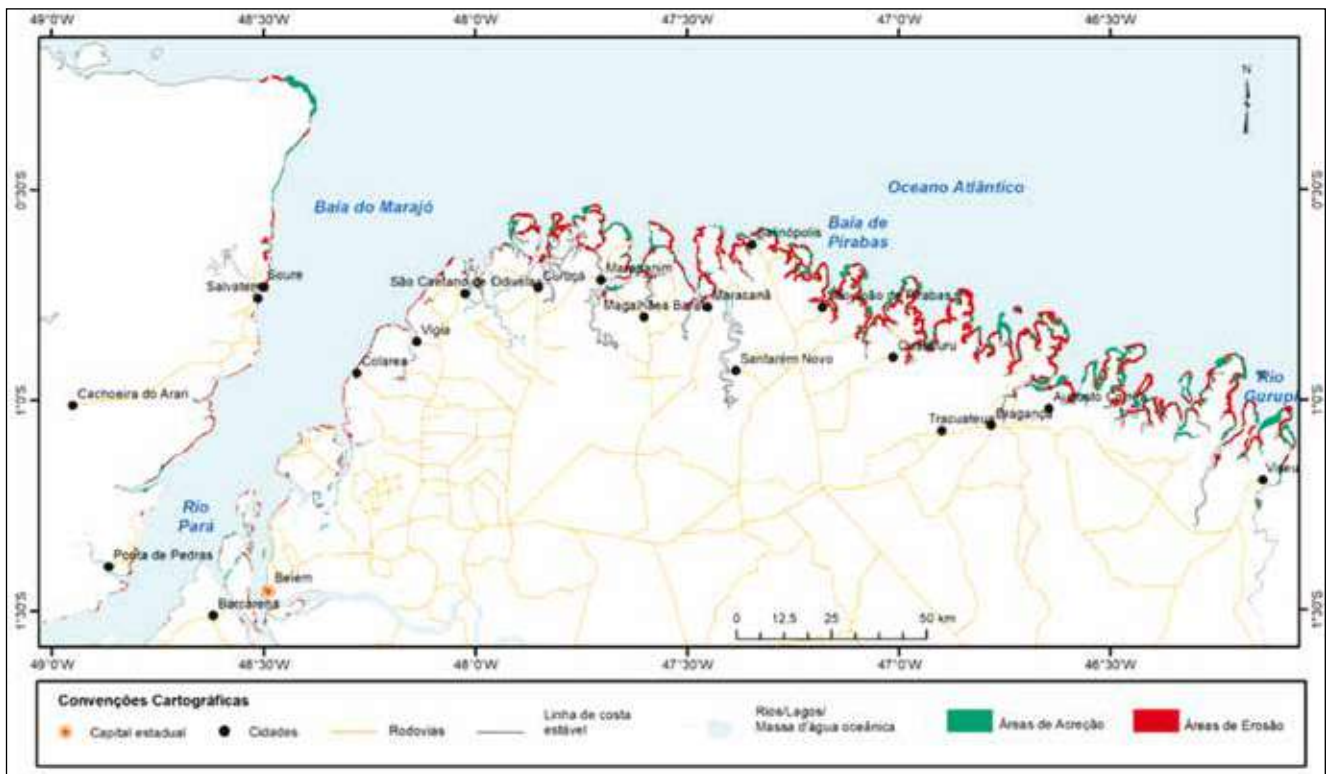
Para a análise das áreas de risco à erosão costeira na costa do Pará foram compilados os dados produzidos pelo projeto Setorização de áreas de risco desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil - SGB - CPRM, entre os anos de 2012 e 2019. A metodologia utilizada pelo SGB-CPRM para mapear os graus de risco alto e muito alto a erosão costeira baseiam-se na intensidade das evidências de instabilidade, onde o grau de risco alto caracteriza-se pela presença menos expressiva de evidências, já o grau de risco muito alto caracteriza-se pela presença expressiva, em grande quantidade de evidências como: trincas no solo, degraus de abatimento em falésias, trincas em moradias

ou em muros de contenção, árvores ou postes inclinados, cicatrizes de escorregamento, feições erosivas, erosão dos depósitos costeiros (mangue, duna, banco de areia) proximidade da moradia em relação a linha de costa, destruição de estruturas artificiais, presença de troncos mortos da vegetação de manguezal e exposição de canais de maré na zona de intermarés (Teixeira et. al., s.d).

Estas informações foram organizadas, analisadas e inseridas em tabelas do Excel e no Arcgis. Assim, foi possível especializar e fazer uma análise estatística dos municípios mais atingidos por esta tipologia de risco, identificando o número de pessoas e de edificações afetadas. Além disso, os relatórios disponíveis de cada setorização foram consultados para auxiliar no entendimento e caracterização dos processos atuantes.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise multitemporal de imagens, no período de 1988 a 2019, constatou que a costa do Estado do Pará apresenta uma intensa dinâmica, com tendência regional da variação da linha de costa, mostrando as áreas que sofreram com o processo de erosão e acreção (Figura 2). Identificou-se que a tendência regional é de acreção, com um ganho de cerca de 123,36 km<sup>2</sup> de área (54%) e as áreas erodidas foram de aproximadamente 104,65 km<sup>2</sup> (46%). Essa análise de apenas dois momentos não demonstra a dinâmica anual que a costa está submetida, mostra apenas o total e a localização das áreas em que os processos são dominantes durante o período analisado.



**Figura 2.** Áreas de erosão e acreção, no trecho estudado da costa do Pará, no período de 1988 a 2019.

Apesar da tendência regional de acreção, existem extensas áreas com suscetibilidade a erosão que foram ocupadas pela população, constituindo assim, setores de risco a erosão costeira, que foram identificados no mapeamento realizado pelo Serviço Geológico do Brasil, no período de 2012 a 2019. O mapeamento registrou a ocorrência de 54

setores de risco alto e muito alto a erosão costeira em 12 municípios (Figura 3 e Gráfico 1). Alguns dos setores com processo destrutivo instalado e outros em potencial. Esses setores abrigam no total 571 edificações e 2891 pessoas em situação de risco à erosão costeira (Gráficos 2).

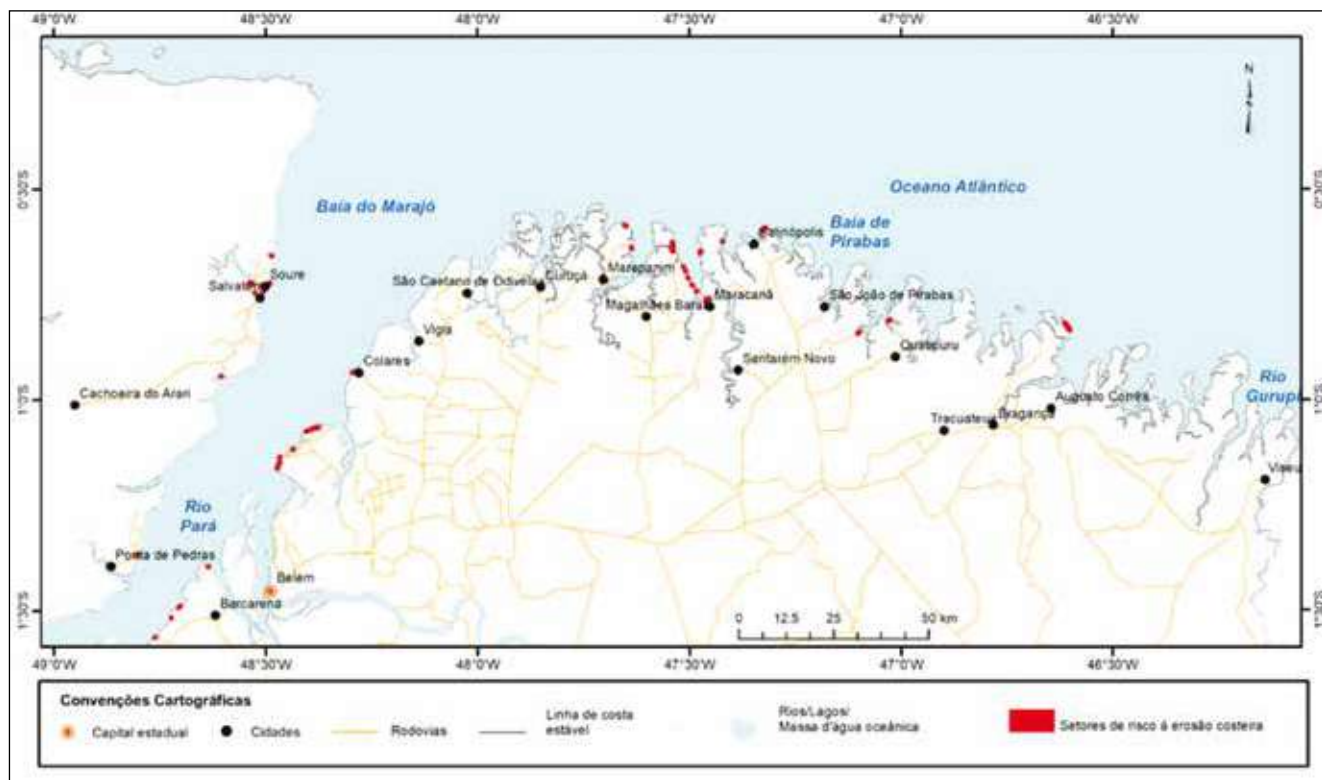


Figura 3. Setores de risco à erosão costeira mapeados pelo Serviço Geológico do Brasil no período de 2012 a 2019.

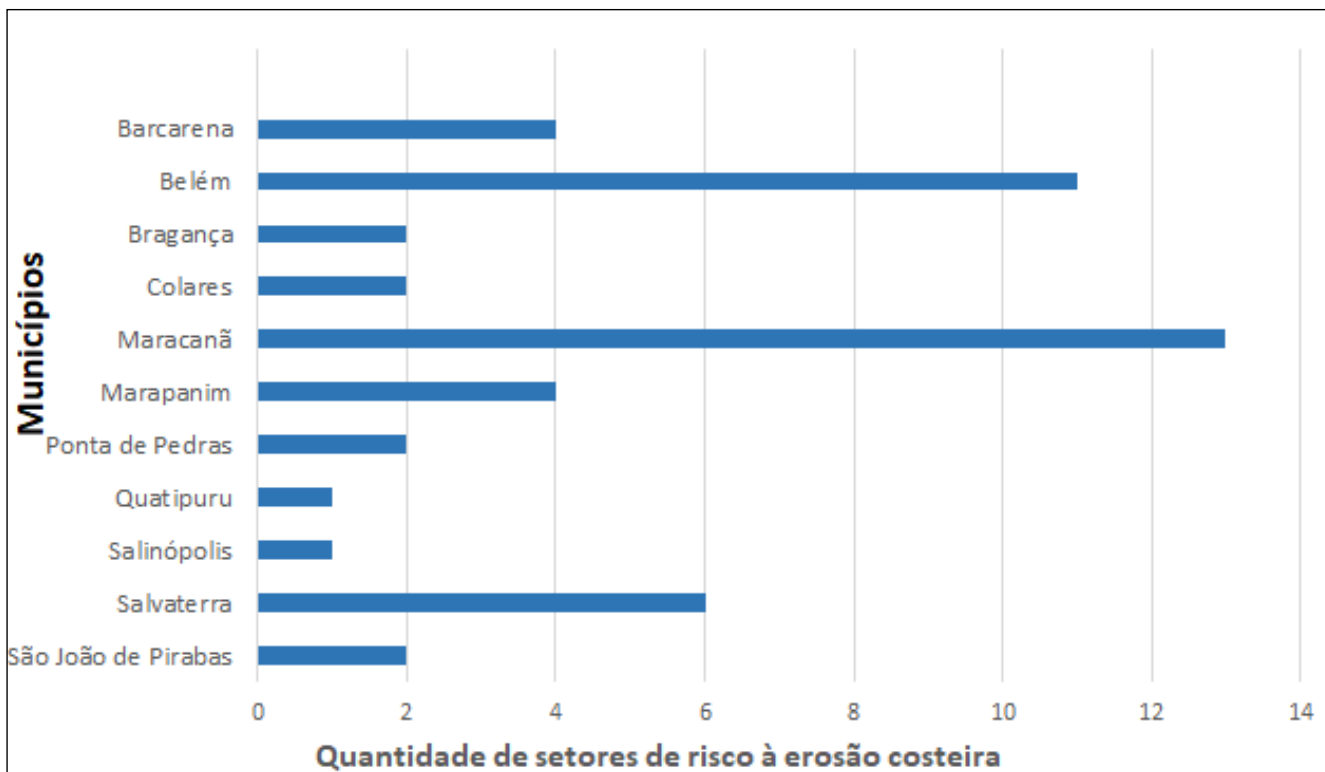


Gráfico 1. Quantidade de setores de risco à erosão costeira mapeados por município.



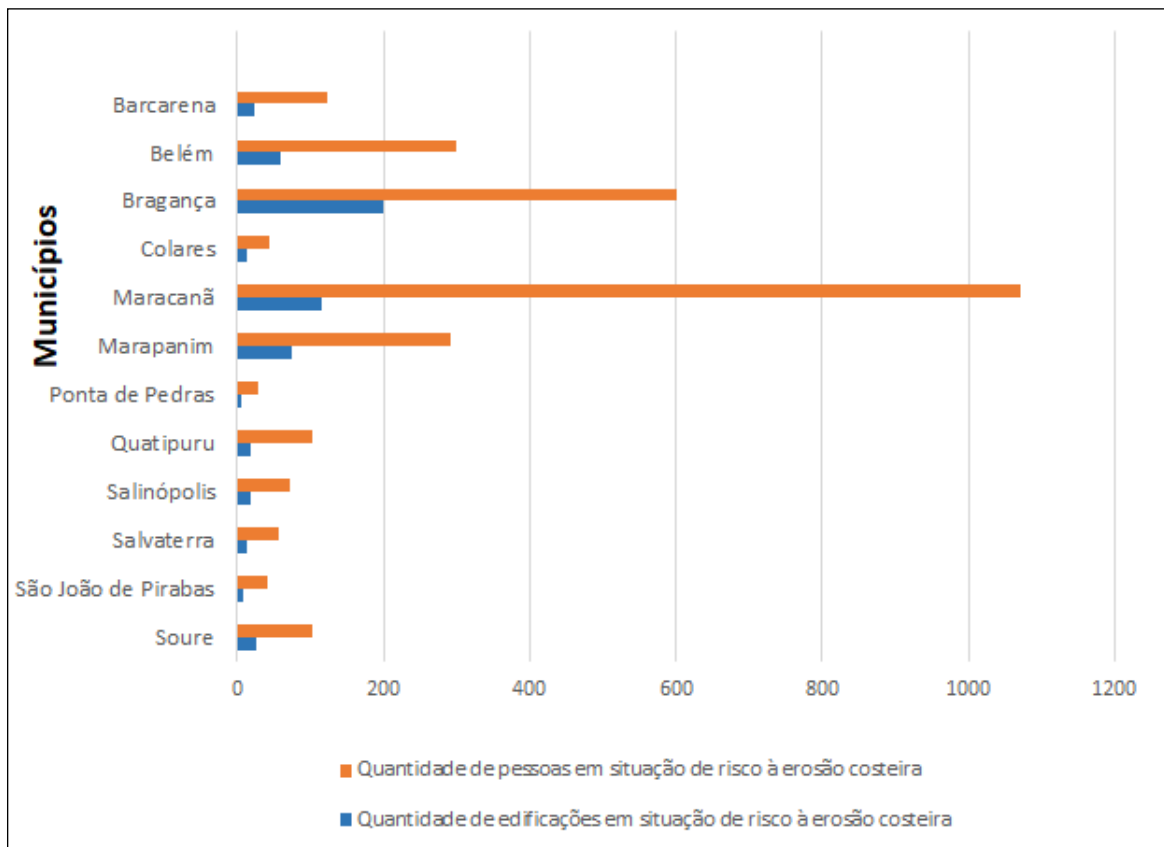


Gráfico 2. Quantidade de edificações e pessoas em situação de risco à erosão costeira mapeadas por município.

A partir da análise dos dados foi possível identificar que 40 setores de risco associam-se às ocupações irregulares do topo das falésias que estão sendo recuadas e 14 localizam-se nas praias ancoradas em manguezais ou praias expostas.

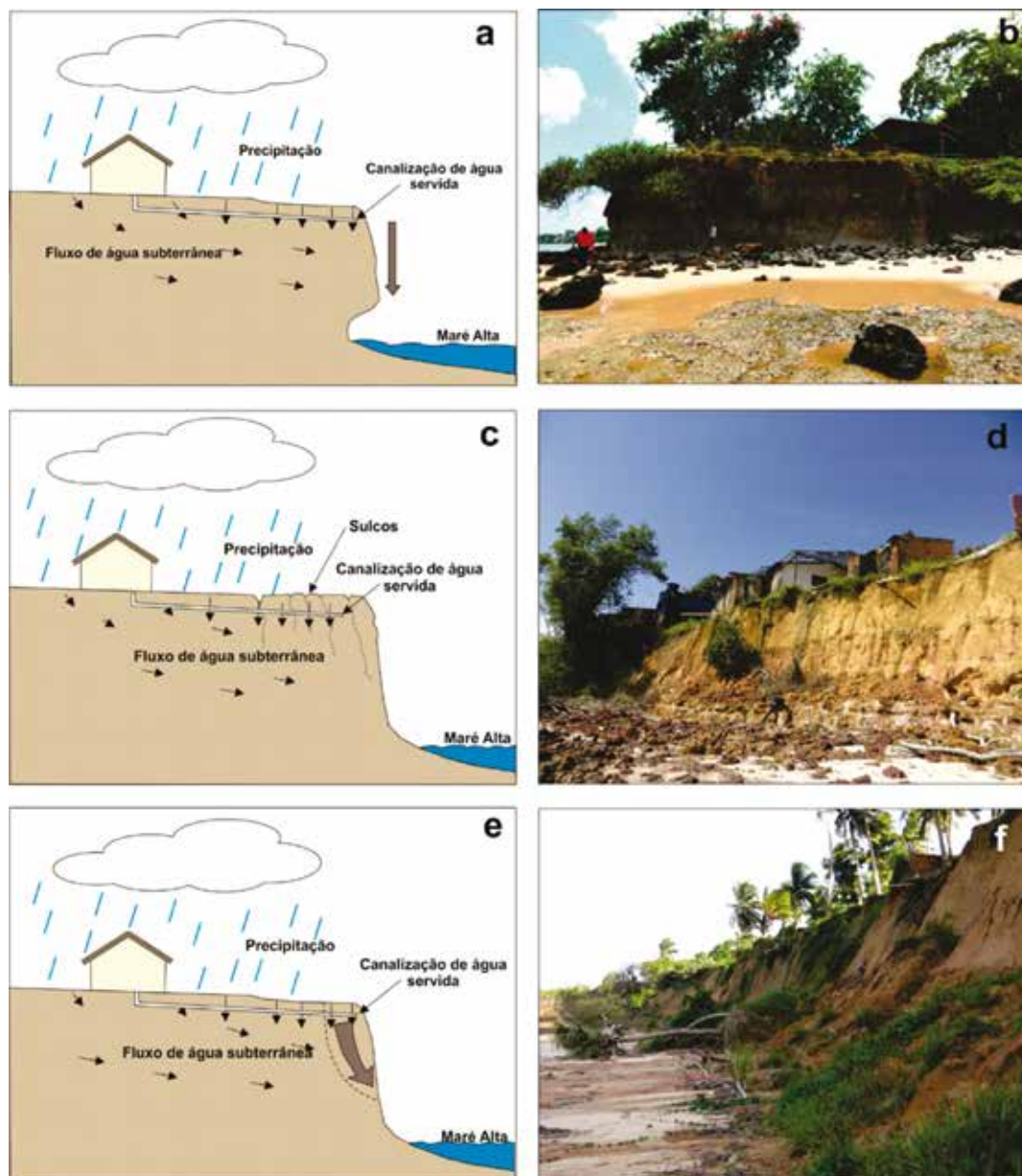
O **recuo de falésias** ocorre devido às mesmas serem sustentadas por sedimentos do Grupo Barreiras e do Pós-Barreiras, constituídos por material friável e altamente suscetíveis à erosão. Esse material é margeado por canais estuarinos, localizados na porção interna do estuário ou zona de mistura, sujeitos a interação de processos fluviais e marinhos (correntes de maré). Onde no período chuvoso, principalmente no mês de março, tem-se a ação das marés altas de sizígia equinociais, caracterizadas pelas maiores amplitudes de maré, provocando assim erosões nas bases das falésias, o que leva a um solapamento do topo (Figura 4a e b). Segundo (Miranda et al. 2002), nessa posição do estuário a água possui movimentos transversais e verticais que geram complexos movimentos tridimensionais na forma de espirais e acredita-

-se que esses movimentos podem influenciar na erosão basal das falésias. Esses processos são observados tanto nos trechos de falésia submetidos à ação das macromarés como as de mesomarés. Associado a esse processo, os altos índices pluviométricos geram erosão laminar na face da falésia, com o surgimento de sulcos e ravinas (Figura 4c e d). Assim, no período chuvoso, é frequente a ocorrência de desmoronamentos e deslizamentos, que também são influenciados pelo fluxo da água subterrânea, levando ao recuo da falésia (Figura 4e e f). Outro deflagrador observado foi a ocupação desordenada que ocorre no topo das falésias, onde observa-se o despejo de águas servidas (Figura 4b, d e f), através de tubulações, diretamente na porção superior das falésias, que é composta por sedimentos arenosos erodíveis, acelerando o processo erosivo.

A partir dos dados analisados, sugere-se a utilização do termo erosão estuarina, para classificar os recuos das margens dos canais estuarinos, que são influenciados pelos regimes de macro-

marés e mesomares, na costa do estado do Pará. Pois o termo é mais adequado em relação à erosão fluvial e erosão costeira, uma vez que leva em consideração o efeito do complexo movimento da água no estuário sobre as margens, levando em consideração também o efeito da maré rio acima, na porção conhecida como Zona de Mistura.

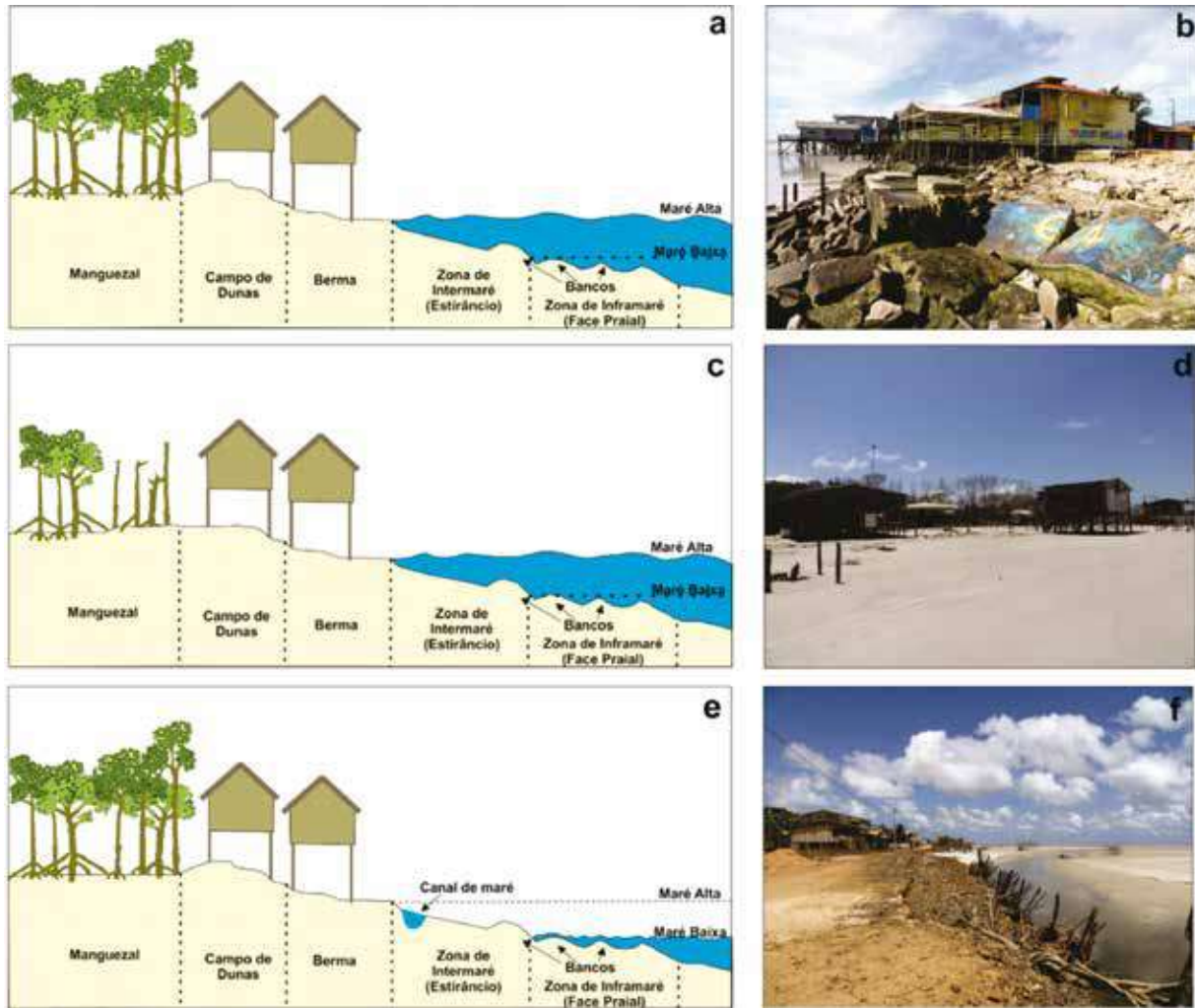
Diferenciando-se das erosões costeiras, que possui além da componente maré a arrebatção das ondas e das erosões fluviais que possuem como principal agente o rio. E nas erosões estuarinas estariam também incluídas as erosões laminares que ocorrem no topo das falésias, assim como já apresentado por Teixeira et al. (2019).



**Figura 4.** Representação dos processos envolvidos no recuo das falésias às margens dos canais estuarinos: **a:** esquema de erosão da base da falésia com solapamento do topo; **b -** Falésia com erosão de base na Praia do Ariramba – Ilha de Mosqueiro – Belém – Pará, Fonte: CPRM (2012); **c:** Esquema de lançamento de água servida e a presença de sulco e ravinas na face da falésia; **d:** Casas em situação de risco em falésia com presença de sulcos e exposição de canos de águas de servidas na Praia do Quarenta do Mocoóca – Maracanã, Fonte: Teixeira & Bandeira (2020); **e:** Esquema de erosão de falésia por deslizamento da porção superior da mesma; **f:** Deslizamentos da porção superior da falésia com árvores caídas na Praia do Mota – Maracanã, Fonte: Teixeira & Bandeira (2020).

As praias das porções externas dos estuários estão sujeitas a interação das ondas e das correntes de maré, que possuem uma energia destrutiva maior no período das marés de sizígia equinoctiais. Nessas áreas altamente suscetíveis a erosão como a faixa dinâmica da praia, incluindo a zona praial, berma e os campos de dunas, que também são fontes de sedimentos para todo o sistema de praia, verificou-se a ocupação irregular de moradias. Tal situação foi observada nas praias do Crispim (Marapanim), Ajuruteua (Bragança) (Figura 5a e b) e Farol Velho (Salinópolis). Outro fator que contribui para o déficit sedimentar é a posição dos deltas de maré vazante, que ocorrem na forma de bancos submersos na desembocadura dos estuários,

e que acabam retendo os sedimentos arenosos transportados da plataforma continental em direção à costa. Essa situação foi verificada nas praias de Ajuruteua (Bragança) e Boa Vista (Quatipuru). Além da destruição das edificações e estruturas urbanas, como ruas e postes, o recuo da linha de costa é observado pela migração dos cordões arenosos sobre os manguezais, acarretando a morte e tombamento de árvores do mangue (Figura 5c e d). Outros processos associados à erosão costeira foram vistos nas praias expostas da costa do Pará, como o escarpamento das dunas frontais e migração de canais de maré em direção ao continente (Figura 5e e f).



**Figura 5.** Representação de alguns processos envolvidos no recuo de praias expostas, baseado no perfil de praia da região elaborado por Alves (2002): **a:** esquema mostrando a ocupação do campo de dunas e berma; **b:** Ocupação da zona dinâmica da praia com processo erosivo instalado, Praia de Ajuruteua – Bragança, Fonte: Fonseca et al. 2015; **c:** Esquema de migração dos cordões arenosos em direção ao manguezal com a morte das árvores; **d:** Migração dos cordões arenosos sobre o mangue na Praia do Crispim – Marapanim, Fonte: Teixeira & Melo (2019); **e:** Esquema de migração de canais de maré em direção ao continente na zona de intermaré; **f:** Migração de canal na Praia do Crispim – Marapanim, Fonte: Teixeira & Melo (2019).



Foi observado como forma de contenção a construção de obras rígidas como muros de arrimo (Figuras 6a e b), uso de pneus (Figura 6c), que a longo prazo se mostraram ineficientes diante

à erosão costeira. Em algumas praias é possível verificar uma série de linhas de muro destruídas pela erosão como é o caso da praia do Maçarico em Salinópolis (Figura 6d).



**Figura 6.** a: Muro de arrimo destruído pela erosão costeira na orla da cidade de Salvaterra, Fonte: Melo & Simões (2016) b: Muro de arrimo embarrigado na Praia do Paraíso, Ilha de Mosqueiro (Belém), situação em 2018; c: Utilização de pneus na base da falésia, bem como o uso de lonas para impedir o recuo da falésia na Praia do Recreio (Marapanim), Fonte: Teixeira & Melo (2019); d: Ruínas de duas posições de muro de arrimo destruídos pela erosão costeira na Praia do Maçarico (Salinópolis), Fonte: Teixeira & Bandeira (2020).

## 5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos mostram que o trecho analisado da costa do Pará possui uma intensa dinâmica, e mesmo com uma tendência regional de acreção, no período de 1988 a 2019, diversos trechos encontram-se com processo erosivo instalado. E esse processo passa a ser problema quando ameaça áreas com ocupação, levando ao surgimento das áreas de risco à erosão costeira. A partir do mapeamento desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil foram identificados 54 seto-

res de risco alto e muito alto à erosão costeira no Pará. E de acordo com a localização destes setores, foi possível identificar dois padrões de recuo da linha de costa, levando em consideração os aspectos físicos (geológicos e geomorfológicos), oceanográficos e as formas de ocupação. Os setores localizados nas porções internas dos estuários estão associados ao recuo das falésias, onde processos de erosão laminar, deslizamentos e solapamentos estão presentes e como proposta para diferenciar das erosões que ocorrem nas praias arenosas da porção externa do estuário, sugere-se o uso de



erosões estuarinas para essas erosões localizadas na porção mais interna do estuário. Os setores localizados na porção externa do estuário estão relacionados ao déficit sedimentar que apresenta diversas causas, como as identificadas pelo trabalho, como retenção de sedimentos da plataforma continental pelos bancos arenosos localizados na foz dos estuários, ocupação da faixa dinâmica da praia e migração de canais de maré em direção ao continente. Essas informações podem auxiliar na política de gestão de riscos costeiros, pois podem servir de guia para a escolha da melhor maneira de mitigar o processo, levando em consideração as suas especificidades físicas e oceanográficas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro e institucional recebido do Serviço Geológico do Brasil para a realização da pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- Alves M. A. M. S. 2001. Morfodinâmica e Sedimentologia da Praia de Ajuruteua - NE do Pará. 2001. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém. 110p.
- Araújo JR. W. P. & Asp, N. E. 2013. Hydrodynamic Connectivity between two macrotidal amazonian estuaries. *Journal of Coastal Research*, Special n. 65: p. 1086-1091.
- BRASIL. Lei Estadual no 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC. Brasília, Câmara dos Deputados [2012]. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2012/lei-12608-10-abril-2012-612681-publicacaooriginal-135740-pl.html>. Acesso em: 01 abr. 2021.
- Bird E. 2008. *Coastal Geomorphology: An Introduction*. England: John Wiley & Sons Ltd, 411p.
- Boye C.B., Appeaning Addo K., Wiafe G., Dzigidji-Adjimah K. 2018. Spatio-temporal analyses of shoreline change in the Western Region of Ghana. *Journal of Coastal Conservation*, v.22, n.4, 769-776. <http://dx.doi.org/10.1007/s11852-018-0607-z>.
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil. 2012. Ação emergencial para delimitação de áreas de alto e muito alto risco a enchentes e movimentos de massa no município de Belém, Estado do Pará. Belém, CPRM. <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/20761.1>.
- Crowell M., Leatherman S.P., Buckley M.K. 1991. Historical Shoreline Change: Error Analysis and Mapping Accuracy. *Journal of Coastal Research*, v.7, n.3, 839-852.
- Dolan R., Hayden B.P., May P., May S. 1980. The reliability of shoreline change measurements from aerial photographs. *Shore and Beach*, v.48, p.22- 29.
- El-Robrini M., Silva M. A., Souza Filho P. W. M., El-Robrini M. H. S., Silva Jr. O. G., França C. F. 2006. Pará. In: Muehe D. (org.). *Erosão e progradação do litoral brasileiro*. Brasília: MMA, p. 45-86.
- El-Robrini M., Ranieri L. A., Silva P. V. W. S., Guerreiro S. J., Alves M.A.M. da S., Oliveira R. R. S. de, Silva M. do S. F. da, Amora P.B.C., El-Robrini M.H. S., Fenzl, N., Farias D. R. Pará. In: Muehe, D. (org.). *Panorama da Erosão Costeira no Brasil*. Brasília: MMA, 2018. p. 65-165.
- Finkl C.W. & Makowski C. 2013. The Southeast Florida Coastal Zone (SFCZ): A Cascade of Natural, Biological, and Human-Induced Hazards. In: Finkl, C.W (ed.). *Coastal Hazard*. Florida: Springer, p.3-56.
- França C.F. & Souza Filho P.W.M. 2003. Análise das mudanças morfológicas costeiras de médio período na margem leste da Ilha de Marajó (PA) em imagem Landsat. *Revista Brasileira de Geociências*, v.33, n.2, 127-136.
- Fonseca D.D.F., Conceição R.A.C., Asp Neto N.E. 2015. Ação emergencial para delimitação de áreas de alto e muito alto risco a enchentes e movimentos de massa no município de Bragança, Estado do Pará. Belém, CPRM, 37 p. <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/18316>

Franzinelli E. 1992. Evolution of the geomorphology of the coast of the state of Pará, Brazil. In: Prost M.T. (ed.), *Évolution des littoraux de Guyane et de la Zone Caraïbe Méridionale pendant le Quaternaire*. Paris: ORSTOM. p. 203-230.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2011. *Atlas Geográfico das zonas costeiras e oceânicas*. IBGE, Diretoria de Geociências – Rio de Janeiro: IBGE, 176p.

Jonah F.E., Boateng I., Osman A., Simba M.J., Mensah E.A., Adu-Boahen, K., Chuku E.O., Eifah E. 2016. Shoreline change analyses using end point rate and net shoreline movement statistics: An application to Elmina, Cape coast and Moree section of Ghana's coast. *Regional Studies in Marine Science*. v.7, p.19-31. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rsma.2016.05.003>.

Martorano L.G., Pereira L.C., César E.G.M., Pereira I.C.B. *Estudos Climáticos do Estado do Pará, Classificação Climática (Köppen) e Deficiência Hídrica (Thorntwhite, Mather)*. Belém: SUDAM/EMBRAPA, 59p.

Melo L. B. & Simões, P. 2016. Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes e movimentos de massa: Salvaterra – Ilha de Marajó – Pará. Belém: Serviço Geológico do Brasil – CPRM. 29 p. <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/18364>

Miranda L.B. de, Castro B.M. de, Kjerfve B. 2002. *Princípios de Oceanografia Física de Estuários*. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, 414 p.

PARÁ. Lei Estadual no 9.064, de 25 de maio de 2020. Institui a Política Estadual de Gerenciamento Costeiro (PEGC/PA). Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade [2020]. Disponível em: [https://www.semas.pa.gov.br/legislacao/normas/view/6556#:~:text=Institui%20a%20Pol%C3%ADtica%20Estadual%20de%20Gerenciamento%20Costeiro%20\(PEGC%2FPA\).&text=Encontrou%20a%20norma%20que%20procurava%3F](https://www.semas.pa.gov.br/legislacao/normas/view/6556#:~:text=Institui%20a%20Pol%C3%ADtica%20Estadual%20de%20Gerenciamento%20Costeiro%20(PEGC%2FPA).&text=Encontrou%20a%20norma%20que%20procurava%3F). Acesso em: 01 abr. 2021.

Pereira L.C.C., Pinto K.S.T., Vila-Concejo A. 2014. Morphodynamic variations of a macrotidal beach (Atalaia) on the Brazilian Amazon Coast. In: Green A.N., Cooper J.A.G. (eds.), *Proceedings 13th International Coastal Symposium (Durban, South Africa)*, *Journal of Coastal Research*, Special Issue, 70, p. 681-686, 2014. ISSN 0749-0208.

Prestes Y. O. 2016. *Interações Físicas entre o Estuário do rio Pará e a Plataforma Continental no Norte do Brasil*. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Recife. 122 p.

Syvitski J.P.M., Vorosmarthy C.J., Kettner A.J., Green P. 2015. Impact of human on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean. *Science*, v.308 (5720), 376-380.

Souza C.R. de G. 1997. *As células de deriva litorânea e a erosão nas praias do Estado de São Paulo*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 184 p.

Souza Filho P.W.M., Paradella W.R. 2003. Use of synthetic aperture radar for recognition of Coastal Geomorphological Features, land-use assessment and shoreline changes in Bragança coast, Pará, Northern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.75, n.3, 341-356.

Souza Filho P. W. M. 2005. Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 23, p. 427-435.

Teixeira S. G. & Melo Júnior H. R. 2019. Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes e movimentos de massa: município de Marapanim – Pará. Belém: Serviço Geológico do Brasil – CPRM. 18 p. <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/18338>

Teixeira S. G. S. G. & Bandeira, I. C. N. 2020. *Geodiversidade da costa nordeste do Pará, Nota Explicativa: Serviço Geológico do Brasil – CPRM*. <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/21510>

Teixeira S.G., Bandeira I.C.N., Dantas M.E. (s.d.). Shoreline variation and identification of local erosion ge indicators on the Brazilian Amazon coast. *Journal of Coastal Research*. <https://meridian.allenpress.com/jcr/article-abstract/doi/10.2112/JCOASTRES-D-20-00164.1/469348/Shoreline-Variation-and-Identification-of-Local?redirectedFrom=fulltext>ISSN 0749-0208.

Teixeira S. G., Bandeira I. C. N., Fonseca D.D.F. 2019. Erosões Estuarinas na Costa Nordeste do Estado do. *In: Simpósio de Geologia da Amazônia*, 16, Manaus, Anais, CD-ROM.

# RISCO E PLANEJAMENTO URBANO E SUA ABORDAGEM NOS PERIÓDICOS CIENTÍFICOS

RISK AND URBAN PLANNING AND ITS APPROACH IN SCIENTIFIC JOURNALS  
RIESGO Y PLANIFICACIÓN URBANA Y SU ENFOQUE EN REVISTAS CIENTÍFICAS

CRISTINA BOGGI DA SILVA RAFFAELLI

*Instituto Geológico – IG, São Paulo-SP, Brasil – cristinaboggi@uol.com.br*

RICARDO DE SOUSA MORETTI

*Universidade Federal do ABC – UFABC, Santo André – SP, Brasil – ufabc.moretti@gmail.com*

## RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo apresentar uma análise das publicações realizadas em periódicos no período de 2010 a 2018, na temática que aborda a interface entre riscos geológicos e hidrológicos e planejamento urbano. Os artigos foram selecionados em duas bases de dados, Capes e Scopus, a partir de algumas palavras-chaves. Também foram analisadas as publicações recentes em periódicos com foco em riscos e desastres, buscando-se os textos que abordam o tema do planejamento urbano. Os resultados foram sistematizados e analisados, buscando-se caracterizar os principais temas tratados e identificar os tópicos que se mostraram ausentes. Os resultados encontrados demonstram que, se por um lado, existem diversas pesquisas abordando o risco de forma multidisciplinar no contexto do planejamento urbano, por outro lado, as publicações na temática ainda apresentam várias lacunas de abordagem e temas de investigação que precisam ser aprofundados.

**Palavras-chave:** Proteção e Defesa Civil, Redução de riscos, Prevenção de desastres, Planejamento urbano.

## ABSTRACT

The present work aims to present an analysis of journal publications in the period 2010-2018, in the theme that addresses the interface between risks geological and hydrological and urban planning. The articles were selected in two databases, Capes and Scopus, from a few keywords. We also analyzed the recent publications in journals with a focus on risks and disasters, seeking texts that address the theme of urban planning. The results were systematized and analyzed,

aiming to characterize the main themes and identify the topics that were absent. The results show that, on the one hand, there are several studies addressing risk in a multidisciplinary way in the context of urban planning, on the other hand, the publications on the subject still present several gaps in approach and research topics that need to be deepened.

**Keywords:** Civil defense and protection, Risk reduction, Disaster prevention, Urban planning.

## RESUMEN

El presente trabajo tiene por objetivo presentar un análisis de las publicaciones realizadas en periódicos en el período de 2010-2018, en la temática que aborda la interfaz entre riesgos geológicos e hidrológicos y planificación urbana. Los artículos fueron seleccionados en dos bases de datos, Capes y Scopus, a partir de palabras clave. También se analizaron las publicaciones recientes en periódicos con foco en riesgos, buscando los textos que abordan el tema de la planificación urbana. Los resultados fueron sistematizados y analizados, buscando caracterizar los principales temas tratados e identificar los tópicos que se mostraron ausentes. Los resultados encontrados demuestran que por un lado, existen diversas investigaciones abordando el riesgo de forma multidisciplinar en el contexto de la planificación urbana, por otro lado, las publicaciones en la temática todavía presentan varias lagunas de abordaje y temas de investigación que necesitan ser profundizados.

**Palabras claves:** Defensa civil y protección, Reducción de riesgos, Prevención de desastres, Planificación urbana.



## 1 INTRODUÇÃO

Pesquisar as investigações já realizadas sobre uma determinada temática permite o entendimento sobre o avanço do conhecimento já disponível. O relatório da editora Holandesa Elsevier de 2017 mostrou que no período de 2012 a 2016 foram publicados no mundo mais de 27 mil artigos em ciência do desastre, tratando-se de 0,22% do total de artigos indexados na base de dados Scopus no mesmo período (Pierro 2018). O relatório apresenta um perfil geral dos artigos sobre desastres, ressaltando que o Brasil tem tradição nesse tipo de pesquisa, principalmente relacionadas a desastres hidrológicos e geológicos (Mobed et al. 2017).

Em 2012, após uma série de grandes desastres associados a processos geodinâmicos no Brasil, foi instituída com a Lei 12.608/2012 a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDC). A lei indica, entre outros aspectos, a necessidade de tratar a questão das áreas de riscos não só em termos de preparação para respostas a desastres, mas notoriamente voltada para a prevenção e articulando a atuação da Defesa Civil com este enfoque. Desta forma, foi definido o tema da interface da gestão de risco com o planejamento urbano sob a ótica da Lei 12.608/2012.

Ainda que a gestão de riscos de desastres apresente um avanço significativo em anos recentes, considera-se que a sua incorporação no planejamento territorial tem sido lenta e com importantes lacunas de desenvolvimento técnico e teórico. Para avaliar essa hipótese, foram identificados e analisados artigos qualificados e que contemplem diversos aspectos de temas relacionados ao assunto. Os portais de periódicos constituem excelente ambiente para pesquisas de artigos a partir de palavras-chaves relacionadas aos temas de interesse, e que se apliquem à avaliação do estado da arte em uma determinada área. Entre esses portais destacam-se as bases de dados CAPES e SCOPUS, utilizados nesta pesquisa.

## 2 MÉTODOS

Um total de 114 artigos foram identificados, sistematizados e analisados visando avaliar a incorporação da gestão de riscos ao planejamento urbano territorial com foco na prevenção. A sele-

ção dos artigos foi realizada em duas etapas no Portal de Periódicos: nas bases CAPES e SCOPUS (49 artigos), e em periódicos especializados no tema de riscos e desastres (65 artigos). Foram utilizados critérios de buscas e refinamento das amostras, de forma a se obter artigos qualificados no contexto internacional. Os resultados foram analisados, sendo possível também identificar lacunas, por vezes indicadas nos próprios artigos estudados, ou na ausência de estudos sobre determinados temas.

### 2.1 Seleção de artigos para análise.

#### A | OBTENÇÃO DE AMOSTRAGEM INICIAL DE ARTIGOS PARA ANÁLISE.

##### a1 | Primeira etapa da seleção.

O objetivo desta primeira etapa da pesquisa foi selecionar artigos qualificados que tratam prioritariamente de riscos geológicos e hidrológicos com interface com o planejamento urbano, publicados em português, inglês e espanhol, nas bases CAPES e SCOPUS.

Optou-se de início por um recorte temporal de dez anos, de 2008 a 2018. Não houve um recorte espacial, possibilitando publicações com diferentes origens. A classificação QUALIS não foi um recorte, mas apenas uma verificação.

A seleção de artigos no contexto especificado ocorreu por meio do uso de palavras-chaves; isto demandou testes e ajustes na medida em que os artigos retornavam das buscas. Inicialmente as palavras utilizadas foram “risk area” em conjunto com “urban plan”, “master plan” e “urban occupation”. A definição das palavras-chaves contou com apoio de contextos teóricos sobre áreas de risco, formação social do risco e as agendas ambientais e urbanas, buscando artigos com foco na interface entre prevenção de riscos e planejamento urbano.

As bases CAPES e SCOPUS oferecem ferramentas para um primeiro refinamento auxiliando a fechar o foco nos temas buscados por tipo de recurso (artigo), por tópicos de estudos, periódicos revisados por pares, por data de publicação, por idiomas, por local da publicação, dentre outros. Ao final, as buscas da primeira etapa retornaram

335 artigos na base CAPES e 167 artigos na base SCOPUS.

#### *a2 | Segunda etapa da seleção*

Dentre os periódicos selecionados na primeira etapa, alguns foram identificados pelo foco específico em riscos e desastres, como o *Natural Hazards*, *International Journal Disaster Risk Science*, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, além do *Environment & Urbanization* com característica interdisciplinar. Percebeu-se a necessidade de uma segunda etapa complementar de pesquisa a ser realizada diretamente nestes periódicos, buscando avaliar se em seu diálogo corrente faz parte o tema da prevenção de riscos através do planejamento urbano.

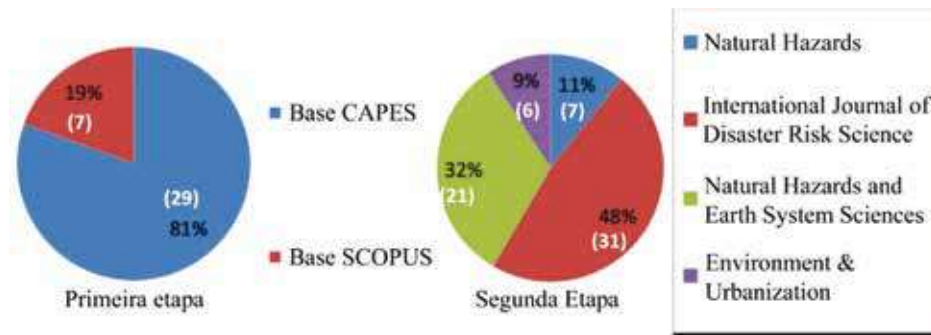
Quanto aos critérios de seleção, manteve-se a ausência de recorte espacial, porém o recorte temporal inicial foi alterado para 2010. A primeira etapa de seleção retornou um número irrelevante de artigos de interesse publicados antes de 2010. Desta forma optou-se por este ajuste na data inicial de publicação nesta etapa, mais próxima à publicação da PNPDEC. Em ambas as etapas priorizou-se a seleção de estudos de casos urbanos. Foram selecionados estudos que relacionam áreas de risco com o planejamento urbano, abordando planos diretores, expansão urbana, ocupação de áreas suscetíveis, vulnerabilidades socioambientais e a PNPDEC. Foram excluídos artigos que façam apenas revisão bibliográfica, ou somente comparação de ferramentas de representação geográfica do meio ambiente.

#### *B | REFINAMENTO DA AMOSTRAGEM*

A escolha de palavras-chaves cruzando risco e planejamento urbano nas buscas permitiu

o retorno de amostras de artigos vinculados aos temas de interesse inicialmente elencados, assim como a identificação de lacunas nos estudos. As amostras das duas etapas passaram por processos de refinamento semelhantes. Foi realizada uma primeira triagem após a leitura dos títulos e resumos. Seguiu-se uma segunda leitura expedita dos próprios artigos, identificando-se estudos de casos vinculados aos temas de interesse da pesquisa, assim como lacunas de temas que se mostraram ausentes desde as amostras iniciais mais amplas.

Uma primeira seleção a partir da leitura dos títulos e dos resumos levou à escolha de 66 artigos; após leitura expedita dos próprios artigos, chegou-se à amostra final de 36 artigos. As buscas da primeira etapa foram finalizadas em janeiro de 2016, sendo que as bases permitem que cada uma das buscas seja salva e a seleção de novos artigos publicados continue a ocorrer de forma contínua e automática. Desta forma, a partir do início de 2016 até 2018, periodicamente foram encaminhadas por e-mail listas de artigos resultantes das buscas automáticas; após a leitura dos títulos e resumos foram priorizados mais 13 artigos de interesse. No total 49 artigos foram selecionados na primeira etapa por tratarem da interface entre riscos e planejamento, em várias escalas de abordagem. O gráfico 1 mostra as porcentagens de artigos pré-selecionados e a seleção final para leitura integral, de acordo com sua origem, para as duas etapas das buscas da pesquisa.



**Gráfico 1.** Artigos selecionados nas duas etapas da pesquisa, segundo porcentagens (e número de artigos) da seleção final de acordo com periódicos de origem.

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em Portal de Periódicos (2018).

O refinamento da amostra da segunda etapa ocorreu diretamente nos periódicos específicos, em parte apenas com a leitura dos títulos e resumos, e em parte com uma busca inicial por palavras-chaves para posterior refinamento por leitura dos títulos e resumos.

O periódico *International Journal Disaster Risk Science* disponibilizou um total de 230 artigos (2010 a 2018) e, desta forma, foi possível refinar esta amostra para 31 artigos a partir da leitura dos títulos e resumos. Os periódicos *Natural Hazards and Earth System Sciences*, *Natural Hazards*, e o *Environment & Urbanization*, possibilitaram buscas por palavras-chaves, retornando 800 artigos, dos quais 34 foram selecionados após a leitura de títulos e resumos.

## 2.2 Sistematização dos arquivos selecionados

### A | ORGANIZAÇÃO DA AMOSTRAGEM QUANTO À NATUREZA DOS PERIÓDICOS.

Os artigos selecionados foram organizados e quantificados nas duas etapas e os periódicos foram agrupados por áreas do conhecimento. O quadro 1 mostra o quantitativo de artigos selecionados na primeira etapa e o quadro 2 de selecionados na segunda; ambos demonstram os periódicos onde os artigos foram publicados e sua classificação QUALIS. Os periódicos internacionais foram destacados em itálico e com sombreado colorido.

**Quadro 1.** Número de artigos e QUALIS da primeira etapa (2008 a 2018).

ÁREA	PERIÓDICO - CAPES / SCOPUS	QUALIS	Nº DE ARTIGOS
Planejamento Urbano e Regional	Ambiente e Sociedade.	A2	2
	Ciência e Natura	B2	1
	<i>Cuadernos de Vivienda y Urbanismo</i>	A2	1
	<i>Current Opinion in Environmental</i>	A1	1
	<i>Environmental Earth Sciences</i>	A2	1
	GEOUSP	B1	1
	<i>Habitat International</i>	A1	1
	<i>Ocean &amp; Coastal Management</i>	B1	1
	Revista Ciência e Cultura	B1	1
	REVISTA FAMECOS	B1	1
	Revista Geográfica Acadêmica	B3	1
	Ciência e Saúde Coletiva	A2	4
	GEO UERJ	B1	2
	<i>Water Resources</i>	A1	1
	<i>Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana</i>	A2	1
	<i>Journal of Cleaner Production</i>	A1	1
<i>Land Use Policy</i>	A1	1	
Arquitetura, Urbanismo e design	Ra'e Ga	B4	6
	<i>PLoS ONE</i>	B2	1
	<i>Journal of Hydrology</i>	A1	2
	<i>Landscape And Urban Planning</i>	A1	3
Interdisciplinar	<i>Arquitectura y Urbanismo interdiscipl.</i>	B2	1
Administração Pública e de Empresas	GeAS	B2	1
Geociências	<i>Climate Research</i>	B1	1
	<i>Remote Sensing of Environment</i>	A1	1
	Revista Brasileira de Geociências	B1	1
	Revista Escola de Minas	B2	1
Geografia	<i>Journal Of Maps</i>	B1	1
	<i>Natural Hazards and Earth System Sciences</i>	A1	1
Engenharia	<i>Environment and Urbanization</i>	B1	1
Ciências Ambientais	<i>Revista Geografica Venezolana</i>	B1	1
	<i>Environmental Research Letters</i>	A1	1
	Opinião Pública	B1	1
	<i>Regional Environmental Change</i>	A1	1
Não definida	<i>International Journal of Disaster Risk Science Reduction</i>	Sem QUALIS	1
	<i>Boletín Geográfico</i>		1
	Quantidade de artigos		49
	Quantidade de periódicos		37

Fonte: Elaborada pelos autores, com base em Qualis Periódico (2019), Portal de Periódicos (2018).



**Quadro 2.** Número de artigos e QUALIS da segunda etapa (2010 a 2018).

ÁREA	PERIÓDICO - CAPES / SCOPUS	QUALIS	Nº DE ARTIGOS
Arquitetura, Urbanismo e design	<i>Natural Hazards</i>	A1	7
Não definida	<i>International Journal of Disaster Risk Science</i>	Sem QUALIS	31
Geografia	<i>Natural Hazards and Earth System Sciences</i>	A1	21
Engenharia	<i>Environment &amp; Urbanization</i>	B1	6
		<b>Total de artigos</b>	<b>65</b>
		<b>Total de periódicos</b>	<b>4</b>

Fonte: Elaborada pelos autores, com base em Qualis Periódico (2019), Portal de Periódicos (2018).

Dentre os artigos selecionados na segunda etapa, 80% são oriundos do International Journal Disaster Risk Science e do Natural Hazards and Earth System Sciences (Gráfico 1).


#### B | DISTRIBUIÇÃO DOS ARTIGOS POR PAÍSES.

O mapa 1 mostra a distribuição espacial dos estudos selecionados, ou seja, os 49 artigos da primeira etapa da pesquisa, e os 65 artigos da segunda etapa, num total de 114 artigos. Optou-se pela apresentação em forma de mapa, pois proporciona uma visualização mais didática e sintética da distribuição espacial dos estudos de casos selecionados.

Esta espacialização ajuda na contextualização e análise dos resultados.

Os riscos geológicos e hidrológicos sofrem influência dos índices de chuva locais, assim como de aspectos socioeconômicos e formas de ocupação do território. Estes aspectos precisam ser considerados na leitura dos artigos para comparações válidas entre países. Verifica-se o predomínio de autores e de estudos de casos do Brasil e em parte, esse resultado se justifica porque um dos critérios de seleção é a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC.



**LEGENDA**  Símbolo proporcional ao número de estudos de casos no país.

**Mapa 1.** Países estudados nos 114 artigos selecionados, 2008 a 2018.

Fonte: Elaborada pelos autores a partir dos resultados encontrados.

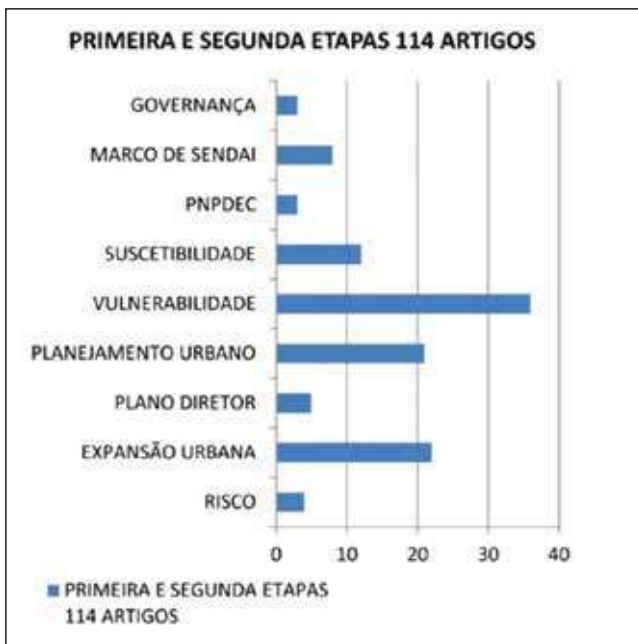
### 2.3 Análise dos artigos selecionados.

Os 114 artigos da seleção final foram considerados para análise e identificação de temas mais presentes ou os que foram pouco abordados. Durante a leitura dos artigos foram elencadas e tabuladas diversas características dos estudos de casos que forneceram um detalhamento adequado para a análise dos resultados obtidos.

Quanto aos artigos foram registradas as informações referentes à base e periódico de origem, aos autores, ao vínculo com instituições, país de origem do autor, ano de publicação, palavras-

-chaves do artigo, temas principais abordados, local do estudo de caso, além do método utilizado na pesquisa. Estes dados foram tabulados e a partir deles foi possível elaborar os gráficos e demais planilhas de apoio para elaboração das análises e quantitativos.

Para cada artigo foi elaborada uma ficha síntese dos assuntos tratados, assim como cópia de trechos importantes para futuras citações. Esta síntese subsidiou o trabalho seguinte de identificação de temas. O gráfico 2 mostra os quantitativos de artigos por temas abordados.



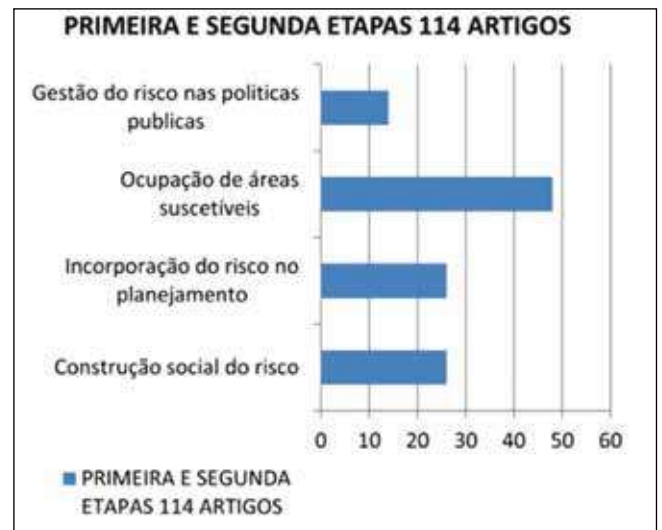
**Gráfico 2.** Temas dos artigos selecionados nas duas etapas, 2008 a 2018.

Fonte: Elaborada pelos autores a partir dos resultados encontrados.

Os temas anteriores foram agrupados possibilitando análises sintéticas vinculadas às discussões dos resultados, em torno dos seguintes tópicos:

- A construção social do risco, origem e intensificação dos riscos com a expansão urbana e o crescimento acelerado das cidades;
- A incorporação do risco ao planejamento urbano, aos planos diretores, às leis de uso do solo;
- Ocupação de áreas suscetíveis a escorregamentos e inundações, e vulnerabilidades no estudo do risco;
- A gestão do risco na pauta das políticas públicas, a PNPDEC e governança.

A análise e sistematização dos artigos iluminaram algumas lacunas muitas vezes levantadas pelos próprios artigos. Desde a amostra inicial de artigos alguns temas se mostraram pouco presentes, como os que abordam e qualificam as pessoas em situação de risco, presente somente em Valêncio; a relação direta entre planejamento urbano e a gênese do risco; e o controle na destinação de áreas com alta suscetibilidade que foram objeto de processos de remoção.



**Gráfico 3.** Primeira e segunda etapas - Temas agrupados.

Fonte: Elaborada pelos autores a partir dos resultados encontrados.

### 3 RESULTADOS E ANÁLISES

Conforme já explicado na metodologia, obteve-se uma amostra significativa de artigos e foram identificados os principais temas e lacunas que se relacionavam com os objetivos da pesquisa. Os artigos foram sistematizados e agrupados de acordo com os temas conforme descrito a seguir.

#### 3.1 Gestão de risco e Planejamento territorial: Temas abordados.

##### 3.1.1 O risco como construção social

O risco é um perigo calculável, pois um processo perigoso torna-se um risco a partir do momento em que sua ocorrência é previsível. O risco pode ser calculado em função do Perigo/suscetibilidade, da exposição de pessoas e bens (Dano potencial) e das condições de vulnerabilidade das populações e bens expostos. Diversos autores tratam da avaliação do risco, como Cerri e Amaral (1998), Nogueira (2002), Veyret (2007), Cardona (2007), Tominaga et al. (2009) e Valêncio et al. (2009). A vulnerabilidade, um fator fundamental na análise de risco, expressa o grau de predisposição ao dano de um elemento ou grupo de elementos (pessoas e bens) expostos à manifestação de um fenômeno perigoso (Cardona 2001). A redução da vulnerabilidade influi de forma direta na

redução do risco, tratando-se de um conceito chave para se entender a construção social do risco.

No Brasil identifica-se um processo constante de formação de novas áreas de riscos, principalmente de ordem geológica e hidrológica, impulsionadas pela pobreza e desigualdade na distribuição de renda. Uma parcela da população não consegue ter acesso à moradia através do mercado formal, se instalando em cortiços, favelas ou periferias de expansão urbana, muitas vezes expostas a riscos por ocupar terrenos com alta suscetibilidade natural a eventos.

Verifica-se a produção de um espaço de riscos desiguais, sem justiça social, onde alguns se apropriam das “externalidades” positivas e outros sofrem as consequências adversas por não disporem de condições econômicas ou recursos para ocupar e construir de forma segura (Rosell & Zinger 2009, Nascimento & Fonseca Matias 2011, Young 2013, Ríos 2015). Ainda em Valêncio (2014, p. 3640):

É plausível considerar certos tipos de ameaças como naturais, mas não os desastres, uma vez que são produzidos socialmente. Os processos socioambientais que engendram, simultaneamente, a precariedade das condições de vida, da proteção social oferecida e da territorialização dos grupos sociais empobrecidos favorecem a ocorrência de desastres.

Rosell & Zinger (2009) apresentam um estudo de caso na Argentina, onde tratam a convergência de fatores físicos, sociais e de evolução do uso do solo como determinantes das recorrentes inundações. Cita Cardona (1994) a teoria de que o risco é uma categoria social e, como tal, possui um processo de construção.

Outro aspecto a se destacar é abordado por Souza (2008) que observa que um desastre exprime a materialização da vulnerabilidade social; assim, a definição de área de risco no Brasil deve ser vista como resultado da interface de uma população marginalizada e um ambiente físico deteriorado.

Ao final de 2017 foi publicado um livro abordando a interface risco e planejamento urbano e verifica-se no segundo capítulo em Smith et al. (2017), um estudo acerca da construção social do risco e suas causas básicas, reforçando a necessi-

dade de ações concretas na redução da vulnerabilidade. Apesar dos vários estudos teóricos no tema, ainda são grandes as dificuldades de se efetivá-los em ações práticas.

### 3.1.2 A incorporação do risco no planejamento urbano

O Planejamento Urbano passa por uma crise na década de 1980, quando no contexto internacional surgem novas propostas em três vertentes principais, uma delas comprometida com a “cidade justa” (Randolph 2007). As cidades são resultado de um processo histórico-geográfico contínuo, no qual processos “sociais” e “naturais”, combinados, resultam no que Swyngedouw denomina como objeto “híbrido” ou “ciborgue”. (Swyngedouw 2009). A “cidade justa” implica na capacidade do Estado em alocar os aspectos ambientais positivos e negativos (Lynch 2001).

O Planejamento Urbano no Brasil participa da busca de reverter a lógica capitalista de produção do espaço a partir do Movimento de Reforma Urbana, conseguindo avanços na Constituição Federal de 1988 nos artigos 182 e 183, com o direito à moradia e a função social da propriedade (Amore 2013). Apesar dos avanços, alguns instrumentos foram incorporados somente treze anos depois com a Lei nº 10.257/ 2001, ou Estatuto da Cidade (EC). O EC reforçou o Plano Diretor (PD) como “instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana”, tornando-o obrigatório para um grande número de cidades e fixando outubro de 2006 como limite para sua elaboração, com revisões a cada dez anos (Brasil 2001).

A PNPDEC alterou legislações de planejamento urbano, incluindo a percepção das áreas de risco e das áreas suscetíveis, além de definir atribuições específicas às diversas esferas de governo. O artigo 3º-A da Lei 12.340/2010 trata da instituição do “Cadastro Nacional de Municípios Críticos com Áreas Suscetíveis”, sobre os quais recai a maior parte das atribuições, mas que, infelizmente, até hoje não está em vigor.

A PNPDEC alterou legislações de planejamento urbano, incluindo a percepção das áreas de risco e das áreas suscetíveis, além de definir atribuições específicas às diversas esferas de governo.



O artigo 3º-A da Lei 12.340/2010 trata da instituição do “Cadastro Nacional de Municípios Críticos com Áreas Suscetíveis”, sobre os quais recai a maior parte das atribuições. Somente nove anos depois este cadastro foi instituído pelo Decreto nº10.692, de 3 de maio de 2021 (BRASIL, 2021), porém cabendo ao próprio município realizar sua inscrição, o que enfraqueceu muito a proposta inicial do cadastro.

O EC foi revisado pela PNPDEC quanto ao ordenamento e controle do uso do solo, de forma a evitar a exposição da população a riscos de desastres. O PD passa a ser obrigatório para cidades incluídas no Cadastro. Já os Municípios que pretendam ampliar o seu perímetro urbano, independente do Cadastro, devem elaborar projeto específico, incluindo a delimitação dos trechos com restrições à urbanização e dos trechos sujeitos a controle especial em função de ameaça de desastres naturais (Brasil 2012).

A interface entre Planos Diretores e áreas de risco, e a indicação da necessidade do planejamento urbano ser tecnicamente suportado pela geologia são temas sistematicamente abordados nos artigos analisados. Os estudos apontam que investimentos em ações preventivas que buscam evitar a ocupação intensiva em áreas propensas a desastres trazem retorno eficaz quando comparados ao custo da perda de vidas e bens materiais na ocorrência de um desastre. Por outro lado, remover pessoas implica em altos custos monetários e pode causar impactos sociais nas populações afetadas (Compagnoni et al. 2009, Nascimento & Fonseca Matias 2011, Costa & Nishiyama 2012, Travassos 2012, Kim & Rowe 2013, Saito & Pellerin 2013, Young 2013, Ríos 2015).

Em Kim & Rowe (2013) verifica-se que o cumprimento estrito dos planos diretores pode ser menos atribuído à legitimidade teórica de um plano e mais às escolhas pragmáticas feitas pelos municípios locais para coordenar a urbanização em larga escala. Os resultados indicam que os planos urbanos devem ser feitos de acordo com a distribuição das áreas potencialmente suscetíveis aos diferentes processos, para se evitar investimentos em expansão urbana em áreas altamente propensas a desastres. Identifica-se um exemplo prático na China a partir da década de 1980 utilizando

planos diretores municipais para minimizar em diferentes escalas os principais riscos.

O periódico *Natural Hazards and Earth System Sciences* trouxe em Luino et al. (2012), um estudo de caso sobre a cidade de Alba, onde ocorreu uma grande inundação em 1994, a partir de quando se iniciaram diversos estudos para revisar o planejamento urbano da cidade no entorno do rio Alba. Ainda no mesmo periódico identifica-se um artigo brasileiro que trata da necessidade urgente de se desenvolver políticas públicas para conter a ocupação de áreas suscetíveis, em Mendes et al. (2018).

Por fim, a PNPDEC relaciona a importância do planejamento urbano na prevenção dos riscos e os problemas decorrentes da expansão da ocupação nos municípios. A PNPDEC afirma a importância dos municípios mais críticos quanto às áreas de risco revisarem seus Planos Diretores incorporando o conhecimento das características naturais dos terrenos tanto em áreas indevidamente ocupadas como nas áreas apropriadas para expansão urbana, no contexto de uma melhor gestão do território municipal (Coutinho et al. 2015).

### 3.1.3 Áreas suscetíveis e vulnerabilidades no estudo do risco

Vários autores tratam da importância de se coibir a ocupação de áreas sujeitas a processos perigosos, ou de áreas suscetíveis, através da indicação destas áreas nos zoneamentos e planos diretores municipais, tratando também da PNPDEC com este enfoque (Compagnoni et al. 2009, Garcia et al. 2012, Saito & Pellerin 2013, Martinez-Graña et al. 2014, Tehrany et al. 2014 e Jebur et al. 2014).

Quanto ao mapeamento de áreas suscetíveis, foram publicados diversos artigos recentes tratando de metodologias e sua validação em estudos de casos. Apesar de termos diversos estudos técnicos sobre a suscetibilidade, ainda são poucos os estudos que analisam a relação entre essa suscetibilidade, a vulnerabilidade e o risco, de forma a sustentar ações de planejamento. Dentre eles aparece o de Mendes et al. (2018) e de Martinez-Graña et al. (2014). O primeiro trata de um estudo de caso em Campos do Jordão e aponta ser imprescindível a análise da vulnerabilidade da população

exposta aos perigos em sobreposição às suscetibilidades nas análises de riscos. O segundo escreve sobre riscos, áreas suscetíveis e vulnerabilidades na Espanha, afirmando que o fator chave para minimizar o risco de deslizamentos de terra são o monitoramento das chuvas e o planejamento do uso da terra. Ele sugere que os mapas podem ser utilizados pelo governo para criar setores de ocupação proibida ou restrita em áreas de alto risco.

Anterior à PNPDEC, um artigo já tratava da necessidade de relacionar a forma de ocupação do território, as injustiças sociais e a vulnerabilidade socioespacial com o planejamento de ações da Defesa Civil, visto que em cidades brasileiras a restrição de acesso à terra tem impacto no aumento dos desastres. (Valêncio 2010).

O debate sobre a teoria social do risco, sobre o estudo dos processos que geram as condições materiais para sua ocorrência, sobre a importância da abordagem conjunta da evolução do uso do solo com a vulnerabilidade socioambiental, e por fim sobre como os riscos se tornam globais tendo a vulnerabilidade como responsável pela desigualdade na distribuição dos danos que se intensificam num contexto de mudanças climáticas, é encontrado nos seguintes trabalhos: Souza (2008), Rosell & Zinger (2009), Valêncio (2010), Kazmierczak & Cavan (2011), Freitas et al. (2012), Lopez & Sangabriel (2012), Gamba & Costa (2012), Olímpio et al. (2013), Saito & Pellerin (2013), Freire et al. (2014), Spink (2014), Aledo & Sulaiman (2014), Torrens & Jurio (2014), Ríos (2015), Inouye et al. (2015), Boughedir (2015), Coutinho et al. (2015).

Cabe ainda lembrar a desumanização dos afetados nos desastres, tema abordado em Valêncio (2014), que fala dos equívocos dos ditames do conhecimento científico que inspiram e calibram a ação do Estado e seus reflexos no meio social. Valêncio (2010) também analisa a PNPDEC com foco nas vulnerabilidades sociais dos afetados, falta de confiança nos sistemas de proteção, e falhas nas práticas institucionais e das comunidades, em um contexto de pré e pós-desastres.

### 3.1.4 A gestão de riscos na pauta das políticas públicas

A temática dos riscos associados a problemas ambientais nas últimas décadas cada vez mais

tem feito parte das pesquisas acadêmicas e aos poucos vem se incorporando no âmbito das políticas públicas. Tais fatos se deram pelo aumento de perdas humanas e aumento nos impactos econômicos derivados de desastres no mundo, assim como pela responsabilização dos governos por parte destas perdas. Cabe lembrar que no Brasil identifica-se uma mudança no conceito inicial de “vítima de desastre” existente na década de 1960, quando a partir da década de 1980 o Estado passa a ser responsabilizado judicialmente por negligência. Esta conjuntura revelou a necessidade de ações preventivas de redução de riscos e não mais apenas medidas de remediação e resposta.

A partir da década de 2010 no Brasil iniciou-se um maior debate acerca dos conceitos de risco ambiental na pauta das políticas públicas, no contexto da PNPDEC (Costa & Conceição 2012, Nogueira et al. 2014).

Em Vaz e Rony (2011) se elabora o conceito de vítima virtual no contexto do desastre ocorrido na região serrana do Rio em Janeiro de 2011. Por um lado, os veículos de comunicação anunciaram a catástrofe como resultante da incompetência em se coibir a ocupação de áreas de encostas com alto risco de deslizamento; por outro, o governo de Dilma Roussef associou a catástrofe ao déficit habitacional, resgatando a desigualdade como a principal causa dos desastres.

Aspecto a se destacar sobre a relação da gestão de risco de desastres com políticas públicas de planejamento do território é apresentado por Coutinho et al. (2015), principalmente quanto a inibir a ocupação de áreas ambientalmente vulneráveis e de risco, em acordo com os objetivos da PNPDEC, e reforçando a necessária atuação dos estados e municípios nas suas respectivas competências suplementares.

## 3.2 Gestão de risco e Planejamento territorial: Lacunas

### 3.2.1 A pessoa afetada pelo risco

Poucos são os artigos publicados em periódicos que estudam e qualificam as pessoas em situação de risco. A visão tecnicista privilegia o estudo das metodologias de análises matemáticas, dos

processos e dos riscos, em detrimento de análises sociais mais complexas (Valêncio 2010).

Valêncio ainda faz uma dura crítica sobre dotar a população de uma “percepção de risco”, como se ignorassem o risco e estivessem nessa situação por opção; enquanto outros autores consideram ser uma ação necessária, como em Saito e Pellerin (Valêncio 2010, Saito & Pellerin 2013). Ainda quanto aos desastres, Valêncio (2010, 2014) alerta para o fato da falta de rigor nas estatísticas que mensuram seus impactos macroeconômicos e a falta de registros da situação das pessoas afetadas no pós-desastre, nas remoções e nos abrigos temporários. Aponta que em contextos sociais de afluência de investimentos os desastres podem ter repercussões promissoras, ao contrário de contextos de pobreza, onde ocorrem grandes retrocessos econômicos.

Uma publicação recente da prefeitura de São Paulo, que não faz parte das bases de busca, traz um informe detalhando aspectos socioeconômicos das pessoas que estão nos setores de risco do município, possibilitando entender um pouco melhor esse contexto social (São Paulo 2018).

### 3.2.2 O planejamento urbano e a gênese do risco

Entre os artigos pesquisados a gênese do risco, ou seja, os condicionantes do meio físico e os sociais que deflagram uma situação de risco, ainda não é um tema tratado com o devido peso e importância quando relacionado às possibilidades de ações concretas pelo planejamento urbano. Alguns estudos tratam do risco como resultado da vulnerabilidade e do perigo, outros falam de suscetibilidade e vulnerabilidade. Porém nos artigos não foi encontrada uma abordagem clara e concreta destes como subsídio ao planejamento com objetivo de intervir na gênese do risco.

Coutinho cita outros autores que tratam da formação de áreas de risco associadas à expansão urbana e à incapacidade do Estado em atender a demanda por moradias. Estes tratam da PNPDEC, planos diretores, mapeamentos de áreas suscetíveis, controle do uso e ocupação do solo, análise das vulnerabilidades socioambientais e, por fim, a necessidade de articulação das ações públicas

para que as leis funcionem efetivamente (Coutinho et al. 2015). Em Mendes et al. (2018), podemos ver uma investigação mais concreta acerca do tema num estudo de caso em Campos do Jordão, em que os autores analisam o risco de escorregamento através da sobreposição de áreas suscetíveis com a vulnerabilidade da população.

A pesquisa não encontrou artigos que tratassem da redução da vulnerabilidade em exemplos práticos. O acesso a uma moradia digna e segura através de programas públicos de Habitação ou Regularização Fundiária pode reduzir a vulnerabilidade da população de menor renda, desta forma diminuindo sua própria situação de risco, porém esse tema, assim como as dificuldades e impedimentos legais para se implantar programas públicos em áreas de risco, não foram identificados em artigos dos periódicos durante a realização da pesquisa.

Nos artigos analisados predomina a abordagem teórica sobre a importância da vulnerabilidade na análise do risco, com poucos estudos concretos relacionados à suscetibilidade. Trata-se de um assunto que necessita de maiores investigações porque pode auxiliar no entendimento dos fatores que dão origem ao risco nas diversas situações de falta de moradia adequada.

### 3.2.3 Controle na destinação de áreas de alta suscetibilidade que foram objeto de processos de remoção

Coibir ou controlar a ocupação de áreas de alta suscetibilidade é de grande importância, levando em conta que boa parte da população não consegue ter acesso às áreas mais propícias à urbanização. Da mesma forma, é grave o problema e o risco de reocupação de áreas que foram objeto de processos de remoção da população, em função da presença de problemas geotécnicos. Apesar desta importância, estes temas não foram identificados nos poucos artigos que tratam de suscetibilidade. Trata-se de uma grande lacuna que traz retrocessos nas ações tanto de mitigação como de prevenção de riscos, porque não se sabe ao certo o que fazer com essas áreas de alta suscetibilidade em contextos de expansão da ocupação.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A opção de utilizar predominantemente artigos qualificados como fonte de dados para avaliação do estado da arte sobre o tema das áreas de risco e planejamento urbano se mostrou adequada, visto que foi possível ter acesso a estudos com grande variedade e qualidade, oriundos de diversas localidades e instituições, que abordaram uma série de aspectos relacionados ao tema.

A primeira etapa da pesquisa, realizada nas bases CAPES e SCOPUS permitiu identificar periódicos com foco no tema do risco, mas que abordam também o planejamento urbano, direcionando assim uma segunda etapa complementar de pesquisa diretamente nestes periódicos.

Verificou-se um relativo equilíbrio entre a quantidade de artigos da pré-seleção e da seleção final na primeira fase, ao contrário da segunda, onde a amostra da seleção inicial e da seleção final se mostraram desproporcionais, principalmente em relação aos periódicos *Natural Hazards and Earth System Sciences* e *International Journal Disaster Risk Science*.

As buscas utilizando palavras-chaves vinculadas aos temas pré-definidos possibilitou agrupar os artigos de forma sistemática para as análises, assim como a identificação de lacunas. A tabulação dos resultados propiciou a classificação dos artigos selecionados por temas, por data de publicação, por localização, por tipo de periódico de origem, dentre outras. Observou-se que predominaram dentre os artigos selecionados autores e estudos de casos do Brasil. Em menor número também foram selecionados artigos da Argentina, Colômbia, México, Haiti e Malásia, assim como da Espanha, França, Inglaterra, Turquia, USA, China e Coreia. Alguns países possuem uma cultura mais antiga de prevenção de riscos, proteção e defesa civil, como a China e Coreia do Sul. Outros apresentam contexto de legislações muito recentes, como a Argentina, Colômbia e Brasil.

Os periódicos selecionados na primeira etapa de forma predominante possuem boa classificação QUALIS, parte deles na área de Planejamento Urbano e Regional. Os periódicos específicos da segunda etapa não possuem classificação QUALIS nessa área, o que indica que publicações com esta interface ainda ocorrem em pequeno número,

indicando também que o assunto ainda não é prioridade nos mesmos. Cabe lembrar que o periódico *International Journal of Disaster Risk* chegou a fazer chamada específica indicando a necessidade de construir essa ponte (Shi et al. 2012). Para melhor compreensão, foi utilizada a Plataforma Sucupira, base de referência do Sistema Nacional de Pós-Graduação, para verificar a classificação QUALIS de periódicos relacionados ao risco e desastres, perante as diversas áreas do conhecimento (Qualis Periódico 2019). A busca com a palavra “*risk*” no título retornou um único periódico com QUALIS “A1” em planejamento, o “*Human and Ecological Risk Assessment*”. A busca com as palavras “*disaster, hazards, risco e desastres*” no título retornou apenas o periódico *Natural Hazards* com QUALIS em Arquitetura e urbanismo, mas não em planejamento urbano.

De acordo com os critérios estabelecidos para a seleção de artigos no âmbito desta pesquisa, conforme consta no gráfico 2, o tema mais encontrado foi o da vulnerabilidade relacionada às áreas de risco. O risco relacionado ao planejamento e expansão urbanos aparecem como os temas seguintes mais predominantes. Os demais temas aparecem equilibrados, com leve predomínio de estudos relacionados à ocupação de áreas suscetíveis. Por consequência, as teorias acerca da vulnerabilidade e construção social do risco se apresentaram mais consolidadas nos artigos estudados. Por outro lado, verifica-se que foram encontrados poucos estudos que abordam planos diretores e prevenção do risco, demonstrando que se trata de um tema recente, principalmente no Brasil.

A pesquisa realizada conseguiu levantar artigos significativos sobre a interface entre riscos e planejamento urbano na década recente, mostrando como este tema de interface é apresentado nos periódicos, parte deles qualificados na área de planejamento urbano e regional. Porém foi necessário pesquisar em diferentes bases e periódicos para formar uma amostra que permitisse a garimpagem de artigos para as análises.

Através dos estudos selecionados vinculados aos temas prioritários da pesquisa, foi possível visualizar de forma mais concreta em experiências nacionais e internacionais as possibilidades do alcance do planejamento urbano ao incorporar instrumentos de redução de riscos geológicos e



hidrológicos. Os artigos selecionados mostraram a relevância do tema em vários países, de diferentes culturas, mas com problemas assemelhados aos que ocorrem no Brasil, em especial quanto aos riscos geológicos e hidrológicos, quanto às dificuldades de implementar o planejamento e quanto à ocupação inadequada do território devido a fatores de ordem econômica e social.

Verificam-se bons exemplos de iniciativas locais em criar um ordenamento na ocupação do território com intuito de prevenir os riscos de desastres, principalmente em países asiáticos com grande crescimento populacional, ou europeus com histórico de desastres.

No Brasil, principalmente a partir de 2012, são publicados artigos que tratam da PNPDEC e da importância de se incorporar o meio físico ao planejamento urbano para orientar a ocupação do território e prevenir o risco de desastres. É visível o aumento nas publicações em 2012 e 2014, possivelmente devido aos desastres ocorridos no Brasil na década de 2010 e à própria PNPDEC.

Foi também possível identificar lacunas significativas de estudos de natureza social, sendo imprescindível estudar os aspectos sociais das pessoas em situação de risco, o que levou essas pessoas a buscarem abrigo numa área que oferece altos riscos à sua segurança, quais os laços que a prendem a esta situação e se existem perspectivas. A necessidade de trabalho de campo assíduo e a longo prazo, com realização de entrevistas e maior interação com os moradores, pode explicar essa ausência. Estudos podem se encaminhar nessa direção, com a análise concreta dos fatos que levam as pessoas a se colocarem e permanecerem em situação de risco, quando ocupam áreas de alta suscetibilidade a processos geológico-geotécnicos. Este tema se relaciona à busca de soluções para o controle e destinação de áreas impróprias à ocupação, além de áreas que foram objeto de remoção.

Os resultados obtidos confirmaram a hipótese de uma lenta e difícil incorporação dos estudos de gestão de risco no planejamento territorial. Justificam-se assim os estudos e iniciativas voltadas para o avanço nesta direção.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação da UFABC em Planejamento e Gestão do Território, onde durante o percurso de aprendizado foi possível iniciar e elaborar este artigo.

## REFERÊNCIAS

Aledo A. & Sulaiman S. 2014. La incuestionabilidad del riesgo. *Ambiente e Sociedade*, São Paulo, v. 17, n. 4, p. 9-16, 2014. ISSN 1414753X.

Amore C.S. 2013. “Reforma Urbana já” e “Nunca antes na História desse país”: Bordões de um Impasse. In: Amore, C.S. *Entre o nó e o fato consumado, o lugar dos pobres na cidade. Um estudo sobre as ZEIS e os Impasses da Reforma Urbana na atualidade*. Tese de doutoramento, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo – FAU-USP, São Paulo, 283 p.

Boughedir S. 2015. Case study: disaster risk management and climate change adaptation in Greater Algiers: overview on a study assessing urban vulnerabilities to disaster risk and proposing measures for adaptation. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, França, v. 13, p. 103-108. ISSN 1877-3435.

Brasil 2001. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Brasília: Diário Oficial da União, seção 1, edição nº 133.

Brasil 2010. Lei nº 12.340/10, de 1º de dezembro de 2010. Brasília: Diário Oficial da União.

Brasil 2012. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC. Brasília: Diário Oficial da União, seção 1, edição nº 70.

Cardona O. D. 1994. Prevención de desastres y participación ciudadana. In: Allan Lavell (comp.). *Viviendo en riesgo: Comunidades vulnerables y prevención de desastres en América Latina*. La Red. Colombia, p. 81-102.

Cardona O.D. 2015. *Midiendo lo inmedible. Indicadores de vulnerabilidad y Riesgo*. La Red, 2007.

5p. Disponível em: <<https://bit.ly/2pbXvRP>> Acesso em: 15 mai.

Cardona O. D. 2017. La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo. Una crítica y una revisión necesaria para la gestión. Ponencia para International Wrk-Conference on Vulnerability in Disaster Theory and Practice. Holanda, 2001. Disponível em: <[http://www.desenredando.org/public/articulos/2003/rmhcvr/rmhcvr\\_may-08-2003.pdf](http://www.desenredando.org/public/articulos/2003/rmhcvr/rmhcvr_may-08-2003.pdf)> Acesso em: 12 mai.

Cerri L. E. S. & Amaral C.P. 1998. Riscos Geológicos. In: BRITO, S.N.A; OLIVEIRA, A.M.S. Geologia de Engenharia ABGE, São Paulo. p. 301-310.

Compagnoni C. et al. 2009. Planejamento urbano e conflito ambiental na bacia hidrográfica do rio Penso – município de Pato Branco – Estado do Paraná – Brasil. Revista Geográfica Acadêmica, São Paulo, v. 3, n. 1, p. 28-46. ISSN 1678-7226.

Costa A. J. S. T. D. & Conceição R. S. D. 2012. Reflexões sobre a seleção de indicadores sociais e ambientais na política nacional de proteção e defesa civil em âmbito local. Geo Uerj, Rio de Janeiro, p. 413. ISSN 1415-7543.

Costa A. R. & Nishiyama L. 2012. Zoneamento ambiental das áreas urbana e de expansão urbana de Caldas Novas (GO): uma contribuição metodológica. Ra'e Ga, Paraná, n. 25, p. 343. ISSN 1516-4136.

Coutinho M. P. et al. 2015. Brazilian municipalities planning and prepare tools for Protection Policy and Civil Defense. Urbe, Paraná, v. 7, n. 3, p. 383-396.

Freitas C. M. et al. 2012. Vulnerabilidade socioambiental, redução de riscos de desastres e construção da resiliência-lições do terremoto no Haiti e das chuvas fortes na Região Serrana, Brasil. Ciência & Saúde Coletiva, Rio de Janeiro, v. 17, n. 6, p. 1577. ISSN 1413-8123.

Freire N. C. F. et al. 2014. Social and environmental vulnerability, flooding and repercussions on public health in underdeveloped regions: the case

of the state of Alagoas, Brazil. Ciência & saúde coletiva, Rio de Janeiro, v. 19, n. 9, p. 3755.

Gamba G. & Costa W. 2012. Indicador e Avaliação da Vulnerabilidade Socioambiental no Município de São Paulo. GEOUSP: Espaço e Tempo, São Paulo, v. 0, n. 31, p. 19-31. ISSN 1414-7416.

Garcia, P. M. B. et al. 2012. Potential of urban expansion and occupation in the city of Timóteo – MG. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 42, n. 1, p. 27-38.

Inouye C. E. N. et al. 2015. Modelling the spatial dynamics of urban growth and land use changes in the north coast of São Paulo, Brazil. Ocean and Coastal Management, Austrália, v. 108, p. 147-157. ISSN 0964-5691.

Jebur M. N. et al. 2014. Optimization of landslide conditioning factors using very high-resolution airborne laser scanning (LiDAR) data at catchment scale. Remote Sensing of Environment, v. 152, p. 150-165.

Kazmierczak A. & Cavan G. 2011. Surface water flooding risk to urban communities: Analysis of vulnerability, hazard and exposure. Landscape and Urban Planning, v. 103, n. 2, p. 185-197. ISSN 0169-2046.

Kim M, S. & Rowe P. G. 2013. Are master plans effective in limiting development in China's disaster-prone areas? Landscape and Urban Planning, v. 111, p. 79-90. ISSN 0169-2046.

Lynch B. D. 2001. Instituições internacionais para a proteção ambiental: suas implicações para a justiça ambiental em cidades latino-americanas. In: ACSELRAD, Henri (Org.). A duração das cidades: sustentabilidade e risco nas políticas urbanas. Rio de Janeiro: De Paulo. p. 57-82.

Lopez D. M. A. & Sangabriel A. S. 2012. Construendo la vulnerabilidad: un riesgo para todos. Arquitectura y Urbanismo, Cuba, v. 33, n. 2, p. 68. ISSN 0258-591X.

Luino F. et al. 2012. Uncorrected land-use planning highlighted by flooding: the Alba case study

- (Piedmont, Italy). *Natural Hazards Earth System*. Alemanha. V.12, p. 2329-2346.
- Martinez-Graña A. M. et al. 2014. Ground movement risk in 'Las Batuecas-Sierra de Francia' and 'Quilamas' nature parks. *Journal of Maps*, v. 10, n. 2, p. 223-231.
- Mendes R.M. et al. 2018. Understanding shallow landslides in Campos do Jordão municipality - Brazil: disentangling the anthropic effects from natural causes in the disaster of 2000. *Natural Hazards Earth System. Sci.*, Alemanha, V. 18, p.15-30.
- Mobed, R. et al. 2017. A Global Outlook on Disaster Science. Elsevier, nov. 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/2X8D7xv>>. Acesso em: jun.2019.
- Nascimento E. & Fonseca Matias L. 2011. Expansão urbana e desigualdade socioespacial: uma análise da cidade de Ponta Grossa (PR). *Ra'e Ga, Paraná*, n. 23, p. 65. ISSN 1516-4136.
- Nogueira, F. R. 2002. Gerenciamento de riscos ambientais associados a escorregamentos: contribuição às políticas públicas municipais para áreas de ocupação subnormal. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 266 p.
- Nogueira F.R et al. 2014. Políticas Públicas Regionais para Gestão de Riscos: O Processo de Implementação no ABC, SP. *Ambiente & Sociedade*, São Paulo, v. XVII, n. 4, p. 177-194, out-dez.
- Olímpio, J. L. S. et al. 2013. Episódios pluviais extremos e a vulnerabilidade socioambiental do município de Fortaleza: o evento do dia 27/03/2012. *Geo Uerj*, Rio de Janeiro, p. 181. ISSN 1415-7543.
- Pierro B. 2018. Estudo avalia a produção científica sobre catástrofes naturais no mundo e destaca a brasileira na área de hidrologia. ed. 264 fev. 2018. São Paulo: Pesquisa FAPESP, 4 p.
- Portal de Periódicos 2018. Brasil: CAPES/MEC. Disponível em: <<https://bit.ly/2Czj5mx>>. Acesso em: 10 ago. 2018.
- Qualis Periódicos 2019. Disponível em: <<https://bit.ly/2Qj6USZ>> Acesso em: 14 jun. 2019.
- Randolph R. 2007. Do planejamento colaborativo ao planejamento "subversivo": reflexões sobre limitações e potencialidades de Planos Diretores no Brasil. *Scripta Nova. Revista eletrônica de geografia e ciências sociais*. Barcelona, 2007, v. XI, n. 245. Disponível no site: <<http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-24517.htm>>. Acesso em: 10 jun. 2016.
- Ríos D. 2015. Present-day capitalist urbanization and unequal disaster risk production: the case of Tigre, Buenos Aires. *Environment and Urbanization*, Londres, v. 27, n. 2, p. 679-692.
- Rosell M. P.. & Zinger A. S. 2009. Floods in the city of Pigüé, Buenos Aires Province-Argentina. *Revista Geografica Venezolana*, Mérida, v. 50, n. 2, p. 287-306.
- Saito S. M. & Pellerin, J. R. G. M. 2013. Avaliação da gestão de risco de escorregamentos no Maciço do Morro da Cruz, Florianópolis, SC. *Ra'e Ga, Paraná*, n. 29, p. 47. ISSN 1516-4136.
- São Paulo (Município) 2018. Informes Urbanos. Áreas de risco geológico no município de São Paulo. São Paulo: Urbanismo e Licenciamento, 2018, nº 31. Disponível em: <<https://bit.ly/33Fbtus>>. Acesso em: 20 marc. 2018.
- Shi, P. et. al. 2012. Disaster and Urbanism. *International Journal Disaster Risk Science*, n. 3, p.1-2.
- Smith, A.O. et al. 2017. A construção social do risco de desastres: em busca das causas básicas. In Marchezini V., Londe L.R., Saito S. M., Wisner B. (Org.). *Redução de Vulnerabilidade a Desastres: do Conhecimento à Ação*. Cemaden, e-Book, Rima Editora, São José dos Campos. Capítulo 2.
- Souza L. E. 2008. Espaço Urbano. *Ciência e Natura*, Santa Maria, v. 30, n. 2, p. 93-105. ISSN 01008307.
- Spink M. J. P. 2014. Viver em áreas de risco: tensões entre gestão de desastres ambientais e os sentidos de risco no cotidiano. *Ciência & Saúde Coletiva*, Rio de Janeiro, v. 19, n. 9, p. 3743. ISSN 1413-8123.

- Swyngedouw E. 2009. A cidade como um híbrido: natureza, sociedade e “urbanização-ciborgue”. In: Acelrad, H. (ed.), *A duração das Cidades. Sustentabilidade e risco nas políticas urbanas*. Lamparino, Rio de Janeiro.
- Tehrany M. et al. 2014. Flood susceptibility mapping using integrated bivariate and multivariate statistical models. *Environmental Earth Sciences*, Berlin/Heidelberg, v. 72, n. 10, p. 4001-4015. ISSN 1866-6280.
- Tominaga L. K. et al. (Org.) 2009. *Desastres Naturais: Conhecer para prevenir*. Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo. 196 p.
- Torrens C. & Jurio E. 2014. Construcción territorial, vulnerabilidad social y calidad ambiental en el ejido de Villa Pehuenia, Provincia del Neuquén. *Boletín Geográfico*, Argentina, n. 36, p. 29-44. ISSN 2313-903X.
- Travassos L. 2012. Inundações Urbanas: Uma Questão Socioambiental. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade: GeAS*, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 88-105. ISSN 2316-9834.
- Valêncio N. et. al. 2009. *Sociologia dos desastres construção, interfaces e perspectivas no Brasil*. RiMa Editora, São Carlos. Disponível em: <<https://bit.ly/2KgcqC1>> Acesso em: 10 nov. 2015.
- Valêncio, N. 2010. Desastres, ordem social e planejamento em defesa civil: o contexto brasileiro. *Saúde e Sociedade*, São Paulo, v. 19, n. 4, p. 748-762. ISSN 0104-1290.
- \_\_\_\_\_. 2014. Desastres: tecnicismo e sofrimento social. *Ciência & Saúde Coletiva*, Rio de Janeiro, v. 19, n. 9. ISSN 1413-8123.
- Vaz P. & Rony G. 2011. Políticas do sofrimento e as narrativas midiáticas de catástrofes naturais. *Revista Famecos – Midia, Cultura e Tecnologia*, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 198. ISSN 1415-0549.
- Veyret, Y. 2007. *Os Riscos, o homem como agressor e vítima do meio ambiente*. Contexto, São Paulo.
- Young A. F. 2013. Urban expansion and environmental risk in the São Paulo Metropolitan Area. *Climate Research*, v. 57, n. 1, p. 73-80.



# SUSCETIBILIDADE GEOLÓGICA DAS BARRAGENS DE MINERAÇÃO NO ESTADO DE MINAS GERAIS: UM PANORAMA PRELIMINAR A PARTIR DE MODELAGEM ESTATÍSTICA E MORFOMÉTRICA

GEOLOGICAL SUSCEPTIBILITY OF MINING DAMS IN THE STATE OF MINAS GERAIS: A PRELIMINARY OVERVIEW FROM STATISTICAL AND MORPHOMETRIC MODELING

FABIO DE LIMA NORONHA

*Agência Nacional de Mineração – ANM; Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil; fabio.noronha@anm.gov.br*

## RESUMO ABSTRACT

O risco de acidentes e desastres relacionados a falhas no projeto, construção, operação e manutenção de barragens constituem tema de estudo bastante recorrente. Porém, poucos são os trabalhos que relacionam a possibilidade de falhas em barragens com processos geológicos que ocorrem no ambiente que as cercam. Paradoxalmente, não são raros os registros na literatura em que eventos pluviométricos extremos, enxurradas e movimentos de massa no entorno das estruturas foram deflagradores ou contribuíram para a sua ruptura. A presente pesquisa busca contribuir com o tema da segurança de barragens, a partir da identificação de cenários de suscetibilidade natural à deflagração de deslizamentos, corridas e enxurradas nos terrenos do entorno das barragens de mineração no estado de Minas Gerais. Para tal, executou-se uma modelagem estatística e morfométrica da suscetibilidade natural a movimentos de massa e processos hidrológicos, através do emprego de ferramentas de geoprocessamento em variáveis derivadas de modelo digital de elevação (MDE) e fotointerpretação, tais como lineamentos geológicos, declividade e curvatura do terreno. O produto final é a construção de um sistema de informação geográfica (SIG) com o zoneamento da suscetibilidade a movimentos de massa de todas as barragens de mineração do estado de Minas Gerais, oriundas do cadastro oficial da Agência Nacional de Mineração (ANM). O zoneamento permitiu o cálculo de estatísticas para o universo de barragens estudado, com base na suscetibilidade geológica de seus sítios de locação. Os resultados demonstram que 38% dos terrenos no entorno das

The risk of accidents and disasters related to failures in the design, construction, operation, and maintenance of dams is a recurring topic of study. Nevertheless, few works relate the possibility of failures in dams to geological processes that occur in the environment that surrounds them. Paradoxically, it is not rare to find records in the related literature in which extreme pluviometric events, flash floods, and mass movements around the structures triggered or contributed to the dam rupture. The present research aims to contribute to the dam safety theme, from the identification of scenarios of natural susceptibility to landslides, debris flows, and flash floods in the lands surrounding the mining dams in the state of Minas Gerais. For such, a statistical and morphometric modeling of the natural susceptibility to mass movements and hydrological processes was performed by the use of geoprocessing tools in variables derived from the digital elevation model (DEM) and photointerpretation such as geological lineaments, slope and curvature of the terrain. The final result is the construction of a geographic information system (GIS) with the zoning of susceptibility to mass movements of all mining dams in the state of Minas Gerais officially registered with the National Mining Agency (NMA). The zoning enabled the calculation of statistics for the studied dams universe, based on the geological susceptibility of their location. The results demonstrate that 38% of the land surrounding the dams has medium to high susceptibility to landslides, and that 30% of the

barragens possuem média a alta suscetibilidade a deflagração de deslizamentos, e que 30% das estruturas estão localizadas em bacias de drenagem com alta suscetibilidade aos processos de enxurradas ou de corridas de massa.

**Palavras-chave:** Suscetibilidade, Movimentos de massa, Enxurradas, Segurança de Barragens, Barragens de Mineração.

## 1 INTRODUÇÃO

Este artigo tem como objetivo geral a identificação preliminar, através de modelagem estatística e morfométrica, dos cenários de suscetibilidade natural à deflagração de deslizamentos, corridas de massa e enxurradas nos sítios de locação das barragens de mineração no estado de Minas Gerais. Busca-se, assim, contribuir com o tema de segurança de barragens.

A escolha do estado de Minas Gerais como área de estudo justifica-se por ser este o local que concentra 42% de todas as barragens de mineração do Brasil, somando 365 estruturas, conforme cadastro da Agência Nacional de Mineração – ANM, autarquia responsável pela sua fiscalização. Além disso, o estado foi o palco da maior parte dos acidentes e desastres envolvendo este tipo de barragem, como, por exemplo, a barragem de Fundão, em Mariana (2015), e a barragem B1, em Brumadinho (2019).

O termo suscetibilidade pode ser descrito como a propensão natural dos terrenos ao desenvolvimento de um fenômeno ou processo do meio físico (Macedo & Bressani 2013). O conhecimento destes dados é tradicionalmente utilizado no planejamento do uso e ocupação do território, bem como no controle da expansão urbana.

No caso das barragens de mineração, a identificação da suscetibilidade geológica permitiu a construção de um panorama inédito dos terrenos nos quais estas estruturas estão inseridas, compartimentando-os em 3 classes de suscetibilidade (alta, média e baixa) a processos de movimentos de massa e hidrológicos, conforme a metodologia de mapeamento proposta por CPRM e IPT (Bitar 2014).

structures are located in drainage basins with high susceptibility to flash flood or debris flow processes.

**Keywords:** Susceptibility, Mass movements, Flash Floods, Dam safety, Mining dams.

Os objetivos específicos são: (a) construção de um SIG com os dados de suscetibilidade geológica das 365 barragens de mineração de MG; (b) a parametrização da suscetibilidade, através da proposição de uma matriz de notas relacionadas ao grau de suscetibilidade a deslizamentos, corridas de massa e enxurradas, formatada de acordo com a sistemática de notas presente na Portaria DNPM nº 70.389/2017, a qual regulamenta as barragens de mineração frente à Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB e; (c) a produção de estatísticas sobre a suscetibilidade geológica das barragens de mineração no estado de MG.

A relevância dos dados produzidos nesta pesquisa traduz-se na possibilidade de sua utilização por gestores de barragens, como subsídio na avaliação de cenários de riscos a serem considerados no Plano de Segurança das estruturas (PSB) e nos Planos de Ação de Emergência (PAE). Aos órgãos fiscalizadores, a sua utilização pode se dar como ferramenta de gestão de segurança de barragens, servindo, por exemplo, como base para a formulação de exigências aos empreendedores, referentes à execução de investigações geotécnicas e hidrológicas detalhadas nas áreas identificadas como de média a alta suscetibilidade, incluindo medidas preventivas ou mitigadoras.

## 2 POLÍTICA NACIONAL DE SEGURANÇA DE BARRAGENS – PNSB E O SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO

A PNSB, editada pela Lei 12.334/2010, estabelece em seu conteúdo critérios para o enquadramento de barragens, assim como relaciona os instrumentos de controle e gestão. São reguladas pela PNSB as barragens destinadas à acumulação

de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais que apresentem pelo menos uma das seguintes características:

- I. altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15m;
- II. capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000m<sup>3</sup>;
- III. reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis;
- IV. dano potencial associado, médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas;
- V. categoria de risco alto (incluído pela Lei Federal nº 14.066/2020).

Através da PNSB, a ANM (antigo DNPM) teve incorporadas as competências de órgão fiscalizador da segurança das barragens de mineração. Salienta-se que o papel de controle e fiscalização da ANM abrange também as barragens de mineração que não estão inseridas na PNSB, isto é, aquelas que não se encaixam nas características de enquadramento da referida lei.

Um dos instrumentos de gestão da PNSB é a implementação do sistema de classificação de barragens por categoria de risco e por dano potencial associado. Para normatizar a classificação das barragens de mineração, a Portaria DNPM nº 70.389/2017 utiliza uma matriz que analisa a categoria de risco *versus* o dano potencial associado da barragem (tabela 1).

**Tabela 1.** Matriz de classificação das barragens de mineração, conforme a Portaria DNPM nº 70.389/2017.

CATEGORIA DE RISCO - CRI	DANO POTENCIAL ASSOCIADO - DPA		
	ALTO	MÉDIO	BAIXO
ALTO	A	B	C
MÉDIO	B	C	D
BAIXO	B	C	E

Da Portaria DNPM nº 70.389/2017 define-se: “Categoria de Risco - CRI: classificação da barragem de acordo com os aspectos que possam influenciar na possibilidade de ocorrência de acidente, levando-se em conta as características técnicas, o estado de conservação e o Plano de Segurança da Barragem”;

“Dano Potencial Associado - DPA: dano que pode ocorrer devido ao rompimento ou mau funcionamento de uma barragem, independentemente da sua probabilidade de ocorrência, a ser

graduado de acordo com as perdas de vidas humanas, impactos sociais, econômicos e ambientais”;

As faixas de classificação da CRI são obtidas pela soma dos pontos oriundos das matrizes de Características Técnicas - CT, Estado de Conservação - EC e Plano de Segurança de Barragens - PS (tabela 2), já a categoria referente ao DPA é fornecida por uma única matriz secundária (tabela 3).

**Tabela 2.** Faixas de classificação da CRI obtidas pela soma dos pontos oriundos das matrizes de Características Técnicas - CT, Estado de Conservação - EC e Plano de Segurança de Barragens - PS, segundo a Portaria DNPM 70.389/2017.

	CATEGORIA DE RISCO	PONTUAÇÃO TOTAL (CRI) = CT + EC + PS
FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO	ALTO	$\geq 65$ ou EC = 10
	MÉDIO	$37 < \text{CRI} < 65$
	BAIXO	$\leq 37$

**Tabela 3.** Faixas de classificação do DPA obtidas pela soma dos pontos oriundos de uma única matriz secundária, segundo a Portaria DNPM 70.389/2017.

	DANO POTENCIAL ASSOCIADO	PONTUAÇÃO TOTAL (DPA)
FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO	ALTO	$\geq 13$
	MÉDIO	$7 < \text{DPA} < 13$
	BAIXO	$\leq 7$

### 3 SUSCETIBILIDADE GEOLÓGICA

Bitar (2014) aponta que o termo suscetibilidade pode ser sintetizado como a propensão ao desenvolvimento de um fenômeno ou processo do meio físico que pode gerar desastres naturais, em face da presença de determinadas características dos terrenos ocupados e não ocupados. O autor explica que uma área cujos terrenos apresentam o predomínio de declividade alta, por exemplo, pode ser considerada como propensa a ocorrência de deslizamentos e corridas de massa, independentemente de previsão acerca de quando poderá ocorrer um evento e tampouco do grau de certeza atribuível a essa possibilidade. Evidencia-se, assim, o vínculo entre fatores predisponentes e propensão dos terrenos a processos do meio físico.

A análise de suscetibilidade realizada neste estudo tem como objeto os processos de movimentos gravitacionais de massa (deslizamentos e corridas de massa) e hidrológicos (enxurradas),

conforme definição empregada na metodologia de zoneamento de suscetibilidade da CPRM/IPT (Bitar 2014).

Macedo & Bressani (2013) apontam que a suscetibilidade se refere ao primeiro passo de uma análise progressiva de risco geológico. Áreas de atingimento, severidade, probabilidade de ocorrência e tempos de recorrência dos processos não são abordados pelas análises de suscetibilidade, sendo tema de análises de vulnerabilidade, perigo e risco.

### 4 MOVIMENTOS DE MASSA, PROCESSOS HIDROLÓGICOS E SUA RELAÇÃO COM FALHAS EM BARRAGENS

O estudo dos aspectos envolvidos nos acidentes com barragens é de suma importância para o entendimento dos riscos e consequências decorrentes. Independentemente do uso a que se destinam essas estruturas, o ponto em comum é que todas armazenam energia potencial, capaz de provocar acidentes ou desastres na região de jusante, caso sua carga seja liberada repentinamente por ocasião de uma ruptura.

Jansen (1983), em publicação do *Bureau of Reclamation* sobre acidentes com barragens sob o título "Barragens e Segurança Pública" (*Dams and Public Safety*) conclui que 59% dos acidentes se devem a causas geológico-geotécnicas e 23% se dão por causas hidrológico-hidráulicas.

Oliveira et al. (2013) destacam que a construção de barragens impõe diversas solicitações aos maciços geológicos naturais, que podem interferir na estabilidade geológico-geotécnica. A principal solicitação é o empuxo hidráulico causado pelo enchimento do reservatório, resistido pelo peso da barragem e pela fundação. Na condição de enchimento, o maciço geológico tem suas condições de estabilidade alteradas em virtude do carregamento e da mudança nas linhas de percolação da água em subsuperfície.

Muitas barragens falharam onde o risco de deslizamento foi ignorado ou recebeu atenção inadequada, por exemplo: barragem de Vajont (Itália), barragem do rio Ohio (EUA), barragem Austin (EUA). As consequências de deslizamentos de terra podem incluir dano ou ruptura do

maciço ou o galgamento da barragem por ondas (Jansen 1983).

Costa (2012) aponta que foi a partir dos acidentes ocorridos com a barragem de Vajont, na Itália, em 1963 e, no ano seguinte, na barragem de Gepatsch, na Áustria, é que se passou a dar maior importância ao estudo de estabilidade de encostas no entorno do sítio de locação das barragens.

No caso mais famoso, em Vajont, o deslizamento de uma massa de 250 milhões de metros cúbicos de rocha e solo proveniente de uma encosta natural instável no entorno da estrutura movimentou-se com uma velocidade de 25 m/s para dentro do reservatório. Como resultado, houve a expulsão instantânea de um volume de 40 milhões de metros cúbicos de água que se deslocou por sobre o maciço, causando a destruição da cidade de Longarone, situada à jusante. O desastre provocou a morte de mais de 2.600 pessoas.

Em relação à alta taxa de falha por causas hidrológico-hidráulicas, Christian e Baecher (2002) apud Pereira (2020) apresentam algumas razões:

- a. quando o evento hidrológico causador da falha se dá antes do término da construção dos órgãos extravasores;
- b. quando se tratam de barragens de mineração, visto que normalmente nesta classe de estrutura não são utilizadas boas práticas de engenharia no projeto e durante a construção, ou a manutenção é deficiente;
- c. quando os sistemas extravasores são antigos e sua capacidade encontra-se desatualizada para as condições climáticas atuais das bacias hidrográficas onde se situam.

A Codificação Brasileira de Desastres classifica aqueles causados por rompimento de barragens como tecnológicos e relacionados a obras civis (CENAD 2012 apud Fonseca 2019), porém, como visto, muitas rupturas tiveram como causa processos naturais do meio físico. Assim, consta-

ta-se que os processos naturais (geológico-geotécnicos e hidrológicos) estão intimamente ligados aos riscos tecnológicos, como no caso da falha de uma barragem.

## 5 ÁREA DE ESTUDO

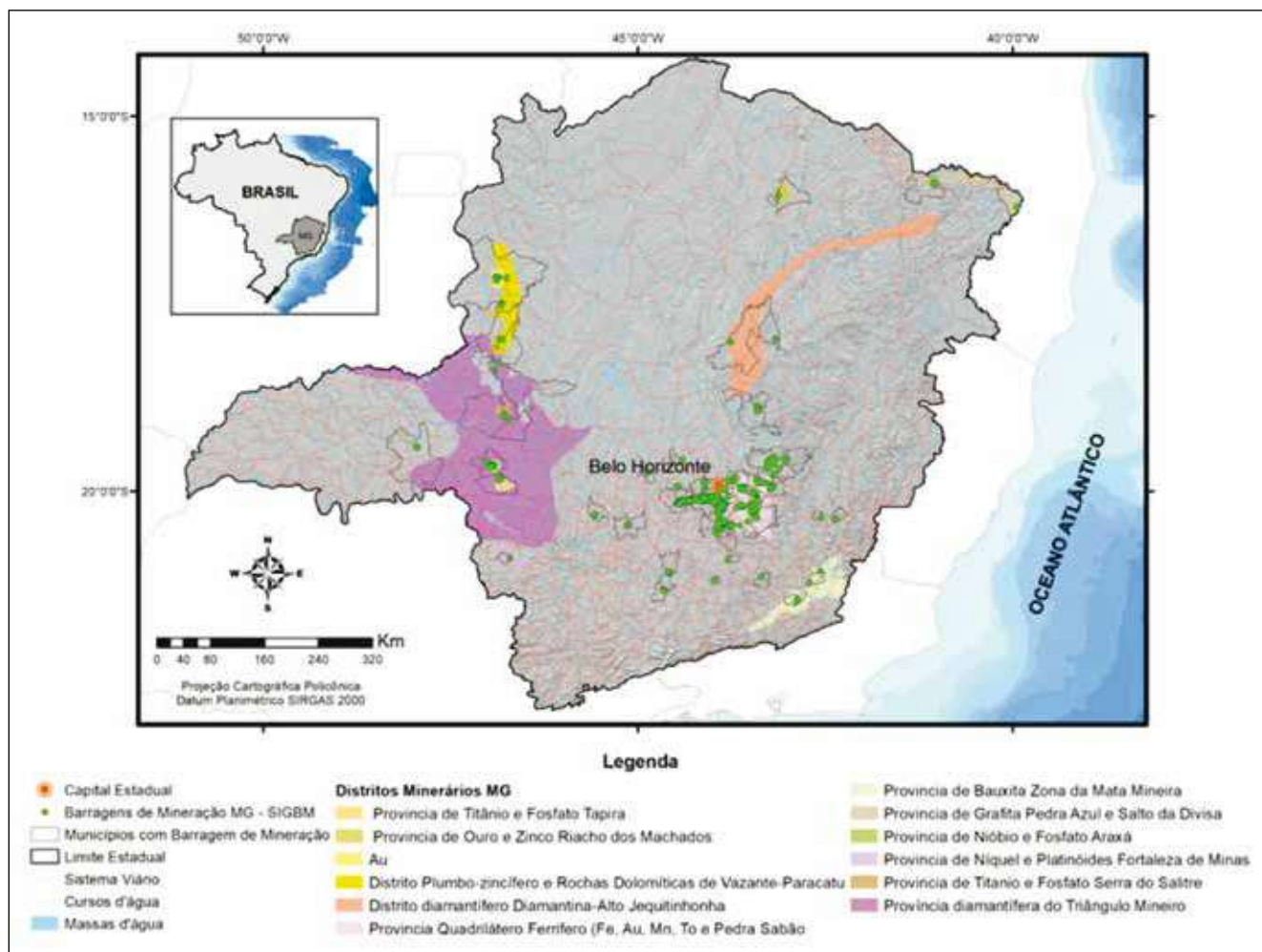
O estado de Minas Gerais apresenta grande diversidade geológica, ocorrendo nessa área sequências de idades arqueana a fanerozoica, em contextos tectônicos e metamórficos dos mais variados. Tal variedade geológica se reflete na história mineradora do estado, cujo desenvolvimento está intimamente ligado à exploração de recursos minerais desde o período colonial (Machado & Silva 2010).

Minas Gerais configura-se como o maior produtor nacional de minério de ferro. Dados do Anuário Mineral de 2019 (ANM 2020) mostram que a produção beneficiada chegou a mais de 203 milhões de toneladas.

Com toda esta vasta produção de minério beneficiado, há também uma colossal geração de rejeitos. Como em Minas Gerais o método mais utilizado para disposição de rejeitos de mineração são as barragens, é no estado onde estão concentradas 42% de todas as estruturas existentes no país, segundo cadastro do Sistema Integrado de Gestão de Barragens de Mineração - SIGBM da ANM.

Assim, a área de estudo abrange a distribuição das barragens de mineração presentes no cadastro da ANM para o estado de Minas Gerais, as quais somam 365 estruturas. As barragens estão localizadas em 61 municípios, os quais estão inseridos em distritos minerários, destacando-se o Quadrilátero Ferrífero, a Província Diamantífera do Triângulo Mineiro, o Distrito Plumbo-zincífero e Rochas Dolomíticas de Vazante-Paracatu e a Província de Grafita Pedra Azul e Salto da Divisa (figura 1).





**Figura 1.** Mapa da área de estudo mostrando a localização das barragens de mineração de MG cadastradas no SIGBM e seu contexto frente aos distritos minerários, conforme Machado & Silva (2010).

## 6 MATERIAIS E MÉTODOS

As etapas metodológicas foram compostas pela execução de pesquisa bibliográfica e aquisição de dados cartográficos que serviram de insumos para a análise da suscetibilidade natural à movimentos de massa e processos hidrológicos, através do emprego de ferramentas de geoprocessamento em variáveis derivadas de modelo digital de elevação (MDE) e fotointerpretação.

A modelagem da suscetibilidade fundamentou-se nos procedimentos descritos em Bitar (2014) para promover a compartimentação dos terrenos da área de estudo em zonas, segundo comportamentos homogêneos desses processos ante fatores condicionantes do meio físico. Sobre a aplicação desta metodologia, é importante que se destaque as seguintes adaptações:

- a. como o enfoque desta pesquisa está relacionado aos movimentos gravitacionais de massa e processos hidrológicos de alta energia (enxurradas) que podem afetar as áreas de montante e entorno das barragens de mineração, somente os passos metodológicos aplicados a esses processos foram empregados, não abrangendo a modelagem de inundação.
- b. considerando o caráter preliminar deste trabalho, a etapa de validação *in loco* não foi executada. Portanto, a aplicação desta metodologia limitou-se à composição do que Bitar (2014) define como o pré-mapa de áreas suscetíveis.

O passo seguinte consistiu no cruzamento das informações de suscetibilidade geológica ge-

radas com os limites de abrangência das barragens de mineração, de modo a calcular a incidência das suscetibilidades nos sítios de locação das barragens. A etapa final consistiu na parametrização desses dados, através da construção de uma matriz que permite atribuir notas a cada barragem de mineração estudada em relação à suscetibilidade incidente em seu sítio de locação. Tal passo permitiu a geração de estatísticas e a construção de um panorama das suscetibilidades das barragens de mineração de MG, com base na distribuição dessas notas. Destaca-se que a matriz de parametrização proposta é inspirada e potencialmente aplicável na sistemática de notas presente na Portaria DNPM n° 70.389/2017, a qual regulamenta as barragens de mineração frente à PNSB.

Assim, as etapas metodológicas definidas para o alcance dos objetivos propostos são descritas na figura 2.



Figura 2. Etapas de trabalho desenvolvidas.

Os procedimentos de geoprocessamento foram executados no software ARCGIS 10.4, no entanto, todas as funções utilizadas podem ser encontradas também em outros softwares de geoprocessamento, estando assim o método passível de ser aplicado em outras plataformas.

Os insumos para os procedimentos de geoprocessamento executados neste trabalho, tais como imagens de satélite, MDE, mapas temáticos,

bem como as informações sobre as barragens foram obtidos de fontes acessíveis a todos os usuários na internet, destacando-se os sites da ANM, CPRM, IPT, IBGE e *Earth Data* (NASA).

### 6.1 Construção de uma base cartográfica digital em formato SIG

Como ponto de partida, buscou-se junto ao SIGBM os arquivos georreferenciados das barragens de mineração cadastradas para o estado de MG, disponíveis no site da ANM. O passo seguinte foi fazer a aquisição das cenas de MDE que cobrissem a distribuição geográfica das barragens e que possuíssem uma resolução espacial compatível com a escala de análise da metodologia da suscetibilidade (1:25.000). Por esse motivo, fez-se o download de cenas do MDE adquiridas pelo satélite ALOS, com resolução espacial de 12,5m, considerada adequada para a escala de trabalho adotada. Uma vez adquiridas as cenas, foram gerados os mosaicos do MDE final no software ARCGIS 10.4.

Os demais arquivos que compõem a base cartográfica são constituídos por imagens de satélite do acervo multi-escala do BING Maps, disponibilizadas de forma nativa no ARCGIS 10.4, assim como arquivos vetoriais de hidrografia, altimetria, limites políticos e cartas temáticas, extraídos do Mapa de Geodiversidade do estado de MG (Machado & Silva 2010) e do Mapa geológico de MG (CPRM, 2003).

### 6.2 Análise da suscetibilidade a deslizamentos, corridas de massa e enxurradas

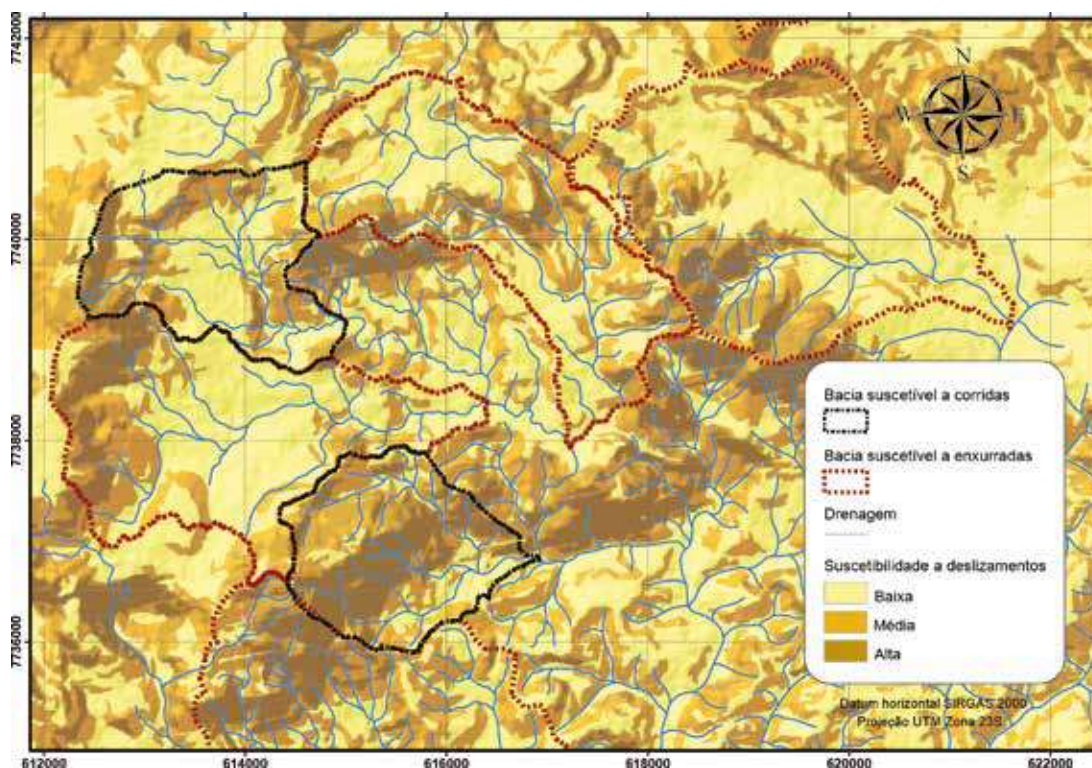
Para o zoneamento da suscetibilidade a deslizamentos, os procedimentos metodológicos aplicados são aqueles discutidos em Stabile et al. (2013), fundamentando-se nas relações estatísticas observadas entre cada fator condicionante e a distribuição dos deslizamentos em área. Nesta metodologia são utilizados como insumos três fatores predisponentes de deslizamentos, frequentemente associados à distribuição das cicatrizes, referenciados em literatura técnico-científica e com possibilidades de mapeamento dentro do escopo dos

trabalhos: declividade, curvatura das vertentes e densidade de lineamentos estruturais, que refletem, respectivamente, a influência combinada de aspectos geomorfológicos, hidrológico-pedológicos e geológicos.

No caso das corridas de massa e enxurradas, as etapas metodológicas aplicadas são aquelas detalhadas em Corsi et al. (2015), pautando-se em parâmetros morfométricos das bacias de drenagem (amplitude topográfica e área), padrão de relevo predominante (serras e/ou morros) e presença de zonas enquadradas na classe de alta suscetibilidade a deslizamento, conforme previamente mapeadas, para fins de delimitação das ba-

cias de drenagem mais suscetíveis à geração desses fenômenos. Assim, apontam-se as bacias de drenagem separadas em duas situações básicas: bacia de drenagem com alta suscetibilidade a corrida de massa e enxurrada; e bacia de drenagem com alta suscetibilidade a enxurrada.

O resultado final da análise de suscetibilidade é um zoneamento do terreno que traduz a incidência das distintas classes de suscetibilidade (alta, média e baixa), consideradas em relação aos deslizamentos e, no caso de corridas de massa e enxurradas, a incidência é destacada em relação à delimitação de bacias de drenagem com alta suscetibilidade a esses dois processos (figura 3).



**Figura 3.** Porção da área de estudo mostrando bacias de drenagem suscetíveis a corridas de massa e enxurradas (delimitadas na cor preta) e a enxurradas (em vermelho), indicadas sobre o zoneamento referente a movimentos gravitacionais de massa.

### 6.3 Cruzamento das informações de suscetibilidade geológica com os limites de abrangência das barragens de mineração

Uma vez que a área de estudo foi zoneada em termos da suscetibilidade a deslizamentos, corridas de massa e enxurradas, esta etapa tem o objetivo de correlacionar as barragens de minera-

ção a essas zonas, de modo a se determinar a incidência das suscetibilidades em relação aos sítios de locação das barragens.

Esta estimativa da incidência é obtida por meio de cálculos efetuados diretamente em ambiente de SIG, os quais baseiam-se em correlações de área entre as zonas e o entorno das barragens (em hectares) bem como em proporção (%). Para



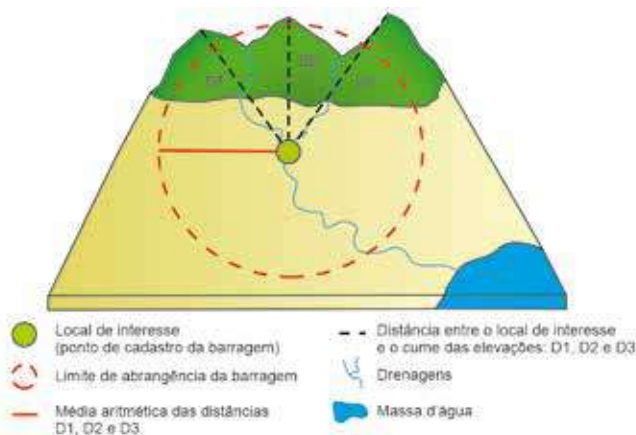
alcançar este objetivo, foi necessário desenvolver uma etapa metodológica para a delimitação dos limites de abrangência das barragens de mineração.

### 6.3.1 Delimitação do limite de abrangência das barragens de mineração

Como as estimativas baseiam-se em relações de área, primeiramente, foi necessário definir uma área de abrangência para análise de cada barragem, haja vista que as barragens de mineração são cadastradas pela ANM apenas com um par de coordenadas localizadas no centro da crista da estrutura, resultando em um único ponto.

É comum que as barragens estejam apenas parcialmente envoltas por encostas, o que ocorre normalmente nas ombreiras e região de montante. Assim, adaptou-se o critério descrito em CPRM (2018), no qual, para estes casos, a definição do limite de abrangência para as análises deverá ser realizada a partir do cálculo da média aritmética das distâncias entre o local de interesse e as cristas das encostas mais próximas, utilizando-se, no mínimo, 03 distâncias. A finalidade deste passo é abranger os terrenos onde já ocorreu mobilização de material em eventos pretéritos ou onde ela pode ocorrer.

Dentro desta premissa, definiu-se como limite de abrangência um raio de entorno a partir do ponto de cadastro de cada barragem, perfazendo uma área circular (figura 4). Para viabilizar este cálculo foram utilizadas ferramentas de geoprocessamento sobre o MDE da área de estudo, em ambiente SIG.



**Figura 4.** Delimitação do limite de abrangência das barragens de mineração.

Inicialmente, foi preciso determinar a posição das cristas ou cumes das elevações do terreno. Para isto inverteu-se o MDE multiplicando-o por -1 com a função *raster calculator*. O produto desta operação é um novo raster, onde os picos foram transformados em depressões. Posteriormente, fez-se um mapa de direção de fluxo a partir do MDE invertido, e então, aplicou-se a este mapa a função *sink* utilizada para identificar depressões espúrias. O resultado foi uma camada em formato raster onde cada pixel corresponde a um cume. Em seguida converteu-se esta camada para o formato vetorial do tipo ponto.

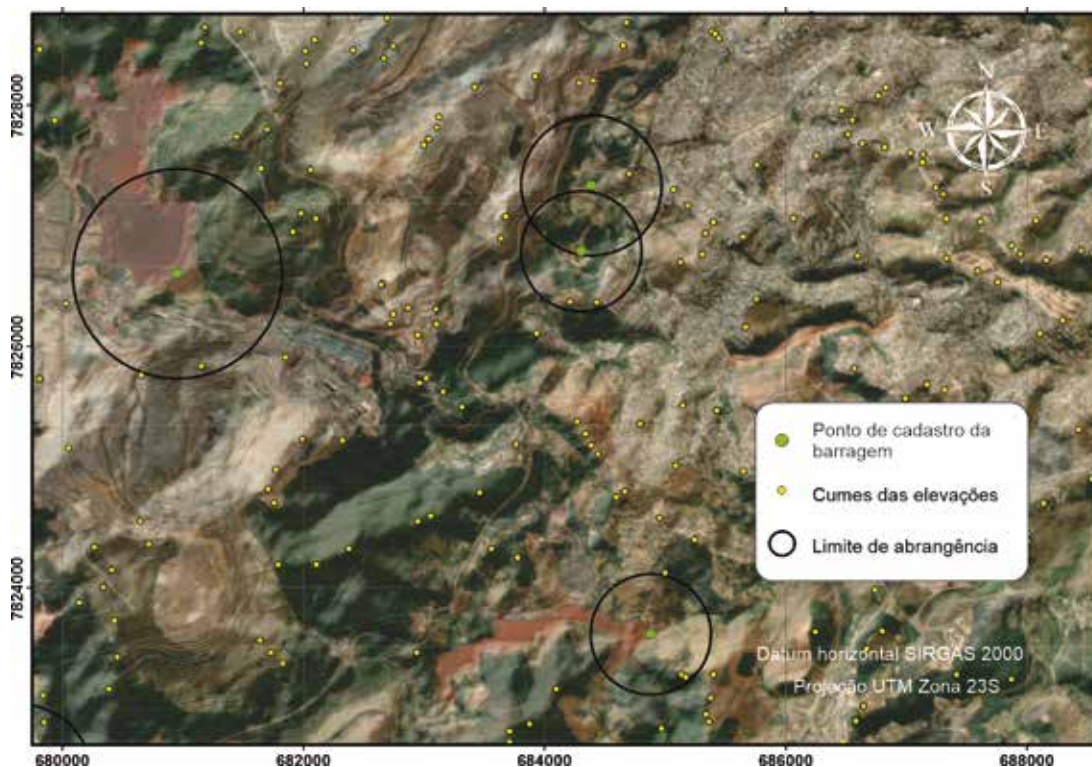
Posteriormente, atribuiu-se a esses pontos valores de amplitude topográfica, que correspondem à distância altimétrica entre a base da encosta e seu respectivo cume, a partir da função *add surface information*. As amplitudes foram obtidas com a aplicação do algoritmo HAND - *Height Above the Nearest Drainage* (RENNÓ et al. 2008). O HAND é um algoritmo utilizado na modelagem de inundação das cartas de suscetibilidade (BITAR, 2014), por medir a diferença altimétrica entre qualquer ponto da grade do MDE e o respectivo ponto de escoamento na drenagem mais próxima. Matematicamente, a utilização do HAND nos fornece a variação de amplitude do relevo.

Para assegurar que ruídos do MDE fossem eliminados e que somente os cumes de encostas com amplitude suficiente para gerar deslizamentos fossem computados na definição do limite de abrangência das barragens, foram utilizados os critérios e parâmetros de classificação de padrões de relevo definidos por IPT/Emplasa (1990). Esta ação tem a função de limpar o ruído do arquivo de pontos para só admitir a permanência de cumes com amplitude superior a 40 metros, ou seja, maiores ou iguais ao padrão "colinas".

O raio de abrangência de cada barragem foi calculado com base na média aritmética da distância dos cumes mais próximos do seu respectivo ponto de cadastro da ANM, utilizando a função *generate near table*. Por fim, aplicou-se a função *buffer* nos pontos de cadastro para a delimitação dos limites de abrangência, utilizando como raio o valor da média calculado na tabela de atributos. Assim, o limite de abrangência adequa-se ao terreno do entorno da barragem, de modo que uma barragem localizada em um vale mais dissecado

(fechado) terá um raio de abrangência menor do que uma barragem localizada em um vale mais aberto, por exemplo. Tal dinâmica permitiu a definição de um limite de abrangência capaz de

englobar proporcionalmente os sítios de locação das estruturas e as encostas mais próximas, com potencial de deflagração dos processos analisados (figura 5).



**Figura 5.** Porção da área de estudo mostrando barragens de mineração no município de Itabira (MG), as quais tiveram seus limites de abrangência delimitados com área proporcional à média das distâncias dos cumes do entorno.

#### 6.4 Parametrização dos dados e construção de um panorama das suscetibilidades das barragens de mineração de MG

Para normatizar a classificação das barragens de mineração, a Portaria DNPM nº 70.389/2017 utiliza matrizes de pontuação que expõem características relacionadas à barragem e seu entorno, as quais funcionam como descritores da probabilidade de falha e das consequências. Dependendo do grau de contribuição dessas características são atribuídas pontuações. Assim, se a característica pouco contribui terá pontuação zero ou baixa, aumentando à medida que aumenta a contribuição da característica para a probabilidade de falha e consequências.

Uma vez que os procedimentos metodológicos descritos nas etapas anteriores permitiram

a inserção das informações de suscetibilidade a movimentos de massa nas áreas de abrangência das barragens de mineração, bem como permitiram o cálculo da representatividade de cada zona em termos de área e proporção, executou-se parametrização desses dados, através da construção de uma matriz inspirada e potencialmente aplicável na sistemática de notas presente na Portaria DNPM nº 70.389/2017 (tabela 4). É plenamente compatível, por exemplo, a inclusão da matriz aqui proposta no cálculo da nota final da Categoria de Risco (CRI) de uma barragem, de modo que esta seria formada pelo somatório final das pontuações atingidas nas matrizes de Características Técnicas (CT), Estado de Conservação (EC), Plano de Segurança (PS) e Suscetibilidade Geológica (SG):  $CRI = CT + EC + PS + SG$ .



**Tabela 4.** Matriz de pontuação de Suscetibilidade Geológica, inspirada e potencialmente aplicável na sistemática de notas presente na Portaria DNPM nº 70.389/2017.

MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À SUSCETIBILIDADE GEOLÓGICA (SG)	
Deslizamentos (em relação à proporção de ocorrência da classe baixa - CB no limite de abrangência da barragem) (o)	Corridas de Massa e Enxurradas (em relação à incidência da barragem em bacia de drenagem suscetível) (p)
CB > 90% (0)	Não incide (0)
70% < CB ≤ 90% (1)	Bacia suscetível a enxurradas (2)
50% < CB ≤ 70% (2)	Bacia suscetível a corridas de massa (4)
CB ≤ 50% (3)	
SG = ∑ (o até p)	

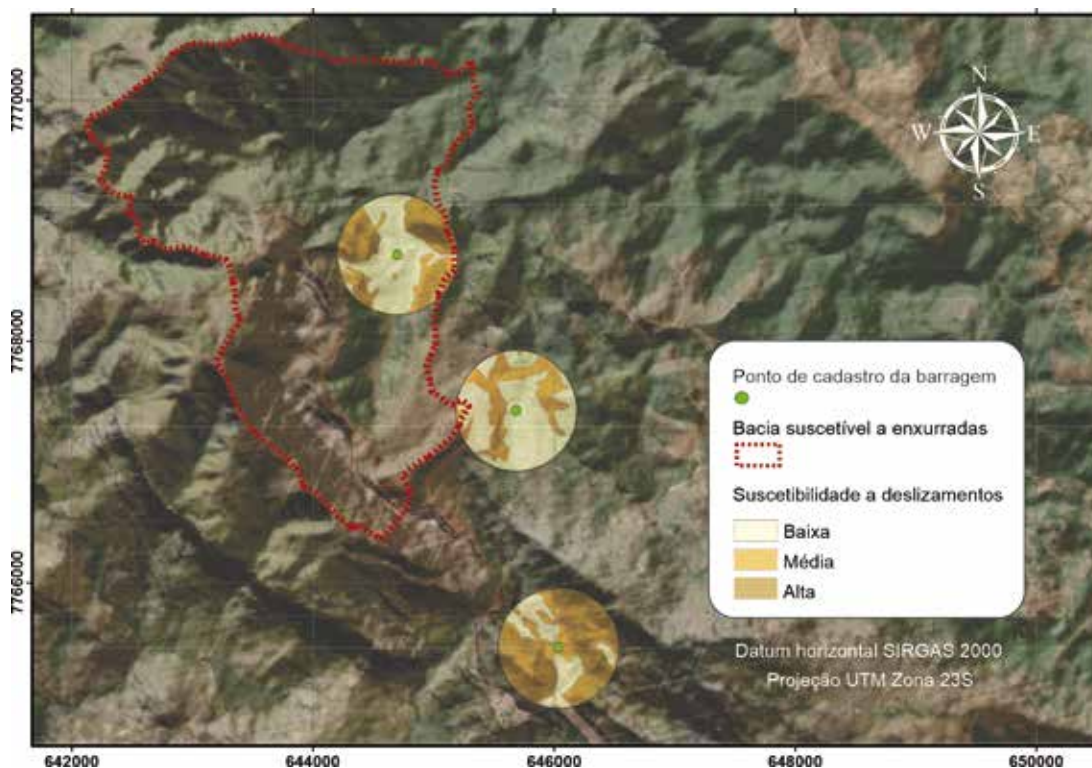
Para os deslizamentos, utilizou-se a porcentagem de ocorrência da classe de baixa suscetibilidade no interior do limite de abrangência das barragens como balizador para a definição das notas da coluna “Deslizamentos” da matriz de “Suscetibilidade Geológica”. Tal escolha baseia-se na premissa de que uma barragem construída em um sítio com predomínio de baixa suscetibilidade a deslizamentos encontra-se em um cenário de maior estabilidade geológica frente à deflagração desses processos nas encostas naturais de seu entorno, acarretando menor propensão de impactos negativos à estrutura.

No caso das enxurradas e corridas de massa, o fator determinante para as notas é a incidência ou não da barragem em uma bacia de drenagem suscetível. Corridas e enxurradas são processos de alta energia hidrodinâmica, entretanto, por sua elevada concentração de sólidos, bem como por seu amplo raio de alcance, as corridas apresentam

grande potencial destrutivo (Tominaga 2012). Por esse motivo, em caso de incidência das barragens em bacias de drenagem suscetíveis, a nota deverá ser diferenciada em relação ao processo e proporcional ao seu potencial destrutivo, impondo menor ou maior impacto negativo à estrutura. Tal abordagem resulta na coluna “Corridas e Enxurradas” da matriz de “Suscetibilidade Geológica”.

## 7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O zoneamento da suscetibilidade a movimentos de massa na área de estudo permitiu a divisão do terreno em 3 classes homogêneas (alta, média e baixa) com diferentes propensões à deflagração natural dos processos geológicos analisados, além da delimitação de bacias de drenagem propensas à deflagração de enxurradas e corridas de massa (figura 6).



**Figura 6.** Porção da área de estudos mostrando as zonas de suscetibilidade geológica a deslizamentos inseridas no limite de abrangência de cada barragem de mineração. Nesta área também é possível identificar a incidência de barragem de mineração em bacia suscetível a enxurradas.

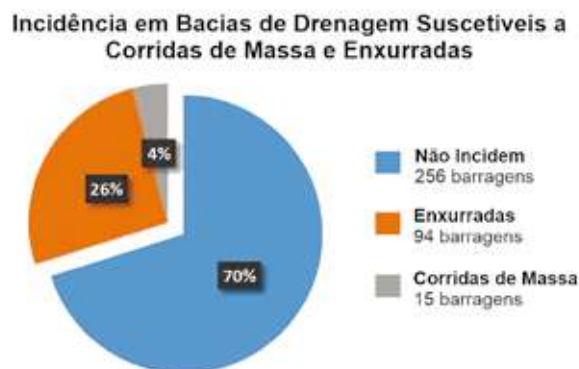
A partir de tais cenários, inicialmente, foram geradas estatísticas que mostram um panorama geral com base na representatividade de cada classe, em porcentagem (figura 7), ou na incidência das barragens de mineração em bacias suscetíveis (figura 8).



**Figura 7.** Representatividade de cada classe de suscetibilidade a deslizamentos em relação à área de estudo.

Os resultados mostraram uma maior representatividade global da classe de baixa suscetibi-

lidade a deslizamentos, representando 62% dos terrenos analisados. Os terrenos com média e alta suscetibilidade a deslizamentos somam os 38% restantes da área de estudo, sendo 25% de relevos que apresentam média suscetibilidade e 13% traduzidos por encostas com alta propensão a deslizamentos.



**Figura 8.** Situação da localização das barragens de mineração de MG em relação à suscetibilidade aos processos de corridas de massa e enxurradas.

Com relação às corridas de massa e enxurradas, as análises demonstraram que 70% das barragens de mineração cadastradas se encontram inseridas em bacias de drenagem não suscetíveis ou com baixa suscetibilidade a esses processos. Entretanto, destaca-se que 94 barragens (26%) estão localizadas em bacias com alta suscetibilidade a enxurradas e que 15 barragens (4%) estão localizadas em terrenos com alta suscetibilidade a corridas de massa.

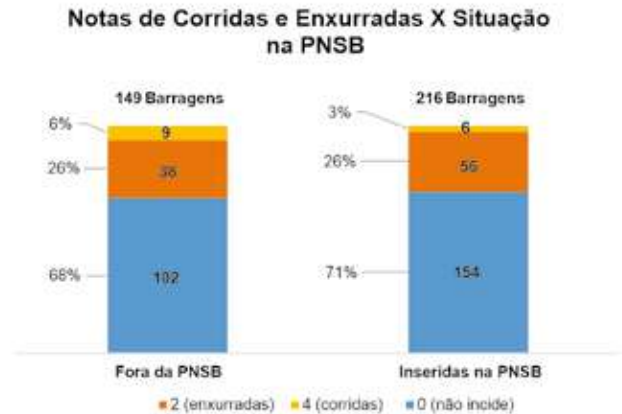
Este panorama geral chama a atenção por demonstrar que mais de 30% do universo amostral dos terrenos de entorno das barragens de mineração de MG apresentam suscetibilidade média a alta aos processos geológicos e hidrológicos analisados. A deflagração desses processos pode afetar negativamente a segurança das barragens, por este motivo, os dados aqui mostrados podem servir de balizadores para a realização de estudos geotécnicos e hidrológicos mais detalhados, com a avaliação da influência da barragem no grau de suscetibilidade natural dos terrenos e, onde necessário, elaborar análise de riscos, carta de riscos e plano de gerenciamento de riscos, incluindo-se a execução de medidas preventivas estruturais e não estruturais.

### 7.1 Distribuição dos dados de suscetibilidade parametrizados

A discretização dos dados de suscetibilidade segue as notas propostas na tabela 4. Embora saiba-se que na legislação as matrizes de notas não se aplicam às barragens fora da PNSB, optou-se por incluí-las nesta parametrização somente para que a sua distribuição frente à suscetibilidade geológica também fosse delineada.

No caso da suscetibilidade a deslizamentos, a categorização se deu conforme faixas de pontuação que consideram a representatividade dos terrenos mais estáveis (classe baixa) no interior dos limites de abrangência das barragens, como balizador das notas (figura 9). Assim, quanto maior a proporção da classe de baixa suscetibilidade no entorno da barragem, menor será a propensão de deflagração de deslizamentos no limite de abrangência da barragem e, em consequência, menor

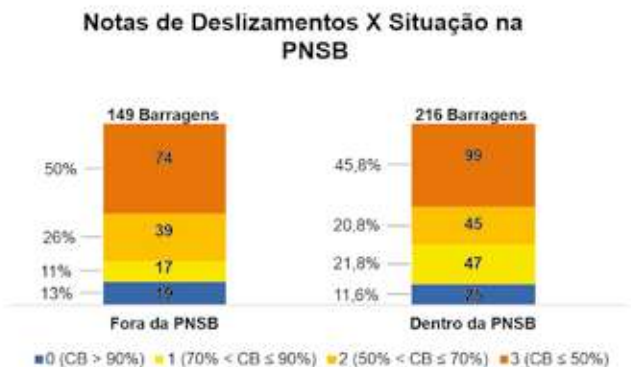
será a propensão de impactos negativos decorrentes desses processos à segurança da estrutura.



**Figura 9.** Situação das barragens de mineração de MG em relação às notas de suscetibilidade a deslizamentos.

Notadamente nas duas situações frente à PNSB, a maior frequência de barragens de mineração de MG insere-se na nota 3 ( $CB \leq 50\%$ ), sendo 74 barragens fora da PNSB (50%) e 99 barragens inseridas na PNSB (45,8%). Isto equivale a dizer que quase a metade das barragens cadastradas pela ANM no estado de MG encontram-se em uma situação na qual os terrenos potencialmente mais instáveis (classes média e alta) podem estar representando mais de 50% das áreas de entorno dessas estruturas.

As barragens dentro e fora da PNSB apresentam uma distribuição semelhante frente às notas para incidência em bacias de drenagem suscetíveis a corridas de massa e enxurradas (figura 10).

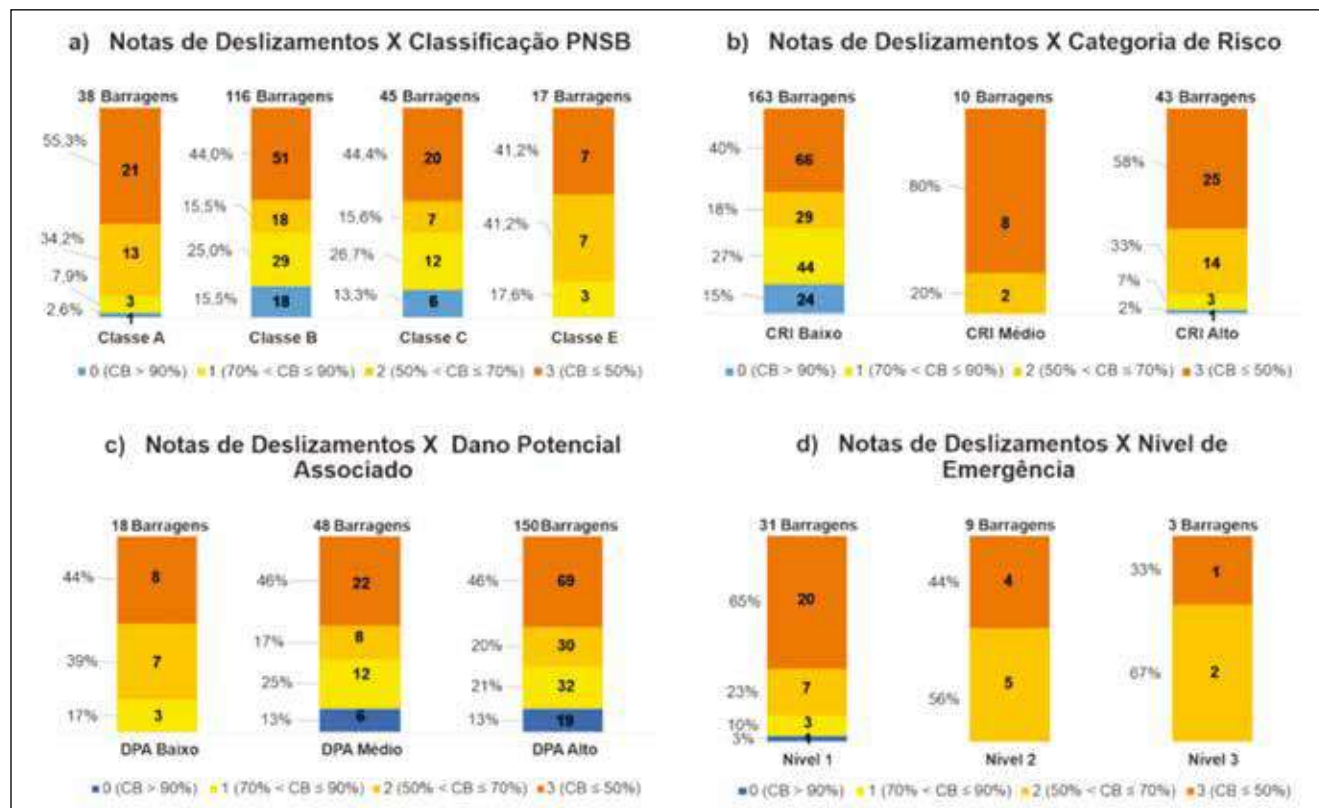


**Figura 10.** Situação das barragens de mineração de MG em relação às notas de suscetibilidade a corridas de massa e enxurradas.

Cerca de 70% de todas as barragens cadastradas foram construídas em bacias não suscetíveis ou com baixa suscetibilidade. Entretanto, considerando a grande energia e o alto potencial destrutivo destes processos, é importante destacar que 38 barragens de mineração não inseridas na PNSB (26%) e 56 que fazem parte da Política (26%) encontram-se em relevos com alta suscetibilidade a enxurradas. No caso das corridas de massa, apesar do número ser bem menor para ambos os grupos, registra-se que 9 barragens não inseridas na PNSB e 6 dentro da Política inserem-se em bacias com alta suscetibilidade, constituindo 6% e 3%, respectivamente.

### 7.1.1 Suscetibilidade geológica em relação aos atributos do sistema de classificação das barragens de mineração (portaria DNPM 70.389/2017)

Para as barragens inseridas na PNSB foram geradas estatísticas relacionando as notas propostas para a suscetibilidade geológica com os atributos do sistema de classificação das barragens, previsto na Política e regulamentada pela Portaria DNPM 70.389/2017, tais como a classificação de risco propriamente dita, a CRI isoladamente, o DPA isoladamente e o nível de emergência isoladamente (figuras 11 e 12).



**Figura 11.** Distribuição das notas de suscetibilidade a deslizamentos relacionando: a) a classificação final de risco; b) a CRI isoladamente; c) o DPA isoladamente; e d) o nível de emergência.

Em relação às notas de deslizamentos, embora não representem o maior grupo em número absoluto de estruturas, constata-se que as barragens com classificação “A”, situação de maior risco da PNSB, são aquelas que apresentam a maior proporção da nota 3 (CB ≤ 50%), representando 55,3% dessas estruturas (figura 11a). As demais classes

seguem esta tendência, com a nota 3 para deslizamentos representando 44% da classe “B”, 44,4% da classe “C” e 41,2% da classe “E”. No cadastro de barragens de mineração da ANM utilizado neste trabalho, período de referência novembro de 2020, não há registro de barragem classe “D” em MG.



Isoladamente, DPA e CRI também refletem a tendência de distribuição das notas de deslizamento observada na classificação da PNSB, haja vista que esta é definida pelo cruzamento entre DPA e CRI (figura 11b e c). Tomando-se as piores situações em termos de segurança como exemplo, as estruturas com nota 3 representam 58% do grupo de barragens com CRI alto e 46% das estruturas com DPA alto. Justamente nas situações nas quais as barragens aspiram maior atenção (DPA e CRI altos), ocorre a maior proporção de terrenos mais propensos a deslizamentos no entorno das barragens.

O artigo 37 da Portaria DNPM 70.389/2017, em seus incisos I, II e III define os níveis de emergência:

“I. Nível 1 - Quando detectada anomalia que resulte na pontuação máxima de 10 (dez) pontos em qualquer coluna do Quadro 3 - Matriz de Classificação Quanto à Categoria de Risco (1.2 - Estado de Conservação), do Anexo V, ou seja, quando

iniciada uma ISE e para qualquer outra situação com potencial comprometimento de segurança da estrutura;

II. Nível 2 - Quando o resultado das ações adotadas na anomalia referida no inciso I for classificado como “não controlado”, de acordo com a definição do § 1º do art. 27 desta Portaria; ou

III. Nível 3 - A ruptura é iminente ou está ocorrendo”.

O gráfico da figura 11d mostra que quase a totalidade das barragens que se encontram em situação de emergência possuem notas 2 e 3 para deslizamentos. Mesmo que tal estado de emergência muito provavelmente não tenha como causa os processos de deslizamentos, o atingimento por um eventual deslizamento tem maior potencial para configurar um gatilho para a ruptura de estruturas com este grau de fragilidade.

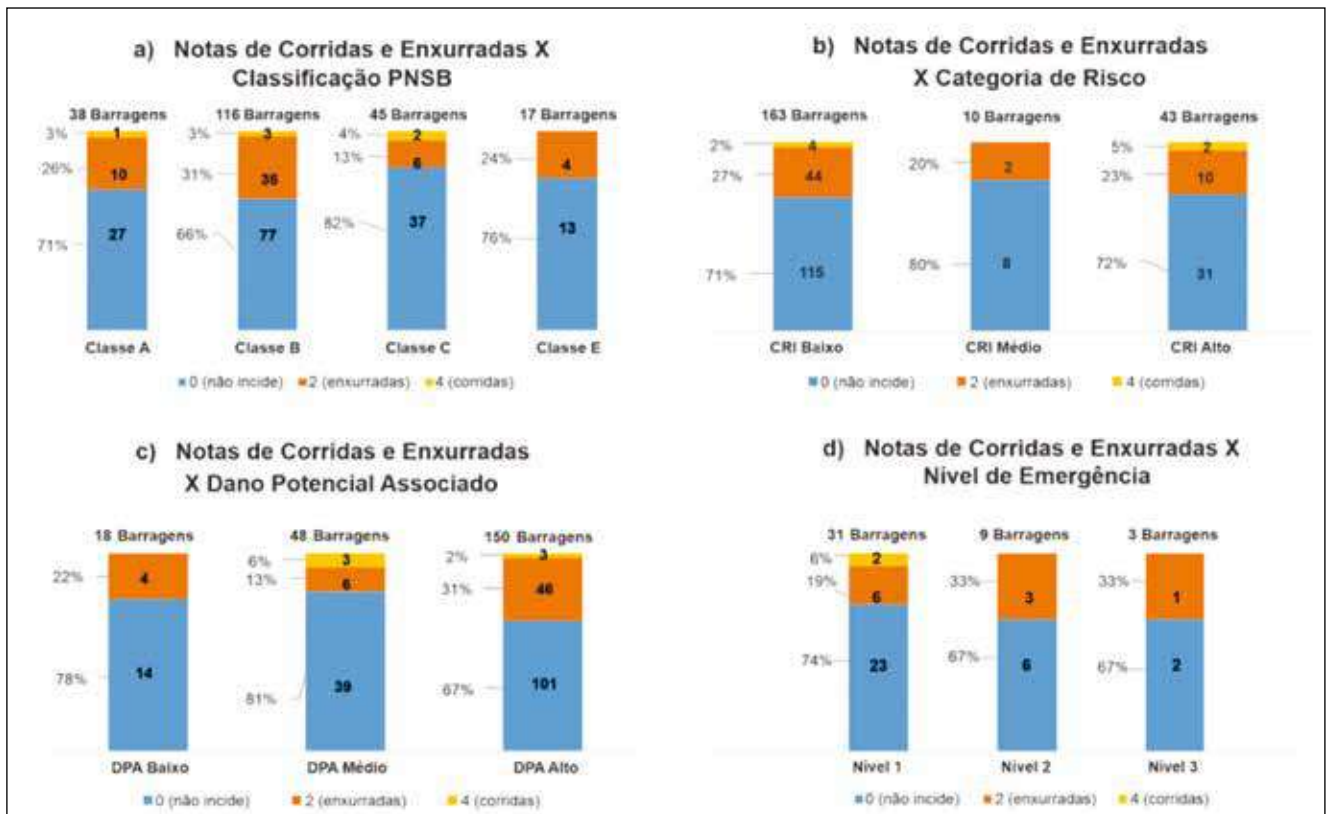


Figura 12. Distribuição das notas de suscetibilidade a corridas e enxurradas relacionando: a) a classificação final de risco; b) a CRI isoladamente; c) o DPA isoladamente; e d) o nível de emergência.

Ao analisarmos a figura 12a é possível constatar que a maior parte das barragens com nota 2 (suscetível a enxurradas) encontra-se na classificação “B”, representando 31%, seguido pela classe “A”, perfazendo 26%. As barragens com nota 4 (suscetível a corridas de massa) representam um reduzido grupo de 6 estruturas e distribuem-se da seguinte forma: 1 na classe “A”, 3 na classe “B” e 2 na classe “C”.

Tomando-se a CRI isoladamente (figura 12b), as barragens suscetíveis a corridas de massa e enxurradas predominam na CRI baixo, sendo que 27% deste grupo possui nota 2 e 2% a nota 4. No que diz respeito ao grupo com CRI alto, constata-se que 10 barragens estão localizadas em terrenos com alta suscetibilidade a enxurradas, enquanto que 2 estruturas se situam em bacias com alta suscetibilidade à deflagração de corridas de massa. Já quando averiguamos o DPA isoladamente (figura 12c), 46 barragens suscetíveis a processos de enxurradas (nota 2) encontram-se enquadradas com DPA alto, representando 31% deste grupo. As barragens suscetíveis a corridas (nota 4) estão igualmente distribuídas em DPA médio e alto, com 3 estruturas em cada grupo.

Quanto à situação de emergência (figura 12d), 2 barragens no nível 1 encontram-se em terrenos com alta suscetibilidade a corridas. Com nota 2 (enxurradas) há 6 barragens em emergência nível 1, 3 estruturas em nível 2 e uma em nível 3.

### 7.1.2 Suscetibilidade geológica em relação ao método construtivo das barragens de mineração

Outra importante análise realizada a partir das estatísticas é com relação à distribuição das notas de deslizamentos e as notas de corridas e enxurradas, frente ao método construtivo das barragens. Desta vez a análise agrupou todo o universo de barragens estudado, ou seja, as incluídas e as fora da PNSB.

A forma de construção da barragem de mineração está diretamente relacionada ao seu grau de segurança. Barragens de mineração construídas com o método à montante são criticadas por apresentar alto risco de ruptura por liquefação e por dificultar a implantação de sistema de dre-

nagem (Araújo 2006). A própria Portaria DNPM 70.389/2017 atribui notas diferentes ao tipo de método construtivo para o cálculo da CRI. Assim, as barragens com o método à montante possuem as maiores notas, contribuindo mais para o aumento do risco da barragem.



Figura 13. Distribuição das notas de suscetibilidade a deslizamentos relacionando os métodos construtivos das barragens de mineração.

A partir da figura 13, o quadro geral mostra a maior ocorrência da nota 3 (CB ≤ 50%) de deslizamentos, com exceção das barragens cadastradas como “método indefinido”, nas quais há o claro predomínio da nota 2 (50% < CB ≤ 70%). Cabe destaque que 69% das barragens construídas pelo método à montante, as quais demandam especial atenção dos órgãos fiscalizadores em razão de sua maior fragilidade geotécnica, possuem notas 2 e 3 para deslizamentos.

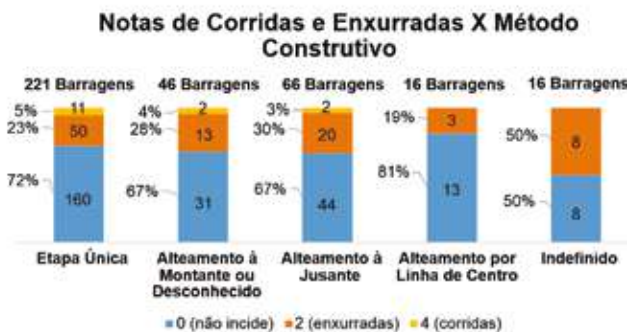


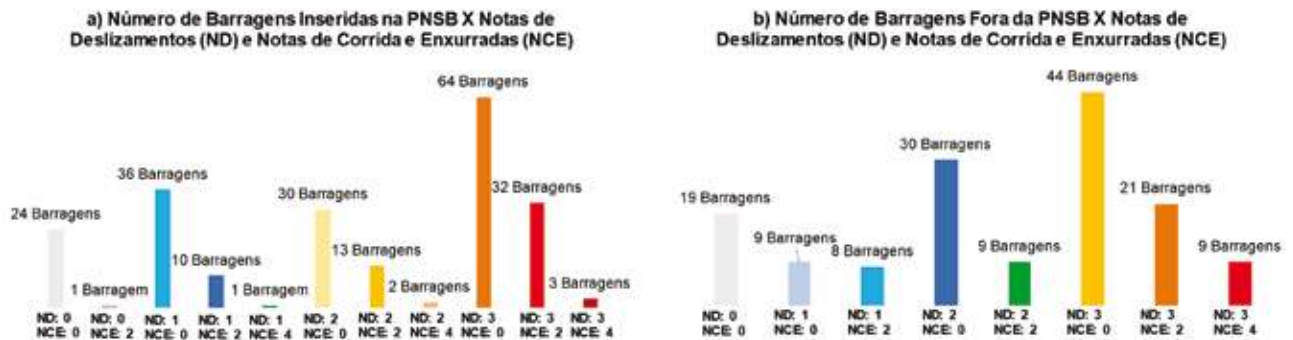
Figura 14. Distribuição das notas de suscetibilidade a corridas de massa e enxurradas relacionando os métodos construtivos das barragens de mineração.

A maior incidência de barragens de mineração em bacias com alta suscetibilidade a corridas de massa se dá no grupo das estruturas construídas em etapa única, com 11 casos (figura 14).

Em tese, este grupo é o que apresentaria a menor vulnerabilidade geotécnica, por não ter sofrido alteamentos, denotando um maior controle construtivo e robustez. Já no grupo com maior vulnerabilidade aos processos aqui analisados, com alteamento à montante, é digno de nota que 28% das barragens estão locadas em terrenos com alta suscetibilidade a enxurradas e 4% em bacias com alta suscetibilidade a corridas.

### 7.1.3 Análise da distribuição conjunta das notas de deslizamentos e notas de corridas e enxurradas

Aproveitando o poder de análise proporcionado pelo SIG elaborado neste trabalho, fez-se uma análise da distribuição conjunta das notas de deslizamentos com as notas de corridas e enxurradas, de modo a avaliar a sinergia de sua distribuição.



**Figura 15.** Distribuição conjunta das notas de deslizamentos com as de corridas e enxurradas nas barragens: a) inseridas na PNSB e b) fora da PNSB. NCE = nota de corridas e enxurradas. ND = nota de deslizamentos.

Em ambos os grupos de barragens de mineração apresentados na figura 15, a maior frequência das estruturas apresenta conjuntamente a nota 3 para deslizamentos (ND) e nota 0 para corridas e enxurradas (NCE), seguido das frequências de barragens que apresentam a combinação de nota 0 para corridas e enxurradas com variações das notas de deslizamentos. Tal comportamento sugere que a suscetibilidade a deslizamentos não tem forte correlação com a ocorrência de bacias suscetíveis a enxurradas e corridas, no universo de barragens analisado.

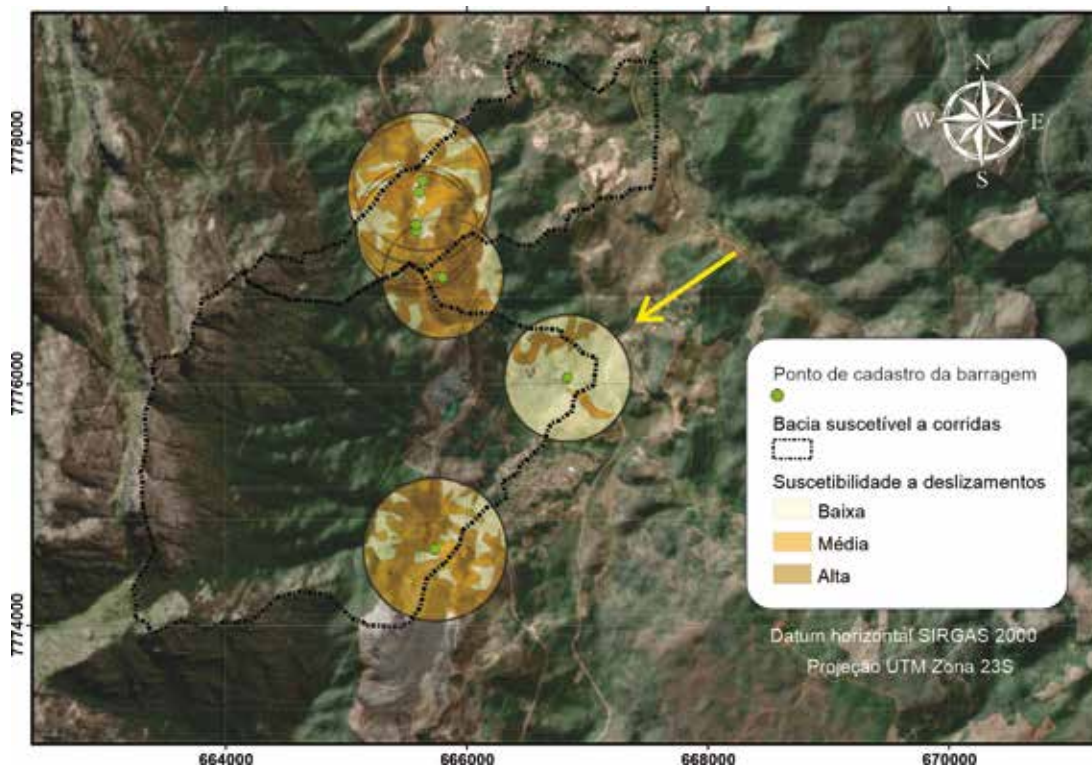
Em contrapartida, quando tomamos a suscetibilidade a corridas de massa (NCE: 4), verificamos que no grupo das barragens fora da PNSB a sua ocorrência se dá exclusivamente em terrenos com a maior nota de deslizamentos (ND: 3). No grupo de barragens inseridas na PNSB, as corridas estão relacionadas com as notas de deslizamentos (ND) 3 e 2, principalmente. Para as enxurradas (NCE: 2), as maiores frequências também se

relacionam às notas de deslizamentos (ND) 3 e 2, respectivamente.

Os gráficos sugerem que a suscetibilidade a corridas e enxurradas tende a ocorrer em terrenos que apresentam maior proporção das classes de deslizamento média a alta. Esta constatação vem ao encontro dos pressupostos enunciados por Bitar (2014) para o mapeamento dos terrenos suscetíveis a enxurradas e corridas de massa, os quais, segundo o autor, caracterizam-se por apresentar amplitudes e declividades elevadas e, no caso das corridas de massa, as bacias devem, necessariamente, compreender terrenos de alta suscetibilidade a deslizamentos.

Observa-se na figura 15a que 2 barragens não seguem esta correlação, pois agregam a incidência de bacias de corridas e enxurradas com notas baixas de deslizamento. Verificou-se que os limites de abrangência dessas barragens se posicionam junto ao exutório das bacias suscetíveis, no único trecho onde predominam os terrenos mais suaves, explicando tal combinação (figura 16).





**Figura 16.** A seta indica um caso de barragem inserida em bacia suscetível a corridas, porém circundada por terrenos mais suaves, por se encontrar junto ao exutório.

## 8 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados e discutidos foram bastante relevantes para a montagem de um panorama preliminar da suscetibilidade geológica das barragens de mineração no estado de Minas Gerais. A metodologia aplicada neste estudo permitiu a identificação dos cenários de suscetibilidade natural à deflagração de deslizamentos, corridas de massa e enxurradas nos quais estas estruturas foram construídas.

A opção por trabalhar esses dados em formato SIG permitiu agregar ferramentas de geoprocessamento para a parametrização dos dados de suscetibilidade e geração de estatísticas, revelando importantes informações para a gestão da segurança de barragens. Desse modo, confirma-se o potencial de se compatibilizar critérios de suscetibilidade geológica para a classificação de barragens na PNSB e Portaria DNPM nº 70.389/2017, de modo a contribuir para o aumento da segurança dessas estruturas.

Aponta-se o grande potencial do mapeamento de suscetibilidade geológica para o planejamento da locação de novas barragens, a nível de plano diretor, bem como a sua utilização pelos órgãos fiscalizadores e licenciadores como uma ferramenta de gestão territorial.

É importante destacar que segundo Bitar (2014) o mapeamento de suscetibilidade limita-se a atividades de gestão territorial e de planejamento e não se destina à análise de estabilidade de terrenos a nível de projeto. Entretanto, não se pode minimizar o seu potencial uso para que, por exemplo, os órgãos fiscalizadores exijam dos empreendedores estudos geotécnicos de detalhe nas áreas identificadas como de média a alta suscetibilidade, incluindo medidas preventivas.

Com principal limitação deste trabalho cita-se o fato de não ter contado com a etapa de campo para a validação das informações produzidas, determinando o caráter preliminar do trabalho. Outra limitação importante é o fato do cadastro de barragens de mineração da ANM trabalhar apenas com pares de coordenadas (pontos), o que inicialmente dificultou a avaliação da extensão es-



pacial das estruturas. Como forma de contornar essa dificuldade, neste estudo desenvolveu-se uma metodologia para definir as áreas de abrangência das barragens. Embora isto tenha permitido o desenvolvimento das análises, salienta-se que são áreas teóricas, não representando exatamente o polígono formado pelos sítios de locação de cada barragem.

Contudo, considera-se que os resultados produzidos foram capazes de atingir os objetivos propostos neste trabalho.

Como considerações finais, é importante salientar que os critérios de corte e as respectivas notas da matriz de suscetibilidade foram aqui propostas empiricamente, não tendo passado por consulta pública ou sob o crivo de um painel de especialistas, tal como foram as notas das matrizes existentes na legislação.

## AGRADECIMENTOS

Registram-se agradecimentos especiais ao geólogo Ricardo Abrahão, consultor e professor do Curso de Especialização em Segurança de Barragens da UFBA/PTI, pela contribuição e orientação. Agradecimentos também ao geólogo José Luiz Kepel Filho da CPRM, pelo apoio prestado nas etapas de geoprocessamento.

Agradece-se, ainda, à CPRM, IPT e ANM pela disponibilização de material de consulta e insumos para o desenvolvimento desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

ANM - Agência Nacional de Mineração. 2020. Anuário Mineral Brasileiro: principais substâncias metálicas. Brasília, Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro>. Acessado em: 29 nov. 2020.

Araújo C. B. de. 2006. Contribuição ao estudo do comportamento de barragens de rejeito de mineração de ferro. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 143f.

Bitar O. Y. (Coord.) 2014. Cartas de suscetibilidade de a movimentos gravitacionais de massa e inundações: 1:25.000 - Nota técnica explicativa. São Paulo: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo; Brasília, DF: CPRM - Serviço Geológico do Brasil. (Publicação IPT, 3016).

Brasil. Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2012. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4o da Lei no 9.984, de 17 de julho de 2000. Diário Oficial. Brasília, 21 set. 2010.

Brasil. Portaria 70.389 do Departamento Nacional de Mineração - DNM, 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. Diário Oficial. Brasília, 19 mai. 2017.

Brasil. Resolução 13 da Agência Nacional de Mineração - ANM, de 08 de agosto de 2019. Estabelece medidas regulatórias objetivando assegurar a estabilidade de barragens de mineração, notadamente aquelas construídas ou alteadas pelo método denominado "a montante" ou por método declarado como desconhecido e dá outras providências. Diário Oficial. Brasília, 01 out. 2020.

Brasil. Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020. Altera a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), a Lei nº 7.797, de 10 de julho de 1989, que cria o Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA), a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de

1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, e o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração). Diário Oficial. Brasília, 01 out. 2012.

Corsi A.C., Gramani M.F., Ogura A.T. 2015. Desenvolvimento de método para delimitação de bacias de drenagem suscetíveis a corrida de massa e enxurrada em regiões serranas. São Paulo. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (RBGEA) – Volume 5, n.1, 2015.

Costa, W. D. 2012. Geologia de barragens. 1ªed. São Paulo: Oficina de Textos, 352p.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil 2018. Manual de mapeamento de perigo e risco a movimentos gravitacionais de massa. Rio de Janeiro: CPRM.

ELETROBRÁS/CBDB 2003. Critérios de projeto civil de usinas hidrelétricas.

Fonseca, D. D. F. 2019. Panorama das barragens de rejeito mineral dos estados do Pará e Amapá. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará, 63 p.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, EMPLASA – Empresa Metropolitana de Planejamento da Grande São Paulo 1990. Carta de aptidão física ao assentamento urbano, escala 1:50.000 – guia de utilização. São Paulo: IPT/ Emplasa.

Jansen, R.B. 1983. Dams and Public Safety. US Govt. Printing Office, US Bureau of Reclamation. Denver, USA, 332 p.

Macedo E.S. & Bressani L.A. (Org.). 2013. Diretrizes para o zoneamento da suscetibilidade, perigo e risco de deslizamentos para planejamento do uso do solo. São Paulo: ABGE; ABMS, 88 p.

Machado, M. F. & Silva, S. F. da (Orgs.) 2010. Geodiversidade do estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: CPRM. Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade, 94 p.

Oliveira, H. V. B. de, Vaz, L. F., Carneiro, C. D. R. 2013. Avaliação de Risco Geológico em barragens. São Paulo: Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (RBGEA) – Volume 3, nº1.

Pereira, G. M. 2020. Acidentes e rupturas de barragens de armazenamento de água. São Paulo: ABGE, 307p.

Rennó, C. D. et al. 2008. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM; mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. Remote Sensing of Environment, 112(9), pp. 3469-3481.

Stabile R.A., Ferreira A. L., Carvalho A. M. de, Siqueira, A.G., Bitar O. Y. 2013. Análise de fatores condicionantes de instabilizações em encostas como subsídio para a modelagem estatística da suscetibilidade a deslizamentos. In: In: ABGE, Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 14, Anais, Rio de Janeiro: CD-ROM.

Tominaga, L., Santoro, J., Amaral, R. (orgs.). 2009. Desastres naturais; conhecer para prevenir. São Paulo : Instituto Geológico, 196 p.



# WORKSHOP DE RISCO

# PANORAMA DA CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E DOS INSTRUMENTOS EXISTENTES NO BRASIL RELACIONADOS AO PLANEJAMENTO URBANO E À GESTÃO DE RISCO GEOLÓGICO E HIDROLÓGICO

OVERVIEW OF THE GEOTECHNICAL CARTOGRAPHY AND CURRENT INSTRUMENTS IN BRAZIL RELATED TO URBAN PLANNING AND GEOLOGICAL AND HYDROLOGICAL RISK MANAGEMENT

LEONARDO ANDRADE DE SOUZA

*Pesquisador Colaborador, Dr., CECS/PPGPGT/LabGRIS, Univ. Federal do ABC.  
Zemlya Consultoria e Serviços. leonardo@zemlya.com.br*

## RESUMO ABSTRACT

Este artigo tem por pressuposto reforçar a necessidade de ampliarmos as discussões sobre os instrumentos existentes no Brasil aplicados no planejamento urbano e gestão do risco. Atualmente os principais instrumentos que permeiam a tomada de decisões nos territórios municipais são os Planos Municipais de Redução de Risco (PMRR), os Mapas de Setorização de Riscos da CPRM, os Planos de Contingência, os Planos Preventivos de Defesa Civil e, mais recentemente, as Cartas de Perigo e Risco do Projeto GIDES. Soma-se a estes as Cartas Geotécnicas de Suscetibilidade e as Cartas de Aptidão à Urbanização, ainda sem metodologias de referência definidas. A partir de um panorama do que já foi elaborado no território nacional, um dos objetivos deste trabalho é trazer à luz uma discussão crítica dos instrumentos consolidados e definidos como obrigatórios pela Lei 12.608, voltados à gestão do risco e manejo dos desastres, com o intuito de se verificar a abrangência e aplicabilidade das informações e produtos que estão sendo gerados e entregues aos municípios brasileiros. A metodologia utilizada para a elaboração do PMRR não passou por quaisquer revisões desde a sua implantação, e os planos de contingência continuam sendo gerados sem a elaboração adequada dos cenários de risco. Os mapas de setorização do risco da CPRM estão, em sua maioria, desatualizados, mas continuam sendo utilizados pelos Ministérios Públicos para pressionar os municípios a tomarem ações relacionadas a obras e/ou remoções em massa. O Projeto GIDES propõe uma metodologia que não considera a variabilidade geológica-geotécnica como condicionan-

This work aims to reinforce the need to expand discussions on existing instruments in Brazil applied to urban planning and risk management. Currently, the main instruments used in decision-making in municipal territories are the Municipal Risk Reduction Plans (PMRR), the CPRM Risk Sector Maps, the Contingency Plans, the Civil Defense Preventive Plans and, more recently, the GIDES Project - Natural Disaster Risk Management. The Geotechnical Susceptibility Maps and the Geotechnical Maps for Urban Planning still have no defined reference methodologies. From an overview of what has already been prepared in the national territory, one of the aims of this work is to bring to light a critical discussion of consolidated instruments defined as mandatory by Law 12.608, aimed at risk management and disaster management, in order to check the scope and applicability of information and products that are being generated and delivered to Brazilian cities. The methodology used to elaborate the PMRR has not undergone any revisions since its implementation, and contingency plans continue to be generated without the adequate preparation of risk scenarios. The CPRM risk sector maps are, for the most part, out of date, but continue to be used by Public Prosecutors to pressure cities to take actions related to works and/or mass removals. The GIDES Project proposes a methodology that does not consider geological-geotechnical variability as a condition for the elaboration of scenarios, which goes against the geological-structural complexity of Brazil. The Geotechnical Maps for Urban Planning, on the



te para a elaboração dos cenários, o que vai de encontro com a complexidade geológico-estrutural do Brasil. Já as Cartas de Aptidão à Urbanização, essas ainda estão restritas a projetos de extensão/pesquisa e as cartas de suscetibilidades ainda não tiveram seu uso compreendido pelas administrações municipais.

**Palavras-chave:** Mapeamento, Planejamento Urbano, Gestão de Risco.

other hand, are still restricted to extension/research projects and the Geotechnical Susceptibility Maps have not yet been used by municipal administrations.

**Keywords:** Mapping, Urban Planning, Risk Management.

## 1 INTRODUÇÃO

Embora atualmente o percentual da população mundial urbana esteja em cerca de 50%, com crescimento de aproximadamente 750 milhões em 1950 para 3,6 bilhões de habitantes em 2011, a população urbana brasileira cresceu, em um período de 60 anos (entre 1950 e 2018) de 51 milhões para mais de 211,8 milhões de habitantes (IBGE, 2018). No ano de 1950, 36,2% da população brasileira vivia nas cidades, enquanto o censo de 1980 mostrou que este universo passou para 67,6%. No censo de 2010 (IBGE, 2010) 84,4% da população brasileira já se encontrava instalada nas cidades, confirmando as preocupantes tendências de concentração urbana no país.

O acelerado processo de adensamento populacional e a necessidade de expansão das áreas urbanas são realidades enfrentadas pela maioria das cidades brasileiras, que vêm sofrendo as consequências da deterioração do meio ambiente em função de atividades inadequadas nelas desenvolvidas.

Concomitantemente ao crescimento populacional, a recorrência de desastres naturais registrados em quase todo o planeta tem despertado, desde o final da década de 1980, a consciência da necessidade de se buscar soluções compartilhadas, o que levou a Organização das Nações Unidas (ONU) a instituir a década de 90 como a Década Internacional para a Redução dos Desastres Naturais (resolução 46/182, de 22 de dezembro de 1989), e a se dedicar pela continuidade do esforço internacional sob a denominação de Estratégia Internacional para a Redução de Desastres (EIRD), reestruturada e redirecionada para aprofundar questões relacionadas a maiores níveis de segu-

rança na convivência com os riscos, visto que a década de 90 foi fortemente marcada pelas análises dos processos destrutivos e de tecnologias para a avaliação, compreensão e minimização das suscetibilidades.

Uma das atividades desenvolvidas neste período foi a campanha de conscientização pública sobre cidades em risco (ODA, 1996), em complementação à Conferência Mundial sobre Assentamentos Humanos – HABITAT II, realizada em Istambul em 1996. Já em maio de 1994 foi realizada uma Conferência Mundial em Yokohama (Japão), na qual foi aprovado o documento “Estratégia de Yokohama para um Mundo mais Seguro: Diretrizes para Prevenção, Resposta e Mitigação de Desastres Naturais”, contendo um Plano de Ação (1994-2004). Uma segunda Conferência Mundial para a Redução de Desastres foi realizada em janeiro de 2005, em Kobe (Japão), logo após a grande catástrofe ocorrida na Ásia, que levou a comunidade científica, técnica e política a construir um conjunto de diretrizes que compõem o “Marco de Ação de Hyogo” para o decênio 2005-2015: “construindo a resiliência das nações e das comunidades aos desastres”, com o propósito de estimular a criação de Plataformas Nacionais para Redução de Riscos de Desastres (PNRRD). A terceira Conferência Mundial foi realizada em 2011, em Genebra, na Suíça. Em 2007 o Fórum das Américas sobre Leis e Normas para Redução de Desastres foi realizado no Panamá, no qual uma das avaliações foi que a produção e difusão de conhecimentos associado ao comprometimento político e institucional nos países mais vulneráveis, tem trazido resultados concretos, embora ainda descontínuos e insuficientes. Dando continuidade às ações definidas pelo Marco de Ação de Hyogo,

em 2015 foi definido na Assembleia do Escritório de Redução de Riscos de Desastres da ONU, realizada na cidade de Sendai, no Japão o Marco de Ação de Sendai, estabelecendo diretrizes para que os governos locais possam investir no desenvolvimento da resiliência. Como objetivos principais destaca-se a redução de riscos de desastres existentes e prevenir novos riscos por meio da implementação de medidas integradas e inclusivas em âmbito econômico, estrutural, legal, social, saúde, cultural, educacional, ambiental, tecnológico, político e institucional que previnam e reduzam a exposição ao risco e a vulnerabilidade a desastres, aprimorando a preparação para a resposta e para a recuperação e, conseqüentemente, fortalecendo a resiliência.

Cabe ressaltar como marco em relação à política pública brasileira, após décadas de crescimento desordenado e o aumento significativo de ocorrências de desastres naturais, a regulamentação da Lei Federal n.º 10.257, de 10 de julho de 2001, denominada Estatuto da Cidade, que estabelece normas de ordem pública e interesse social que regulam o uso da propriedade urbana em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar dos cidadãos, bem como do equilíbrio ambiental.

Após a regulamentação do Estatuto das Cidades destaca-se, no ano de 2003, a criação do Ministério das Cidades (MCID) e da Coordenação de Prevenção de Riscos vinculada à Secretaria Nacional de Programas Urbanos. A partir de então, a análise de risco deixou de ser exclusividade dos projetos acadêmicos ou de iniciativas individuais de algumas poucas cidades no Brasil, passando a se constituir como um embrião de uma política pública, pouco respaldada politicamente, mas capaz de desenvolver e implementar uma ação orçamentária denominada "Apoio à Prevenção de Riscos em Assentamentos Precários".

Já em 2012 abriu-se uma nova janela de oportunidades para a consolidação de uma gestão adequada do meio físico, de riscos e desastres no país, destacando-se a formulação do Plano Plurianual (PPA) 2012-2015, a nova política estabelecida pela Lei 12.340/10, que dispõe sobre o Sistema Nacional de Defesa Civil – SINDEC, e os recursos alocados para intervenções estruturadoras através do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC). Para o PPA 2012 – 2015, entre os Progra-

mas Temáticos e de Gestão, nos programas associados à gestão de riscos e respostas a desastres estabeleceu-se como principais metas a ampliação do conhecimento público sobre as áreas de risco nos municípios mais críticos, por meio do mapeamento da suscetibilidade geológica-geotécnica aos fenômenos de deslizamentos, inundações e enxurradas; do mapeamento de riscos nas áreas ocupadas; da definição de diretrizes para a ocupação urbana segura; e do monitoramento para reduzir a ocupação de áreas de maior fragilidade natural.

Ainda em 2012 destaca-se a decretação da Lei 12.608, que institui a Política, o Sistema e o Conselho Nacionais de Proteção e Defesa Civil e autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres, tratando destes de forma ampla e organizada, abrangendo a identificação e análise de riscos, as medidas estruturais e não-estruturais para mitigação e/ou solução de problemas, os sistemas de contingência, a capacitação e treinamento dos agentes de proteção e defesa civil e a obrigação da informação pública. A Lei determina a atuação articulada entre União, Estados e Municípios; a abordagem sistêmica; a prioridade às ações preventivas; a adoção da bacia hidrográfica como unidade de análise; o planejamento com base em pesquisas e estudos e a participação da sociedade civil, que os Estados e Municípios deverão identificar e mapear áreas de risco e realizar estudos de identificação de ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades.

Passados quase dez anos da decretação da Lei 12.608 muitos novos "mapas" de risco, suscetibilidade e aptidão foram elaborados no território nacional, mas nenhuma discussão ocorreu sobre o uso adequado das informações, sobre a aplicabilidade das informações geradas e correlação com planos diretores, planos de contingência, planos preventivos de defesa civil, entre outros e, principalmente, se o que foi estabelecido na Lei tem sido cumprido. Faltam análises sobre a participação da sociedade na elaboração dos mapeamentos como previsto em Lei, se os Estados e municípios avançaram na identificação e mapeamento de seus territórios e de suas áreas de risco geológico e hidrológico, se as ações preventivas estão sendo efetivamente desenvolvidas ou se estamos apenas gerando documentos para o cumprimento buro-

crático dos processos administrativos e/ou jurídicos. Esse artigo não tem a pretensão de responder todas essas questões em aberto, mas ao descrever resumidamente os instrumentos hoje existentes no território nacional e a forma como estes estão sendo aplicados amplia-se a percepção da necessidade de uma visão mais integrada do sistema e de um efetivo Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres.

## 2 CONTEXTUALIZAÇÃO

Remonta da década de 1980 o debate sobre a necessidade de o Governo Federal assumir de forma coordenada ações referentes ao ordenamento do território nacional, mas apenas em 1988, a Carta Magna estabeleceu, em seu Artigo 21, parágrafo IX: “*Compete à União elaborar e executar planos nacionais e regionais de ordenação do território e de desenvolvimento econômico e social*”. Para cumprir este preceito constitucional, em 1990 foi criada a Secretaria de Assuntos Estratégicos – SAE e, a ela subordinada, a Diretoria de Ordenação Territorial (DOT), cuja estratégia básica se concentrou na elaboração de planos de zoneamento ecológico-econômico (ZEE). Em 1999, mediante a Medida Provisória 1.795/99, a SAE foi extinta e as suas atribuições referentes ao ZEE transferidas para o Ministério do Meio Ambiente pela Medida Provisória 1.911-8/99, e em 2003, a Lei 10.683/03, que estabeleceu as atribuições de cada Ministério, conferiu a responsabilidade sobre o ordenamento territorial ao Ministério da Integração Nacional e ao Ministério da Defesa. A partir daí ainda se encontra em aberto a elaboração de uma proposta de Política Nacional de Ordenamento Territorial (PNOT).

A Gestão Ambiental e o Ordenamento Territorial são processos continuados de análise, decisão, organização das atividades, controle dos dados, cuja integração das etapas elencadas deve possibilitar a avaliação dos resultados visando à utilização dos recursos naturais com minimização dos impactos ambientais, a partir da formulação e implementação de políticas e ações efetivas que permitam vislumbrar as possíveis consequências futuras, em decorrência do uso dos recursos naturais, sejam elas positivas ou negativas. Planeja-

mento ambiental, assim, pode ser definido como um processo político, social, econômico e tecnológico, que deve possuir um caráter educativo e participativo, onde os agentes que representam a sociedade (políticos, líderes comunitários, representantes de instituições governamentais e civis, poder público federal, estadual e municipal) deverão escolher as melhores alternativas para a conservação dos recursos naturais, consoante com um desenvolvimento compatível e equilibrado com o ambiente.

Calderón e Segura (1996); Bonduki (1998, apud Carriço, 2002) destacam que, no fenômeno de urbanização, a intervenção antrópica é quase sempre geradora de problemas imediatos ou de médio prazo, seja pela inadequação ou não aptidão geotécnica das áreas ocupadas para o uso urbano, seja pela ocupação de áreas de menor valor imobiliário, e/ou pela instalação de bairros e assentamentos em áreas de proteção ambiental.

Um resgate histórico no Brasil, mesmo que breve, nos traz um panorama com a ocorrência de muitos desastres sócio naturais destacando-se entre outros, o do Vale do Paraíba do Sul (MG e RJ) em 1948 com 250 vítimas fatais; o de Caragatatuba (SP) em março de 1967 com pelo menos 120 vítimas; o da Serra das Araras (RJ) em janeiro de 1967 com, no mínimo, 1700 vítimas fatais; o de Vitória (ES) em 1985 com 93 vítimas e o de Petrópolis (RJ) em fevereiro de 1988, com 171 vítimas fatais registradas oficialmente. Mais recentemente, as inundações em novembro de 2008 e setembro de 2011 no Vale do Itajaí em Santa Catarina e em junho de 2010 na região Nordeste, as enxurradas e deslizamentos em janeiro de 2011 na região serrana do Rio de Janeiro, as cheias neste mesmo ano na Região Norte, a seca severa no Semiárido Nordeste em 2012, as inundações no Espírito Santo em 2013/2014, e as inundações e deslizamentos na Região Sudeste em 2019/2020.

Segundo o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (BRASIL, 2011), foram registrados no Brasil 31.909 desastres naturais no período 1991-2010, relacionados com as secas, inundações bruscas e graduais, vendavais, granizo, movimentos de massa, incêndios florestais, geadas, tornados e erosões linear, marinha e fluvial. Este levantamento foi baseado nos documentos da Secretaria Nacional de Defesa Civil – SEDEC, nas defesas

civis estaduais e do Distrito Federal, sendo certo que os registros devem estar subnotificados.

Ao mesmo tempo, de acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas Globais (IPCC), e o que aponta o primeiro Relatório de Avaliação Nacional (RAN1), lançado em 2013 pelo Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC), a temperatura média do planeta subiu 0,7°C ao longo do século 20, e esse aquecimento vem ocorrendo de maneira mais rápida nos últimos 25 anos. Em geral, espera-se uma elevação em torno de 4°C nas próximas décadas, o que vai desencadear várias alterações em todo o planeta, como mudança no regime das chuvas; elevação do nível do mar; e aumento na frequência de eventos climáticos extremos, como enchentes, tempestades, furacões e secas; além de interferir na agricultura e contribuir para o processo de desertificação. No Brasil, o clima ficará mais quente com aumento gradativo e variável da temperatura média em todas as regiões do país, e o regime de chuvas também vai mudar. As precipitações diminuirão significativamente em grande parte das regiões central, Norte e Nordeste do país e aumentarão nas regiões Sul e Sudeste.

Os números apresentados indicam a urgente necessidade das cidades incorporarem a cartografia geotécnica nos diagnósticos do meio físico (susceptibilidade, perigo, risco e aptidão) transversalmente à gestão pública, com a adoção de medidas (planejamento/zonamento urbano e rural) anteriormente à deflagração de processos geológicos e hidrológicos, a partir da previsão de condições potencialmente favoráveis à sua ocorrência, e para isso tem que haver o interesse político com uma forte coordenação de governo, sem abrir mão da participação indispensável da sociedade.

Condições geológicas, geomorfológicas, climáticas e a contínua expansão desordenada da urbanização levam a situações extremamente críticas por todo o planeta. No Brasil não é diferente e diversos fatores contribuem para a ocorrência dos desastres sócio naturais, tais como as características do relevo, que associados aos contextos geológicos favorecem a ocorrência natural de diferentes processos geológicos e hidrológicos. O processo de ocupação realizado de forma inadequada e sem nenhuma forma de planejamento que incorpore efetivamente as especificidades impostas

pelo meio físico, aumenta a vulnerabilidade das populações, bens e infraestrutura, promovendo uma combinação perigosa. Soma-se a esse contexto a atuação de sistemas atmosféricos distintos em diferentes épocas do ano, que além de deflagrarem os processos mencionados, ainda podem causar tornados, chuvas intensas e concentradas, granizos, secas e estiagens prolongadas, resultando em danos severos à sociedade.

A comunidade técnico-científica teve, durante as três últimas décadas, uma ação importante em relação à produção de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, com a realização de pelo menos um evento anual tratando a temática em Simpósios e Congressos nacionais nas áreas de Geologia e Geologia de Engenharia ou em eventos específicos, de caráter local, regional, nacional e internacional que, associados aos recorrentes desastres relacionados a deslizamentos e inundações, impulsionaram o desenvolvimento de inúmeros trabalhos e muitos procedimentos metodológicos, bem como o surgimento de centros produtores deste tipo de cartografia, tais como a Universidade Federal do Rio de Janeiro, a EESC-USP São Carlos, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, o Instituto Geológico (IG), a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, dentre outros, além da formação de importantes grupos de pesquisa, tendo como pioneiro o IPT (São Paulo), produzindo e irradiando conhecimentos técnicos de avaliação e gestão de risco, seguido por grupos no Rio de Janeiro (GEORIO), Recife (UFPE), Florianópolis (UFSC e CEPED-SC), Rio Claro (UNESP), Ouro Preto (UFOP) entre outros. A profusão de trabalhos, geralmente produtos de pesquisas acadêmicas e quase sempre desenvolvendo, testando ou adaptando procedimentos metodológicos, possibilitou o mapeamento de um considerável número de cidades e regiões.

A sequência de desastres a partir de 2008 impulsionou a elaboração de inúmeros trabalhos de mapeamento, além dos trabalhos associados ao meio acadêmico, a partir da criação de programas e sistemáticas envolvendo, principalmente, o Ministério das Cidades, o Ministério da Integração Nacional e agora o Ministério do Desenvolvimento Regional.

Com a criação do Ministério das Cidades em janeiro de 2003 e quase simultaneamente da



Coordenação de Prevenção de Riscos vinculada à Secretaria Nacional de Programas Urbanos, a identificação de risco deixou de estar relacionada exclusivamente aos projetos acadêmicos, ou a programas e ações isoladas de algumas cidades no Brasil. Em 17 anos de programa estabeleceu-se uma ação com alguma continuidade que, embora incipiente e pouco respaldada politicamente, foi capaz de desenvolver uma ação orçamentária denominada “Apoio à Prevenção de Riscos em Assentamentos Precários”. O ponto de partida foi um diagnóstico de aproximadamente 61 cidades com ocorrência de desastres e/ou vítimas fatais, o que possibilitou, naquele momento, a identificação de um primeiro cenário a ser considerado para o estabelecimento de prioridades em relação a realização da identificação e mapeamento de risco em escala de detalhe (1:2.500) de assentamentos precários em áreas de encostas e margens de rios, bem como a capacitação dos técnicos municipais ligados à defesa civil, a execução de obras e controle urbano e à elaboração de Planos Municipais de Redução de Risco – PMRR.

Outras ações relacionadas à identificação do risco foram realizadas pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM, o serviço geológico brasileiro, que ficou encarregada de delimitar as áreas com maior predisposição a problemas geológicos e hidrológicos em 286 cidades brasileiras até o final do ano de 2012, em caráter emergencial, para dar suporte ao monitoramento de riscos do CEMADEN e CENAD, sendo que o objetivo principal foi atingir 821 municípios até 2014.

A estas ações voltadas para a identificação dos riscos naturais somam-se as realizadas por três estados brasileiros.

No Estado do Rio de Janeiro o Núcleo de Análise e Diagnóstico de Escorregamento do Departamento de Recursos Minerais (DRM) avançou significativamente no seu programa de mapeamento do risco associado a deslizamentos, totalizando 85 municípios mapeados segundo a sua própria conceituação e metodologia até o ano de 2013.

No Estado do Espírito Santo por intermédio da Secretaria de Saneamento, Habitação e Desenvolvimento Urbano – SEDURB concluiu-se em 2014 a execução do Plano Diretor de Águas Pluviais/Fluviais (PDAP), do Plano Municipal de Redução de Risco Geológico (PMRR) e de Proje-

tos de Engenharia para 17 Municípios do Estado, com a formulação de estratégias, diretrizes e procedimentos para ampliar o conhecimento sobre os processos geodinâmicos visando, consequentemente, reduzir os riscos e minimizar o impacto relacionado aos desastres.

Já no Estado de São Paulo a identificação do risco iniciou-se na década de 1980, quando o Governo Estadual criou, em Cubatão, a Comissão de Restauração da Serra do Mar, que montou um primeiro sistema de gestão e monitoramento que propiciou os estudos de correlação chuva x deslizamentos desenvolvidos pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo – IPT (Tatizana *et al.*, 1987), sendo o instrumento mais representativo implantado em 1988, com o nome de Plano Preventivo de Defesa Civil – PPDC, para os municípios da Baixada Santista e Litoral Norte do estado de São Paulo. Atualmente, o PPDC em São Paulo está atuante em 177 municípios, sob a coordenação da Defesa Civil Estadual. Em 2020 o Governo de São Paulo, por meio do Instituto Geológico (IG) e com o apoio da Defesa Civil, entregou o mapeamento de risco para as áreas suscetíveis a desastres relacionados a inundações, escorregamentos e erosões, a 38 municípios. Os estudos fazem parte do “Programa Transporte, Logística e Meio Ambiente – Projeto Transporte Sustentável de São Paulo (PTLMA)”, implementado pelo Departamento de Estradas de Rodagem (DER/SP) e foram financiados pelo The World Bank (Banco Mundial) e o componente “Aumento da resiliência do Estado para desastres naturais”

### 3 INSTRUMENTOS DE AVALIAÇÃO, REDUÇÃO E GESTÃO DE RISCO GEOLÓGICO E HIDROLÓGICO

Atualmente, pode-se afirmar que os principais instrumentos existentes no Brasil envolvendo, mesmo que parcialmente, o planejamento, a avaliação, gerenciamento e/ou a gestão do risco são os Planos de Contingência, os Planos Municipais de Redução de Risco (PMRR), os Mapas de Setorização de Riscos do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), os Planos Preventivos de Defesa Civil, as Cartas de Suscetibilidade e de Aptidão à Urbanização e, mais recentemente, os Mapas de

Perigo e Risco do Projeto de Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Riscos em Desastres Naturais (GIDES), fruto de um acordo de cooperação firmado entre os governos do Brasil e do Japão.

### 3.1 Plano de Contingência – PLANCON

O Plano de Contingência – PLANCON é um instrumento previsto na Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC, Lei 12.608/12. Funciona como um planejamento da resposta e por isso, deve ser elaborado fora de períodos críticos, quando são definidos os procedimentos, ações e decisões que devem ser tomadas na ocorrência do desastre. Nesse contexto, a PNPDEC atribui a responsabilidade pela execução do Plano de Contingência aos Municípios. Aos Estados e União cabe a função de apoiar a execução local, a exemplo da criação, pelo governo federal, de um módulo específico de registro dos planos no Sistema Integrado de Informações sobre Desastres – S2iD. A legislação vigente aborda, de forma prática, alguns aspectos relacionados aos Planos de Contingência. De modo geral, há citações em duas leis, a 12.608/2012, e a Lei 12.340/2010 (alterada pela primeira e pela Lei 12.983/2014), que dispõe sobre o Sistema Nacional de Defesa Civil – SINDEC, da qual se pode extrair conceitos relacionados à elaboração e ao conteúdo mínimo para os Planos de Contingência.

Embora obrigatórios e imprescindíveis para o manejo adequado dos desastres, na prática, este instrumento tem sido construído pelos municípios apenas para cumprimento de sua obrigatoriedade, descolados das realidades locais. Um percentual elevado de planos não possui a adequada delimitação dos cenários dos riscos (geológicos, hidrológicos e outros), o que se reflete diretamente na sua concepção, objetivos e operação, dificultando e por vezes impossibilitando a realização de ações de prevenção e preparação, bem como o entendimento e aceitação por parte da sociedade dos alertas emitidos. É importante reconhecer que o Sistema Integrado de Informações sobre Desastres S2iD, que é a plataforma do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil que integra diversos produtos da Sedec, é um avanço na direção

da transparência à gestão de riscos e desastres no Brasil, por meio da informatização de processos e disponibilização de informações sistematizadas. Entretanto, o que se percebe na prática é que o Módulo PLANCON – Planos de Contingência Municipais (ferramenta informatizada para a elaboração dos planos de contingência) que compõe a estrutura do S2iD embora descrito como um instrumento para um planejamento tático, ainda carece de discussões mais aprofundadas sobre a qualidade das informações geradas nos territórios municipais. O sistema conta hoje com mais de 18.600 usuários ativos, distribuídos em 4.766 municípios do país, refletindo um descolamento preocupante entre o número de municípios inseridos no sistema e a realidade no que se refere a existência de planos de contingência aderentes às realidades municipais. Outro ponto que merece destaque é a impossibilidade de se acessar o plano de contingência de um município a partir da Plataforma, o que impede de se atender um dos preceitos fundamentais da gestão do risco que é a publicização das informações e a promoção da autoproteção.

### 3.2 Plano Municipal de Redução de Risco – PMRR

O Plano Municipal de Redução de Risco é um instrumento enquadrado tecnicamente nas Políticas Públicas de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres do Governo Federal, principalmente no que indica os programas e ações de prevenção e mapeamento do antigo Ministério das Cidades, hoje Ministério do Desenvolvimento Regional. A sua elaboração engloba importantes discussões sobre o reconhecimento dos processos geológicos e hidrológicos mais recorrentes nos territórios municipais, e como devem ser aplicadas as técnicas de identificação, classificação, monitoramento e prevenção de riscos nas áreas urbanas. Tem como um dos seus objetivos fortalecer a gestão urbana nos setores sujeitos a fatores de riscos, investindo no conhecimento do problema para que técnicos e gestores municipais assumam uma postura mais proativa que lhes permita, juntamente com a participação ativa das comunidades envolvidas, a montagem plena de um sistema municí-

pal de gerenciamento e gestão do risco geológico e hidrológico. Entre os instrumentos existentes é o único que é executado na escala de detalhe e que envolve a participação dos técnicos municipais e da população em sua construção. Entretanto, até o ano de 2020, 17 anos após a criação do instrumen-

to, não mais do que 150 municípios brasileiros conseguiram de alguma forma elaborar na íntegra o seu PMRR retratando a dificuldade de disseminação e/ou execução desse instrumento (Tabelas 1 a 6). Ressalta-se, também, que nenhuma revisão metodológica ocorreu desde a sua implantação.

**Tabela 1.** Municípios com Plano Municipal de Redução de Risco - PMRR nos estados de Alagoas, Ceará e Pernambuco.

MUNICÍPIO	UF	MUNICÍPIO	UF
Maceió	AL	Itapissuma	PE
Fortaleza	CE	Jaboatão dos Guararapes	PE
Abreu e Lima	PE	Olinda	PE
Cabo De Santo Agostinho	PE	Paulista	PE
Camaragibe	PE	Recife	PE
Igarassu	PE	São Lourenço Da Mata	PE
Ipojuca	PE	Natal	RN

**Tabela 2.** Municípios com Plano Municipal de Redução de Risco - PMRR no estado do Espírito Santo.

MUNICÍPIO	UF	MUNICÍPIO	UF
Afonso Cláudio	ES	Marechal Floriano	ES
Alegre	ES	Mimoso Do Sul	ES
Aracruz	ES	Santa Leopoldina	ES
Bom Jesus Do Norte	ES	Santa Maria De Jetibá	ES
Castelo	ES	Santa Teresa	ES
Colatina	ES	Serra	ES
Domingos Martins	ES	Rio Novo Do Sul	ES
Guaçuí	ES	Vargem Alta	ES
Ibatiba	ES	Viana	ES
Iconha	ES	Vila Velha	ES
João Neiva	ES	Vitória	ES

**Tabela 3.** Municípios com Plano Municipal de Redução de Risco – PMRR no estado de Minas Gerais.

MUNICÍPIO	UF	MUNICÍPIO	UF
Além Paraíba	MG	Mariana	MG
Barbacena	MG	Matozinhos	MG
Belo Horizonte	MG	Muriaé	MG
Betim	MG	Nova Lima	MG
Brumadinho	MG	Pedro Leopoldo	MG
Caeté	MG	Poços De Caldas	MG
Cataguases	MG	Ponte Nova	MG
Caratinga	MG	Raposos	MG
Contagem	MG	Ribeirão Das Neves	MG
Coronel Fabriciano	MG	Rio Acima	MG
Governador Valadares	MG	Sabará	MG
Ibirité	MG	Santa Luzia	MG
Ipatinga	MG	Timóteo	MG
Itabira	MG	Vespasiano	MG
Juiz De Fora	MG		

**Tabela 4.** Municípios com Plano Municipal de Redução de Risco – PMRR no estado do Rio de Janeiro.

MUNICÍPIO	UF	MUNICÍPIO	UF
Angra dos Reis	RJ	Nova Friburgo	RJ
Barra Mansa	RJ	Paraíba do Sul	RJ
Belford Roxo	RJ	Paraty	RJ
Campos dos Goytacazes	RJ	Paty do Alferes	RJ
Cantagalo	RJ	Petrópolis	RJ
Carmo	RJ	São Gonçalo	RJ
Comendador Levy Gasparian	RJ	São Joao De Meriti	RJ
Duque De Caxias	RJ	Sapucaia	RJ
Marica	RJ	São Sebastião do Alto	RJ
Miracema	RJ	Teresópolis	RJ
Niterói	RJ	Três Rios	RJ

**Tabela 5.** Municípios com Plano Municipal de Redução de Risco – PMRR nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

MUNICÍPIO	UF
Caxias Do Sul	RS
Santa Maria	RS
Blumenau	SC
Criciúma	SC
Florianópolis	SC
Jaraguá Do Sul	SC



**Tabela 6.** Municípios com Plano Municipal de Redução de Risco - PMRR no estado de São Paulo.

MUNICÍPIO	UF	MUNICÍPIO	UF
Aparecida	SP	Jundiaí	SP
Arujá	SP	Limeira	SP
Bom Jesus Dos Perdões	SP	Mauá	SP
Caieiras	SP	Osasco	SP
Campos Do Jordão	SP	Piquete	SP
Caraguatatuba	SP	Poá	SP
Carapicuíba	SP	Ribeirão Pires	SP
Cubatão	SP	Rio Grande da Serra	SP
Cunha	SP	Santana de Parnaíba	SP
Diadema	SP	Santo André	SP
Embu Das Artes	SP	Santos	SP
Francisco Morato	SP	São Bernardo Do Campo	SP
Franco Da Rocha	SP	São Jose Dos Campos	SP
Guarujá	SP	São Sebastião	SP
Guarulhos	SP	São Paulo	SP
Itapeçerica Da Serra	SP	São Vicente	SP
Itapevi	SP	Sumaré	SP
Itápolis	SP	Suzano	SP
Itaquaquecetuba	SP	Taboão Da Serra	SP
Jacareí	SP	Vargem Grande Paulista	SP
Jandira	SP		

### 3.3 Plano Preventivo de Defesa Civil (PPDC)

O Plano Preventivo de Defesa Civil (PPDC) é um instrumento implantado pelo Governo do Estado de São Paulo (Decreto Estadual nº 30.860 de 04/12/1989, redefinido pelo Decreto Estadual nº 42.565 de 01/12/1997), específico para deslizamentos nas encostas da Serra do Mar, tendo por objetivo principal evitar a ocorrência de mortes, com a remoção preventiva e temporária da população que ocupa as áreas de risco, antes que os deslizamentos atinjam suas moradias. Implantado desde 1988, o PPDC entra em operação anualmente (de 1º de dezembro até 31 de março), na chamada Operação Verão, com coordenação da Defesa Civil Estadual e apoio técnico do Instituto Geológico e do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo. Posteriormente foi ampliado e implantado em 177 municípios do Estado, envolve ações de monitoramento dos índices pluviométricos e da previsão meteorológica,

vistorias de campo e atendimentos emergenciais. Como acontece com os Planos de Contingência, na prática e em grande parte dos municípios, ocorrem problemas na delimitação dos cenários de riscos geológicos e hidrológicos, o que pode ser associado às dificuldades de estruturação, qualificação e continuidade administrativa das equipes municipais de Defesa Civil, que é um problema em todo o país. Entretanto, a metodologia proposta para a sua elaboração e o apoio técnico fornecido pelo IPT e pelo IG é um avanço importante quando comparado aos Planos de Contingência pelo suporte técnico qualificado prestado, o que não se replica em nenhum outro estado brasileiro.

### 3.4 Setorização de Riscos – CPRM

Os Mapas de Setorização de Riscos foram fruto de ação uma emergencial onde o Serviço Geológico do Brasil – CPRM ficou encarregado de

delimitar as áreas com maior predisposição a problemas geológicos e hidrológicos em 286 cidades brasileiras até o final do ano de 2012, em caráter emergencial, para dar suporte ao monitoramento de riscos do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden) e Cen-

tro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD), sendo que o objetivo principal foi atingir 821 municípios até 2014. Até meados do ano de 2021 a setorização do risco foi realizada em 1609 municípios brasileiros abrangendo os 26 estados brasileiros (Tabela 7).

**Tabela 7.** Número de municípios por estado com setorização de risco da CPRM. Fonte: CPRM, 2021.

UNIDADE FEDERATIVA	N.º DE MUNICÍPIOS MAPEADOS	UNIDADE FEDERATIVA	N.º DE MUNICÍPIOS MAPEADOS
Acre (Ac)	22	Paraíba (Pb)	40
Alagoas (Al)	31	Paraná (Pr)	48
Amapá (Ap)	08	Pernambuco (Pe)	88
Amazonas (Am)	62	Piauí (Pi)	46
Bahia (Ba)	87	Rio De Janeiro (Rj)	06
Ceará (Ce)	69	Rio Grande Do Norte (Rn)	28
Espírito Santo (Es)	78	Rio Grande Do Sul (Rs)	57
Goiás (Go)	27	Rondônia (Ro)	52
Maranhão (Ma)	88	Roraima (Rr)	05
Mato Grosso (Mt)	20	Santa Catarina (Sc)	295
Mato Grosso Do Sul (Ms)	22	São Paulo (Sp)	119
Minas Gerais (Mg)	193	Sergipe (Se)	29
Pará (Pa)	74	Tocantins (To)	15

Por ser uma ação emergencial, entre outras questões técnicas relacionadas ao instrumento, o resultado prático obtido com as primeiras setorizações foi a definição das áreas que devem ser cartografadas na escala de detalhe para a delimitação do risco nos municípios mapeados, em programas específicos para esta finalidade, impedindo assim o uso das informações geradas para uma gestão efetiva dos riscos.

Entretanto, o que merece mais destaque é o fato de os resultados gerados pela setorização do risco pela CPRM, mesmo estando, por vezes, em escalas inadequadas e já se encontrarem defasados, têm sido utilizados pelos Ministérios Públicos Municipais e Estaduais, por meio de ações judiciais e Termos de Ajustamento de Conduta (TAC), para pressionarem os municípios na realização de intervenções estruturais e/ou remoções em massa. Além disso, as informações geradas desde o ano de 2012 são disponibilizadas para o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN, e para o Centro

Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres – CENAD e dão suporte à emissão de avisos e alertas meteorológicos, independente de quando tenham sido geradas.

### 3.5 Cartas de Perigo – CPRM

O Projeto de Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Riscos em Desastres Naturais (GIDES) é fruto de um acordo firmado entre os governos do Brasil e do Japão, como parte do esforço para o gerenciamento integrado de riscos de desastres naturais ocasionados por movimentos gravitacionais de massa, tais como deslizamentos planar e rotacional, fluxo de detritos e queda de blocos. O acordo foi firmado em 2013 por intermédio de *Japan International Cooperation Agency* (JICA) e Agência Brasileira de Cooperação (ABC), com a participação de diversos órgãos do governo brasileiro. Como resultado dessa cooperação, foram produzidos seis manuais técnicos, com os quais se objetiva auxiliar as ad-

ministrações estaduais e municipais na preparação de estratégias de atuação frente a desastres e situações de emergência vivenciadas pela população. Foram elaboradas Cartas de Perigo e Risco em 5 municípios brasileiros até o ano de 2021 (Tabela 8). Embora recente, com lançamento oficial dos resultados no segundo semestre do ano de 2018, por se tratar de um projeto que visa sua replicação em todo o território nacional seria oportuna a ampliação dentro do meio técnico da discussão sobre a metodologia proposta diante das especificidades do meio físico de cada um dos estados brasileiros.

**Tabela 8.** Municípios com Cartas de Perigo do Projeto GIDES. Fonte: CPRM, 2021.

MUNICÍPIO	UF
Braço do Norte	SC
Guaramirim	SC
Herval D'Oeste	SC
Rio do Sul	SC
Santo Amaro da Imperatriz	SC

### 3.6 Cartas Geotécnicas de Suscetibilidade

Entende-se aqui por suscetibilidade a potencialidade de processos geológicos (movimentos gravitacionais de massa, inundações/enchentes/alagamentos, corridas, erosões, assoreamento, subsidências e colapsos, processos costeiros, sistemas induzidos etc.) causarem transformações do meio físico, independentemente de suas consequências para as atividades humanas (Sobreira e Souza, 2012). Neste caso, a possibilidade de ocor-

rência de processos geodinâmicos está condicionada pela predisposição natural do meio físico ao seu desenvolvimento, podendo em alguns casos ter como um elemento adicional às práticas de uso e ocupação do solo. Assim, estudos de suscetibilidade destacam um ou mais fenômenos naturais e o comportamento dos terrenos frente ao uso do solo pretendido. Nos estudos de suscetibilidade devem ser avaliados os processos que podem ocorrer em áreas mais abrangentes e com agentes deflagradores de maior magnitude, independentemente da ocupação destas áreas, buscando avaliações mais gerais dos terrenos quanto ao seu comportamento frente aos processos envolvidos e representando os resultados em cartas. Têm caráter eminentemente orientativo e são mais eficazes no planejamento urbano e ordenamento territorial em um nível mais macro, buscando indicar as áreas mais propícias para os diversos usos e ocupações, assim como as restrições existentes nos demais locais. A Carta Geotécnica de Suscetibilidade é uma leitura do meio físico obrigatória desde o Estatuto das Cidades (Lei 10.257, de 10 de Julho de 2001) devendo sempre ser incorporada na elaboração e/ou revisão dos Planos Diretores Municipais bem como outros instrumentos que envolvam o diagnóstico do meio físico. O serviço geológico do Brasil elaborou e/ou contratou desde o ano de 2012, 526 cartas de suscetibilidade em cumprimento ao Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais (Tabela 9). Entretanto, centenas de outras cartas têm sido elaboradas no território nacional quando da elaboração e/ou revisão de Planos Diretores Municipais, bem como em projetos acadêmicos.

**Tabela 9.** Número de municípios por Estado com Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações elaboradas e/ou contratadas pela CPRM.

UNIDADE FEDERATIVA	N.º DE MUNICÍPIOS MAPEADOS	UNIDADE FEDERATIVA	N.º DE MUNICÍPIOS MAPEADOS
Acre (AC)	01	Paraíba (PB)	00
Alagoas (AL)	07	Paraná (PR)	08
Amapá (AP)	03	Pernambuco (PE)	23
Amazonas (AM)	01	Piauí (PI)	04
Bahia (BA)	07	Rio De Janeiro (RJ)	92
Ceará (CE)	07	Rio Grande Do Norte (RN)	01
Distrito Federal (DF)	00	Rio Grande Do Sul (RS)	10
Espírito Santo (ES)	78	Rondônia (RO)	05
Goiás (GO)	01	Roraima (RR)	01
Maranhão (MA)	07	Santa Catarina (SC)	98
Mato Grosso (MT)	01	São Paulo (SP)	104
Mato Grosso Do Sul (MS)	01	Sergipe (SE)	00
Minas Gerais (MG)	43	Tocantins (TO)	06
Pará (PA)	18		

Cabe ressaltar que a avaliação da suscetibilidade é um problema complexo, multivariado e que envolve extrapolação de dados locais para áreas maiores. Esta prática envolve um alto grau de incerteza, principalmente em relação ao processo de classificação e graduação da suscetibilidade. Nesse sentido a elaboração de uma Carta de Suscetibilidade deve ser entendida como algo muito além de sua mera concepção, a partir da aplicação de uma metodologia pré-estabelecida. O município além de receber a carta deve ser capacitado para entender detalhadamente o seu significado e, principalmente, suas limitações.

Os métodos denominados “qualitativos” e “quantitativos relativos” atuais, de previsão de suscetibilidade baseados em elementos geológico/geomorfológicos são subjetivos, pouco precisos e de difícil transporte automático de um local para outro. Os métodos baseados em critérios “históricos” dependem de um período bastante extenso de observações e que nada garante que locais sem histórico anterior não venham a ter algum processo geodinâmico em um determinado momento. Os métodos “absolutos” (determinísticos) atualmente empregados para avaliação de estabilidade de taludes, ainda são impraticáveis como método de uso intensivo para essa mesma finalidade, em razão da impossibilidade de dis-

por-se dos dados básicos de uma enorme quantidade de encostas naturais.

### 3.7 Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização

Com a promulgação da Lei nº 12.608/2012 tornou-se obrigatório para os municípios a execução de um conjunto de ações que compreendem quatro eixos de atuação: Prevenção, Mapeamento, Resposta e Sistema de Monitoramento e Alerta. No eixo Mapeamento, o Ministério do Desenvolvimento Regional é responsável pelo apoio aos municípios para a elaboração de cartas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais, instrumento de planejamento urbano que visa fornecer subsídios para que os novos projetos de parcelamento do solo incorporem diretrizes voltadas para a prevenção dos desastres, especialmente aqueles associados a deslizamentos de encostas, enxurradas, corridas de massa, inundações e processos hidrológicos e geológicos correlatos. Trata-se, assim, de um instrumento novo cujas metodologias de análise ainda estão em fase de discussão e consolidação.

A aptidão à urbanização pode ser definida como a capacidade dos terrenos para suportar os diferentes usos e práticas da engenharia e do

urbanismo, com o mínimo de impacto possível e com o maior nível de segurança (Sobreira e Souza, 2012). Sua análise parte do mapeamento, caracterização e integração de atributos do meio físico que condicionam o comportamento deste frente às solicitações existentes ou a serem impostas (implantação de infraestrutura e acesso a serviços urbanos, melhorias habitacionais, parcelamento do solo, consolidações geotécnicas, regularização fundiária etc.). As cartas geotécnicas de aptidão devem sempre considerar que será necessária uma abordagem posterior integrada dos diagnósticos dos eixos físico-ambiental (aptidão geotécnica à urbanização), urbanístico, jurídico-legal e socioeconômico-organizativo das áreas alvo das análises e para tal, os estudos com estes objetivos devem ser feitos em escala de detalhe e com suporte de dados quantitativos quando necessário. O resultado destes estudos deve estar representado cartograficamente de forma direta para os

usuários (públicos e privados), indicando as potencialidades e restrições das áreas no perímetro urbano dos municípios e em zonas de futura ocupação (expansão urbana).

Entre os anos de 2012 e 2021 foram elaboradas aproximadamente 70 cartas de aptidão à urbanização municipais, sendo que a maior parte vinculada a projetos de extensão e/ou pesquisa (Tabela 10). Embora seja um instrumento obrigatório estabelecido pela Lei 12.608 que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC e pelo Decreto Nº 10.692, de 3 de Maio de 2021, que institui o Cadastro Nacional de Municípios com Áreas Suscetíveis à Ocorrência de Deslizamentos de Grande Impacto, Inundações Bruscas ou Processos Geológicos ou Hidrológicos Correlatos, este instrumento ainda não teve seu uso compreendido pelas administrações municipais, além de não possuir uma metodologia de referência estabelecida que permita sua elaboração.

**Tabela 10.** Municípios no Brasil com Cartas de Aptidão à Urbanização até o ano de 2020. Fonte: CPRM, 2021.

MUNICÍPIO	UF	MUNICÍPIO	UF
Manaus	AM	José Boiteux	SC
Caucaia	CE	Luiz Alves	SC
Vila Velha	ES	Navegantes	SC
Cataguases	MG	Nova Trento	SC
Ervália	MG	Nova Veneza	SC
João Monlevade	MG	Palhoça	SC
Juiz de Fora	MG	Presidente Getúlio	SC
Manhuaçu	MG	Rio Fortuna	SC
Nova Lima	MG	Rodeio	SC
Ouro Preto	MG	São José	SC
Além Paraíba	MG	Santo Amaro da Imperatriz	SC
Teresina	PI	Taió	SC
Guapimirim	RJ	Tijucas	SC
Itaboraí	RJ	Timbó	SC
Magé	RJ	Tubarão	SC
Valença	RJ	Caieiras	SP
Igrejinha	RS	Cananéia	SP
Alfredo Wagner	SC	Cajamar	SP
Águas Mornas	SC	Conchas	SP
Antônio Carlos	SC	Itapecerica da Serra	SP
Araranguá	SC	Itapevi	SP
Balneário Camboriú	SC	Mauá	SP
Biguaçu	SC	Mairiporã	SP
Blumenau	SC	Monteiro Lobato	SP



MUNICÍPIO	UF	MUNICÍPIO	UF
Botuverá	SC	Praia Grande 2016	SP
Brusque	SC	Rio Grande da Serra	SP
Camboriú	SC	Ribeirão Pires	SP
Criciúma	SC	Santana de Parnaíba	SP
Florianópolis	SC	Santa André	SP
Gaspar	SC	São Bernardo do Campo	SP
Governador Celso Ramos	SC	Abreu e Lima	PE
Ilhota	SC	Cabo de Santo Agostinho	PE
Itapema	SC	Camaraçibe	PE
Itajaí	SC	Ipojuca	PE
Ituporanga	SC	Jaboatão dos Guararapes	PE

Ressalta-se em relação a cartografia geotécnica que, embora a análise de suscetibilidade estabeleça a indicação de áreas mais adequadas para a ocupação e outras com restrições, a metodologia e escala de análise não permitem o detalhamento que se deve ter na orientação da ocupação urbana propriamente dita (sistemas de espaços públicos e privados – áreas de convívio coletivo, equipamentos comunitários, centros comerciais, vias veiculares, vias de pedestre, espaço construído e sistema de circulação, espaço construído e equipamentos urbanos, sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário, etc.), por isso a importância de cartografias específicas voltadas para a definição da aptidão à urbanização.

#### 4 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

A cartografia geotécnica no Brasil já atingiu um nível de excelência no domínio das técnicas e procedimentos de mapeamento, gerando produtos finais dos mais diversos, tanto por questões metodológicas, como por particularidades locais do meio físico em estudo, quanto por questões relacionadas aos materiais e recursos disponíveis. Entretanto, embora existam dezenas de metodologias propostas para análises de suscetibilidade, perigo, risco e aptidão, na prática, estas possuem aplicações localizadas, ou cujos resultados não permitem ou não são utilizados para uma gestão efetiva dos problemas.

Nos últimos anos alguns pesquisadores têm trabalhado com a possibilidade de se gerar bancos de dados digitais confiáveis e representativos na

tentativa de obter correlações mais quantitativas e/ou objetivas, orientadas por “parâmetros estatísticos ou semi-estatísticos”, com o intuito de facilitar e agilizar os trabalhos que envolvem análise e o zoneamento de suscetibilidade, perigos e riscos. Entretanto, essas tentativas continuam esbarrando em alguns óbices, que vão desde o emprego correto dos conceitos e a aplicação de métodos adaptados da literatura internacional, passando pela abrangência e replicabilidade dos procedimentos, bem como do processo de validação dos resultados.

O que é possível afirmar é que, independentemente da proposta metodológica, o zoneamento das áreas sujeitas à ocorrência de eventos perigosos dependerá, ainda por um longo tempo, do conhecimento especialista. Para alcançarmos resultados aderentes à realidade ainda dependemos destes para o levantamento dos atributos que influenciam na predisposição e deflagração dos fenômenos; para a avaliação e delimitação da variação espacial das condições dos terrenos e a distribuição espacial dos problemas; para a avaliação das interferências impostas pela ação antrópica, seja como indutora dos processos geológico e hidrológicos, seja minimizando a possibilidade de ocorrência dos processos; para atendimentos qualificados de emergência em períodos de chuva, e remoção de famílias e/ou a construção dos sistemas de monitoramento sistemático nos municípios, entre outras ações.

Ao mesmo tempo em que tem pontos positivos a diversidade de metodologias e instrumentos obrigatórios traz, também, algumas dificuldades

quando se quer realizar uma análise mais geral ou se comparar situações em diferentes partes do país.

O que se percebe atualmente é que, além da dificuldade de se ampliar a elaboração dos Planos Municipais de Redução de Risco no território nacional, a multiplicidade de instrumentos, que poderiam e deveriam ser complementares, acaba por dificultar a construção de efetivos programas de gestão de risco nos municípios. Os planos municipais de redução de risco não abrangem adequadamente as ações para manejo dos desastres e, ao mesmo tempo, os Planos de Contingência e Preventivos de Defesa Civil não abrangem a geração dos cenários de risco necessários para o seu funcionamento. É discutível o uso dos mapas de setorização de risco da CPRM para a efetiva gestão do risco geológico e hidrológico nos territórios municipais. Não há por parte do Governo Federal quaisquer correlações entre os instrumentos existentes, somando-se a isso as deficiências técnicas e estruturais das equipes municipais e estaduais para o funcionamento efetivo desses instrumentos.

Uma análise crítica sobre como as cartas geotécnicas de suscetibilidade, aptidão, perigo e risco têm sido geradas e aplicadas no Brasil enquanto política pública é premente, objetivando uma maior padronização dos procedimentos adotados nos diversos níveis (regional, local e de detalhe), o estabelecimento de bases mínimas para os mapeamentos e, principalmente, que tipo de produto se pretende ter e quem será o usuário direto.

A análise crítica deve se dar, inicialmente, pela correlação entre os preceitos metodológicos dos Planos Municipais de Redução de Risco, Planos de Contingência, Planos Preventivos de Defesa Civil, Mapas de Setorização do Risco da CPRM, Cartas de Suscetibilidade, de Perigo e de Aptidão à Urbanização, e os resultados dos produtos entregues e utilizados pelos municípios. Também é necessário entender como e se os municípios brasileiros que geraram ou receberam os instrumentos supracitados o utilizam no seu dia a dia. Os usuários diretos da cartografia geotécnica precisam ser consultados sobre a aplicabilidade dos instrumentos no dia a dia dos municípios (técnicos das secretarias municipais e técnicos de defesas civis), para a verificação de como os ins-

trumentos estão sendo utilizados no funcionamento dos municípios (planejamento urbano e rural, processos de fiscalização e monitoramento de áreas de risco, remoções preventivas e definitivas de moradores, proposição e execução de obras estruturais, convivência com o risco, capacitação e conscientização de moradores etc.). Essa aproximação entre aqueles que elaboram a cartografia (inclusive em relação aos trabalhos acadêmicos) e os que a utilizam é preponderante para que seja possível avaliar se os objetivos centrais dos instrumentos atualmente existentes estão sendo alcançados, ou se os produtos vêm sendo utilizados apenas para cumprimento da legislação.

Cartas geotécnicas não devem estar associadas, apenas, a soluções de engenharia e intervenções estruturais, mas, também, a propostas de ações não estruturais subsidiando instrumentos de planejamento, ordenamento e gestão do território.

Esforços devem ser feitos no sentido de se caminhar para uma padronização dos instrumentos. O fato é que iniciativas bem-sucedidas como os Planos Municipais de Redução de Risco e os Planos Preventivos de Defesa Civil só puderam ser implementados a partir do momento que se estabeleceu a padronização de procedimentos, tornando-os mais facilmente replicáveis e exequíveis pelas municipalidades e instâncias públicas responsáveis. Levando-se em conta que o planejamento urbano e a gestão de riscos são de responsabilidade e financiados quase que exclusivamente pelo Estado (órgãos federais, estaduais e municipais), esta uniformização torna-se imprescindível no momento.

A relevância da ampliação das discussões envolvendo os atuais instrumentos aplicados no território nacional para a gestão dos territórios passa pelo entendimento da necessidade de revisão das metodologias, já que o crescimento desordenado dos municípios nas últimas décadas somado ao não controle e ordenamento da expansão urbana atual, e à certeza absoluta da continuidade, recorrência e ampliação dos eventos pluviométricos intensos, resultará, ainda, por um longo tempo, na ocorrência de desastres sócio naturais.

Se quisermos um futuro com menos danos associados aos desastres sócio naturais precisamos começar a responder algumas perguntas que

já deveriam estar respondidas destacando-se entre elas: Qual o tempo de validade de uma carta geotécnica? A metodologia dos instrumentos é adequada aos objetivos propostos? A metodologia dos instrumentos existentes é clara e compreendida pelos técnicos municipais? A escala dos mapas gerados e cenários de risco são adequadas aos usos pretendidos e empregados pelos municípios? Os técnicos municipais participam efetivamente da construção dos instrumentos? A sociedade é envolvida na construção dos instrumentos? As equipes técnicas municipais estão capacitadas para a utilização dos instrumentos técnicos gerados e entregues?

As respostas ajudarão na construção de programas e sistemáticas mais adequados às realidades municipais, uniformizando procedimentos, formas de representação, escalas e produtos, bem como a proposta de um instrumento que integre os Processos de Conhecimento e Redução do Risco, e Manejo dos Desastres com vistas a uma efetiva gestão dos territórios municipais.

Sem o entendimento da forma de uso e validade dos instrumentos existentes os profissionais da área são instados a reavaliarem áreas já cartografadas em resposta a Ações Cíveis Públicas (que geralmente cobram remoções ou providências imediatas), Termos de Ajustamento de Conduta (entre Ministérios Públicos e municípios e entre municípios e proprietários de áreas particulares residenciais e comerciais), Compromissos de Anuência Corretiva – CAC (loteamentos) e emergências/sinistros relacionados a ocorrências pontuais de movimentos de massa.

Embora os eventos catastróficos como os ocorridos no Brasil chamem a atenção e comovam a população e autoridades, uma real política de redução de riscos e das consequências dos eventos naturais passa por medidas preventivas e, principalmente, de planejamento urbano e ordenamento territorial, considerando aqui o quadro atual da grande maioria das cidades brasileiras, o que amplia à necessidade de se discutir o uso adequado da cartografia geotécnica de suscetibilidade, perigo, risco e aptidão à urbanização.

Para se pensar em gestão integrada e no desenvolvimento dos municípios, dos Estados e do País, o planejamento das ações de recuperação e melhoria dos ambientes urbanos e rurais, bem

como a demanda habitacional terão que necessariamente considerar os riscos ambientais como um dos elementos indispensáveis de análise e intervenção. Assim, os diagnósticos geoambientais e as cartas geotécnicas ganharão cada dia mais importância, desde que executados em escalas adequadas, devendo ser incorporados aos diversos instrumentos de planejamento que envolvam o meio físico.

As cidades precisam incorporar os diagnósticos do meio físico transversalmente à gestão pública, com a adoção de medidas preventivas anteriormente à deflagração de processos geológicos e hidrológicos, a partir da previsão de condições potencialmente favoráveis à sua ocorrência, e para isso tem que haver uma forte coordenação de governo, ações intersecretariais e a participação efetiva da sociedade. Planejamento urbano, ordenamento territorial e gestão de risco sem a participação do cidadão só existe no papel.

## REFERÊNCIAS

ASSEMBLÉIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE SÃO PAULO. DECRETO Nº 30.860, DE 04 DE DEZEMBRO DE 1989. Dispõe sobre a aprovação e implantação do Plano Preventivo de Defesa Civil Específico para Escorregamentos nas Encostas do Mar. São Paulo, 1989.

ASSEMBLÉIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE SÃO PAULO. DECRETO Nº 42.565, DE 01 DE DEZEMBRO DE 1997. Redefine o Plano Preventivo de Defesa Civil – PPDC específico para Escorregamentos nas Encostas da Serra do Mar, e dá outras providências. São Paulo, 1997.

BRASIL Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 1979, 11 p.

BRASIL. Lei n. 6.938 de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2 set. 1981, p. 16509.

BRASIL. Constituição 1988: Texto Constitucional de 5 de outubro de 1988 com alterações adotadas pelas Emendas Constitucionais nº 1/92 a 26/00 e Emendas Constitucionais de Revisão números 1 a 6/94. Brasília: Senado Federal – Subsecretaria de Edições Técnicas, 2000.

BRASIL. Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997a. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 9 jan. 1997a.

BRASIL. Câmara dos Deputados. MEDIDA PROVISÓRIA Nº 1.795, DE 1º DE JANEIRO DE 1999. Altera dispositivos da Lei nº 9.649, de 27 de maio de 1998, que dispõe sobre a organização da Presidência da República e dos Ministérios, e dá outras providências. Brasília: MP, 1999.

BRASIL. Câmara dos Deputados. MEDIDA PROVISÓRIA Nº 1.911-8, DE 29 DE JULHO DE 1999. Altera dispositivos da Lei nº 9.649, de 27 de maio de 1998, que dispõe sobre a organização da Presidência da República e dos Ministérios, e dá outras providências. Brasília: MP, 1999.

BRASIL. Presidência da República. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília, 2001.

BRASIL. Presidência da República. Lei nº 10.683, de 28 de maio de 2003. Dispõe sobre a organização da Presidência da República e dos Ministérios, e dá outras providências. Brasília, 2003.

BRASIL. Ministério das Cidades. 2004. Critérios para mapeamento de riscos. Programa de Prevenção e Erradicação de Riscos, Secretaria de Programas Urbanos.

BRASIL. Ministério das Cidades / Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios / Celso

Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura, organizadores – Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007.

BRASIL. Presidência da República. Lei nº 12.340, de 1º de dezembro de 2010. Dispõe sobre as transferências de recursos da União aos órgãos e entidades dos Estados, Distrito Federal e Municípios para a execução de ações de prevenção em áreas de risco de desastres, de resposta e de recuperação em áreas atingidas por desastres, sobre o Fundo Nacional para Calamidades Públicas, Proteção e Defesa Civil e dá outras providências. Brasília, 2010.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Secretaria de Planejamento e Investimentos Estratégicos. Orientações para elaboração do Plano Plurianual 2012-2015. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Secretaria de Planejamento e Investimentos Estratégicos. – Brasília: MP, 2011. 72p.: il. color.

BRASIL. Câmara dos Deputados. Legislação Lei n. 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC. Dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil – SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil – CONPDEC. Autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres. Brasília, 2012.

BRASIL. Lei 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2012, 34 p.

BRASIL. Presidência da República. Lei Nº 12.983, de 2 de Junho de 2014. Altera a Lei nº 12.340, de 1º de dezembro de 2010, para dispor sobre as transferências de recursos da União aos órgãos e entidades dos Estados, Distrito Federal e Municípios para a execução de ações de prevenção em áreas de risco e de resposta e recuperação em áreas atingidas por desastres e sobre o Fundo Nacional para Calamidades Públicas, Proteção e Defesa Civil, e as Leis nºs 10.257, de 10 de julho de 2001, e 12.409, de 25 de maio de 2011, e revoga dispositivos da

Lei nº 12.340, de 1º de dezembro de 2010. Brasília, 2014.

BRASIL. DECRETO Nº 10.692, DE 3 DE MAIO DE 2021. Institui o Cadastro Nacional de Municípios com Áreas Suscetíveis à Ocorrência de Deslizamentos de Grande Impacto, Inundações Bruscas ou Processos Geológicos ou Hidrológicos Correlatos. Brasília, DF, 2021.

órn, A.I. e Segura, D.S.B. 1996. Riscos sócio-ambientais: a complexidade do caso paulistano. Debates sócio-ambientais. CEDEC, São Paulo, n.4, p.3-5.

Carricho, J.M. 2002. Legislação urbanística e segregação espacial nos municípios centrais da Região Metropolitana da Baixada Santista. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo – Mestrado em Estruturas Ambientais Urbanas, São Paulo. 234p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Resultados do censo 2010.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Resultados do censo 2018.

ODA – Overseas Development Administration (Main sponsor). 1996. *Making cities safer. before disaster strikes. Stop Disasters*, n.28.

Sobreira, F. G., Souza, L. A. 2012. Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, São Paulo, n. 2, p. 79-97.

Tatizana C., Ogura A.T., Cerri L.E.S., Rocha M.C.M. 1987. Análise de Correlação entre Chuvas e Escorregamentos – Serra do Mar, Município de Cubatão. In: ABGE, Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 5, *Anais*, p. 225-236.

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Centro Universitário de Estudos e Pesquisas Sobre Desastres (CEPED). 2012. Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: 1991-2010. Vol. Brasil. Florianópolis: CAD UFSC.



# PANORAMA DOS RISCOS GEOLÓGICOS NO CENTRO OESTE

## OVERVIEW OF GEOLOGICAL RISKS IN THE MIDWEST REGION

RODRIGO LUIZ GALLO FERNANDES  
VIVIAN ATHAYDES CANELLO

*Pesquisadores em Geociências – Serviço Geológico do Brasil – Superintendência  
Regional de Goiânia – Goiânia – GO – Brasil*

*Email: rodrigo.fernandes@cprm.gov.br /vivian.fernandes@cprm.gov.br*

### RESUMO ABSTRACT

O presente artigo tem como objetivo apresentar os resultados da setorização de risco geológicos e hidrológicos nos estados de Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, realizados pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM, ao longo dos 10 últimos anos, devido à implantação da lei 12.608. O artigo apresenta o panorama dos trabalhos realizados nestes estados, as cidades setorizadas, as causas e o número de pessoas afetadas pelos riscos, de forma sucinta, a fim de nortear o leitor acerca das setorizações de risco no Centro Oeste.

**Palavras-chave:** risco geológico, deslizamento, inundação, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul

This article aims to present the results of geological and hydrological risk sectorization in the states of Goiás, Mato Grosso and Mato Grosso do Sul, carried out by the Geological Service of Brazil - CPRM, over the last 10 years, due to the implementation of the law 12,608. The article presents an overview of the work carried out in the states, the sectorized cities, the causes and number of people affected by risks, in a succinct manner, in order to guide the reader about the risk sectors in the Midwest.

**Keywords:** geological risk, landslide, flood, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, diversos eventos naturais flagelaram o país, ocasionando diversos desastres decorrentes desses eventos. De acordo com a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE), os eventos naturais que mais atingiram o Brasil estão classificados como eventos Geológicos – Movimentação de Massa, que incluem quedas, tombamentos e rolamentos de blocos, deslizamentos, corridas de massas, subsidências e colapsos e todas as erosões (costeiro-marinha, de margem fluvial e continental) e os eventos hidrológicos que englobam as inundações, as enxurradas e os alagamentos. Segundo o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais de 1991 a 2010 (UFSC-CE-

PED, 2012), a porcentagem de mortes em eventos geológicos e hidrológicos entre os anos de 1991 a 2010 alcança 20,64% nos eventos geológico e 61,82% nos eventos hidrológicos, indicando que esses são as maiores causas de mortes por desastres no país.

A lei 12.608/2012 que instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC, em seu artigo 6º inciso IV, “compete à União apoiar os Estados, o Distrito Federal e os Municípios no mapeamento das áreas de risco”. Dessa forma, o Serviço Geológico do Brasil – CPRM, empresa do governo federal ligada ao Ministério de Minas e

Energia, foi convocada a partir de novembro de 2011, a realizar os mapeamentos das áreas de risco englobando o mapeamento, a descrição e a classificação de áreas de risco geológico alto e muito alto em municípios de todas as unidades da federação selecionados pelas Defesas Cíveis Nacional e Estaduais.

A implantação da Lei 12.608 foi motivada pelos diversos desastres naturais que ocorreram em anos anteriores, como as chuvas intensas em Santa Catarina no ano de 2008, eventos em Alagoas e Pernambuco em 2010, e os mega-desastres na Região Serrana do Rio de Janeiro em 2011. De acordo com Nogueira et al., 2014, os avanços formalizados no aparato legal trouxeram consigo, entretanto, os desafios relacionados à sua operacionalização, já que ainda que a PNPDEC preveja a ação articulada entre os entes federados, o próprio arranjo federativo brasileiro dificulta a cooperação intergovernamental, somando-se a isso o perfil de boa parte dos municípios brasileiros, em especial os de menor porte: fragilidade institucional e baixa capacidade econômica e burocrática para cumprir as exigências de grande parte das políticas públicas nacionais. Diante deste contexto, devido ao seu corpo técnico especializado, o Serviço Geológico do Brasil foi convocado a realizar os mapeamentos das áreas de risco conforme já supracitados.

Ao longo desses dez anos, os trabalhos realizados no Centro-Oeste foram feitos pela Superintendência Regional de Goiânia e São Paulo. No estado de Goiás foram levantados 27 municípios, sendo três cidades já revisitadas. Em Mato Grosso, 20 cidades já foram mapeadas pela CPRM, destas seis ressetorizadas, e em Mato Grosso do Sul, 22 cidades, com três cidades revisitadas.

## 2 OBJETIVO

O objetivo da setorização de risco é identificar, caracterizar e delimitar locais urbanizados propensos a sofrerem perdas materiais e/ou humanos ou danos, decorrentes de eventos de natureza geológica ou hidrológica, para subsidiar os administradores públicos a cerca de decisões relacionadas às políticas de prevenção de desastres, ordenamento territorial e engenharia urbana.

Como objetivos específicos, podemos destacar alguns pontos, que são:

- a. Gerar e difundir as informações técnicas a respeito de áreas em risco, a nível nacional, para alimentar o banco de dados das instituições ligadas às ações de monitoramento e alerta de desastres (CENAD, CEMADEM, Defesa Cível Estadual);
- b. Subsidiar aos responsáveis, critérios para a disponibilização de recursos públicos destinados às obras de prevenção e respostas aos desastres naturais;
- c. Alimentar os órgãos de fiscalização voltados ao controle e inibição da expansão de áreas de risco, no âmbito estadual e municipal;
- d. Fazer o indicativo geral de intervenção para a orientação de implantação de práticas voltadas a prevenção de desastres;
- e. Desenvolvimento de documentos cartográficos (cartas e mapas), e relatórios técnicos em linguagem clara e acessível, para alcançar e difundir as questões de risco para o público em geral, de forma mais abrangente possível.

## 3 CONCEITOS

Para o melhor entendimento do artigo, nesse capítulo iremos definir alguns conceitos básicos acerca de risco e desastres naturais. Os conceitos foram baseados nos entendimentos dos seguintes autores: Macedo et al. (2013), Santos (2012), Tomimaga (2012).

**Evento:** Fenômeno com características, dimensões e localização geográfica registrada no tempo.

**Risco:** Probabilidade de ocorrer um efeito adverso de um processo sobre um elemento, sendo qualificado como a relação entre perigo e vulnerabilidade pressupondo sempre a perda.

**Risco geológico:** Relação entre a probabilidade de ocorrência de um evento adverso de natureza geológica e a magnitude de suas consequências socioeconômicas.

**Perigo:** Uma condição com potencial para causar consequência indesejável, em um intervalo de tempo.

**Suscetibilidade:** Relação à propensão ou potencialidade natural de ocorrer um evento do meio físico em uma determinada área.

**Desastres naturais:** Resultados do impacto de fenômenos naturais extremos ou intensos sobre um sistema social, causando sérios danos e prejuízos que excedem a capacidade da comunidade ou da sociedade atingida em conviver com o impacto.

**Vulnerabilidade:** Conjunto de fatores físicos, sociais, ambientais, econômicos e institucionais que condicionam a magnitude do dano do meio exposto à determinada ameaça delimitado no espaço e no tempo. Corresponde à predisposição a sofrer danos ou perdas.

**Área de Risco:** Área passível de ser atingida por processos naturais e/ou induzidos que causem efeito adverso. As pessoas que habitam essas áreas estão sujeitas a danos à integridade física, perdas materiais e patrimoniais.

**Talude natural:** Superfície natural inclinada, sem alterações em sua geometria provocadas pela ação humana.

**Talude de corte:** Superfície inclinada decorrente da ação antrópica (escavação ou aterro).

**Movimentação de massa:** deslocamentos descendentes de solo, rochas ou detritos sob a ação da força da gravidade.

**Enxurrada:** Escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte.

**Enchente:** Elevação do nível de água no canal de drenagem devido ao aumento da vazão, atingindo a cota máxima no canal, sem extravasamento.

**Inundação:** Transbordamento das águas de um curso de água, atingindo a planície de inundação ou a área de várzea.

**Erosão:** Processo de desagregação e remoção de partículas do solo ou de fragmentos e partículas de rochas por ação combinada da gravidade com a água, vento, gelo e/ou organismos.

**Erosão laminar:** Erosão causada pelo escoamento uniforme pela superfície do terreno, transportando partículas de solo, sem a formação de canais definidos.

**Erosão linear:** erosão causada pela concentração do escoamento superficial e de fluxo de água em forma de filetes. A evolução da erosão linear dá origem a três tipos de erosão, em ordem de grandeza, sulco, ravinas e voçorocas.

## 4 METODOLOGIA

As setorizações de áreas de risco geológico são realizadas em áreas urbanizadas, com presença de população em habitações. Têm por finalidade a identificação, a delimitação e a caracterização de áreas ou setores de uma encosta ou planície de inundação sujeitas à ocorrência de processos destrutivos de movimentos de massa, enchentes de alta energia e inundações.

Os trabalhos das setorizações de risco podem ser divididos em três etapas, sendo a primeira consistindo nas atividades anteriores às atividades de campo, onde são levantadas informações prévias sobre as características geológicas do município, histórico de ocorrência de desastres naturais, feições indicativas de instabilização de taludes e encostas, ou outras informações úteis para o desenvolvimento do trabalho. Em caso de ressetorização há também o levantamento e estudo do antigo relatório, para análise e programação da etapa de campo, para que a mesma possa abranger os antigos setores de risco, além dos novos que a defesa civil local possa apresentar. Nessa etapa também é realizado o contato com a Defesa Civil Municipal, durante o qual são coletadas informações pertinentes ao trabalho de mapeamento de risco, assim como verificada a disponibilidade de acompanhamento em visitas nas áreas que apresentam risco geológico.

A segunda etapa do trabalho abrange as atividades de campo nas áreas onde, segundo a defesa civil municipal, há histórico de ocorrência de desastres naturais ou naquelas áreas onde existem situações de risco. Essa etapa é realizada com o acompanhamento de um agente ou responsável pela defesa civil local, para que seja feito o reconhecimento regional dos problemas apresentados. Nesta etapa também ocorre a transferência de conhecimento entre os pesquisadores do Serviço Geológico do Brasil e os responsáveis pela defesa civil local, onde os pesquisadores podem explici-

tar, em campo, os problemas apontados, questões geológicas, de geotecnia e de risco geológico.

Nos locais visitados são analisadas visualmente as características geológicas e geotécnicas do terreno, além de ser realizado o levantamento do histórico local e das ocorrências de processos e indícios de instabilização de taludes ou encostas (relatos de moradores) e, especialmente nos casos de enchentes e inundações, é verificada a frequência dos eventos nos últimos cinco anos. No caso de maciço de solo, são observados os indícios de processos desestabilizadores do terreno, como trincas em muros, paredes e pisos, trincas no terreno, depressão de pavimentos, inclinação e tombamento de muros, postes e árvores, deformação de muros de contenção e outros elementos que sugerem a deformação e/ou deslocamento do terreno, geomorfologia da encosta, atributos do(s) talude(s) e do maciço, aterro lançado, escoamento de águas pluviais e de águas servidas, presença de feição erosiva, tipo de vegetação, lixo, lançamento de esgoto, existência de blocos de rocha. No caso dos locais verificados para o fenômeno de inundações e enchentes, é verificada a propensão da área para os eventos estudados e, em caso positivo, são analisadas as características do curso de água e a extensão de atingimento das cheias.

Em se tratando de maciço rochoso, são observadas as propriedades das descontinuidades, número, geometria e tamanho de blocos dispostos nas porções superiores da encosta, aspectos relacionados à presença e tipo de vegetação, indícios de processos desestabilizadores do terreno, geomorfologia da encosta e atributos dos taludes.

Durante os levantamentos de campo, foram feitos registros fotográficos, anotações e marcação de pontos visitados com auxílio de aparelho de posicionamento global (GPS), levantamentos de altura dos taludes com trenas eletrônicas e hipsômetro.

O mapeamento e setorização dos riscos são realizados de acordo com a classificação proposta pelo Ministério das Cidades (Brasil, 2004) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 2007), onde os graus de risco são determinados conforme a presença de indícios, onde o grau pode variar de risco baixo (R1), até risco muito alto (R4). Por se tratar de trabalho emergencial, foi definido que somente setores de risco alto (R3) e muito alto (R4) eram mapeados em trabalhos de campo. Os indícios de movimentação de massa e inundação, de acordo com seu grau de risco, podem ser observados na tabela 1 e 2.

**Tabela 1.** Classificação dos graus de risco para movimentação de massa. (Adaptado de Brasil, 2004 e 2007 e IPT, 2007).

Grau de risco	Descrição
R1 Baixo	Não há indícios de desenvolvimento de processos destrutivos em encostas e margens de drenagens. Mantidas as condições existentes, não se espera a ocorrência de eventos destrutivos.
R2 Médio	Observa-se a presença de alguma(s) evidência(s) de instabilidade (encostas e margens de drenagens), porém incipiente(s). Mantidas as condições existentes, é reduzida a possibilidade de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas.
R3 Alto	Observa-se a presença de significativa(s) evidência(s) de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, etc.). Mantidas as condições existentes, é perfeitamente possível a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas.
R4 Muito Alto	As evidências de instabilidades (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, trincas em merádis ou em muros de contenção, árvores ou postes inclinados, cicatrizes de escorregamento, feições erosivas, proximidade da moradia em relação ao correjo, etc.) são expressivas e estão presentes em grande número e/ou magnitude. Mantidas as condições existentes, é muito provável a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas e prolongadas.



**Tabela 2.** Classificação dos graus de risco para enchentes e inundações. (Adaptado de Brasil, 2004 e 2007 e IPT, 2007).

Grau de risco	Descrição
R1 Baixo	Drenagem ou compartimentos de drenagem sujeitos a processos com baixo potencial de causar danos. Baixa frequência de ocorrência (sem registros de ocorrências nos últimos cinco anos).
R2 Médio	Drenagem ou compartimentos de drenagem sujeitos a processos com médio potencial de causar danos. Média frequência de ocorrência (registro de uma ocorrência significativa nos últimos cinco anos).
R3 Alto	Drenagem ou compartimentos de drenagem sujeitos a processos com alto potencial de causar danos. Média frequência de ocorrência (registro de uma ocorrência significativa nos últimos cinco anos) e envolvendo moradias de alta vulnerabilidade.
R4 Muito Alto	Drenagem ou compartimentos de drenagem sujeitos a processos com alto potencial de causar danos. Alta frequência de ocorrência (pelo menos três eventos significativos em cinco anos) e envolvendo moradias com alta vulnerabilidade.

A terceira etapa, após a etapa de campo para a coleta de dados, consiste na definição e descrição de áreas de risco geológico alto e muito alto, onde cada área é denominada Setor de Risco, e para cada um desses setores é confeccionada uma prancha. A prancha é identificada por um código, possuindo uma breve descrição, os nomes do bairro e rua(s) que compõem o setor, o mês e ano de sua conclusão, a coordenada GPS de um ponto de referência local, a tipologia do movimento de massa ou informação da ocorrência de enchente ou inundação, número aproximado de construções e habitantes no interior do polígono delimitado, sugestões de intervenção, o grau de risco, os nomes da equipe executora do trabalho, imagens que representam o setor de risco, uma figura central na qual é representada a delimitação do setor, circundada por fotografias menores obtidas em campo. Tais fotografias são indicadas por números sequenciais cuja localização é inserida na imagem central. Nessa etapa também é redigido o relatório técnico, contendo informações relativas ao mapeamento de risco do município.

É importante salientar que todas as áreas visitadas são áreas que são indicadas pelo responsável local da Defesa Civil, e no caso das ressetoriza-

ções, além dessas, as áreas apresentadas no antigo relatório.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Estado de Goiás

No estado de Goiás, até março de 2021, já foram setorizadas 27 cidades, sendo elas, Acreúna, Alexânia, Anápolis, Aparecida de Goiânia, Baliza, Bela Vista de Goiás, Bonfinópolis, Caldas Novas, Caldazinha, Ceres, Formosa, Goiânia, Cidade de Goiás, Itumbiara, Itajá, Jataí, Lagoa Santa, Mineiros, Novo Gama, Pirenópolis, Quirinópolis, Rio Verde, Santa Helena de Goiás, Santa Rita do Araguaia, Senador Canedo Silvânia e Uruaçu. Dessas cidades, três já foram revisitadas para a ressetorização, sendo Uruaçu em 2018 e Anápolis e Formosa em 2019.

Dessas 27 cidades visitadas, sete cidades não apresentaram problemas relativos ao mapeamento realizado pelo Serviço Geológico do Brasil, na data da visita. Em 2013 foram realizadas vistorias nas cidades de Baliza e Itumbiara, onde as defe-



sas civis municipais informaram que não haviam incidentes registrados nas respectivas cidades até a data da visita. Já em 2015 foram visitadas as cidades de Rio Verde e Acreúna. Não foram verificadas áreas de risco enquadradas no mapeamento de risco realizado pelo Serviço Geológico do Brasil. Em Acreúna, apenas alguns locais próximo ao Ribeirão do Veredão apresentaram problemas devido à insuficiente gestão das águas pluviais, assim como em Rio Verde, que também apresentava alguns pontos atingidos por alagamentos provenientes também da má gestão das drenagens pluviais.

Em 2018, as cidades de Bela Vista de Goiás, Bonfinópolis e Caldazinha foram mapeadas pelo SGB e não apresentaram áreas de risco. O muni-

cípio de Bela Vista de Goiás mostrou ter apenas um setor de acompanhamento, com uma pequena erosão marginal no córrego Ponte de Terra (**Figura 1**). Bonfinópolis apresentou dois pontos de interesse de monitoramento, sendo o primeiro um ponto de erosão marginal ao lado do lago de recreação do município, erosão essa causada devido à intensa impermeabilização do entorno do local e má gestão das drenagens urbanas, não estando relacionado a áreas de risco, e o outro ponto estando relacionado com enxurrada ao lado da via férrea que percorrer a área urbana do município (**Figura 2**). A cidade de Caldazinha, também não apontou setores de risco aplicados na metodologia, tendo apenas dois pontos de observação relacionados à enxurrada.



**Figura 1.** Local de pequena erosão marginal na cidade de Bela Vista de Goiás, 2018 (Fernandes et al, 2018).



**Figura 2.** A- Local de pequena erosão próximo ao lago de recreação da cidade de Bonfinópolis e, B- local de enxurrada ao lado da linha férrea, 2018 (Fernandes et al), 2018.



Com relação às cidades setorizadas, os principais eventos notados nas cidades foram eventos de erosões e inundações. Em Alexânia, em visita realizada em 2014, foram setorizados dois locais

com tipologia de eventos de erosão. Tais erosões foram desenvolvidas devido à ausência de drenagens pluviais aliados à geomorfologia da cidade (**Figura 3**).



**Figura 3.** Erosões que atingiram a área urbana da cidade de Alexânia, 2014 (Fernandes et al, 2014).

As cidades de Jataí, Itajá, Lagoa Santa, Mineiros, Quirinópolis, Santa Helena de Goiás e Santa Rita do Araguaia foram vistoriadas em 2015, tendo apresentado um setor de risco cada, na tipologia de inundação. Ao todo essas cidades tinham 220 residências em área de risco e 883 pessoas (**Figuras 4 a 6**).



**Figura 4.** Local de atingimento por inundações na cidade de Quirinópolis, 2015 (Melo et al, 2015).



**Figura 5.** Local de atingimento por inundações na cidade de Mineiros, 2015 (Melo et al, 2015).



**Figura 6.** Local de atingimento por inundações na cidade de Jataí, onde em eventos a água podia alcançar 2,00 mts, 2015 (Melo et al, 2015).



Com relação às cidades atingidas por outras tipologias, podemos citar as cidades de Novo Gama e Silvânia, cidades essas atingidas por eventos de erosões. Novo Gama apresentava dois setores atingidos pelas erosões em cabeceira de drenagens, essas em atividade na data da visita, em 2013, devido a má gestão das águas pluviais (Figura 7). Em Silvânia, dos nove setores cadastrados no momento da vistoria, cinco foram de erosões, dos quais podemos citar locais com ero-

sões devido ao antigo garimpo de ouro na cidade, como as áreas localizadas nas ruas Rui Barbosa e 18, e bairro Maria de Lourdes. As outras erosões de Silvânia são antigas erosões reativadas devido à má gestão de água pluvial, aliada à falta de gestão territorial (Figura 8). Em Novo Gama, 18 residências e 76 pessoas estavam afetadas pelas áreas de risco, e em Silvânia, na data da vistoria, 216 residências e 864 pessoas estavam em áreas de risco no município.



Figura 7. Local atingido por erosões na cidade de Novo Gama, 2013 (Vieira Junior et al, 2015).



Figura 8. Residência próxima ao rebordo erosivo, com lançamento de água servida, e residência próxima a erosão ativa, Silvânia 2017 (Fernandes et al, 2017).

As cidades de Aparecida de Goiânia e Goiânia, por serem as maiores cidades do estado, consequentemente apresentaram os maiores núme-

ros de setores de áreas de risco. Em Aparecida de Goiânia os números de locais em risco geológico e hidrológico eram de 18, no ano de 2017, sendo

destes 9 setores de erosão, 8 de deslizamento planares solo-solo e apenas 1 setor de inundação, e Goiânia apresentavam 24 setores em 2016, dos quais 12 setores foram enquadrados na tipologia de inundação, 9 na tipologia de erosão e 3 de movimentos de massa.

Na cidade de Aparecida de Goiânia, os desastres notados durante o mapeamento dos riscos foram os diversos pontos de deslizamento planar solo-solo ocasionado devido à falta de gestão

construtiva da cidade, já que nesses pontos, tais problemas foram ocasionados devido ao método construtivo de corte-aterros realizados de forma errônea pelos cidadãos (**Figuras 9 e 10**).

Mais uma vez, cabe salientar que os problemas de erosões apontados no município são decorrentes da falta de gestão das águas pluviais, ausências de drenagens urbanas adequadas e impermeabilização descontrolada das cabeceiras de drenagens da cidade.



**Figura 9.** Típico local de corte aterro, ocasionando movimentação de solo planar de solo-solo em Aparecida de Goiânia, 2017 (Fernandes et al, 2017).



**Figura 10.** Erosão marginal ocasionando problemas a moradia próximas, Rua das Mangueiras, Setor Retiro dos Bosques, Aparecida de Goiânia, 2017 (Fernandes et al, 2017).

Já em Goiânia, as tipologias se dividem, sendo doze áreas afetadas por inundação, nove por erosões e três por movimento de massa. Tais problemas são diretamente causados por intensa im-

permeabilização do solo, falta de planejamento acerca do controle das águas pluviais e o aumento do volume de chuvas são alguns dos fatores que contribuem para as áreas de risco (**Figuras 11 e 12**).





**Figura 11.** Locais atingidos por inundações em eventos de 2016, Goiânia, 2016 (Fernandes et al, 2016).



**Figura 12.** Erosão marginal atingindo residências, Jardim América, Goiânia, 2016 (Fernandes et al, 2016).

As cidades de Anápolis, Formosa e Uruaçu tiveram os trabalhos de setorização de risco refeitos, no ano de 2019 e 2018 sucessivamente. A cidade de Uruaçu, que foi visitada pela primeira vez no ano 2013, e revisitada em 2018, deixou de ter setor de risco, devido à análise e classificação pelos técnicos do SGB. Já a cidade de Formosa, que em 2013 tinha quatro setores de risco, passou a ter oito em 2019, mantendo os quatro já existentes e quatro novos.

A cidade de Anápolis apresentou uma grande evolução na questão de risco geológico e hidrológico. Em 2014 a cidade tinha três setores de risco, sendo que em 2019 passou a ter 23 setores.

Esse elevado número de setores entre cinco anos podem ser considerados devido à evolução da defesa civil municipal nos quesitos de riscos, uma melhor compreensão do assunto e melhor acompanhamento em campo dos eventos anuais. Em 2019, Anápolis apresentava 13 setores de erosões, nove setores de movimentação de massa e um setor de inundação. Esse fato é observado devido à ocupação desenfreada nas margens dos córregos da cidade, em áreas de APP, e a impermeabilização das cabeceiras das drenagens, o que resulta no aumento do volume e velocidade de águas nas bacias de drenagens, ocasionando diversos pontos de erosões marginais (**Figuras 13 e 14**).





**Figura 13.** Erosão marginal atingindo residências, Ruas Padre Anchieta e Joaquim Sebastião, Bairro Santa Maria de Nazareth, Anápolis, 2019 (Fernandes et al, 2019).



**Figura 14.** Local de movimentação de solo em situação de corte-aterro, Rua Doze, Bairro Morumbi, Anápolis, 2019 (Fernandes et al, 2019).

Ao todo o estado de Goiás apresenta 2.937 moradias em situação de risco, com 10.624 pessoas na mesma situação, distribuídos em 113 setores ao longo das 27 cidades mapeadas.

## 5.2 Estado de Mato Grosso

O estado de Mato Grosso teve 20 cidades contempladas com a visita dos técnicos do SGB, sendo elas, Água Boa, Barra dos Bugres, Barra do Garças, Colniza, Comodoro, Confressa, Cuiabá, Feliz Natal, Nova Bandeirantes, Nova Canaã do Norte, Nova Olímpia, Paranatinga, Peixoto do Azevedo, Santa Terezinha, Santo Antônio

do Leverger, São José do Rio Claro, Sinop, Sorriso, Várzea Grande e Vila Rica. Dessas 18 cidades visitadas, oito não apresentaram setores de risco: Água Boa, Confressa, Feliz Natal, Nova Bandeirantes, Nova Canaã do Norte, Peixoto do Azevedo, São José do Rio Claro e Vila Rica. Em alguns casos, essas cidades sequer apresentavam algum problema de risco geológico ou hidrológico, ou em outros casos, os problemas não se encaixavam no projeto de setorização. Das dez cidades restantes, as principais tipologias apresentadas foram as inundações e enchentes, estando presentes praticamente em todas as cidades setorizadas e ressetorizadas. As cidades de Barra de Bugres, Colniza,

Sinop e Várzea Grande, que foram visitadas apenas uma vez só, apresentaram em sua totalidade a tipologia de enchentes ou inundações. Já as cidades de Nova Olímpia, Paranatinga e Santo Antô-

nio do Leverger foram vistoriadas duas vezes, no ano de 2013 e 2019, e também expuseram em seu município apenas problemas relacionados a risco hidrológicos (Figuras 15 e 16).



Figura 15. Locais atingidos por enchente, Várzea Grande, 2018 (Silva et al, 2018).



Figura 16. Locais atingidos por enchente, Santo Antônio do Leverger, 2019 (Silva et al, 2019).



As cidades de Santa Terezinha e Sorriso apresentaram tipologia mista em seus setores, como

setores de inundação e deslizamento no caso de Sorriso, e enxurrada e enchente no caso de Sorriso.



**Figura 17.** Locais atingidos por deslizamento, Santa Terezinha, 2019 (Silva et al, 2019).



**Figura 18.** Locais atingidos por enxurrada, Sorriso, 2021 (Silva et al, 2021).

A cidade de Peixoto de Azevedo, que em 2012 não apresentava setor de risco, passou a ter quatro em 2019, sendo dois deles de processos geológicos (voçoroca e queda de blocos), e dois de processos hidrológicos de enchentes. O município de Barra do Garças se mostra diferente de todas as outras do estado do Mato Grosso até o presente momento devido à sua tipologia principal ser de queda e rolamento de blocos e movimentação

de massa. Dos 20 setores cadastrados na cidade em sua segunda visita no ano de 2020, a primeira setorização foi realizada em 2018 e contavam com 13 setores, nove setores foram cadastrados como queda e rolamento de blocos, nove de deslizamento de solo e dois de enxurrada. Esse fato é reflexo da ocupação urbana do município que se dá totalmente no sopé da encosta da Serra Azul (**Figuras 19 a 21**).





**Figura 19.** Local atingido por rolamento de bloco, Rua Rio Negro e Rua Purus, Barra do Garças, 2020 (Fernandes et al, 2020).



**Figura 20.** Local de movimentação de solo devido a método construtivo de corte/aterro, com muro embarrigado na foto à direita, Barra do Garças, 2020 (Fernandes et al, 2020).



**Figura 21.** Local atingido por rolamento de blocos, mostrando residências próximas ao talude rochoso da Serra Azul, Barra do Garças, 2020 (Fernandes et al, 2020).



Ao todo, o estado de Mato Grosso apresenta 2.491 moradias em situação de risco, com 10.149 pessoas na mesma situação, distribuídos em 103 setores ao longo das 20 cidades mapeadas.

## 5.2 Estado de Mato Grosso do Sul

No estado do Mato Grosso do Sul, as cidades contempladas com a visita dos técnicos do Serviço Geológico do Brasil foram Anastácio, Aquidauana, Bataguassu, Batayporã, Bela Vista, Bonito, Camapuã, Campo Grande, Corumbá, Costa Rica, Coxim, Dourados, Guia Lopes da Laguna, Itaquiraí, Ivinhema, Jardim, Miranda, Mundo Novo, Nioaque, Ponta Porã, Porto Murtinho e Três Lagoas, totalizando 22 municípios. Destas, quatro cidades não apresentavam problemas relacionados com o escopo do projeto no momento da vistoria, sendo elas Costa Rica, Itaquiraí, Jardim e Mundo Novo.

No município de Costa Rica, os pontos vistoriados apresentam baixos problemas para inundação e uma erosão em tratamento, no ano de 2015 (ano da visita dos técnicos do Serviço Geológico do Brasil). Já a cidade de Itaquiraí, em 2013, não possuía defesa civil em seu quadro administrativo e durante os trabalhos,

foi apontado pelos gestores que a cidade possuía mais habitantes na zona rural do que a urbana. Os problemas relacionados pelos próprios gestores foram de erosões na zona rural, não atingindo a população.

A cidade de Jardim não apresentou nenhum problema de risco geológico ou hidrológico na data da visita (ano de 2015), apenas diversos pontos com problemas construtivos na drenagem urbana e o município de Mundo Novo enfrentou diversos problemas com erosão e inundação entre os anos de 1997 a 2002, que foram sanados devido a obras realizadas pela prefeitura local.

Nas cidades que expuseram problemas geológicos e hidrológicos notou-se que os maiores transtornos apresentados foram as questões hidrológicas de inundação e enchentes. Das 18 cidades setorizadas, 12 se mostraram com problemas citados, entre elas Anastácio, Aquidauana, Batayporã, Bela Vista, Bonito, Coxim, Guia Lopes da Laguna, Miranda, Nioaque, Ponta Porã e Porto Murtinho. Tal questão está diretamente relacionada com a ocupação desenfreada em Áreas de Proteção Permanente como margens de rios e córregos e locais de várzeas. Dos municípios citados, por exemplo, Miranda em 2015 tinha seis setores de risco hidrológico e Ponta Porã quatro (**Figuras 22 a 24**).



**Figura 22.** Comparativo de áreas atingidas por inundação, Nioaque, 2015 (Facuri et al, 2015).



**Figura 23.** Residências atingidas por inundação provocadas pelo córrego Vilas Boas, Miranda, 2015(Lima et al, 2015).



**Figura 24.** Residências atingidas por inundação, Ponta Porã, 2015(Lazareti et al, 2015).

Três municípios se destacam por apresentarem outra tipologia no projeto de setorização. Bataguassu apresentou um setor de recalque diferencial instalado no loteamento São João devido ao soterramento da antiga área de empréstimo por

lixo e entulhos variados, e posteriormente aterrados para liberação do loteamento e construção de residências que contribuíram para a subsidência do local (**Figura 25**).



**Figura 25.** Moradias atingidas por recalque local, Bataguassu, 2013 (Vieira Junior et al, 2013).

Camapuã apresentou quatro setores, sendo um de inundação e três de deslizamento planar ocasionado por construções realizadas no método corte-aterro em solo friável, no ano de 2015 (**Figura 26**).



**Figura 26.** Exemplos de residências em área de risco de deslizamento planar em construção de corte-aterro, Camapuã, 2015 (Facuri et al. 2015).

Três municípios tiveram durante esses anos do projeto ressetorização e avaliação dos problemas de risco, Campo Grande, Corumbá e Três Lagoas, todas com a primeira visita em 2013 e a segunda em 2019. Diferente dos outros estados aqui citados, as três cidades tiveram suas áreas de risco diminuídas da primeira para a segunda

visita. Campo Grande em 2013 apresentava cinco setores cadastrados (um de erosão linear e 4 de inundação) passou a ter 4 em 2019, sendo todos de inundação, onde apenas a Avenida Presidente Ernesto Geisel permaneceu com o fator apontado nas duas visitas (**Figura 27**).





**Figura 27.** Avenida Presidente Ernesto Geisel, em evento e pós-evento de inundação, Campo Grande, 2019 (Antoneli et al. 2019).

Caso excepcional em todo o Centro Oeste, a cidade de Três Lagoas se destaca por ter acabado com todas as áreas de risco alto ou muito alto da cidade através de obras de contenção e amorte-

cimento pluvial. A cidade, que apresentava sete setores em 2013, sendo uma de solapamento de margem de curso de água e seis de inundação, apresentou apenas locais de observação em 2019.



**Figura 28.** Bacia de contenção de águas pluviais e em operação, Três Lagoas, 2019 (Antoneli et al. 2019).

Ao todo, o estado de Mato Grosso do Sul apresenta 2.391 moradias em situação de risco, com 21.329 pessoas na mesma situação, distribuídos em 39 setores ao longo das 21 cidades mapeadas.

## 6 CONCLUSÃO

Com os dados apresentados, podemos concluir que todos os três estados do Centro Oeste apresentam características semelhantes no que

cabe a processos hidrológicos. Em todas as cidades vistoriadas, os setores de risco hidrológicos são resultantes da ocupação desenfreada das áreas de proteção permanente dos cursos de água, sendo que em 80% dos casos são áreas de várzea. Em casos raros, as residências são atingidas por cheias de recorrências históricas, como cheias de 10 ou 100 anos.

As erosões marginais urbanas da beira de córregos e rios são causadas pela gestão insuficiente e/ou incorreta das águas pluviais, descaso por



parte da administração pública local em relação à construção de rede de drenagens adequadas para o atendimento do volume de chuva e também a falta de planejamento territorial para a construção e autorização de novos loteamentos, que contribuem para a impermeabilização das cidades. Em consequência, a jusante dos pontos das erosões, pode-se verificar o aumento do assoreamento desses mesmos rios e córregos, o que causa o aumento da recorrência de enchentes e inundações.

No que tange aos deslizamentos planares solo-solo, em 90% dos casos registrados foram ocasionados devido a questões construtivas e falta de fiscalização dos órgãos gestores. No caso de queda de blocos, os problemas são devido à proximidade das moradias à área fonte.

É perceptível a melhor visão por partes das defesas civis municipais nos municípios que tiveram o acompanhamento e ressetorização, tanto no caso das cidades que apresentaram maiores ou menores quantidades de locais de risco. Essa percepção foi possível graças à interação do Serviço Geológico do Brasil-CPRM com as defesas civis, com troca de expertise, conhecimento técnico e conhecimento técnico.

O problema apontado em muitos casos para a perda dos eventos e dados históricos está relacionado com a constante troca dos responsáveis pelas defesas civis em cidades menores, o que enfraquece o processo.

## REFERENCIAS

ANTONELLI, TIAGO; CABRAL, DOUGLAS SILVA; LANA, JÚLIO CÉSAR. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Campo Grande, MS**, Belo Horizonte-MG, 2019. 23 págs.

ANTONELLI, TIAGO; CABRAL, DOUGLAS SILVA; LANA, JÚLIO CÉSAR. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Corumbá, MS**, Belo Horizonte-MG, 2019. 24 págs.

ANTONELLI, TIAGO; CABRAL, DOUGLAS SILVA; LANA, JÚLIO CÉSAR. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito**

**alto risco a movimentos de massa e enchentes: Três Lagoas, MS**, Belo Horizonte-MG, 2019. 15 págs.

BRASIL. **Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012**. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC.

CABRAL, DOUGLAS SILVA; PERET, GUILHERME HENRIQUE SANTOS. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Colniza, MT**, Goiânia-GO, 2014. 1 págs.

CABRAL, DOUGLAS SILVA; PERET, GUILHERME HENRIQUE SANTOS. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Confressa, MT**, Goiânia-GO, 2014. 1 págs.

CABRAL, DOUGLAS SILVA; PEIXOTO, DARIO;. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Cuiabá, MT**, Goiânia-GO, 2014. 40 págs.

CABRAL, DOUGLAS SILVA; PERET, GUILHERME HENRIQUE SANTOS;. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Feliz Natal, MT**, Goiânia-GO, 2014. 1 págs.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Acreúna, GO**, Goiânia-GO, 2015. 13 págs.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL;. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Rio Verde, GO**, Rio de Janeiro - RJ, 2015. 17 págs.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL;. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa**

**e enchentes: Novo Mundo, MS**, Rio de Janeiro - RJ, 2013. 03 págs.

FACURI, GABRIEL GUIMARÃES; TOMITA, SUELI AKEMI. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Bonito, MS**, São Paulo-SP, 2015. 14 págs.

FACURI, GABRIEL GUIMARÃES; TOMITA, SUELI AKEMI. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Camapuã, MS**, São Paulo-SP, 2015. 16 págs.

FACURI, GABRIEL GUIMARÃES; TOMITA, SUELI AKEMI. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Guia Lopes da Laguna, MS**, São Paulo-SP, 2015. 11 págs.

FACURI, GABRIEL GUIMARÃES; TOMITA, SUELI AKEMI. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Jardim, MS**, São Paulo-SP, 2015. 08 págs.

FACURI, GABRIEL GUIMARÃES; TOMITA, SUELI AKEMI. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Nioaque, MS**, São Paulo-SP, 2015. 14 págs.

FERNANDES, RODRIGO LUIZ GALLO; PEIXOTO, DARIO; PERET, GUILHERME HENRIQUE SANTOS; CABRAL, DOUGLAS SILVA. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Alexânia, GO**, Goiânia-GO, 2014. 24 págs.

FERNANDES, RODRIGO LUIZ GALLO; CANNELLO, VIVIAN ATHAYDES; PINHO, DEYNA; MAGALHÃES, LUIZ FERNANDO. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Aparecida de Goiânia, GO**, Goiânia-GO, 2017. 75 págs.

FERNANDES, RODRIGO LUIZ GALLO; PEIXOTO, DARIO. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Anápolis, GO**, Goiânia-GO, 2014. 28 págs.

FERNANDES, RODRIGO LUIZ GALLO; PINHO, DEYNA. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Anápolis, GO**, Goiânia-GO, 2019. 92 págs.

FERNANDES, RODRIGO LUIZ GALLO; PINHO, DEYNA. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Barra do Garças, MT**, Goiânia-GO, 2018. 74 págs.

FERNANDES, RODRIGO LUIZ GALLO; PINHO, DEYNA. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Barra do Garças, MT**, Goiânia-GO, 2020. 97 págs.

FERNANDES, RODRIGO LUIZ GALLO; CANNELLO, VIVIAN ATHAYDES. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Bela Vista de Goiás, GO**, Goiânia-GO, 2018. 18 págs.

FERNANDES, RODRIGO LUIZ GALLO; CANNELLO, VIVIAN ATHAYDES. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Bonfinópolis, GO**, Goiânia-GO, 2018. 21 págs.

FERNANDES, RODRIGO LUIZ GALLO. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Caldas Novas, GO**, Goiânia-GO, 2018. 59 págs.

FERNANDES, RODRIGO LUIZ GALLO; CANNELLO, VIVIAN ATHAYDES. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Caldazinha, GO**, Goiânia-GO, 2018. 19 págs.

FERNANDES, RODRIGO LUIZ GALLO; PEIXOTO, DARIO. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Ceres, GO, Goiânia-GO, 2014. 22 págs.**

FERNANDES, RODRIGO LUIZ GALLO. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Formosa, GO, Goiânia-GO, 2019. 48 págs.**

FERNANDES, RODRIGO LUIZ GALLO; PERET, GUILHERME HENRIQUE SANTOS; MAGALHÃES, LUIZ FERNANDO; BOAS, CÍNTIA VILLAS. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Goiânia, GO, Goiânia-GO, 2016. 62 págs.**

FERNANDES, RODRIGO LUIZ GALLO; CABRAL, DOUGLAS SILVA. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Goiás, GO, Goiânia-GO, 2014. 18 págs.**

FERNANDES, RODRIGO LUIZ GALLO; CANELLO, VIVIAN ATHAYDES. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Senador Canedo, GO, Goiânia-GO, 2018. 39 págs.**

FERNANDES, RODRIGO LUIZ GALLO; CANELLO, VIVIAN ATHAYDES; PINHO, DEYBA. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Silvânia, GO, Goiânia-GO, 2018. 50 págs.**

FERNANDES, VIVIAN ATHAYDES CANELLO; SILVA, SANDRA FERNANDES DA. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Uruaçu, GO, Goiânia-GO, 2018. 20 págs.**

LAZARETI, ANDREA FREGOLENTE; LIMA, GILBERTO. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Batayporã, MS, São Paulo, 2015. 16 págs.**

LAZARETI, ANDREA FREGOLENTE; ANTONELLI, TIAGO. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Bela Vista, MS, São Paulo, 2015. 14 págs.**

LAZARETI, ANDREA FREGOLENTE; ANTONELLI, TIAGO. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Dourados, MS, São Paulo, 2015. 14 págs.**

LAZARETI, ANDREA FREGOLENTE; LIMA, GILBERTO. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Ponta Porã, MS, São Paulo, 2015. 24 págs.**

LAZARETI, ANDREA FREGOLENTE; ANTONELLI, TIAGO. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Porto Murtinho, MS, São Paulo, 2015. 17 págs.**

LIMA, GILBERTO; MORAIS, CARLA CRISTINA MAGALHÃES DE. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Anastácio, MS, São Paulo, 2015. 09 págs.**

LIMA, GILBERTO; MORAIS, CARLA CRISTINA MAGALHÃES DE. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Aquidauana, MS, São Paulo, 2015. 11 págs.**

LIMA, GILBERTO; MORAIS, CARLA CRISTINA MAGALHÃES DE. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Miranda, MS, São Paulo, 2015. 15 págs.**

MACEDO, EDUARDO SOARES DE; BRESSANI, LUIZ ANTÔNIO. **Diretrizes para o zoneamento da suscetibilidade, perigo e risco de deslizamentos para o planejamento de uso do solo.** ABGE: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental e ABMS: Associação Brasileira de Mecânica de Solos e Engenharia Geotécnica, 2013.

MELO, JEFFERSON SANTANA; SOUZA, ADRIANA GOMES DE;. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Itajá, GO**, Rio de Janeiro - RJ, 2015. 14 págs.

MELO, JEFFERSON SANTANA; SOUZA, ADRIANA GOMES DE;. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Jataí, GO**, Rio de Janeiro - RJ, 2015. 18 págs.

MELO, JEFFERSON SANTANA; SOUZA, ADRIANA GOMES DE;. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Lagoa Santa, GO**, Rio de Janeiro - RJ, 2015. 15 págs.

MELO, JEFFERSON SANTANA; SOUZA, ADRIANA GOMES DE;. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Mineiros, GO**, Rio de Janeiro - RJ, 2015. 13 págs.

MELO, JEFFERSON SANTANA; SOUZA, ADRIANA GOMES DE;. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Quirinópolis, GO**, Rio de Janeiro - RJ, 2015. 17 págs.

MELO, JEFFERSON SANTANA; SOUZA, ADRIANA GOMES DE;. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Santa Helena de Goiás, GO**, Rio de Janeiro - RJ, 2015. 14 págs.

MELO, JEFFERSON SANTANA; SOUZA, ADRIANA GOMES DE;. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Santa Rita do Araguaia, GO**, Rio de Janeiro - RJ, 2015. 13 págs.

MINISTÉRIO DAS CIDADES / INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. **Treino de Técnicos Municipais para o Mapeamento e Gerenciamento de Áreas Urbanas com Risco de Escorregamentos, Enchentes e Inundações**. Apostila de treinamento. 2004. 73p.

MINISTÉRIO DAS CIDADES / INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios**. Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, 2007.

SANTOS, ÁLVARO RODRIGUES DOS. **Enchentes e deslizamentos: causas e soluções: áreas de risco no Brasil**. São Paulo, Editora Pini, 2012.

SILVA, JOSÉ ANTONIO DA; SOUZA, ANDERSON ALVES DA;. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Barra dos Bugres, MT**, Cuiabá- MT, 2019. 23 págs.

SILVA, JOSÉ ANTONIO DA; SOUZA, ANDERSON ALVES DA;. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Nova Olímpia, MT**, Cuiabá- MT, 2019. 16 págs.

SILVA, JOSÉ ANTONIO DA; SOUZA, ANDERSON ALVES DA;. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Paranatinga, MT**, Cuiabá- MT, 2019. 24 págs.

SILVA, JOSÉ ANTONIO DA; SOUZA, ANDERSON ALVES DA;. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Peixoto de Azevedo, MT**, Cuiabá- MT, 2019. 21 págs.

SILVA, JOSÉ ANTONIO DA; SOUZA, ANDERSON ALVES DA;. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Santa Terezi- nha, MT**, Cuiabá- MT, 2019. 27 págs.

SILVA, JOSÉ ANTONIO DA; SOUZA, ANDERSON ALVES DA;. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Santo Antônio do Leverger, MT**, Cuiabá- MT, 2019. 21 págs.

SILVA, JOSÉ ANTONIO DA; SOUZA, ANDERSON ALVES DA;. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a**



**movimentos de massa e enchentes: Sinop, MT, Cuiabá- MT, 2021. 16 págs.**

SILVA, JOSÉ ANTONIO DA; SOUZA, ANDERSON ALVES DA;. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Sorriso, MT, Cuiabá- MT, 2021. 20 págs.**

SILVA, JOSÉ ANTONIO DA; SOUZA, ANDERSON ALVES DA;. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Várzea Grande, MT, Cuiabá- MT, 2018. 49 págs.**

VIEIRA JUNIOR, HAMILCAR TAVARES; PEIXOTO, DARIO;. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Agua Boa, MT, Goiânia-GO, 2012. 9 págs.**

VIEIRA JUNIOR, HAMILCAR TAVARES; PEIXOTO, DARIO;. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Baliza, GO, Goiânia-GO, 2013. 1 págs.**

VIEIRA JUNIOR, HAMILCAR TAVARES; PEIXOTO, DARIO;. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Bataguassu, MS, Goiânia-GO, 2013. 18 págs.**

VIEIRA JUNIOR, HAMILCAR TAVARES; PEIXOTO, DARIO;. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Campo Grande, MS, Goiânia-GO, 2013. 10 págs.**

VIEIRA JUNIOR, HAMILCAR TAVARES; PEIXOTO, DARIO;. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Comodoro, MT, Goiânia-GO, 2012. 11 págs.**

VIEIRA JUNIOR, HAMILCAR TAVARES; PEIXOTO, DARIO;. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Corumbá, MS, Goiânia-GO, 2013. 30 págs.**

VIEIRA JUNIOR, HAMILCAR TAVARES; PEIXOTO, DARIO;. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Formosa, GO, Goiânia-GO, 2013, 14 págs.**

VIEIRA JUNIOR, HAMILCAR TAVARES; PEIXOTO, DARIO;. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Itaquiraí, GO, Goiânia-GO, 2013, 15 págs.**

VIEIRA JUNIOR, HAMILCAR TAVARES; PEIXOTO, DARIO;. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Itumbiara, MS, Goiânia-GO, 2013, 1 págs.**

VIEIRA JUNIOR, HAMILCAR TAVARES; PEIXOTO, DARIO;. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Ivinhema, MS, Goiânia-GO, 2013, 21 págs.**

VIEIRA JUNIOR, HAMILCAR TAVARES; PEIXOTO, DARIO;. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Nova Bandeirantes, MT, Goiânia-GO, 2012, 1 págs.**

VIEIRA JUNIOR, HAMILCAR TAVARES; PEIXOTO, DARIO;. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Nova Canaã do Norte, MT, Goiânia-GO, 2012, 9 págs.**

VIEIRA JUNIOR, HAMILCAR TAVARES; PEIXOTO, DARIO;. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Nova Olímpia, MT, Goiânia-GO, 2012, 31 págs.**

VIEIRA JUNIOR, HAMILCAR TAVARES; PEIXOTO, DARIO;. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Novo Gama, GO, Goiânia-GO, 2013, 10 págs.**

VIEIRA JUNIOR, HAMILCAR TAVARES; PEIXOTO, DARIO;. **Ação emergencial para reco-**

**Reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Paranatinga, MT, Goiânia-GO, 2013, 14 págs.**

VIEIRA JUNIOR, HAMILCAR TAVARES; PEIXOTO, DARIO;. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Peixoto de Azevedo, MT, Goiânia-GO, 2013, 1 págs.**

VIEIRA JUNIOR, HAMILCAR TAVARES; PEIXOTO, DARIO;. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Santa Terezi-  
nha, MT, Goiânia-GO, 2013, 15 págs.**

VIEIRA JUNIOR, HAMILCAR TAVARES; PEIXOTO, DARIO;. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Santo Antônio do Leverger, MT, Goiânia-GO, 2013, 22 págs.**

VIEIRA JUNIOR, HAMILCAR TAVARES; PEIXOTO, DARIO;. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: São José do Rio Claro, MT, Goiânia-GO, 2013, 9 págs.**

VIEIRA JUNIOR, HAMILCAR TAVARES; PEIXOTO, DARIO;. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Uruaçu, GO, Goiânia-GO, 2013, 9 págs.**

VIEIRA JUNIOR, HAMILCAR TAVARES; PEIXOTO, DARIO;. **Ação emergencial para reconhe-**

**cimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Vila Rica, MT, Goiânia-GO, 2013, 13 págs.**

VIEIRA JUNIOR, HAMILCAR TAVARES; PEIXOTO, DARIO;. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Três Lagoas, MS, Goiânia-GO, 2013, 23 págs.**

TOMINAGA, LÍDIA KEIKO; SANTORO, JAIR; AMARAL, ROSANGELA DO;. **Desastres Naturais: Conhecer para prevenir. 2ª Ed., Instituto Geológico, 2012.**

TOMITA, SUELI AKEMI; ANTONELLI, TIAGO;. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Costa Rica, MS, São Paulo-SP, 2015, 14 págs.**

TOMITA, SUELI AKEMI; ANTONELLI, TIAGO;. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Coxim, MS, São Paulo-SP, 2015, 15 págs.**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC. CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES. **Atlas Brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2010, 2 ed., Florianópolis. 2012. 168p**

# RISCOS GEOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS NO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE, MG

*GEOLOGICAL AND HYDROLOGICAL RISKS IN BELO HORIZONTE, MG.*

MARIA GIOVANA PARIZZI

*Departamento de Geologia – Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG  
mgparizzi18@gmail.com*

## RESUMO ABSTRACT

Este artigo apresenta os condicionantes geológicos de escorregamentos, enchentes e inundações no território do município de Belo Horizonte. O território exhibe variada constituição geológica dividida em dois grandes domínios litológicos e geomorfológicos. O primeiro domínio, conhecido por Complexo Belo Horizonte, abrange cerca de setenta por cento do território municipal e constitui-se de gnaisses e solos residuais e transportados. Geomorfologicamente a área é denominada de Depressão Belo Horizonte e caracteriza-se por um relevo de mar de morros ocupando as altitudes entre 600 a 900 metros. O segundo domínio, localizado ao sul da área municipal, constitui-se de rochas metassedimentares do Supergrupo Minas do Quadrilátero Ferrífero, ocupando cerca de 30% do território de belohorizontino. Estende-se desde cotas de 900 metros até os patamares mais elevados da Serra do Curral (1340 metros), monumento natural que separa os municípios de Belo Horizonte e Nova Lima. Os escorregamentos ocorrem particularmente em três grupos de materiais geológicos distintos. No primeiro grupo representado por rochas metassedimentares os escorregamentos e outros movimentos de massa dependem da disposição, confinamento, características e intensidade das descontinuidades e do grau de alteração dos maciços rochosos. No segundo grupo, representado pelos solos residuais de gnaiss, as rupturas dependem de cortes e processos erosivos que expõem solos saprolitos que preservam estruturas reliquiárias da rocha mãe. No terceiro grupo, representado por talus, as rupturas mais comuns ocorrem estimuladas por cortes na base dos taludes. Os padrões de drenagem são distintos para as duas principais bacias hidrográficas do município: A bacia do Ribeirão do Onça e a Bacia do Ribeirão Arrudas. Os domínios geológicos e geomorfológicos

This article presents the geological conditions of landslides and floods in Belo Horizonte county. The territory exhibits varied geological constitution divided into two large lithological and geomorphological domains. The first domain, known as Complexo Belo Horizonte, represents almost seventy percent of the county territory, it contains gnaisses and residual and transported soils. Geomorphologically the area is called the Belo Horizonte Depression and is characterized by a relief named "mar de morros" occupying the altitudes between 600 to 900 meters. The second domain, located south of the municipal area, consists of metasedimentary rocks of the Minas Supergroup - "Quadrilátero Ferrífero", occupying about 30% of the territory extending from 900 meters to the highest levels of the hill named "Serra do Curral" (1340 meters), a natural monument between Belo Horizonte and Nova Lima counties. Landslides occur particularly in three distinct groups of geological materials. The first group, represented by metasedimentary rocks, landslides and other mass movements depend on the arrangement, confinement, characteristics and intensity of the discontinuities and the degree of alteration of the rocky massifs. The second group, represented by the residual soils of gnaiss, the ruptures depend on cuts and erosive processes that expose residual soils that preserve reliquiar structures of the original rock. The third group, represented by talus, ruptures occur stimulated by cuts at the base of the slopes. Drainage patterns are different in the two main hydrographic basins of the Belo Horizonte county: the Ribeirão do Onça basin and the Arrudas River Basin. Due to the influence of geological and geomorphological domains on the drainage patterns and relief, floods and overflow are predominant in the Ribeirão do Onça Basin, while

impõem a declividade e os padrões de drenagem das duas bacias sendo que as inundações são predominantes na Bacia do Ribeirão do Onça enquanto que enxurradas bruscas, enchentes seguidas de inundações são mais comuns na Bacia do Ribeirão Arrudas.

**Palavras-chave:** Riscos Geológicos, Riscos Hidrológicos, Geologia, Belo Horizonte.

## 1 INTRODUÇÃO

A cidade de Belo Horizonte, como muitas cidades do Brasil, sofre constantemente com relação aos riscos geológicos, especialmente escorregamentos, enchentes, inundações e enxurradas. A geologia do território tem uma grande influência tanto no relevo do município como, conseqüentemente, nos processos geológicos e hidrogeológicos mais frequentes.

Este artigo apresenta as suscetibilidades e vulnerabilidades que condicionam o risco geológico no município, assim como as principais ações relacionadas à mitigação e prevenção do mesmo.

A região metropolitana de Belo Horizonte possui várias áreas de risco de escorregamentos e inundações com elevado número de ocorrências. Além disso, existem casos de movimentações em áreas não consideradas de risco, cujas edificações possuem médio a elevado padrão construtivo, o que contribui para enfatizar que, além das atividades desordenadas de ocupação, os terrenos também apresentam susceptibilidade natural ao processo.

A variedade de condicionantes geológicos, geomorfológicos, e das formas de uso e ocupação presentes na região de Belo Horizonte, associada aos aspectos climáticos, são responsáveis pelo desencadeamento de distintos processos escorregamentos, assim como dos processos hidrológicos.

### 1.1 Geologia, Geomorfologia e Hidrografia de Belo Horizonte

O território do município de Belo Horizonte exibe variada constituição geológica dividida em dois grandes domínios litológicos e geomorfológicos. O primeiro domínio, conhecido por Complexo Belo Horizonte (Silva et al., 1995), abrange

water torrent, followed by floods and overflow are common in the Ribeirão Arrudas Basin.

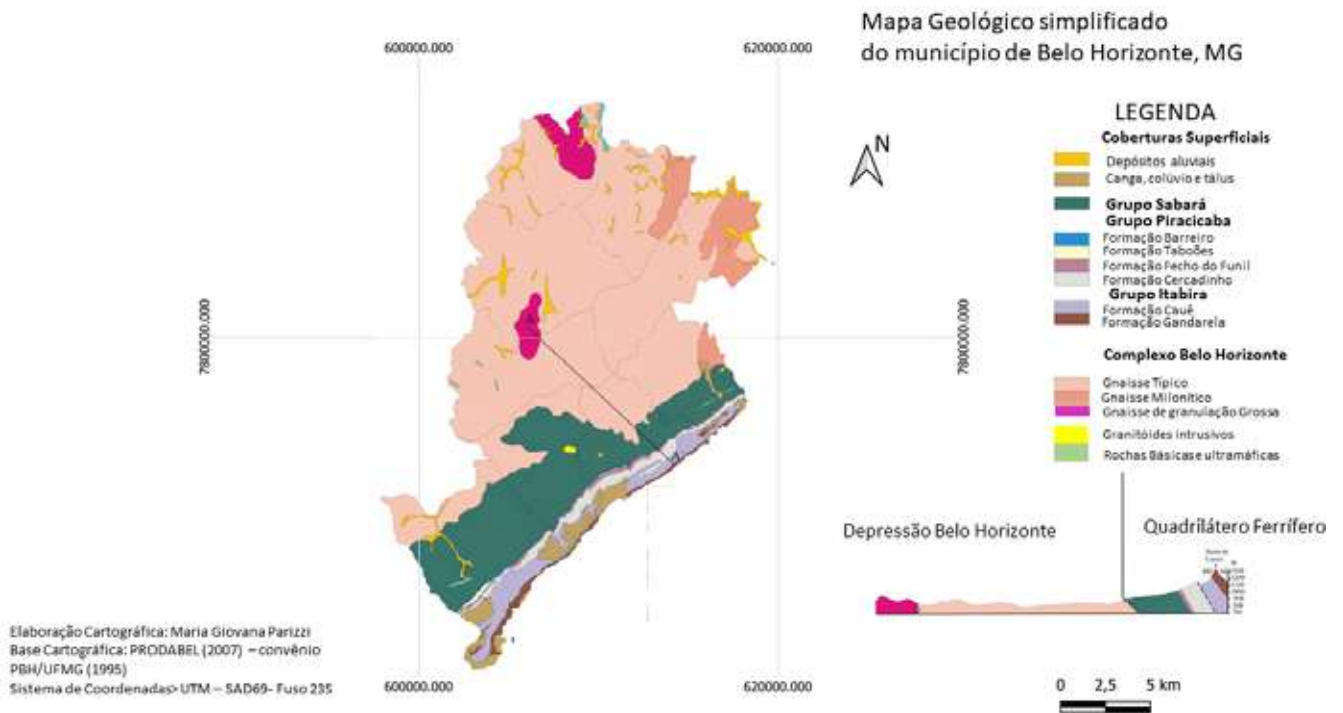
**Keywords:** Geological hazards, Hidrological hazards, Geology, Belo Horizonte.

cerca de 70 % do território municipal e constitui-se por gnaisses e solos residuais e transportados correspondentes. Geomorfologicamente a área é denominada pela Depressão Belo Horizonte que caracteriza-se por um relevo de mar de morros, colinas e espigões ocupando as altitudes entre 600 a 900 metros. O segundo domínio, localizado ao sul da área municipal, constitui-se por rochas metassedimentares do Supergrupo Minas do Quadrilátero Ferrífero, especificamente dos grupos Cauê, Piracicaba e Sabará. O Grupo Cauê é dividido em duas formações: Formação Cauê composta predominantemente por Itabiritos e a Formação Gandarela composta por dolomitos, filitos dolomíticos e ferruginosos. O Grupo Piracicaba apresenta a Formação Cercadinho com filitos prateados interdigitados por quartzitos ferruginosos, a Formação Fecho do Funil com filitos puros e filitos dolomíticos, a Formação Taboões com quartzitos puros de granulação muito fina tipo *chert*, geralmente de pequena espessura, e interdigitada com a Formação Barreiro constituída por filitos carbonosos. O Grupo Sabará constitui-se principalmente de filitos, xistos, grauvacas e cherts. O mapa geológico simplificado e perfil correspondente (Figura 1) mostra que as rochas do grupo de metassedimentares ocorrem ao longo de faixas de espessuras variadas de direção SW-SE. De um modo geral todos os contatos entre as formações da sequência de metassedimentares são gradacionais e o mergulho das camadas tem forte vergência para sul-sudeste. Ocupando cerca de 30% do território de belohorizontino o Supergrupo Minas estende-se desde cotas de 900 metros até os patamares mais elevados da Serra do Curral (1340 metros), monumento natural que separa os municípios de Belo Horizonte e Nova Lima. Diferentes resistências e grau de alteração das rochas do Supergrupo Minas e Complexo



Belo condicionam erosão diferencial que pode ser facilmente observada na paisagem do município. Os itabiritos e depósitos ferruginosos oriundos da formação Cauê preservam as maiores altitudes no topo da Serra do Curral. Os dolomitos e filitos dolomíticos e ferruginosos da formação Gandarela, menos resistentes, geram vales nas cotas de 900 metros interrompidos por subcristas sustentadas pelos quartzitos ferruginosos da Formação Cercadinho. Em decorrência da interdigitação de quartzitos mais resistentes e filitos mais brandos

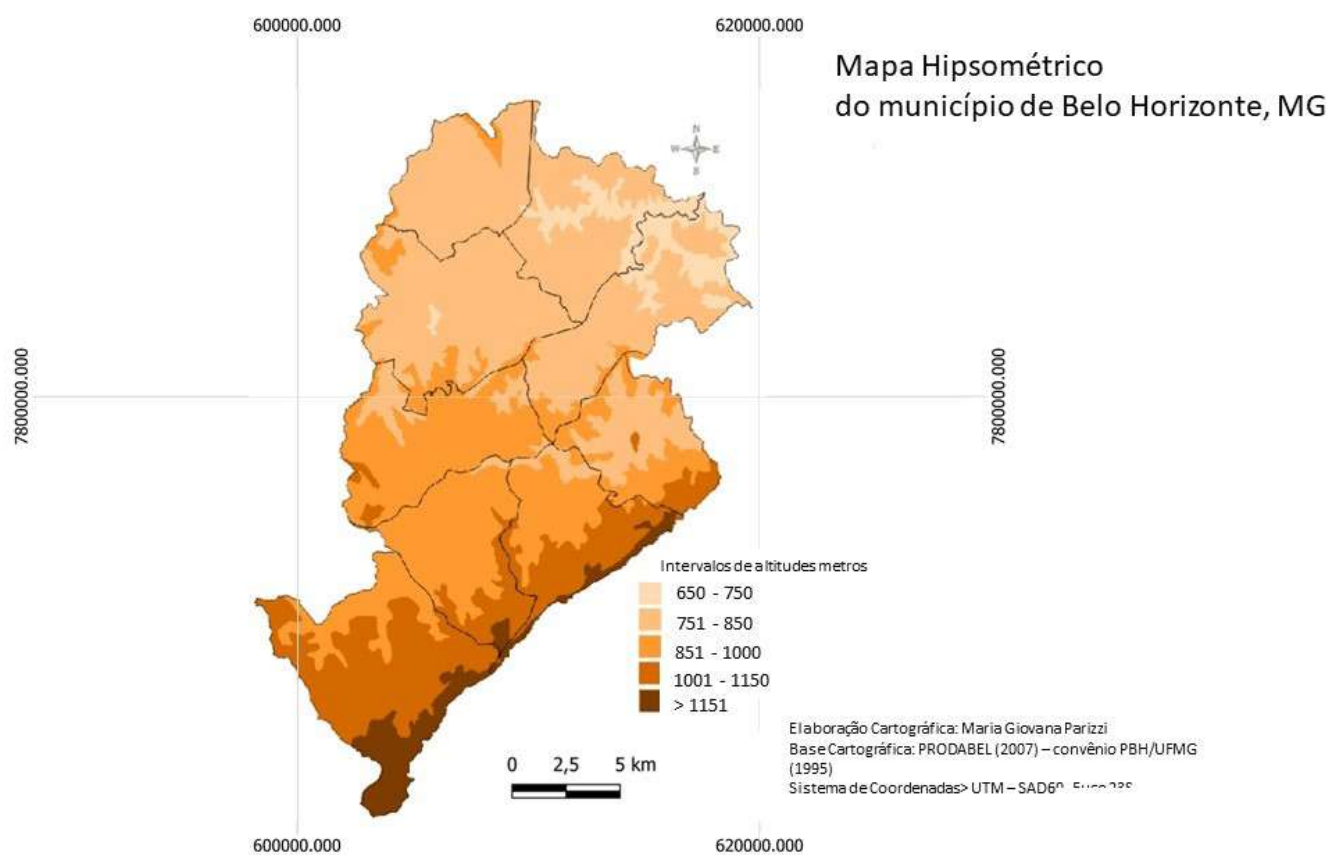
e intemperizados, a Formação Cercadinho define aspecto serrilhado ao relevo com cristas e subcristas (Figura 2). O mapa hipsométrico (Figura 3) demonstra a influência da geologia e conformação da Serra do Curral no relevo. É possível observar as altitudes superiores a 1000 metros ao longo da faixa serrana ocupada pelas metassedimentares do Quadrilátero Ferrífero decrescendo em direção à Depressão Belo Horizonte para as cotas de 650 a 850 metros.



**Figura 1.** Mapa geológico simplificado do município de Belo Horizonte.



**Figura 2.** imagem área com delimitação aproximada da abrangência das formações geológicas do município de Belo Horizonte em função do relevo.



**Figura 3.** Mapa Hipsométrico do Município de Belo Horizonte.

Os padrões de drenagem são distintos para as duas principais bacias hidrográficas do município: A Bacia do Ribeirão do Onça e a Bacia do Ribeirão Arrudas. A Bacia do Ribeirão do Onça encontra-se integralmente na área de mar de morros da Depressão Belo Horizonte. O padrão de drenagem é do tipo dendrítico e as sub-bacias apresentam formatos circulares a ramificadas. Parte da Bacia do Ribeirão Arrudas na área central do

município encontra-se na área da depressão Belo Horizonte mantendo o padrão dendrítico. Entretanto ao sul do município, a Bacia do Ribeirão Arrudas apresenta drenagem do tipo paralela e sub-bacias alongadas, tendo forte influência das maiores altitudes e declividades e da orientação SW-SE da Serra do Curral e subcristas definidas pela sequência das rochas metassedimentares do Supergrupo Minas. Os domínios geológicos e geo-

morfológicos impõem a declividade e os padrões de drenagem das duas bacias sendo que as inundações são predominantes na Bacia do Ribeirão do Onça enquanto que enxurradas bruscas, enchentes seguidas de inundações são mais comuns

na Bacia do Ribeirão Arrudas. A figura 4 exibe a hidrografia do município de Belo Horizonte e é possível observar os diferentes padrões de drenagem descritos.

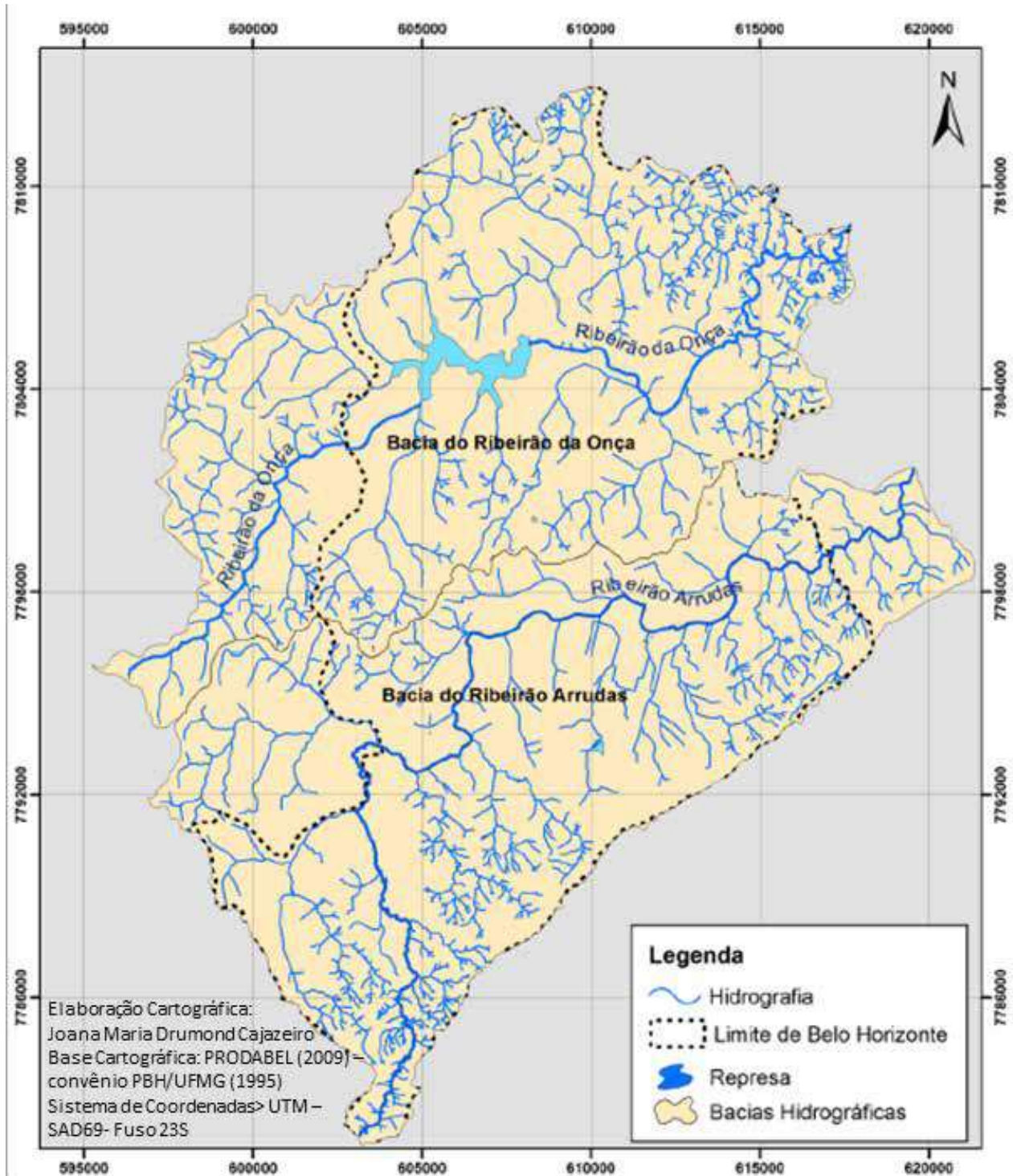


Figura 4. Bacias hidrográficas e padrões de drenagem do território de Belo Horizonte.



## 2 MOVIMENTOS DE MASSA NO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE

Parizzi (2004) e Parizzi *et al.* (2011) estudaram os condicionantes de movimentos de massa no município de Belo Horizonte por meio da análise de estabilidade de taludes representativos das diversas litologias e solos presentes na área.

Os autores estabeleceram os tipos de movimentos de massa e seus condicionantes atuantes nos diferentes materiais geológicos. Pôde-se observar a existência de processos gravitacionais particulares de três grupos de materiais geológicos distintos, a saber:

- Grupo 1: Maciços rochosos da seqüência de metassedimentares (Supergrupo Minas)
- Grupo 2: Solos residuais de gnaiss (Complexo Belo Horizonte)
- Grupo 3: Depósitos superficiais

### 2.1 Maciços rochosos da seqüência de metassedimentares do Supergrupo Minas

De uma maneira geral os maciços estudados pertencentes ao grupo 1 foram considerados de qualidade ruim a muito ruim pelas classificações RMR (Bieniawski, 1989) e Q (Barton *et al.*, 1974). Assim como as classes da RMR, os parâmetros de resistência (coesão e atrito) também não são muito diferentes. Os maciços das Formações Cercadinho, Fecho do Funil, Barreiro e Taboões, apresentaram os menores valores de coesão. Os ângulos de atrito dos maciços variaram entre 13° e 21°. Os menores valores dos parâmetros de resistência são atribuídos aos filitos, independente de seu grupo ou formação. A tabela 1 apresenta os principais parâmetros geomecânicos das rochas da seqüência de metassedimentares baseada nos estudos de Parizzi (2004).

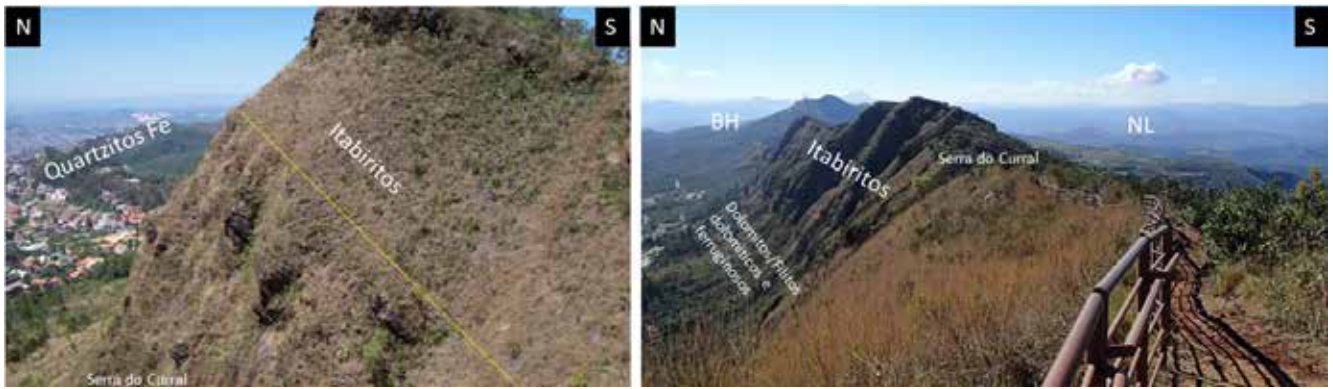
**Tabela 1.** Características geomecânicas das rochas da seqüência de metassedimentares (Fonte: Parizzi, 2004)

Unidade Geológica	Seqüência de Metassedimentares		
	Grupo Sabará	Formação Cercadinho	Formações Fecho do Funil Barreiro e Taboões
Maciço Rochoso	Filitos, xistos e grauvacas	Filitos e quartzitos ferruginosos	Filito, filito carbonoso e quartzito Taboões
Número de descontinuidades	3	4	5
Classificação RMR	Maciço regular	Pobre a muito pobre	Pobre a muito pobre
Classificação Barton	Maciço muito ruim	Extremamente ruim	Extremamente ruim
Angulo de Atrito	21°	17°	13°
Coesão	38 kPa	15 kPa	15 kPa

As descontinuidades dos maciços rochosos são de extrema importância para o desencadeamento dos escorregamentos observados, devido às suas características de orientação, abertura, espaçamento, rugosidade, preenchimento e estado de alteração das paredes. A análise dos maciços rochosos conforme os critérios da ISRM (1983) e as investigações de campo definiram o número de famílias de descontinuidades variando entre 3 e 5, incluindo xistosidade, juntas e falhas. O número de famílias não é grande, entretanto estas famílias são pouco espaçadas nos maciços, podendo variar local e regionalmente de direção e mergulho, devido aos aspectos da geologia estrutural da área de estudo (Parizzi *et al.* 2011).

A análise cinemática dos maciços rochosos e a análise de estabilidade mostraram a importância da relação geométrica entre as descontinuidades presentes e a face do talude (orientação, altura e inclinação) o que irá determinar as partes do maciço que estão livres para deslizar ou cair, conforme Hoek e Bray (1981). A orientação da Serra do Curral com encostas voltadas para norte no lado de Belo Horizonte e voltada para sul no lado de Nova Lima favorece, dois tipos de escorregamentos. Queda de blocos ocorrem em Belo Horizonte e escorregamentos planares ocorrem no lado de Nova Lima (Figura 5).





**Figura 5.** A orientação das encostas da Serra do Curral e o mergulho do acamamento do Itabirito da Formação Cauê favorecem queda de blocos no lado de Belo Horizonte e escorregamento planar no lado de Nova Lima.

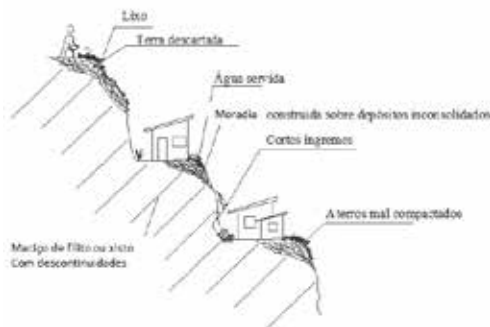
Fiori e Carmignani (2002) enfatizam que a água tem grande influência no estado de alteração dos maciços atuando em aspectos fundamentais, tais como:

- Na decomposição dos minerais, principalmente os micáceos, abundantes em todos os maciços, ocasionando a perda da resistência das paredes das discontinuidades.
- Na criação de poro-pressões nas discontinuidades. As análises de estabilidade comprovaram que é necessário um preenchimento parcial ou total por água nas discontinuidades para que rupturas ocorram nos taludes. Em quase todas as análises de estabilidade de acordo com o método de equilíbrio limite, quando se considerou que as discontinuidades estavam secas, os fatores de segurança foram maiores do que 1,3, indicando situação estável. Com o aumento da porcentagem de água dentro das discontinuidades e das fendas de tração, os fatores de segurança de-

creceram para valores iguais ou menores do que 1.

- Outro modo da influência da água nas rupturas dos maciços rochosos está na diminuição quase completa da coesão entre os planos de descontinuidade, ou seja, os blocos se deslocam por alívio de tensão e, após sucessivos eventos chuvosos e secos, escorregam facilmente ao longo dos outros planos lisos e umedecidos. Este fenômeno se assemelha ao processo de empastilhamento descrito por Frazão *et al.* (1976).

Com relação às ações antrópicas, a execução dos cortes dos taludes, geralmente muito inclinados, que estimulam os processos erosivos, ou orientados de maneira a desconfinar estruturas dos maciços rochosos, são os principais condicionantes antrópicos que desencadeiam escorregamentos nas áreas de ocorrência das Sequências Metassedimentares (Figura 6).



**Figura 6.** Condicionantes antrópicos dos escorregamentos. Lançamentos de terra descartada, cortes subverticais que desconfinam descontinuidades e contatos entre solos e o maciço rochoso e construções sobre material inconsolidado. A foto da direita foi tirada no Conjunto Taquaril em Belo Horizonte.

Outro fator importante, observado por Parizzi (2004), é a execução de obras de estabilização que não levam em consideração os reais mecanismos de ruptura atuantes nos maciços rochosos.

Os taludes em áreas de substrato rochosos constituídos por filitos da Formação Fecho do Funil, Barreiro, xistos e filitos do Grupo Sabará e filitos alternados por quartzitos da Formação Cercadinho se movimentam e se rompem a partir de mecanismos que podem ser diferenciados de acordo com a relação geométrica entre corte dos taludes e as discontinuidades dos maciços. É possível distinguir três modelos de ruptura para essa região. Geralmente, os cortes não possuem direções paralelas às direções das foliações, sendo, muitas vezes, até perpendiculares a elas. Nestes casos, o processo de escorregamento é estimulado a partir de um sulco erosivo ou por escorrega-

mentos em cunha que evoluem na face do talude (Figura 7). Devido à presença regular de mais de uma família de discontinuidades e ao avançado estado de alteração dos maciços, a susceptibilidade a escorregamentos em cunha se torna elevada.

Interseções entre duas famílias parecem ser comuns e os escorregamentos em cunha ocorrem nos primeiros estágios de instabilização dos maciços. A ocorrência conjunta de erosão e escorregamento em cunha contribui para a mudança da geometria inicial dos taludes, geralmente com a criação de novas faces planas, que irão desconfinar as outras discontinuidades do maciço, geralmente a xistosidade. A partir da nova geometria estabelecida e a exposição de novos planos, tombamentos e escorregamentos planares passam a ocorrer.

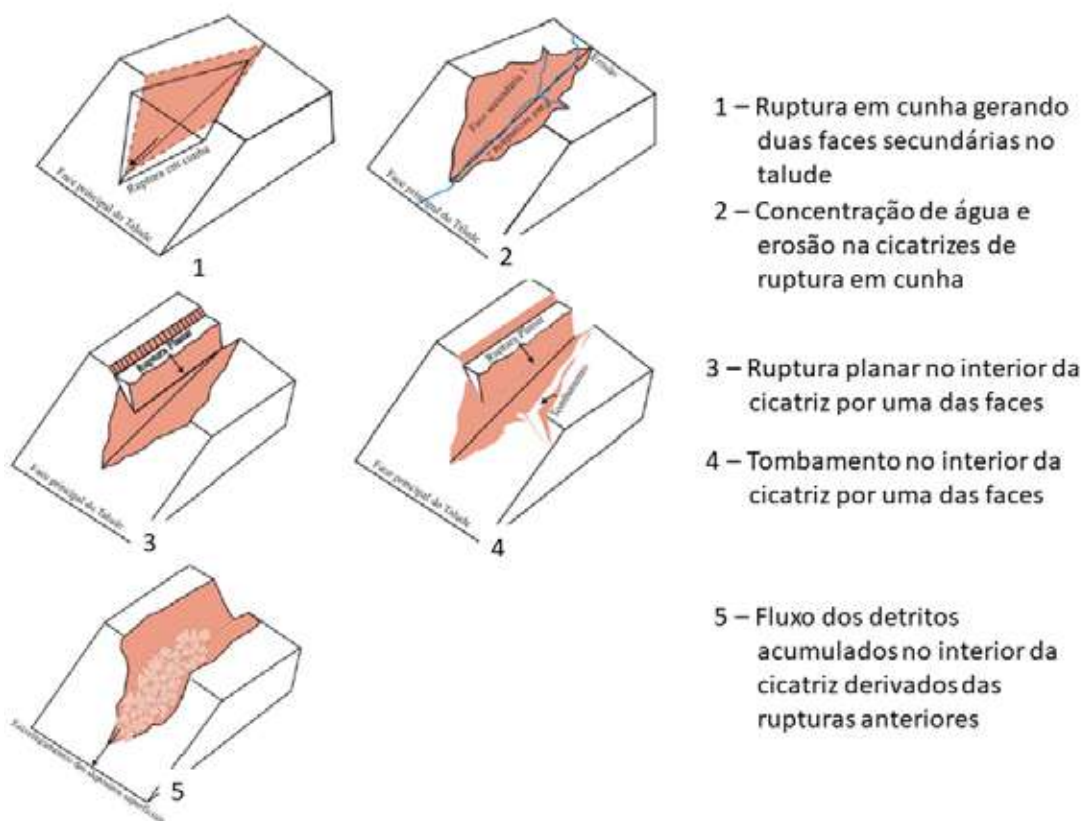


Figura 7. Modelo de evolução progressiva dos movimentos de massa a partir de rupturas em cunha.

Quando as encostas ou taludes estão cobertos por depósitos de vertentes, a cobertura, associada à baixa permeabilidade do maciço, retarda a saturação das discontinuidades, o que mantém o maciço rochoso estável por mais tempo.

As novas configurações dos taludes, obtidas após os primeiros escorregamentos e processos erosivos, são geralmente côncavas com topos escarpados e rampas com inclinação em torno de 30°, o que favorece a acumulação dos depósitos

de vertentes e a concentração das águas pluviais. Os depósitos passam a se movimentar sob a forma de rastejos, fluxos de detritos e escorregamen-

tos circulares ou planares próximos ao contato depósito/maciço rochoso (Figura 8).

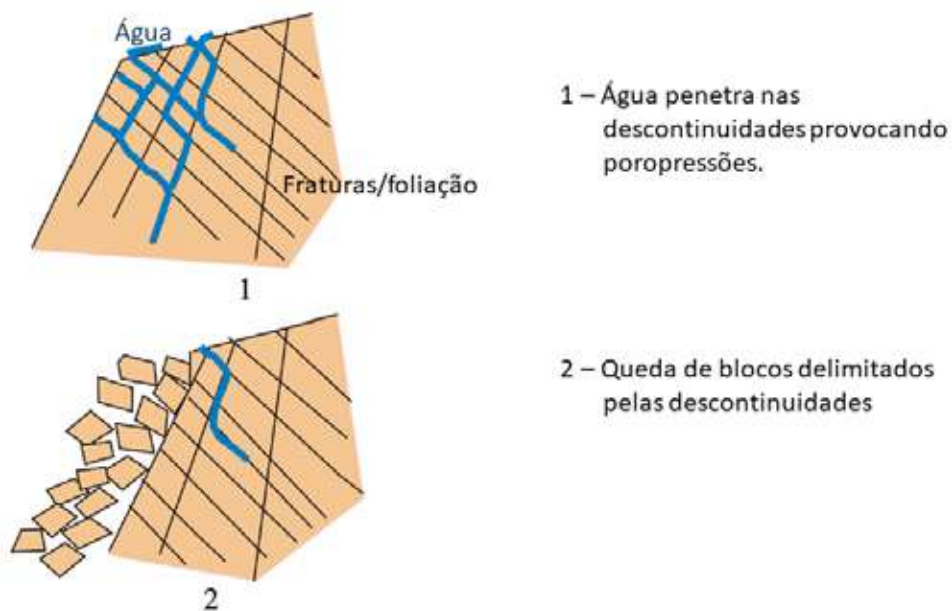


**Figura 8.** Ruptura em cunha seguida de ruptura planar, tombamento e fluxo de detritos em talude da Av, Raja Gabaglia em Belo Horizonte. A foto superior data de 2005 e a foto inferior data de 2021 após intervenções no local. Muro gabião foi feito na base do talude e um prédio foi construído na parte superior. As lonas ao longo da face indicam que as intervenções não foram eficazes e o talude continua em movimentação.

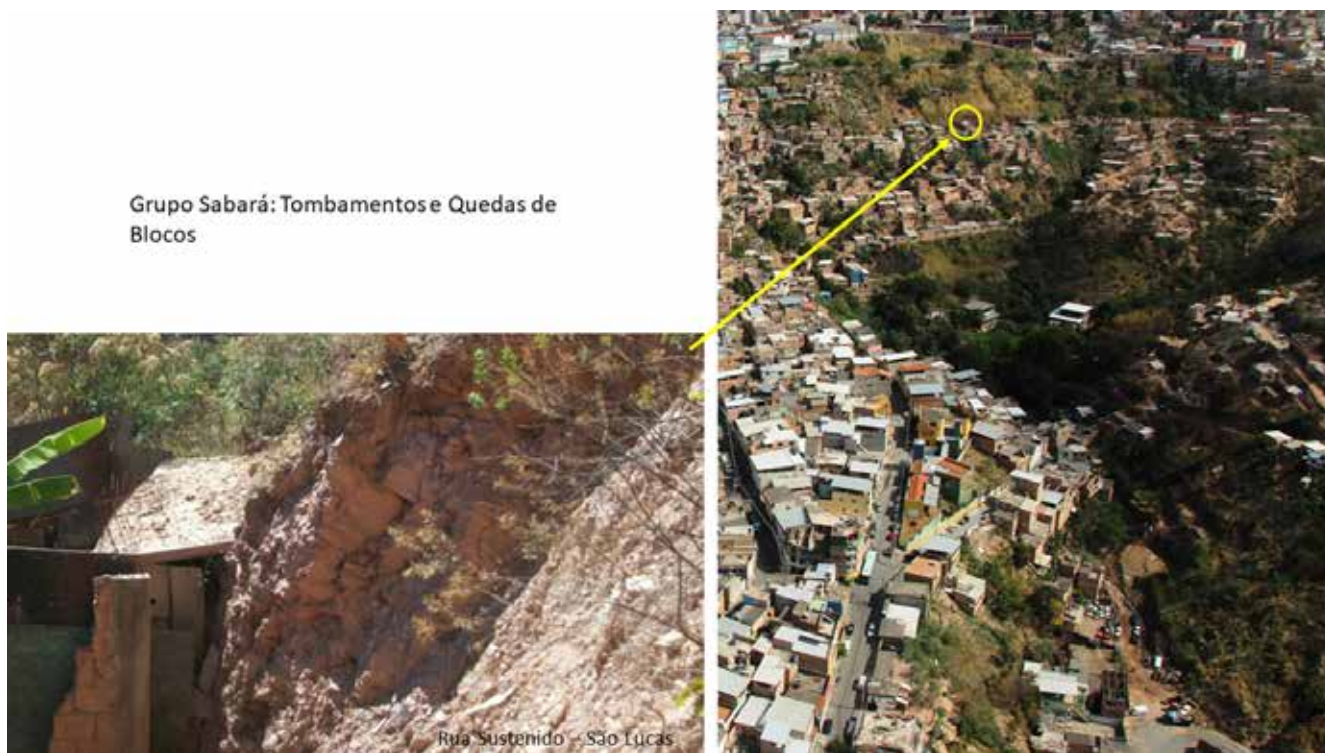
Em alguns maciços de quartzitos, filitos e xistos, quando os cortes não desconfinam a xistosidade, os tombamentos e quedas de blocos serão os principais tipos de movimentos (Figura 9). Geralmente as discontinuidades contra a face livre mergulham em ângulos mais baixos do que as discontinuidades a favor da face livre. Há indícios, principalmente após as vistorias de campo

e classificação dos maciços, que os tombamentos da região ocorrem estimulados pela progressiva perda de resistência das discontinuidades que se inter cruzam, como descrevem Yang & Chuang (1997), e das outras discontinuidades presentes nos maciços alterados responsáveis pela delimitação de blocos instáveis (Figura 9).





**Figura 9.** Modo de ocorrência dos tombamentos e quedas de blocos de quartzitos, filitos e xistos na área de estudo.



**Figura 10.** Tombamento e queda de blocos de filitos do Grupo Sabará sobre casa no bairro São Lucas de Belo Horizonte. A foto da esquerda exibe detalhe do processo e a foto da direita mostra a localização da casa.

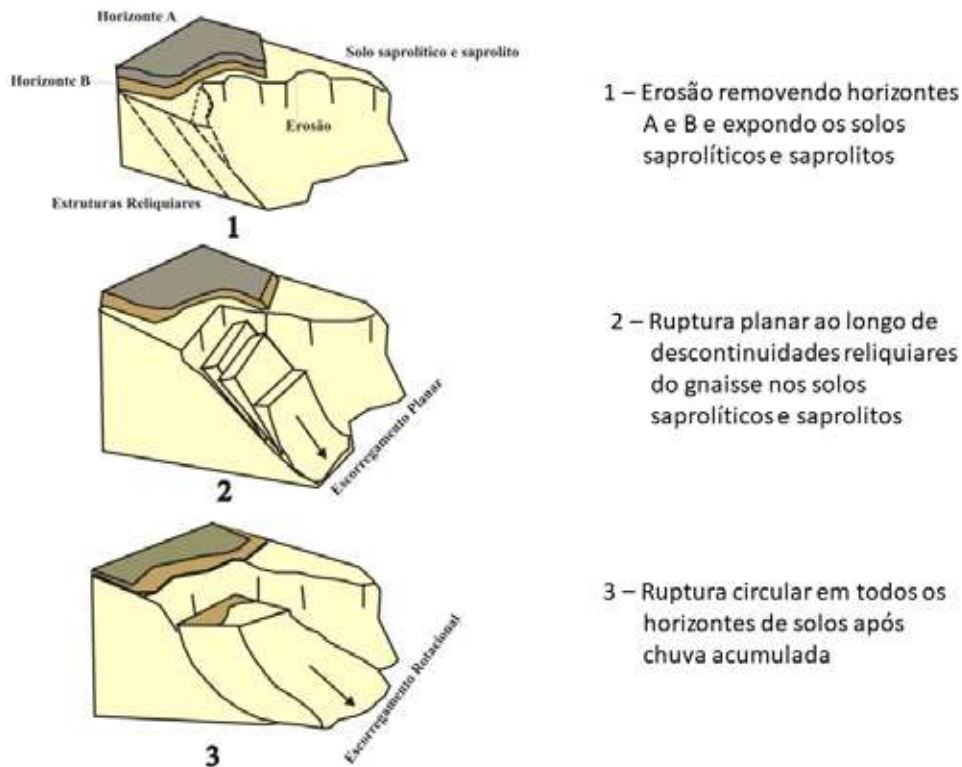


Alguns cortes dessas litologias favorecem as rupturas planares. Entretanto pelo que foi observado as rupturas planares são geralmente secundárias conforme exposto na Figura 6.

## 2.2 Condicionantes dos movimentos de massa dos solos residuais de gnaise

Os solos residuais desenvolvidos a partir dessas litologias contêm os horizontes A, B, C, saprolítico e os saprolitos da rocha original. Os dois primeiros possuem espessuras variadas, dependendo do relevo local e possuem textura de argila arenosa e coesão mais alta que os horizontes sotopostos. Viana (2000) encontrou menores valores de erodibilidade para os horizontes A e B em relação ao horizonte C. Os horizontes superiores (A e B) apresentam maior resistência à ruptura,

formando uma camada protetora dos movimentos de massa e erosão dos horizontes inferiores. O horizonte C, ou solos saprolíticos e saprolitos, geralmente areno-siltosos, apresentam coesão nula ou baixa, e ainda possuem estruturas reliquiares da rocha de origem como famílias de fraturas e a foliação gnáissica. Processos erosivos, geralmente desenvolvidos nos horizontes de solo saprolíticos e sobre os saprolitos, são responsáveis pela alteração na morfologia das encostas, criando sulcos com paredes íngremes que facilitam o desencadeamento de escorregamentos dos solos pouco coesivos. A erosão também contribui para retirada dos horizontes A e B, permitindo a exposição dos horizontes sotopostos, caracterizados por maior erodibilidade e susceptibilidade a escorregamentos (Figuras 11 e 12).



**Figura 11.** Modelo de desenvolvimento dos escorregamentos em solos residuais de gnaise a partir da modificação das encostas por erosão ou cortes.



**Figura 12.** Imagem de escorregamento em solos residual de gnaiss no bairro Engenho Nogueira em Belo Horizonte.

O município de Belo Horizonte possui antigas pedreiras de gnaiss que foram ocupadas de modo irregular. Quedas de blocos são comuns, conforme a Figura 13.

## Queda de Blocos



**Figura 13.** As imagens exibem antigas pedreiras de gnaiss ocupadas inadequadamente. Ocorrem queda de blocos e há risco para as moradias.

### 2.3 Condicionantes e mecanismos de rupturas dos depósitos de vertentes

Depósitos de vertentes em situação de instabilidade são comuns a muitos taludes da região estudada. As análises geotécnicas e investigações de campo realizadas permitiram observar que esses materiais apresentam características bem semelhantes entre si, apesar de terem se originado de litologias diferentes. As principais características observadas estão esquematizadas a seguir:

- Grande parte dos depósitos encontrados foi denominada de tálus, devido à sua granulometria, constituída por fragmentos grosseiros, envolvidos por matriz mais fina.
- Os depósitos são originados de escorregamentos e queda de fragmentos dos maciços rochosos de filitos e xistos que se depositam ao longo das faces dos taludes. Entretanto, alguns depósitos são originados pela ação antrópica devido ao lançamento de material remobilizado nas encostas durante cortes de taludes e outras obras de engenharia.
- Devido ao acelerado grau de alteração física e pequeno espaçamento entre as descontinuidades dos maciços rochosos, os fragmentos

dos depósitos de tálus possuem dimensões que, geralmente, não ultrapassam o comprimento de 30 cm. Com o passar do tempo, os frágeis fragmentos posicionados na base dos depósitos vão sendo cominuídos devido ao peso provocado pelas camadas superiores. A água que circula e a erosão também carregam materiais mais finos (silte e areia fina), que se depositam entre os fragmentos e passam a constituir a matriz do tálus.

Os escorregamentos foram aqui definidos como planares e circulares e correspondem aos escorregamentos como descrito por Cruden e Varnes (1996) e Attewell e Farmer (1976). Nestes casos, a frente de saturação atinge mais rapidamente o ponto de fluência do material e a ruptura acontece. Existe grande influência da aproximação do contato solo/rocha na determinação da geometria e profundidade da superfície de ruptura (Figuras 14).

Depósitos acumulados resultantes de rupturas de filitos e xistos na base dos taludes geralmente se movimentam lentamente, em função da menor inclinação dessas áreas e rastejamento também é comum (Figura 15).

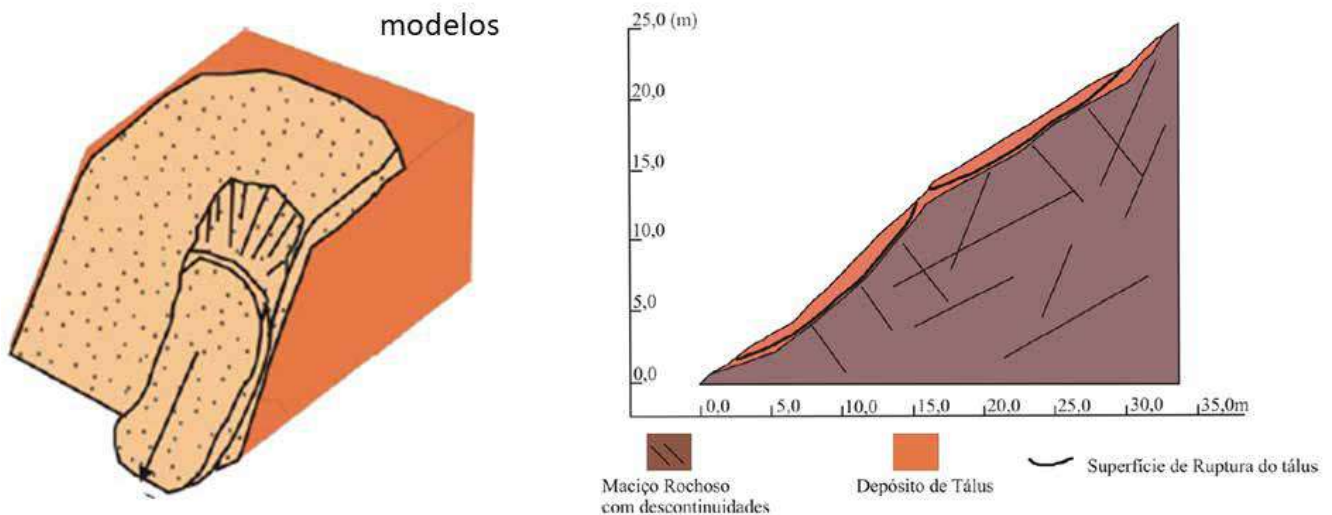


Figura 14. Modelo exibindo ruptura de depósito de tálus ao longo do contato com o maciço rochoso.





**Figura 15.** Rastejamento que ocorre em talude formado por tálus derivado da fragmentação de filitos e quartzitos da Formação Cercadinho no bairro Mangabeiras em Belo Horizonte.

### 3 VULNERABILIDADE

O risco não pode ser compreendido de forma desvinculada do contexto no qual ele ocorre, mas devem ser consideradas as variáveis físicas, sociais, políticas, econômicas e outras que possam estar implicadas. Favero *et al.* (2014) enfatizam que riscos e desastres têm sua origem na interação entre seres humanos e seu contexto social, salientando-se que, mais do que um evento agudo, um desastre é a expressão aguda da vulnerabilidade em suas diferentes dimensões (física, social, ambiental, etc.). De acordo com o último diagnóstico de Vilas e Favelas da Prefeitura de Belo Horizonte (2019) as vilas, favelas e aglomerados de Belo Horizonte possuem cerca de 120 mil domicílios e uma população de mais de 370 mil pessoas.

Foram diagnosticadas 1.100 edificações em áreas de risco geológico. Com as chuvas históricas

registradas no último ano, essas áreas sofreram significativas alterações e um novo diagnóstico será realizado após a finalização das obras de reestruturação necessárias e a finalização das ações de prevenção ao período chuvoso atual. Desde o último período chuvoso de 2020, a PBH realizou mais de 5 mil vistorias e removeu mais de 500 famílias de áreas de risco. Todas foram encaminhadas para o Programa Bolsa Moradia e Auxílio Pecuniário. A Figura 16 exibe o mapa de vilas e favelas de Belo Horizonte sobre o mapa geológico simplificado. A maioria das vilas e favelas encontra-se nas altitudes medianas e baixas assentadas sobre terrenos de xistos e filitos do Grupo Sabará e solos residuais de gnaisse do Complexo Belo Horizonte. A população em risco sofre com os efeitos de escorregamentos e inundações.



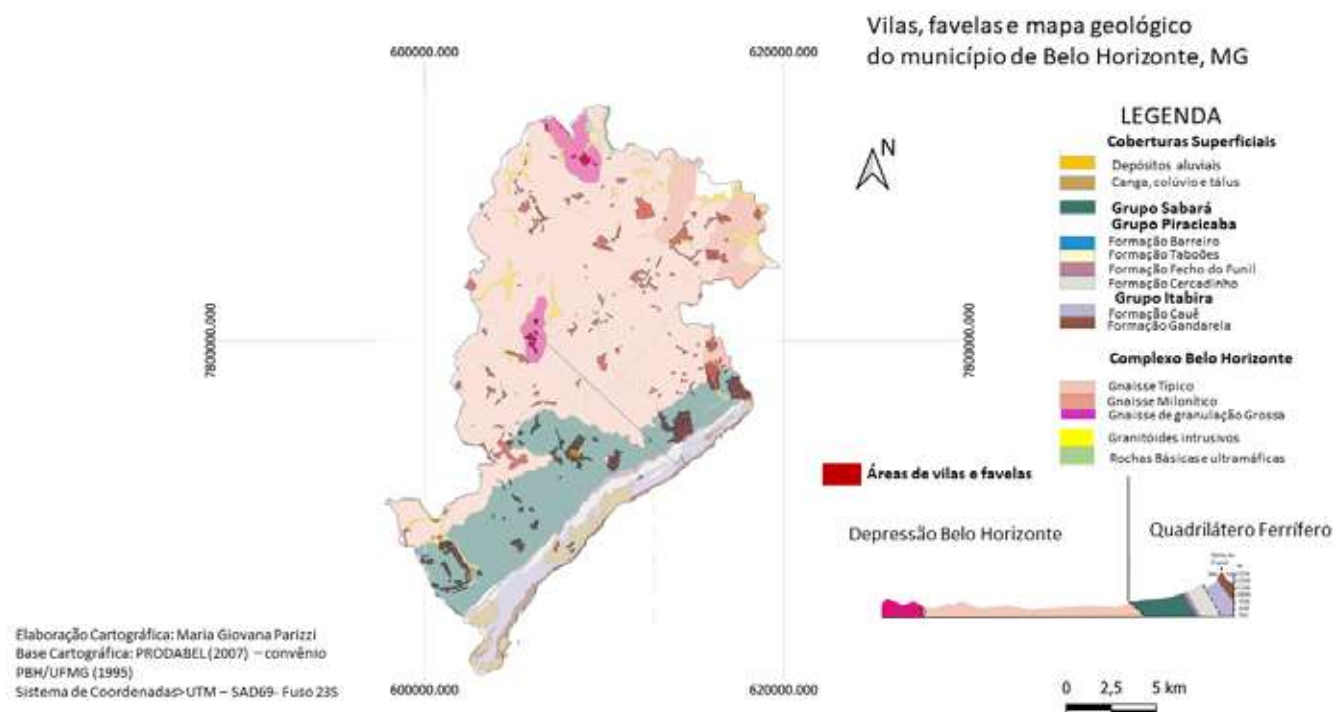


Figura 16. Mapa das áreas de vilas e favelas sobre o mapa geológico simplificado do município de Belo Horizonte.

#### 4 MEDIDAS PREVENTIVAS E MITIGADORAS

Por meio do programa estrutural em áreas de risco (PEAR-PBH) de vilas e favelas, diversas ações são realizadas para evitar acidentes graves e preservar vidas, assegurar proteção para as famílias que residem em áreas de risco geológico e inundação. O trabalho é executado por meio de vistorias, obras de manutenção, intervenções com mão de obra do morador e atividades de prevenção ao risco geológico (PBH, 2021). A Tabela 2 exibe o quantitativo de ações realizadas ao longo dos últimos três anos pelo PEAR.

Tabela 2. ações do Programa Estrutural de Áreas de Risco nos anos de 2018 a 2020. (Fonte: BELO HORIZONTE, 2021)

Ano (Dado atualizado de 2021)	Vistorias	Obras com mão de obra do morador	Obras para eliminação do risco	Remoções preventivas
2018	1651	43	80	1651
2019	1347	19	69	1347
2020	5500	33	80	5500

A atenção nestas áreas é reforçada por meio de vistorias técnicas e monitoramento constante, principalmente nos locais mais críticos. Quando

da chegada das chuvas, os esforços se concentram no atendimento à população. Quando o local apresenta grau de risco alto ou muito alto, o qual não pode ser eliminado ou controlado por uma obra tecnicamente viável, a família é removida, sendo encaminhada para o abrigo municipal. Ela também pode acessar o programa Bolsa Moradia até o seu reassentamento definitivo em uma unidade habitacional construída pela Prefeitura. Durante os meses da estiagem, a Companhia Urbanizadora de Belo Horizonte (Urbel) intensifica a realização de obras de pequeno e médio porte com o objetivo de corrigir ou eliminar situações de risco alto e muito alto, e, desta forma, prevenir acidentes e transtornos no período das chuvas. Outro tipo de obra preventiva para evitar problemas com as chuvas são as intervenções realizadas em parceria com a comunidade. A Urbel doa o material de construção e fornece assistência técnica por meio de engenheiro, enquanto o morador é responsável pela mão de obra. As intervenções são de pequeno porte como muros de contenção de menor tamanho, canaletas de drenagem, lajes impermeabilizantes, pavimentação de beco, etc.

Os Núcleos de Defesa Civil (Nudec) são formados por cidadãos da comunidade que, através do trabalho voluntário contribuem com ações

preventivas nas áreas de risco, além de orientar e prestar socorro mais imediato nas situações de calamidade e emergência. Durante o ano, eles participam de diversas atividades de capacitação oferecida pela Urbel, como curso de noções básicas do PEAR, visita às áreas de risco de deslizamento, onde são instruídos a identificar os tipos de risco geológico e os agentes (lixo, corte inadequado de barrancos, lançamento de água servida em encostas, e outros), oficinas para implantação de hortas comunitárias em áreas remanescentes, além de treinamentos de formação e reciclagem ministradas pelo Corpo de Bombeiros. Também aprendem como agir e orientar os moradores nos períodos de chuvas intensas e prolongadas, sobre os indícios de trincas nas moradias, movimentação de terreno e elevação do nível das águas de córregos e ribeirões. Os voluntários também recebem os alertas de chuva e transmitem para a comunidade. A PBH conta com a participação de aproximadamente 461 voluntários, abrangendo mais de 55 comunidades de todas as regiões da cidade. O Programa Vila Viva é uma intervenção estruturante com ações baseadas em três eixos: urbanístico, social e jurídico. São obras de saneamento, remoção de famílias, construção de unidades habitacionais, erradicação de áreas de risco, reestruturação do sistema viário, urbanização de becos, além de implantação de parques e equipamentos para a prática de esportes e lazer.

Com relação às inundações, a política de gestão compartilhada das águas tem definido ações que atuam no saneamento básico, gestão de resíduos sólidos, reabilitação de áreas erodidas, diagnóstico de bacias hidrográficas buscando a inclusão das comunidades nas decisões estratégicas.

## 5 CONCLUSÃO

A região metropolitana de Belo Horizonte apresenta geologia variada constituída desde rochas muito alteradas a solos residuais, altamente susceptíveis a movimentações de massa e que também condicionam o relevo e os padrões de drenagem das principais bacias. Destacam-se filitos e xistos com alto grau de intemperismo, solos

residuais de gnaiss e depósitos de tálus. Cada grupo se distingue pelo modo de ocorrência da movimentação.

Em filitos e xistos, é comum rupturas em cunha que estimulam a alteração da forma original do talude e, conseqüentemente, induzem a ocorrência de outros tipos de ruptura tais como as planar, tombamentos e, por fim, fluxo dos detritos gerados pelos processos anteriores. Quedas de blocos podem ocorrer em rochas um pouco mais resistentes porém muito fraturadas, como os quartzitos e itabiritos e gnaisses são.

Em solos residuais de gnaisses, o horizonte C se apresenta com pouca coesão e altamente susceptível a erosão, seguida de escorregamentos planares e circulares. Os depósitos de tálus são constituídos por material areno-siltoso derivados da fragmentação de filitos e xistos e se movimentam com muita facilidade quando o grau de saturação se torna elevado durante períodos chuvosos, geralmente desencadeando fluxos e rastejamentos.

As chuvas são importantes desencadeadores dos movimentos e obviamente dos processos hidrológicos. Os estudos revelaram que a maior parte dos movimentos de massa ocorre de maneira progressiva e não instantânea, dependendo das mudanças geométricas dos taludes e da alteração sofrida pelos materiais geológicos ao longo do tempo. Em todos os casos analisados, o risco foi agravado por atividades humanas, ou seja, os movimentos de massa geralmente ocorrem após alguns anos de execução das intervenções, que induzem os maciços de rochas alteradas à busca de novas formas de equilíbrio, através do desencadeamento de processos como erosão e movimentos de massa.

As medidas preventivas e mitigadoras devem levar em conta os fatores condicionantes dos riscos de escorregamentos, inundações e enchenetes, mas também a vulnerabilidade. Diversas políticas públicas têm sido implementadas neste sentido, entretanto, ainda é preciso investir em ações sociais que atuem especificamente na vulnerabilidade. Somente assim será possível eliminar o risco para que o belo horizonte seja para todos.

## REFERÊNCIAS

- Attewell, P. B., Farmer, I. W. 1976. Principles of Engineering Geology. London- NewYork, Chapman and Hall.1045p.
- BELO HORIZONTE. Prefeitura de Belo Horizonte. 2021. PEAR – Programa Estrutural de área de risco. Disponível em <https://prefeitura.pbh.gov.br/urbel/pear-areas-de-risco>. Acessado em 10 de julho de 2021.
- Barton, N., Lien, R., Lunde, J. 1974. Engineering Classification of Rock Masses. Rock Mechanics. 6 (4): 189 – 236.
- Bieniawski, Z. T.1989. Engineering rock mass classification. New York: John Wiley. 215p.
- Cruden, D. M., Varnes, D. J. 1996. Landslides Types and Process. In: Turner, A. K & Schuster (ed.) Landslides – Investigation and Mitigation, Special Report 247, Washington, D.C., R.L.National Academy Press, 36 - 75.
- Favero, E; Sarriero, J.C; Trindade, M.C.;2014. Os desastres na perspectiva sociológica e psicológica. Revista Psicologia em Estudo. Maringá, Volume 19(2), p. 201-209. <https://doi.org/10.1590/1413-737221560003>
- Fiori, A., P., Carmignani, L. 2001. Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas, aplicações na estabilidade de taludes. Ed. UFPR. 548p.
- Frazão, E. B., Mioto, J. A., Santos, A. R. 1976. O fenômeno de desagregação superficial em rochas argilosas – sua implicação na estabilidade de taludes viários. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 1, Rio de Janeiro, Anais, 1:211-228.
- Hoek, E., Bray, J. 1981. Rock Slope Engineering. London, Institution of Min. Metall & Elsevier Applied Science. 358p
- International Society of Rock Mechanics (ISRM). 1983. Métodos Para a Descrição Quantitativa de Descontinuidades em Maciços Rochosos. São Paulo, ABGE e Comitê Bras. de Mec. das Rochas. 132p. (Tradução nº12.)
- Parizzi, M. G. 2004. Condicionantes e mecanismos de ruptura em taludes da região Metropolitana de Belo Horizonte, MG. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Ouro Preto, 2004. 213 pp.
- Parizzi, M.G.; Sobreira, F.G.; Galvão, T. C B; Aranha, P. R. A.; Timbó, M. A. E; Beirigo, E.A. Processos de Movimento de massa em Belo Horizonte, MG. Geografias (UFMG), v. 7, p. 58-87, 2011.
- Silva, A. S., Carvalho, E. T, Fantinel, L. M., Romano, A. W., Viana, C. S. 1995. Estudos Geológicos, Hidrogeológicos, Geotécnicos e Geoambientais integrados no Município de Belo Horizonte. Convênio: PMBH, SMP, FUNDEP/ UFMG. 490p. (Relatório Final).
- Viana, C. S. 2000. Caracterização dos Processos Erosivos no Município de Belo Horizonte – Uma Contribuição à Gestão Ambiental e ao Planejamento Urbano. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Sanitária, Ambiental, Hidráulica e Recursos Hídricos - DESA/ UFMG. 217p.
- Yang, Z. Y., Chuang, C. C. 1997. A theoretical study on the progressive landslide of blocky slopes. In: Marinos, Koukis, Tsiambaos & Stoumbras (ed.). Engineering Geology and Environment, Rotterdam, 1143-1147.

## AGRADECIMENTOS

À ABGE e respectivos Núcleos Regionais pela promoção do Workshop de Riscos e Regionalidades.

---

# NOSSA HISTÓRIA



# DESAFIOS ATUAIS DO GEÓLOGO DE ENGENHARIA NO BRASIL

CURRENT CHALLENGES OF ENGINEERING GEOLOGIST IN BRAZIL

SÉRGIO NERTAN ALVES DE BRITO  
*Geólogo, Consultor*

## 1 INTRODUÇÃO

Para discutir quais são os desafios que hoje enfrenta o Geólogo de Engenharia no Brasil é bom relembrar as suas funções fundamentais:

- prever de que maneira o comportamento natural de um maciço pode influenciar uma obra de engenharia;
- prever o comportamento do maciço natural diante das modificações impostas por uma obra de engenharia.

No primeiro caso, ele enfrenta o seu desafio profissional por excelência, como um homem das geociências e, portanto, habituado à análise dos fenômenos naturais. Como preocupação básica, ele centra suas considerações no entendimento da dinâmica dos maciços naturais, considerada simplificada como a maneira como eles alteram sua forma e/ou sua composição ao longo do tempo. Nesta tarefa, ele assume o papel do profissional responsável, mesmo que para exercê-la precise contar com a colaboração dos outros profissionais das geociências, cujo trabalho, entretanto, cabe a ele coordenar. Faz-se necessário apenas algumas adaptações nos seus métodos de estudo de modo a levar em conta a escala temporal bem mais diminuída que corresponde à vida de nossos projetos e um conhecimento de quais sejam as influências realmente pertinentes.

Existe um período de treinamento intenso no qual o geólogo tem contato com os projetos de en-

genharia de modo a visualizar a dependência que eles têm da natureza e de que maneira interagem com o meio natural, o que traz à tona o segundo campo de suas preocupações. Neste campo, ele tem contato com o engenheiro civil geotécnico, que, ao longo dos anos, vem desenvolvendo metodologias de análise do comportamento dos maciços naturais quando submetidos aos esforços impostos pelas obras de engenharia. Aqui, a responsabilidade profissional é por excelência do engenheiro civil, sendo o geólogo de engenharia um dos seus colaboradores imprescindíveis.

Ao participar ativamente da elaboração dos modelos representativos do maciço natural, o geólogo de engenharia tem contato com as técnicas de análise desenvolvidas pelos mecânicos dos solos e das rochas e descobre a grande ajuda que podem prestar no entendimento do comportamento dos maciços naturais. E o círculo se fecha.

A atividade profissional do geólogo de engenharia gora, portanto, em torno dessas três funções: trazer à engenharia o conhecimento da dinâmica dos maciços naturais, ajudar o engenheiro na modelagem desses maciços de maneira a poderem ser analisados pelas técnicas desenvolvidas pela engenharia e, finalmente, aplicar essas técnicas no conhecimento do comportamento dos maciços naturais.

Quando o Brasil iniciou sua fase de construção de grandes projetos nos anos 1960, o papel da geologia de engenharia já era reconhecido graças

ao trabalho pioneiro que havia sido desenvolvido individualmente por geólogos de várias partes do Brasil. Aquela época coincidiu também com o início da formação de geólogos brasileiros, e a engenharia teve que buscar seus primeiros colaboradores recém saídos da fornada das escolas de geologia brasileiras. Todos nós que iniciamos na Geologia de Engenharia nos primeiros anos da década de 1960, o fizemos como recém formados, e já começamos envolvidos diretamente com a responsabilidade dos grandes projetos. Muitos tiveram a chance de cursos de pós-graduação posteriormente, mas, naquele momento, só tínhamos a formação básica que nos deram nos bancos de escola. Fomos formados em Geologia de Engenharia pelo contato diário com a engenharia e seus problemas. Foi aí que deixamos a Fase Amadorística da GE<sup>1</sup> e iniciamos a Fase Profissional, quando as empresas de engenharia começaram a contratar geólogos para seus quadros. A formação do geólogo de engenharia foi feita principalmente pelo engenheiro e não por geólogos de engenharia mais experientes. Tivemos a sorte de já contar neste momento com uma instituição de pesquisas à frente de nossos conhecimentos, já preparada para desenvolver tecnologias e formar pessoal, e que foi o nosso primeiro suporte tecnológico. Rendo neste momento uma justa homenagem ao IPT de São Paulo, que forjou naquela época o mais brilhante grupo de geólogos de engenharia que nossa geração teve, hoje trabalhando nas mais diversas frentes.

Os recursos teóricos de que dispõe o geólogo de engenharia advém, portanto, de duas fontes principais: as geociências e a engenharia. Os primeiros compõem a sua formação básica, própria de qualquer geólogo, com o enfoque principal de que cabe neste caso principalmente definir a “fenomenologia natural”, o que abordaremos no capítulo 2. Muito do que se consegue hoje interpretar do comportamento dos materiais naturais foi possível graças a teorias desenvolvidas dentro da engenharia, basicamente sintetizadas na Mecânica dos Solos e das Rochas ou a Geomecânica, o que também estará visível no capítulo 2. Aqui se pode resumir o primeiro grande desafio com que se depara atualmente o geólogo de engenharia:

usar cada vez mais os recursos da Geomecânica no entendimento dos fenômenos naturais, aliados a seu conhecimento das geociências.

Desde o começo da geologia de engenharia, um conceito fundamental consistia em definir as feições geológicas importantes que deveriam ser investigadas nos estudos de engenharia. É uma constatação quase decepcionante quando lemos trabalhos que compõem o famoso Berkey Volume, *Application of Geology to Engineering Practice* (Paige, 1950), da Geological Society of America, que as principais feições geológicas importantes às obras de engenharia já eram conhecidas naquela época. Algumas feições novas foram determinadas após aquele período e algumas novas surpresas nos esperam no futuro, mas não é aí que se situa o nosso maior desafio.

Onde aconteceu a grande evolução da geologia de engenharia nas três décadas? Nieto (1977) mostra dois pontos fundamentais que gostaríamos de reforçar:

- O extraordinário desenvolvimento dos métodos de investigação. Este é um desafio permanente pois anda de braços dados com o próprio desenvolvimento tecnológico. Vamos abordar este ponto apenas superficialmente no capítulo 4. Cabe ainda comentar, entretanto com decepção, a fragilidade do sistema de pesquisas no Brasil que não tem permitido um desenvolvimento mais dinâmico de nossas técnicas de investigação ou sua distribuição no mercado. Constata-se a grande preocupação por parte de indivíduos, empresas privadas e mesmo institutos de pesquisas oficiais em reter para uso próprio, com únicos interesses comerciais, metodologias recentemente desenvolvidas e de grande interesse para a comunidade.
- O segundo ponto é a grande influência exercida pela Mecânica dos Solos e Mecânica das Rochas na geologia de engenharia. O grande avanço observado na caracterização dos maciços rochosos observado nos últimos anos se deu ao melhor conhecimento que hoje se tem das características geológicas que influenciam as propriedades mecânicas e hidráulicas do maciço. Este ponto abordaremos em maior detalhe no item 3.

1 Geologia de Engenharia

Mesmo já conhecendo as principais feições geológicas que são importantes na engenharia, o geólogo de engenharia não pode esquecer que estamos diante de um universo que em geral apresenta uma grande probabilidade de surpresas e imprevistos. Nenhum exemplo é mais elucidativo do que o dos basaltos, a rocha sobre a qual se construiu a maior experiência em projetos de barragem no Brasil. Mesmo assim, a cada ano, somos surpreendidos por feições novas, algumas delas apresentadas neste congresso.

Stapledon (1976), ao analisar vários casos históricos de barragens onde ocorreram acidentes devido a causas geológicas (levantamento até 1965) mostrou que mais da metade das rupturas puderam de certa forma ser relacionadas a essas causas. A análise de dez casos mais conhecidos levou-o a concluir que os fatores tecnológicos que contribuíram para tais rupturas foram (apenas aqueles que interessam ao geólogo de engenharia):

- 1º) atingiu-se o limite do estado da arte  
.....6 casos;
- 2º) falta de conhecimento de engenharia por parte do geólogo  
.....4 casos;
- 3º) a informação geológica foi incorreta ou insuficiente  
.....3 casos;
- 4º) investigação inadequada de subsuperfície  
.....2 casos;
- 5º) linguagem geológica não entendida pelos engenheiros  
.....1 caso.

Este levantamento, se bem que um tanto defasado no tempo, é ainda muito válido e realça várias questões que procuraremos abordar neste trabalho.

## 2 O CONHECIMENTO DA FENOMENOLOGIA NATURAL

Entender de que maneira se processam os fenômenos naturais é a chave para equacionar e

seu inter-relacionamento com as obras de engenharia. O que caracteriza este entendimento é a participação de um grande número de profissionais cujos conhecimentos se somam para a tarefa comum. É uma atividade essencialmente multidisciplinar. Dela têm participado os próprios engenheiros geotécnicos, que forneceram as bases teóricas pelas quais os processos de erosão e de ruptura pudessem ser entendidos, mesmo que ainda parcialmente.

Várias áreas de interesse para a geologia de engenharia ainda exigem grande quantidade de pesquisa e formam um grande elenco de desafios para o geólogo de engenharia. Vamos comentar algumas delas.

### 2.1 Origem e Evolução dos Solos

A origem dos solos pelo enfoque puramente geológico levou-nos a esbarrar em problemas inexplicáveis e quase insolúveis pelos processos físicos e químicos. Estes perdem inteiramente a importância diante da imensurável atividade processada pelos seres vivos, principalmente os animais, o que só veio adquirir importância adequada quando do surgimento dos famosos canais da barragem de Tucuruí.

Em 1972, o geólogo americano Vernin Hurst, da Universidade de Georgia, que dava um curso de mapeamento dos saprólitos para a CPRM em Belo Horizonte, visitou as obras da barragem de São Simão, a convite da CEMIG. Examinou os solos coluvionares de espessura de 3 a 5 m que cobriam espessos depósitos de cascalho também coluvionares. O aspecto grumoso do solo, em que partículas silto-argilosas formavam aglomerados de tamanho de areia, dava ao solo uma baixa densidade *in situ*, que localmente atingia valores de  $\gamma_s = 1 \text{ g/cm}^3$ . Não tínhamos na ocasião uma explicação aceitável para a origem do solo. Hurst foi enfático e categórico: a estrutura de solo coluvionar era devida ao intenso trabalhamento do mesmo pelos animais que o habitam. Como exemplo, citou dados da Geórgia: 20 toneladas de solo por acre/ano passam através do trato digestivo dos vermes; para uma camada de 3 m, em 800 anos, todo o solo seria digerido pelo vermes. Foi a pri-

meira vez que tive contato com este efeito na escala gigantesca dos nossos solos.

Entretanto, somente em 1984, voltei a ter contato pessoal com a intensa ação animal em nossos solos ao examinar os canalículos e cavidades encontradas nas fundações dos diques da barragem de Samuel, em Rondônia, em construção pela Eletronorte. A ocorrência mais generalizada de canalículos em Samuel se deve aos Minhocoçus. Esta minhoca de grande porte (atinge 40 cm de comprimento e 1,5 cm de diâmetro) deixou evidências de sua atividade em todos os solos de Samuel, em vários estágios de preservação. Assim é que canalículos atuais, com o animal em pela atividade, são encontrados lado a lado com canalículos inteiramente preenchidos por solo ainda fofo e outros preenchidos por material endurecido por hidróxido de ferro. É de se esperar que a atividade dos minhocoçus venha ocorrendo há longo tempo em Samuel

Chama a atenção a grande dimensão dos cones de material fecal observados sobre os canalículos à superfície, que chegam a atingir 5 cm de base por outros de altura, o que evidencia a grande quantidade de solo que este animal pode trazer de profundidade à superfície do terreno. Observações feitas durante a pesquisa mostraram que o número de bolos fecais formados por mês em 10 quadrados de 3 x 3 m variam durante o ano de 3 a 40, num total médio de cerca de 26 por área de 9 m<sup>2</sup>. Se admitirmos o volume de cada bolo de 30 cm<sup>3</sup>, o que é comum, é fácil calcular que o volume de solo trazido só por este animal à superfície é de 1 cm por século.

De Heinzelin (1955, citado por Tricart e Caillex, 1965) avaliou que o volume de terra revolvido pelos cupins pode atingir cerca de 1 m por 1.000 anos. Os canalículos de minhocoçus são facilmente identificados por serem muito uniformes, com diâmetro regular, subverticais, sempre tubulares, e apresentam frequência de ocorrência de várias dezenas por metro quadrado. Entretanto, uma grande variedade de outros canalículos e cavidades, de dimensões das mais variadas, é observada em Samuel. A mais espetacular e impressionante observação desses canalículos pôde ser feita durante o bombeamento das trincheiras de investigação feitas na fundação do dique na margem direita, sob o lençol freático. O afluxo de

água pelas paredes, incluindo jorros equivalentes a tubulações de 2" a 4" realçou o porte, a continuidade e a importância das cavidades no horizonte de solo aluvionar abaixo do chamado coluvião. A porosidade desse horizonte é absurda. Existem canalículos de pequenas dimensões, só observados com o uso de lupas de 10 a 20 vezes de aumento, e que praticamente ocorrem em todo o solo, com origem animal clara. Canalículos regulares de minhocoçu, subverticais, são vistos em todos os locais das trincheiras. Canalículos e cavidades de forma variável, numa distribuição espacial irregular, intercomunicantes e com continuidade lateral enorme, demonstrada pelo fluxo de água, forma a feição mais impressionante do solo.

A origem animal de alguns canalículos de Samuel já foi realçada por Machado (1983) e Buck (1984), respectivamente, responsabilizando as térmitas e os minhocoçus. Formigas são, entretanto, os insetos atualmente mais comuns nos solos de Samuel, e são vistos em todos os tipos de solo e em todos os locais, e negar-lhes a importância que têm na atividade de transformação recente, e mesmo passada, do horizonte superficial do solo é um tanto injusto.

Estruturas semelhantes a estas, em forma e dimensões, já foram observadas pelo autor em solos recentes, mesmo fora da Amazônia. Sua origem animal é reconhecida e facilmente observada. Cupins, formigas e minhocas, e um número ainda maior de pequenos animais, compõem uma fauna que povoa a camada superficial do solo, em qualquer região do Brasil, e são os maiores responsáveis pela sua total desagregação, uniformização de textura e grande parte da sua alteração química. A intensidade deste processo na Amazônia, debaixo de proteção da floresta, é muito maior. É reconhecido o papel vital que tais animais têm na reincorporação ao solo dos elementos nutrientes que se encontram nos vegetais mortos que se acumulam sob a mata. Em solos tão pobres como os amazônicos, estes processos têm que suprir, com sua intensidade, as deficiências próprias de um solo basicamente estéril.

Mesmo ocorrendo em qualquer tipo de solo e região, a ação animal deixa marcas mais permanentes nos solos da Amazônia em virtude dos processos de ferruginização por que passam os solos desta região. Os solos observados nas trin-



cheiras possuíam em “esqueleto” endurecido nas suas fases de ressecamento que permitia a “estabilização” das cavidades, mesmo de grandes dimensões. Este é o fator que não é observado nos solos das regiões sul e sudeste, onde se construiu a nossa maior experiência barrageira. Mas a atividade animal nestes solos também existe e vem sendo cada vez mais notada, após a experiência das obras na Amazônia.

A hipótese que formulamos para explicar a origem do horizonte superficial extremamente poroso, mesmo em superfícies muito horizontais, como um aluvião, é uma intensa ação animal capaz de abrir canalículos e cavidades, revolver o solo e mesmo carregá-lo até a superfície, deixando no lugar um solo de elevadíssima porosidade. A desagregação superficial do solo e a disposição de grande quantidade de solo trazida de profundidades maiores pelos animais, misturada à matéria orgânica disponível, dá origem à camada superficial de solo orgânico.

## 2.2 Mecanismos de Movimentação de Encostas

A cada período chuvoso, a sociedade se choca com os inúmeros escorregamentos ocorridos nas nossas cidades e estradas, alguns de registros trágicos, com perdas de dezenas de vidas. Este permanece como um dos grandes desafios ao geólogo de engenharia: a previsão do comportamento das encostas naturais e aquelas ocupadas pelo homem.

O enfoque central do estudo tem que considerar que este é um processo natural de desenvolvimento das paisagens e é desta forma que tem que ser entendido: as rochas desagregadas física e/ou quimicamente nos pontos altos da topografia são trazidas para os pontos baixos por ação primeiro da gravidade obviamente, mas com uma ajuda quase inseparável da água. Seja em partículas individuais, seja em grandes massas de consistência variável de sólido a quase líquido, os solos e rochas têm uma tendência incontrolável a descer as encostas em velocidades das mais variáveis.

No período chuvoso de janeiro de 1979, uma série de deslizamentos em encostas e aterros ocorreu na BR-262, no trecho Belo Horizonte-Monlevade, e foram objeto de estudos para projetos de

recuperação. Uma questão intrigante, que durante os estudos chamou a atenção, foi a capacidade que se teria de previsão de acidentes como aqueles.

Dentre os oito casos analisados, quatro chamaram a atenção por se tratarem de aterros (apenas um corte) de pequena altura (de 5 a 10 m), em encostas muito suaves e com grande extensão da área danificada.

Nos três casos em aterro, houve total ruptura do pavimento, com a formação de uma série de degraus mantendo-se as superfícies dos mesmos ligeiramente horizontais, não tendo havido rotação perceptível dos blocos rompidos. Os deslocamentos verticais entre degraus contíguos eram de cerca de 1 m e no total de 3 a 4 m. O deslocamento horizontal era mais acentuado, tendo atingido 10 m.

Durante a inspeção de campo, um ponto ficou realçado de imediato. Não se observava nenhum abaulamento do pé do aterro, isto é, o volume deslocado no escorregamento não foi “expulso” junto ao pé. Não se tratava, portanto, de escorregamentos rotacionais comuns. A impressão que se tinha é que havia ocorrido um “espalhamento” do aterro. A inspeção da encosta natural abaixo dos aterros mostrou uma série de rachaduras que evidenciaram sua movimentação em áreas que atingiram de 60 a 200 m, a partir da saia do aterro.

No km 82, o corte original tinha no máximo 10 m de altura, tendo sofrido deslizamentos generalizados com grande surgência de água e estufamento do pavimento da estrada por levantamento generalizado de cerca de 0,50 a 1,0 m, numa extensão de 100 m. Rachaduras recentes foram observadas a 180 m do corte, encosta acima.

Em todos os casos, as encostas são bastante suaves (5° a 15°). Não havia dúvida de que toda a encosta estava envolvida no escorregamento e deu exame cuidadoso mostrou degraus que levavam a suspeitar da ocorrência de escorregamentos antigos. Tudo indicava que as encostas haviam se movimentado, levando consigo os aterros, e não o contrário.

Todos os locais se situam em região de gnaisses mas não há rocha envolvida nos fenômenos (apenas blocos), ocorrendo em todos os casos um coluvião argiloso vermelho (com ou sem blocos) de espessura variável, mas em média de 5 a 10 m, sobre o solo residual de gnaisses. Os escorre-

gamentos ocorriam sistematicamente no contato entre os dois solos, ou dentro do coluvião.

Em todos os locais, o coluvião era formado em bacias convexas, portanto, coletoras de água tanto superficial como subterrânea, e tinha grande extensão. Inúmeras minas de água surgiam no material escorregado, e em alguns ocorria argila orgânica associada ao coluvião e que também condicionava o escorregamento.

Os solos porosos coluvionares são particularmente sensíveis ao efeito da saturação na diminuição de sua resistência e a submersão é bastante comum devido à ascensão do NA no terreno. É fácil observar que o NA tende a subir de maneira mais crítica na parte inferior de inclinação suave, que na parte superior côncava de forte declividade.

As linhas de percolação também se estabelecem de maneira mais desfavorável na zona inferior, paralelamente à superfície, dando origem a forças de percolação na direção mais crítica. Essas forças de percolação afetam bastante o fator de segurança destes taludes, apesar da sua pequena inclinação.

O que é importante observar é que a velocidade de rastejo do solo, influenciada pela inclinação da encosta e pela incidência da água, varia bastante ao longo de uma mesma encosta, em função da ascensão do NA, da direção do fluxo subterrâneo e do tipo de solo predominante. É de se esperar, portanto, "descontinuidades" no movimento ao longo da encosta, e grandes variações durante a história geológica de encostas, levando a rupturas locais.

Guidicini e Iwasa (1976) procuraram correlacionar escorregamentos e pluviosidade em nove áreas brasileiras, todas caracterizadas como de clima tropical úmido, mas com pluviosidades médias anuais diferentes.

A pluviosidade média anual da área da BR-262 em questão é 1.366 mm, comparável àquela da Serra das Araras e do Sul de Minas, estudadas por Guidicini e Iwasa.

A influência das chuvas foi analisada pelos autores citados com base na chuva que ocasionou o escorregamento e na quantidade de chuva acumulada no ciclo anual até o dia do acidente

$C_c$  (coeficiente de ciclo) = precipitação até o acidente / média anual

Se plotarmos a curva de  $C_c$  acumulado para a área de BR-262, no gráfico dos autores, notamos claramente que de janeiro em diante ela já atinge a zona de 100% de correspondência de chuva com escorregamento, mas o coeficiente do ciclo até dezembro é inteiramente normal, o que impede o uso do gráfico na previsão dos eventos.

A análise da precipitação do episódio de chuva correspondente ao escorregamento não pôde ser feita neste caso por ser impossível datar os acidentes, como também por terem quase todos ocorridos gradativamente ao longo de vários dias. Consideramos por este motivo que os acidentes ocorreram próximo ao final do mês de janeiro de 1979, quando a estrada foi interrompida.

Só para efeito comparativo, entretanto, é bom frisar que Guidicini e Iwasa descobriram que sempre que ocorrem chuvas de intensidade de 12% a 18% de média anual, inevitavelmente ocorrem escorregamentos. Não foram analisados os pluviogramas da área da BR-262, mas no período de chuva analisado, em média pode-se considerar que a precipitação diária máxima de novembro a março foi de 70 mm, variando de 18 a 250 mm. Assim, episódios isolados podem ter ocorrido na área e que por si só podem ter desencadeado escorregamentos.

Verifica-se no gráfico de pluviosidade acumulada para o período 1978 - 1979 que o período de chuva era absolutamente normal até fins de dezembro, sendo que em janeiro e fevereiro é que o gradiente de chuva aumentou de maneira anormal. Detalhando essa parte do ciclo com os registros diários, nota-se que, de 18 de janeiro a 10 de fevereiro, choveu ininterruptamente a um ritmo médio de 55 mm por dia, período esse que coincide inteiramente com o período crítico dos deslizamentos. Guidicini e Iwasa (op.cit.) já haviam chamado atenção para esse aumento do gradiente de pluviosidade nos dias anteriores aos escorregamentos e já reconheceram na ocasião o pequeno significado do fato na previsão desses acontecimentos.

No caso da BR-262, trecho BH-Monlevade, tudo indica que os deslizamentos estão relacionados ao elevado gradiente de pluviosidade no período de 18 de janeiro a 10 de fevereiro, o que torna impossível concluir pela sua previsibilidade. Conclui-se que acidentes desse tipo ocorrem

devido a condições morfológicas de terreno já conhecidas ou analisáveis, com os recursos que se dispõem em geologia de engenharia e geotecnia.

Parece ser possível correlacionar com boa precisão os episódios de chuvas com os escorregamentos, mas previsões desses escorregamentos com antecedência suficiente parecem impossíveis em casos semelhantes ao descrito neste trabalho. Novas tentativas de correlação entre chuvas e escorregamentos foram feitas posteriormente e uma delas é a publicada nos anais deste Congresso (Tatizana e outros, 1987).

Os autores concluíram que a acumulada de 4 dias de chuva anterior ao escorregamento foi considerada como efetiva no processo de escorregamento, sendo responsável pela preparação do terreno para fenômenos de instabilização, ao passo que as precipitações de curta duração (horárias) podem estar associadas a fenômenos de desenvolvimento instantâneo que podem funcionar como detonantes do processo de escorregamento. Não estamos convencidos de que a “acumulada de 4 dias”, segundo os dados dos autores, apresente qualquer indício de correlação com os acidentes melhor do que a de 2, 3 e 8 dias. Aliás, a dispersão observada é absurda em qualquer dos gráficos.

Entretanto, o que vale a pena insistir, o que é reconhecido pelos autores, é que os estudos têm validade para uma dada conformação geomorfológica, o que não foi considerado. O segundo ponto, referente à previsibilidade, é tratado pelos autores como base no CPC (Coeficiente de Precipitação Crítica), que depende da intensidade horária da chuva do episódio e da acumulada de 4 dias, o que, de novo, tem pouco valor na previsão do fenômeno.

O estudo das correlações de chuvas com escorregamentos têm grande valor no entendimento da fenomenologia, mas só pode ser usado em avaliação de predisposição regional, se associados ao conhecimento da evolução morfológica da área.

Várias outras questões associadas ao comportamento das encostas precisam ser melhor abordadas, sendo que uma delas também foi tratada neste Congresso por Carvalho e Wolle (1987) sobre o fluxo d'água em solos insaturados.

Outro ponto que não pode ser menosprezado se refere ao efeito das vibrações causadas pelas trovoadas, já várias vezes mencionado, mas que

têm sido consideradas com certo desprezo. Na região de Salto Grande – MG, vários moradores insistiram que “terremotos” foram sentidos simultaneamente com grandes escorregamentos, não se conhecendo qualquer registro dos mesmos. Lopes (1987), em trabalho apresentado a este Congresso, volta a mencionar a questão relacionada ao abatimento das fundações em Terra Roxa, no Paraná.

O fato é que solos de estruturas muito instáveis, como alguns dos nossos coluviões, quando saturados, podem sofrer um processo de liquefação, que é como se assemelham vários dos escorregamentos de encostas no Brasil.

Há pouco tempo, participamos do estudo da ruptura de uma barragem de rejeitos cujo mecanismo de desencadeamento da liquefação foi quase certamente a vibração causada por 3 caminhões estacionados simultaneamente em sua crista.

Acredito que a geomorfologia pode dar uma grande ajuda aos geólogos de engenharia no entendimento dos fenômenos de estabilidade de encostas, sendo mesmo o grande caminho a ser seguido nesta fase.

### 2.3 Deformações de Paredes e Fundos de Vales

A presença de algumas juntas horizontais abaixo do leito do rio na barragem de Foz do Areia foi mencionada por Marques Filho e outros (1978), mas uma tentativa para sua explicação só foi apresentada posteriormente (Marques Filho e outros, 1981).

Citam os autores a existência no leito do rio, constituído de basalto denso, de “uma série de zonas fraturadas e alteradas mergulhando suavemente no sentido das duas margens (20° a 25°, em ambos os sentidos) e reduzindo-se a uma única zona subhorizontal em direção à ombreira esquerda. Na terceira dimensão, estas zonas mostram um pequeno mergulho para jusante, com os horizontes mais superficiais aflorando na área do plinto e aprofundando-se no sentido do fluxo do rio”. Ao explicar o fenômeno, os autores consideram a existência de tensões horizontais, porém apenas atuando como tensões principais maiores após a remoção ou diminuição das cargas verticais pela erosão.

As feições de Itaipu foram detalhadamente descritas por Paes de Barros e Guidicini (1981), com comparações com as descobertas de Foz do Areia. Os autores realçam a presença, no interior de quase todos os derrames, de descontinuidades de amplo desenvolvimento lateral. Trata-se de feições subhorizontais, de andamento subparalelo ao topo e base dos derrames, que podem variar, em aspecto, desde a simples junta com abertura milimétrica e faces constituídas por rocha sã, ou pacotes de rocha fortemente fraturada e alterada, com espessura da ordem de um a dois metros, até caixas de material argiloso com algumas dezenas de centímetros de espessura". "Fato importante é a verificação que tais descontinuidades apresentam com frequência sinais de movimentação relativa das faces, isto é, observa-se que, ao longo de algumas dessas feições, a porção do maciço a elas sobrepostas se deslocou em relação à porção sotoposta. Tanto a quantidade do deslocamento como seu rumo são variáveis, dependendo da descontinuidade que estiver sendo enfocada e da ombreira em questão. Vale, entretanto, a norma de que os movimentos das porções sobrepostas às descontinuidades convergem para o centro do vale... tendo sido observados movimentos de 37 cm".

Os autores explicam tais casos como devidos aos deslocamentos de fundos de vale causados pelo alívio das tensões durante a erosão, usando o modelo exposto por Patton e Hendron (1974) que se aplicava entretanto apenas a rochas sedimentares. Admitem a pré-existência de juntas subhorizontais na rocha que foram deslocadas pelo processo de abertura do vale.

Um caso interessante foi observado pelo autor em 1986 durante a construção da barragem do rio Mando, a 40 km de Belo Horizonte, para abastecimento de água da capital mineira.

A geologia local é constituída de xistos do Grupo Nova Lima, com xistosidade vertical e paralela ao eixo da barragem, estrutura esta considerada obviamente muito favorável. Durante as investigações, o único problema descoberto foram as perdas d'água elevadas no contato do horizonte intemperizado com a rocha sã, que praticamente coincidia com o nível do rio, devido ao espesso pacote intemperizado. Este ponto também constitui uma anomalia de monta.

Uma grande cavidade, com dimensão maior da ordem de 5 m, foi descoberta durante o início da escavação em rocha para o canal de desvio. Não foi possível observá-la integralmente pois a mesma já havia desabado e sido parcialmente escavada quando da nossa inspeção. A parte remanescente da cavidade forneceu-nos entretanto uma observação adequada da ocorrência dando bons indícios de sua origem.

A cavidade foi descoberta no promontório de rocha que representa o ponto mais alto da rocha na escavação, ocorrendo pouco abaixo do contato solo-rocha. O xisto apresenta-se com sua xistosidade muito desenvolvida, subvertical, sendo o fraturamento, na zona da cavidade, muito intenso (F3 a F4) e a decomposição variável, predominando a rocha pouco decomposta (D2) mas com inúmeras zonas muito decompostas (D3 e D4). As feições geológicas que mais chamam a atenção são as fraturas subhorizontais de grande extensão e muito abertas. Ocorre uma laje de rocha relativamente maciça e sã, com 1 a 2 m de espessura, no topo do promontório, praticamente isolada da rocha. O exame cuidadoso das fraturas horizontais mostra que houve acentuado deslocamento em direção ao rio e lateralmente, denunciado pela grande quantidade de superfícies estriadas e espelhadas, e pelo tombamento de blocos de xisto que são encontrados com a xistosidade horizontal, entre a laje superior e a rocha inferior, ambos com a xistosidade vertical. Acredita-se que o movimento horizontal foi de, no mínimo, 0,5 m, podendo mesmo ter ultrapassado 1 m. Tais deslocamentos criaram uma grande quantidade de vazios na rocha que foram localmente alargados pela remoção do material fragmentado e intemperizado. Parece-me ser esta a origem mais plausível para as cavidades observadas, não havendo nenhuma evidência de dissolução nas paredes remanescentes.

Esta origem para as cavidades fica reforçada quando se observa a existência de inúmeras outras zonas fraturadas da rocha, em tudo semelhante à principal, mas em menores dimensões. No pé do talude do corte em solo, uma destas zonas foi parcialmente limpa e mostrou as fraturas horizontais abertas até 5 cm, e aparentemente com grande extensão para dentro da ombreira.



A relação das cavidades com a abertura das juntas subhorizontais do topo da rocha, criando zonas fragmentadas, intemperizadas e posteriormente erodidas pela água de percolação parece clara.

Deslocamentos em direção ao rio das paredes de seus vales, em rochas sedimentares horizontais, têm sido observados frequentemente e são relacionados ao alívio das tensões horizontais produzido pelo desconfinamento lateral durante o entalhe do vale pela erosão.

Os movimentos de encosta que ocorreram na região da Barragem de Manso em tempo geológico recente se deram ao longo de planos de fraturas tectônicas pré-existentes, caracterizando-se pela movimentação do maciço saprolítico sobre a rocha sã.

O alívio de tensões decorrentes da rápida escavação do vale pelo rio Manso alcançou as condições de equilíbrio no maciço, provocando movimentações ao longo das descontinuidades geológicas preservadas no saprolito e na rocha alterada. Abaixo do topo da rocha sã, pouco fraturada, não se constataram mais indícios de movimento.

Do mapeamento das paredes de escavação do canal de desvio e da galeria, concluiu-se que os movimentos tinham direção preferencial NNW-SSE, normal ao leito do rio e no sentido do talvegue. Nestes casos, os movimentos se davam principalmente segundo planos subhorizontais (conjunto J-2), e secundariamente segundo planos subverticais (conjuntos J-1 e J-3).

No caso das escavações do vertedouro, o mapeamento também foi conclusivo quanto à direção preferencial dos movimentos (aproximadamente E-W) ser normal à direção do leito do rio. Neste caso, o movimento se dava principalmente segundo planos com ângulos intermediários e no sentido do talvegue.

Na região Amazônica, onde várias obras estão sendo construídas em rochas sedimentares, o mesmo tipo de fenômeno vem sendo observado. Em Cachoeira Porteira, uma trincheira feita na ombreira direita revelou feições interessantes, já suspeitadas na escavação de poços manuais.

O solo superficial é um coluvião vermelho, argilo-siltoso poroso, com grande quantidade de concreções duras de limonita. Abaixo, segue uma

seqüência de camadas correspondendo a solos residuais de argilito, siltito e arenito, este ocorrendo mais no fundo da trincheira. Originalmente, as cores são claras mas o solo encontra-se hoje inteiramente mosqueado pela precipitação de hidróxido de ferro, dando origem à plintita típica.

Algumas superfícies subhorizontais espelhadas e estriadas são observadas com continuidade da ordem de metros à dezena de metros, porém interrompidas localmente por zonas do solo mais intensamente ferruginizadas.

Um dos planos observados ocorre no contato entre o siltito e o arenito, junto à base superior da trincheira (encosta acima) e outro ocorre dentro de uma fina camada (5 cm) de argilito dentro do arenito. Ambos sofrem interrupção por zonas ferruginizadas.

Junto ao fundo da trincheira ocorrem horizontes de espessuras centimétricas de limonita, com grande extensão horizontal, atravessando toda a trincheira. Alguns "pilares" ferruginizados de 10 a 20 cm de largura se formam para cima e para baixo desses horizontes. São bem duros na parte central, tornando-se mais friáveis nas bordas. O aspecto de pilar se deve à intersecção com a parede, mas não há dúvidas de que se trata de feições planares verticais perpendiculares ao eixo da barragem. Entre as zonas ferruginizadas ocorrem grandes bolsões métricos de argilito que sofrem relaxação intensa quando da escavação, com desmoronamentos sucessivos, talvez por alívio de tensões ou por variação de umidade.

Os horizontes ferruginizados associados aos "pilares" parecem ser feições devidas aos deslocamentos sofridos pelas ombreiras quando do alívio de tensões causado pela erosão do vale. Formam-se superfícies horizontais de deslizamento e verticais de tração, ambas apresentando boas condições para precipitação de hidróxido de ferro cuja mobilização ocorre simultaneamente. Inverte-se pois o resultado do fenômeno, havendo o endurecimento dos planos fracos.

Como o processo é contínuo e plenamente ativo ainda nos dias atuais, encontramos superfícies em várias fases, algumas ainda bem preservadas, outras parcialmente ferruginizadas e outras inteiramente endurecidas pelo hidróxido de ferro.

Poços feitos abaixo e acima da trincheira confirmam a extensão lateral do fenômeno.

Parece que os processos de cimentação com limonita diminuam bastante a importância das feições quanto à resistência. Permeabilidade mais altas podem ainda estar associadas a elas.

Uma questão que pode estar intimamente relacionada à “neotectônica de fundo de vale” é a sismicidade induzida por reservatórios. É muito mais fácil admitir a interferência do enchimento de reservatórios e o equilíbrio existente no fundo dos vales do que procurar explicação na tectônica regional.

Este ponto já foi aventado um tanto indiretamente por Ferguson (1974, p 19) que afirma: “When high water conditions occurred in the área such as those occurring during the time of glacial meltwater runoff, or other extreme flooding conditions, additional uplift forces could further reduce the effective strength of valley bottom rocks. Under these conditions shear failures in the form of thrust faulting and tensile failures could occur in the weaker rocks or springing or dowing in the stronger rocks”.

Nichols e Avel (1975) foram mais diretamente à questão quando afirmam que: “the mere removal of geologic restraints by erosional processes may be sufficient to mobilize and reconcentrate strain energy sufficient to cause rock failure or an earthquake”.

Ferguson (1967) já havia alertado que o alívio de tensões observado no fundo dos vales poderia atingir profundidades de vários milhares de pés ou pelo menos várias vezes a altura e a largura do vale.

Infanti (1986) faz uma ligação entre erosão dos vales e o alívio de tensões no fundo dos mesmos: “while the river carves the valley the consequent stress relief provokes fracturas in the rock mass”, clara referência à possibilidade de geração de sismos, que ele menciona mais adiante com relação a Kariba: “The seismic induced activity that followed reservoir impounding clearly demonstrates that there was stress concentration beneath the valley”.

As evidências hoje justificam que uma grande atenção seja dada à possibilidade de associação entre as deformações em fundo de vale e a sismicidade induzida.

## 2.4 O Estudo do Estado de Tensão dos Maciços Rochosos

Na maior parte dos casos onde foi feita a determinação do estado de tensões naturais em maciços rochosos no Brasil, pouca ou nenhuma atenção foi dada aos “registros geológicos”, sejam eles de ordem estrutural ou petrográfica.

Uma exceção é a análise feita por Serra Júnior e outros (1986) sobre o maciço basáltico da UHE Taquaruçu. Os autores usaram o procedimento desenvolvido por Arthaud (1969). Mesmo considerando que sejam ainda discutíveis as hipóteses sobre a origem das descontinuidades “primárias” e “secundárias” no basalto, análises como estas devem ser incentivadas ao máximo e vêm sendo empregadas rotineiramente em várias partes do mundo (Herget, 1967).

Ainda sem aplicação no Brasil, mas de uso extenso no mundo, é a análise da relação entre esforços e deformação nas rochas, com base no estudo dos registros que permaneceram na estrutura cristalina da rocha.

## 2.5- A Colmatação de Filtros

Vários estudos têm sido apresentados sobre a questão da colmatação de filtros por hidróxido de ferro, mas com um enfoque quase que eminentemente físico-químico, deixando de lado um dos fatores mais relevantes que é a participação biológica. Bactérias que reduzem o óxido de ferro e depositam o produto em suas colônias são universalmente conhecidas (Ghiorse, 198; Jones, 1983; Jones e outros, 1983) e devem merecer consideração em nossos futuros estudos.

## 2.6 Desagregação das Rochas

Recentemente, além dos problemas clássicos de desagregação nos basaltos, casos surgiram com rochas sedimentares, principalmente na Amazônia, alguns mencionados neste Congresso. Um caso interessante vem sendo observado na barragem de Três Marias, da CEMIG, com sedimentos já ligeiramente metamorfizados, muito resistentes.

O fenômeno de desagregação observado no enrocamento abrange siltitos, arenitos e ritmitos. Pode ser caracterizado apenas como “rachaduras” e “lasqueamentos”, com um pouco de “fragmentação”, mas nunca “desintegração” (termo conforme nomenclatura da MRL-01 – Ensaio de Meteorização de Rochas da CESP).

O fenômeno parece estar ligado a uma fissuração da rocha que prossegue para a formação de rachaduras e liberação de lascas e fragmentos. Dois fenômenos parecem estar em jogo:

- A fissuração pode ser original da rocha, como os planos de acamamento, ou criada pela detonação, mas ambas de origem anterior ao lançamento. Pode ter tido origem durante o lançamento, pela passagem do equipamento e choques na queda e no contato com outros blocos. Finalmente, a fissuração pode ser criada ou acentuada pelas variações térmicas e de umidade durante o aquecimento pelo sol e do esfriamento pela chuva ou ondas do reservatório. A rocha usada na construção dos aterros da Barragem de Três Marias são rochas sedimentares de baixo grau metamórfico, do Supergrupo Bambuí. Tem elevada resistência, mas mesmo assim, após cerca de 20 anos de operação, começou a apresentar sinais de deteriorização.
- No desenvolvimento das fissuras e liberação dos fragmentos, podem ter importância a dissolução do cimento pela água e a liberação das tensões internas da rocha. No primeiro caso, o baixo grau metamórfico poderia justificar o cimento mais fraco, facilmente solúvel no nosso clima. Este fenômeno também explicaria o intenso desgaste sofrido pelas arestas do arenito quando em abrasão, mesmo sendo uma rocha de alta resistência. Entretanto, acho que para os siltitos, sedimentos finos e de matriz argilosa, o segundo fenômeno é mais importante. Sabe-se hoje que a “energia de deformação” (strain energy) absorvida pelos materiais terrosos durante uma consolidação de longa duração, como nas bacias sedimentares, não é imediatamente liberada quando da remição da carga (erosão e/ou escavação) porque as ligações diagenéticas, desenvolvidas durante o longo período de aplicação de carga, impedem a liberação imediata. Assim,

a deformação de sedimentos fortemente pré-adensados, quando do descarregamento, é por si só dependente do tempo, mas pode evidentemente ser acelerada por enfraquecimento das ligações cristalinas, seja por fissuramento, seja por dissolução.

Assim, o fenômeno observado parece ser originado na energia de deformação armazenada nos sedimentos finos e liberada, seja naturalmente, em função do tempo de exposição, seja acelerada por ciclagem térmica e de umidade. As rochas ligeiramente intemperizadas ou com fissuras já oxidadas são as que desagregam mais intensamente, porém, têm pouca importância devido ao seu uso quase desprezível no enrocamento.

Os aspectos das rochas que têm sofrido desagregação têm se ampliado nos últimos tempos graças ao maior tempo de observação das obras concluídas.

### 3 A CARACTERIZAÇÃO GEOMECÂNICA DE MACIÇOS ROCHOSO

#### 3.1 Geral

Pode parecer um tanto surpreendente, mas um dos grandes desafios que se apresenta para o geólogo de engenharia está na parte mais fundamental e básica de qualquer atividade técnico-científica, que é o aprimoramento da sua linguagem técnica, isto é, no desenvolvimento de metodologias de caracterização e de classificação de maciços rochosos.

Dentro desse desafio, a parte mais importante corresponde à exploração até os limites do possível do que se pode fazer uma descrição visual-táctil, usando apenas as simples ferramentas de trabalho de um geólogo: m martelo, um canivete, uma lupa, uma bússola e uma trena.

Por caracterização entendemos o levantamento de todos os parâmetros geológicos que tenham interesse aos estudos geotécnicos, descritos de uma maneira padronizada, entendível por geólogos e por engenheiros, e que possa ser usado para, de certa forma, avaliar as propriedades geomecânicas do maciço.

Em primeiro lugar, a seleção das características geológicas que devem ser descritas e como

descrevê-las está razoavelmente bem definida. Aqui, o avanço que observamos nos últimos anos foi notável, graças principalmente ao trabalho liderado pela própria ISRM.

Na caracterização de um maciço, a linguagem usada e a maneira de descrever deve ser a mais universal possível, de modo a facilitar a comunicação entre técnicos de diferentes locais. Os procedimentos devem tanto quanto possível se aplicar a testemunhos de sondagem e a afloramentos, de modo a evitar distorções entre dados obtidos em várias fases dos estudos. Como exemplo, vale a pena citar o caso do RQD.

O RQD é uma medida modificada da recuperação de testemunho numa sondagem. Como enxergá-lo num afloramento? Ninguém consegue “ver” o RQD numa parede escavada, pois ele não tem expressão física.

Usam-se artifícios, como estender uma trena, correlacionar com o grau de fraturamento, correlacionar com o tamanho do bloco unitário, etc. ora, se é preciso obter estes dados para avaliar o RQD, por que não eliminá-lo e usar diretamente os índices observáveis?

### 3.2 A Revisão dos Procedimentos de Caracterização em Uso no Brasil

O primeiro passo no Brasil para uma padronização da caracterização dos maciços rochosos foi dado pelo IPT e apresentado na 2ª Semana da APGA, e posteriormente complementado e oficialmente apresentado por Guidicini e outros (1972a) na 4ª Semana da APGA. Foi chamado de “Método de Classificação”, mas sem dúvida se restringe a um método de caracterização geotécnica de meios rochosos.

Sugere um procedimento para descrição do grau de alteração, do grau de fraturamento, do grau de coerência e do grau de resistência, que vem sendo seguido até hoje. Necessita de revisões, no que pese o grande papel que desempenhou em nosso meio técnico.

#### 3.2.1 Grau de Decomposição / Grau de Consistência

Continua sendo a mais difícil característica das rochas a ter sua descrição padronizada, e temos que admitir que inevitavelmente terá sempre uma grande dose de subjetividade. Porém cabe perguntar: onde reside o verdadeiro interesse em caracterizar o estado de decomposição da rocha? É claro que está na avaliação da sua perda de resistência. A decomposição é uma caracterização da rocha intacta e não do maciço. Não deve, como em muitos casos se procura fazer, amarrar o grau de decomposição ao estado de intemperismo ao longo de descontinuidades, estas devem ser caracterizadas em separado. Assim sendo, caracterizar o grau de decomposição de uma rocha é de certa forma, definir sua resistência relativa no que então ocorre uma superposição com o grau de consistência. É claro que este tem um caráter absoluto enquanto o outro é relativo. Graus de decomposição são estados sucessivos de enfraquecimento da rocha a partir de seu estado original, enquanto que graus de consistência compõem uma escala para medir indiretamente a resistência da rocha, independente do seu estado de decomposição.

Deste modo, nada melhor para substituir o grau de consistência que uma verdadeira escala de resistência medida por um procedimento expedito, como o ensaio de compressão puntiforme. Em cada local, uma série de ensaios puntiformes permitirão estabelecer procedimentos de inspeção visual-táctil que forneçam a resistência dos vários materiais, de modo que aqueles ensaios sejam usados apenas para verificações esporádicas.

Se se tem a caracterização da resistência da rocha, o grau de decomposição deve ser apenas uma complementação da descrição geológica, de maneira mais padronizada possível, mas sem a necessidade da precisão que se exige dos parâmetros de uma caracterização geomecânica.

Na descrição do grau de decomposição de uma rocha, é importante definir o conceito de “mineral(ais) chave(s)” que governam a resistência da rocha. O grau de decomposição deve ser definido como um percentual de minerais-chaves que se encontram intemperizados. Por exemplo: 25%, 50%, 75%, 100%. Esta descrição deve ser completada pela caracterização do produto de intem-



perismo, que tendendo para um solo, deve usar a terminologia adequada para solos em geotecnia.

### 3.2.2 Grau de Fraturamento

Melhor seria ser chamado de grau de descontinuidade da rocha. Para definir descontinuidade, existem dois conceitos imprescindíveis à sua caracterização: sua baixa resistência em comparação com a da rocha intacta e sua persistência diante das dimensões da obra. Só são descontinuidades aquelas que atendam a estes dois pré-requisitos. Aqui vale a pena diferenciar dois comportamentos distintos dos maciços comandados pelo fraturamento e que dependem de estar o maciço em compressão ou em relaxação.

Em primeiro lugar, cabe reconhecer que as descontinuidades só comandam a resistência do maciço quando a rocha intacta tem resistência diante do estado de tensão a que esteja submetida.

Quando sob compressão, só interessa considerar as descontinuidades que condicionem a resistência ao cisalhamento do maciço e a sua deformabilidade. Sob estes esforços, só são descontinuidades as feições planares que tenham paredes planas e muito lisas, ou paredes intemperizadas ou ainda com preenchimentos fracos.

Para o caso de uma rocha submetida à relaxação, qualquer superfície que tenha baixa resistência à tração é importante, pois influi na definição do bloco unitário que pode se soltar.

Um exemplo bem conhecido de todos nós é o comportamento do basalto denso intensamente fissurado devido às juntas de contração. Este grau de fissuração não condiciona a resistência ao cisalhamento nem a deformabilidade do maciço diante das tensões de compressão normalmente aplicadas por nossas estruturas. Porém, quando submetidas à relaxação, todas estas juntas trabalham como descontinuidades e facilitam enormemente o desmonte. É importante que se passe a distinguir dois índices que meçam a frequência de descontinuidade que tenham resistência e persistência que comprometem a resistência ao cisalhamento e a deformabilidade do maciço e que seria o “grau de fraturamento” como o conhecemos. O outro incluiria todas as feições que pudessem interferir nas relaxação do maciço e que levaria em

conta portanto todas as feições de baixa resistência à tração e viria a ser o “grau de fissuração” do maciço.

A escala proposta inicialmente pela ABGE para medir o grau de fraturamento da rocha precisa ser revista. Primeiro, ela não diferencia qualquer classe acima de um espaçamento de 1 m, o que é injusto. Cabe sem dúvida distinguir os maciços que tenham descontinuidades com espaçamento de 1 m daquelas com 3 m e daqueles com 10 m, cujo comportamento geomecânico será inteiramente diverso. Por outro lado, não acredito que seja necessário distinguir entre espaçamento como F3 e F4. Diante das obras de engenharia, estes maciços têm comportamento inteiramente similar.

A escala de grau de fraturamento de forma proposta pela ISRM (Brown, 1981) é a seguinte:

F-1	= e	>	6 m
F-2	= e	de	6 m a 2 m
F-3	= e	de	2 m a 6 m
F-4	= e	de	6 m a 2 m
F-5	= e	de	2 m a 06 m
F-6	= e	de	06 a 002 m
F-7	= e	<	0,002 m (2 cm)

O termo FO poderia ser reservado para descrições locais onde valesse a pena distinguir ainda espaçamentos mais abertos que 6 m.

Uma simplificação da escala foi apresentada pela própria ISRM (1981) unificando alguns índices:

- F1 > 200 cm
- 60 cm < F2 < 200 cm
- 20 cm < F3 < 60 cm
- 6 cm < F4 < 20 cm
- F5 < 6 cm

Minha sugestão é usar a seguinte terminologia:

F1 > 200 cm (F1A > 600 cm e 200 cm < F1B < 600 cm)  
 60 cm < F2 < 200 cm  
 20 cm < F3 < 60 cm  
 6 cm < F4 < 20 cm  
 F5 < 6 cm (2 cm < F6A < 6 cm e F6B < 2cm)

### 3.3 Caracterização das Descontinuidades

Este é o ponto que mais avançou nos últimos tempos, estando bem descrito pela ISRM (Brown, 1981), traduzido pela ABGE. Pouco teríamos a acrescentar.

## 4 ENSAIOS ÍNDICES

São ensaios que não medem diretamente as propriedades do maciço rochoso mas permitem sua avaliação. São em geral ensaios expeditos, de fácil realização, usando amostras de pequenas dimensões ou executados nos furos de sondagens.

### 4.1 Ensaios Expeditos

Entre eles realça-se o ensaio de compressão puntiforme já em uso há bastante tempo no Brasil, desde o trabalho de Guidicini e outro (1972b). Posteriormente o ensaio foi padronizado pela ISRM (Brown, 1981).

Conforme já definido no item anterior, este ensaio deve ter uso rotineiro em nossas obras devido à facilidade de sua execução e a grande simplicidade do equipamento, que pode ser construído hoje sem dificuldades, usando macacos hidráulicos de pequena capacidade (10 a 15 t). As pontas de compressão podem ser feitas com esferas de aço de rolamento o que é mais simples que a sua preparação no torno.

Materiais muito brandos (com menos de 50 kgf/m<sup>2</sup>) não são facilmente ensaiados com a compressão puntiforme, devendo-se executar o ensaio de compressão simples, os quais também são usados em pequena quantidade para aferição dos ensaios de compressão puntiforme.

O próprio ensaio de compressão triaxial em amostras de rocha intacta é apenas um índice a ser usado na avaliação da qualidade do maciço, que apenas em condições muito especiais pode ter sua resistência representada por este ensaio.

Um ensaio índice já introduzido no Brasil (Dobereiner, 1987) e que pode vir a ser mais divulgado é o de cisalhamento direto em amostras pequenas, obtidas de testemunhos de sondagem, não se perdendo de vista entretanto que ele não passa de um índice e não representa a resistência

do maciço, nem mesmo das suas descontinuidades. O efeito de escala não pode ser menosprezado.

### 4.2 Ensaios em Furos de Sondagem

A utilização dos furos de sondagem para ensaios *in situ* ficou estacionada no tempo com apenas a execução do convencional ensaio de perda d'água. Somente nos últimos anos tem-se assistido a uma certa evolução nos ensaios realizados em furos de sondagem.

Na década de 1970, o dilatômetro (Rocha, 1970) foi usado em vários de nossos projetos, por exemplo UHE São Simão (Rocha, 1975), e usado como um índice para classificação de maciços (Franciss, 1974). Entretanto seu custo elevado e a falta de alternativas nacionais impediu sua maior divulgação no país.

O ensaio de perda d'água (EPA) vem sendo aprimorado intensamente nos últimos anos, cabendo realçar os trabalhos de Corrêa e Freitas.

Este mesmo Congresso foi palco de discussões em torno de vários métodos recentemente introduzidos na engenharia de investigações de maciços, tanto para observação da parede de furos de sondagem como para caracterização das suas propriedades hidráulicas.

No primeiro grupo incluem-se o obturador de impressão, o TRH e o SRH. Com o obturador de impressão consegue-se uma "impressão" de todas as irregularidades da parede, o que exige uma boa dose de interpretação, na eliminação daqueles puramente mecânicos. Ainda possui grandes deficiências, principalmente devido às deformações da borracha, produzindo um exagero nas dimensões das feições, as quais também se encontram mascaradas pelo desgaste durante a sondagem, e ainda em virtude da dificuldade de diferenciar as características do material de preenchimento das feições de maior porte, sendo quase impossível distinguir rocha fraturada de material intemperizado. O desenvolvimento de borrachas com vários níveis de rigidez pode levar a um aprimoramento do ensaio. Seu uso é bem promissor e no projeto do Complexo da Altamira já permitiu esclarecer várias dúvidas quanto à existência de zonas intemperizadas na fundação rochosa, com perda de testemunho (Correa e Quadros, 1987).

O teste de registro hidráulico ou TRH é um engenhoso processo de identificação de feições permeáveis. Não possui precisão na definição da dimensão pequena, milimétrica e submilimétrica, nem nas zonas de grande espessura, onde as feições que absorvem estão associadas confusamente. Seu uso em vários projetos (Andrade, 1987) tem permitido seu aprimoramento.

A definição das descontinuidades abertas que absorvem água num ensaio tem importância fundamental na geotecnia.

Inicialmente o interesse geomecânico é óbvio, pela importância que tem o conhecimento da abertura de uma feição, mesmo que em termos de grandeza. Esta é uma das questões mais difíceis de avaliar na caracterização dos maciços. Em segundo lugar, na montagem do modelo hidrogeológico, o conhecimento das feições que controlam o fluxo da água é imprescindível. Não se pode entretanto perder de vista a necessidade de um número de ensaios estatisticamente significativo pois as informações são muito pontuais e condições de absorção locais podem não definir as prioridades do maciço. Além disso, é de se ter em conta a enorme dependência do fluxo em relação ao estado de tensão da rocha (abrindo e fechando as descontinuidades) e que será muito alterado após a construção e operação da barragem.

No segundo grupo estão a Sonda Hidráulica Multiteste, o Ensaio de Injeção d'Água sob Pressão Decrescente e a Diagrafia.

A Sonda Hidráulica Multiteste - SHM é sem dúvida um grande avanço na nossa capacidade de estudo das condições hidrogeotécnicas dos maciços rochosos fraturados.

O seu funcionamento como um piezômetro triplo móvel já é em si um dispositivo poderoso na avaliação das direções de fluxo e interdependência entre sistemas de juntas. Para tanto é importante que as medidas dos transdutores sejam absolutas e não apenas por diferença, e que um tempo adequado de estabilização das leituras seja adotado. A possibilidade de ensaio tanto por injeção como por bombeamento (evidentemente abaixo do NA) tem permitido ensaios mais precisos e dando valores de vazão surpreendentemente altos (silva, 1987). Este último permite também o estudo da influência do bombeamento em furos vizinhos, desde que para permeabilidade baixas,

compatíveis com a capacidade de bombeamento da sonda.

A medida da temperatura e de resistividade da água fornece informações ricas sobre sua origem, tempo de permanência no maciço, comunicação subterrânea e comparação entre vários aquíferos. Neste caso, a sonda é uma das primeiras tentativas brasileiras de emprego da Diagrafia.

O Ensaio de Injeção d'Água sob Pressões Decrescentes - EIPD (Andrade, 1987) é um ensaio de injeção sendo que um determinado volume de água de um êmbolo pressurizado juntamente com o maciço é deixado fluir para a descontinuidade sob pressão decrescente, quando é interrompida a comunicação com a pressão aplicada inicialmente. É possível definir o regime laminar para o fluxo, o que torna a análise mais confiável e permite a avaliação da espessura teórica da descontinuidade. Este ensaio ainda se encontra em fase de experimentação.

Diagrafia é um dos mais promissores processos de otimização de sondagens em pesquisa geotécnica, já em uso difundido no exterior, principalmente na Europa.

Cabe distinguir as Diagrafias Instantâneas, que são os registros contínuos e imediatos dos parâmetros da perfuração em função da sondagem. Normalmente são medidos pressão de perfuração, velocidade de rotação, torque, velocidade de avanço, pressão e vazão do fluido de circulação, em sondagens totó-percussivas, sempre com identificação dos detritos de furação.

A correlação destes parâmetros com as propriedades geotécnicas ou sua variação com a profundidade permite a otimização do programa de sondagens pelo uso maior de sondagens destrutivas.

As diagrafias diferidas são métodos de leitura ou medição de propriedades físicas no interior do furo, nas paredes ou na água do maciço. São feitas, portanto, após a execução dos furos (diferidos). Entre elas realça-se: potencial espontâneo, gama natural, caliper, resistividade e velocidade sônica.

Uma das grandes vantagens da diagrafia é permitir a medida de determinada propriedade in situ, por exemplo a velocidade sônica, e reproduzi-la em laboratório sob condições controladas. A porosidade da fissuração de uma rocha amos-

trada de profundidade é um sinal de relaxação de suas tensões. No entanto, não poderemos nunca avaliar a intensidade desta relaxação se não conhecermos as suas reais condições *in situ*.

O desenvolvimento e implantação da Dia-  
grafia no Brasil só se fará se houver um grande envolvimento por parte das empresas executoras de sondagens.

### 4.3 O Papel das Empresas de Sondagens

Temos assistido nos últimos 20 anos uma gradativa alienação das empresas executoras de sondagem da participação em qualquer responsabilidade do projeto, limitando-se a simples executoras de sondagens, cumprindo especificações, programas e quantitativos que não ajudaram a definir. E ainda mais, sem participar em nada da interpretação dos dados obtidos. Na minha opinião, o desenvolvimento dos métodos de investigação passa inescapavelmente pela maior participação das empresas de sondagens no Projeto.

É inadmissível que uma empresa técnica possa executar um bom trabalho se não tem acesso aos seus objetivos mais íntimos, quando não pode sugerir métodos alternativos de estudos.

A minha proposta é que as concorrências para investigação sejam cada vez mais concorrências técnicas e menos de custo. À empresa sondadora deve-se formular a questão que se deseja estudar e apresentar a concepção do projeto. É claro que existe fase inicial de qualquer projeto em que não se tem informações suficientes para tanto. As primeiras sondagens praticamente começam a desbravar o maciço e revelar suas características principais. Mas acho que sempre que possível, a questão a ser investigada deve ser colocada de maneira objetiva, permitindo à empreiteira o uso da sua criatividade. Por exemplo, poderia fazer parte de uma concorrência o seguinte:

- a. definir, quantificar e fornecer a metodologia de interpretação para o método que sugere para a investigação das características hidrológicas do maciço;
- b. que métodos possuem para o estudo e caracterização geomecânica de juntas decompostas e/ou com preenchimento no maciço;

- c. especificar o método que usará para a orientação dos testemunhos, levantamento e descrição das descontinuidades e sua análise estatística.

As empreiteiras devem por outro lado se preparar para poder propor técnicas alternativas de investigação e aprimoramento na sua interpretação. E só há uma alternativa para tal: envolver nosso centro de pesquisas, institutos e universidades, em programas objetivos de desenvolvimento ou adaptação de tecnologias que já vinham sendo usadas com sucesso em outras partes do mundo. Aliás, estas instituições também poderiam tomar a iniciativa de desenvolver tais tecnologias, comercializando-as posteriormente com as empresas interessadas.

O desenvolvimento dos métodos de investigações por sondagem, que ainda é o método mais importante em uso, depende intrinsecamente dos seguintes fatores:

- existência constante, por parte das proprietárias, de métodos que visem uma otimização da investigação através de uma minimização de custos globais e aprimoramento dos resultados;
- definição por parte das proprietárias dos objetivos, cada vez mais concretos, do programa de investigação
- participação efetiva da empreiteira na responsabilidade de definição dos métodos a empregar e na qualidade dos seus resultados
- desenvolvimento tecnológicos fornecidos por parte de nossas instituições de pesquisa no desenvolvimento de novas técnicas de investigação.

## 5 CLASSIFICAÇÃO DE MACIÇOS ROCHOSOS

Nieble e Francis (1976) distinguiram duas categorias de sistemas classificatórios:

- critérios de classificação que interessam apenas às propriedades intrínsecas do meio rochoso;
- critérios de classificação que interessam não apenas às propriedades físicas do meio rochoso, como também ao seu comportamento



em presença de determinados tipos de solicitações e reações.

É claro que os primeiros permitem zonear os maciços, estabelecer uma linguagem com significado local preciso e universal compreensível, e mais importante, permitem estimar, com alguma segurança, determinadas propriedades físicas em função de classificações relativamente simples conforme realizado pelo autor e Francis em São Simão, em 1972.

Entretanto devo confessar que a previsão não foi feita no ato da descrição do maciço, mas sim no escritório por meio de correlações puramente matemáticas. Não existiu o exercício mental, mais que isto, fundamental, de prever-se o comportamento do maciço no ato da sua descrição.

Os segundos já trazem em si embutidos o conceito do “comportamento”, sendo mais elaborados e complexos. Hoje, tais sistemas tendem a ser entretanto herméticos e inquestionáveis quanto após uma sistemática de avaliação quase automática de índices, chega-se a números mágicos que permitem prever comportamentos das várias classes de maciços com base em correlações estatísticas um tanto universais. Também aqui não é realizado o exercício de previsão que é o passo decisivo capaz de distinguir o sucesso do trabalho em geologia de engenharia.

## 5.1 Sistemas Universais

Dentre estes últimos, destacam-se dois sistemas de classificação empregados em cavidades subterrâneas, referidos em trabalhos apresentados neste Congresso e que são os sistemas de Barton e de Bieniawski.

Estes sistemas têm o mérito de ter selecionado parâmetros classificatórios importantes e terem aperfeiçoado a sua descrição sistematicamente. Com base em estudos de casos históricos, correlacionam os índices obtidos com o comportamento de obras subterrâneas.

São de fácil utilização e têm hoje uso generalizado. Porém, seu emprego tem as seguintes desvantagens:

- automatiza a interpretação e análise do dado geológico;

- elimina a “previsão do comportamento” a ser feita pelo próprio geólogo de engenharia;
- legitima procedimentos e métodos muitas vezes inadequados e ultrapassados;
- usa um sistema de ponderação cuja base não pode ser manipulada e torna arbitrário e de difícil entendimento o resultado final;
- usa o RQD, juntamente com outros parâmetros a ele relacionados, como frequência de fraturamento.

A minha proposta em consonância com o que foi dito por Nieble e Francis (1976) é desenvolver metodologias as mais padronizadas possíveis de caracterização das feições geológicas, mas com ênfase nos comportamentos locais.

## 5.2 Classificações Locais

Por classificação local entendo o trabalho do geólogo de engenharia de, em cada local, separar o maciço rochoso em várias classes que tenham comportamento diferente. Para isto tem-se que ter em mente dois pontos fundamentais: 1) a finalidade da classificação, isto é, o comportamento que deve ser previsto e 2) o conhecimento das características do maciço rochoso local.

O procedimento envolve, portanto, 3 etapas:

- uma ampla caracterização do maciço rochoso, a mais universal possível, usando os procedimentos discutidos no item 4, tanto quanto possível com base apenas na inspeção visual e em ensaios índice;
- a definição dos vários comportamentos a serem previstos, e que podem ser em grande número dependendo da complexidade do projeto. Por exemplo, podemos citar:
  - » estabilidade de taludes e de fundação;
  - » deformabilidade;
  - » escavabilidade;
  - » durabilidade;
  - » permeabilidade / condutividade;
  - » erodibilidade;
  - » injetabilidade / drenabilidade.
  - » seleção das características do maciço a serem usadas.

Cada comportamento acima mencionado é condicionado por um número limitado de parâ-

metros. A sua seleção pelo geólogo de engenharia exige um conhecimento profundo do fenômeno envolvido para o que ele deve contar com a colaboração estreita do engenheiro geotécnico.

Esta é sem dúvida a atividade profissional mais importante do geólogo de engenharia e deve representar a síntese consciente de todo seu trabalho. Para executá-la é absolutamente necessário que ele tenha:

- um amplo conhecimento do maciço através de uma boa caracterização geomecânica;
- um perfeito conhecimento do condicionamento que cada feição geológica possa ter no fenômeno a ser previsto;
- uma certa criatividade em agrupar as características geomecânicas importantes de modo a definir cada classe de maciço para cada aplicação.

O produto final deste trabalho é a compartimentação geomecânica do maciço que significa seu zoneamento onde se mostra a distribuição das várias classes de maciço e o que necessariamente será feito para cada comportamento a ser previsto. Assim a compartimentação do maciço quanto à escavabilidade não é necessariamente a mesma que para a injetabilidade ou durabilidade, etc.

É no exercício da tarefa de prever o comportamento dos maciços rochosos que se pode medir o sucesso do trabalho do geólogo de engenharia.

Uma questão que gostaria de comentar é quanto à pressão que é feita sobre o geólogo de engenharia no sentido de obter resultados numéricos, isto é, quantitativos. Este ponto não é absolutamente imprescindível. Classificar não é obter números, é prever comportamento. Aliás, o fato de que as classificações mais usadas hoje levam à obtenção de classes de maciço definidos por valores numéricos, alguns excessivamente detalhados (3 casas decimais) podem dar uma conotação de precisão que nenhum dos métodos realmente tem. Não se pode “operar” matematicamente com tais valores livremente, nem existe entre classes diferentes as mesmas relações que existem entre seus números representativos. Sempre que possível, as características de um maciço devem ser definidas por valores numéricos, mas a classificação não necessariamente.

### 5.3 Obtenção Empírica de Parâmetros Geomecânicos

Parâmetros geomecânicos dos maciços rochosos podem ser obtidos com aceitável precisão, pelo menos para as fases iniciais dos estudos (viabilidade e projeto básico), a partir de uma boa caracterização, ensaios índices e classificação dos maciços. Este é um dos campos que mais tem experimentado avanços nos últimos tempos, sendo, entretanto, ainda limitada a contribuição nacional. Um grande esforço deve ser dedicado a estudos que possam validar ou reformular a experiência estrangeira, e mesmo contribuir para novos procedimentos.

Dobereiner e outros (1987) apresentam uma boa síntese dos métodos mais em uso hoje em dia e como foram aplicados nos estudos da Cachoeira da Porteira.

Resistência ao cisalhamento das descontinuidades, resistência ao cisalhamento do maciço rochoso, resistência à compressão simples do maciço, deformabilidade do maciço, abertura de juntas podem ser avaliadas com base apenas na caracterização do maciço e em ensaios índice.

### 5.4 A Importância da Observação do Protótipo

A base da sistematização do uso das “classificações locais” é a análise do comportamento do protótipo. Cada classificação feita é uma previsão que tem que ser verificada diante do comportamento do protótipo. Mesmo no caso de projetos já em operação, o uso dos sistemas de classificação locais permite analisar o comportamento que vem apresentando ao longo do tempo e ainda estabelecer procedimentos que poderão ser extrapolados para outros projetos.

Uma das questões mais importantes, e que é paradoxalmente uma das mais negligenciadas da geologia de engenharia, está na previsão do comportamento dos maciços rochosos nas áreas de dissipação de energia a jusante dos vertedouros de nossas barragens. Criou-se aí uma cerimoniosa área de não comprometimento em que os hidráulicos confiam na previsão com base em considerações teóricas e em modelos reduzidos, e em ambos o maciço rochoso se encontra normal-

mente mal definido. Os geólogos de engenharia e os engenheiros geotécnicos têm se mantido afastados desta área, o que precisa ser urgentemente corrigido.

Imediatamente nos deparamos com a propalada dificuldade de modelar tanto em modelos físicos como matemáticos os pormenores geológicos que têm importância no comportamento da rocha.

A observação de vertedouros em operação deve trazer uma grande ajuda ao equacionamento do problema, desde que suportado por uma boa caracterização do maciço. Este é um trabalho que terá que ser desenvolvido em conjunto, pelos geotécnicos e engenheiros hidráulicos. É no conhecimento dos esforços atuantes, como pulsação intensa das pressões, o impacto do jato, as vibrações, a velocidade da água, etc., que se poderá selecionar os parâmetros geomecânicos condicionantes. A resistência à compressão simples controla evidentemente a resistência ao impacto, e a ação da velocidade sobre os materiais mais fracos é o elemento dominante. Nas rochas mais resistentes, o fraturamento passa a definir o comportamento, pois o mecanismo de erosão passa a ser o de remoção de blocos. Assim, é importante a definição do tamanho, peso, orientação em relação à superfície, imbricamento dos blocos, abertura das juntas.

A experiência tem mostrado que a heterogeneidade da rocha e sua anisotropia são fatores dominantes no comportamento do macio quando erodido e não podem ser esquecidas.

O trabalho de Infanti (1986) mostra a única sugestão feita no Brasil para a classificação de maciços quanto à erodibilidade a jusante de vertedouros. O sistema de classificação geomecânica proposto por Klaus John é adaptado, introduzindo-se ainda importantes modificações quanto à forma da partícula.

O assunto merece, entretanto, que se dê a ele a importância que lhe cabe num país onde se constroem os maiores vertedouros do mundo.

## 5 CONCLUSÃO

A apresentação de algumas questões que ainda desafiam a geologia de engenharia no Brasil

teve o objetivo de mostrar ao profissional da área, principalmente os mais novos, o enorme campo científico e técnico que se abre à sua ação. Muito longe de mim qualquer intenção de abranger toda a área de atuação da geologia de engenharia. Com apenas alguns poucos casos comentados, esperamos ter incentivado os colegas a se aprofundarem cada vez mais nos fundamentos e nas aplicações do campo técnico-científico que compõem a Geologia de Engenharia.

## REFERÊNCIAS

PAIGE, S. (1950). Application of Geology to Engineering Practice Berkeley Volume. GSA-

NIETO, ALBERTO S. (1977). Significant Engineering – Geology Features at Damsites in Flat-Lying Sedimentary Rocks. Ohio River Valley Soils Seminar.

STÄPLEDON, D. H. (1976). Geological Hazards and Water Storage, Boletim nº 14 da IAEG.

MACHADO, A. (1983). Inspeção dos Canalículos dos Solos Residuais das Áreas das Usinas Hidrelétricas de Tucuruí, Balbina e Samuel. Relatório Interno da Eletronorte.

BUCK, N. (1984) Vários Relatórios Internos da Eletronorte.

TRICART, J. e CAILLEUX, A. (1965). Traité de Géomorphologie. Volume 5.

GUIDICINI, G., IWASA, O. Y. (1976). Ensaio de Correlação entre Pluviosidade e Escorregamento em Meio Tropical Úmido. Publicação 1080 – IPT-SP.

TATIZANA, C e outros (1987). Análise de Correlação entre Chuvas e Escorregamentos. Serra do Mar no Município de Cubatão. 5º CBGE.

CARVALHO, C. S. e WOLLE C. M. (1987). Considerações sobre o Fluxo de Água em Taludes de Solos Insaturados. 5º CBGE.

MARQUES FILHO, P.L.; LEVIS, P. (1978). Aspectos Geológicos de Barragens de Enrocamento com

Face de Concreto. A Experiência de Foz do Areia. 2° CBGE.

MARQUES FILHO, P. L.; LEVIS, P. (1981) . A Influência do Manto de Alteração na Barragem de Foz do Areia. 3° CBGE.

PAES DE BARROS, F.; GUIDICINI, G. (1981) . Um Processo Natural de Alívio de Tensões e o Projeto de Drenagem da Fundação da Barragem de Itaipu. 14° Congresso do CBGB.

PATTON, F. D., HENDRON, A. J. (1974) . General -Report on Mass Movements. 2° Congresso Internacional da IAEG.

FERGUSON, H. F. (1974) . Geologic Observations and Geotechnical Effects of Valley Stress Relief in the Allegheny Plateaus. ASCE National Meeting on Water Resources Engineering.

NICHOLS, T. C .; ABEL, J . F. (1975) . Mobilized Residual Energy. A Factor in Rock Deformation. Bulletin of the AEG.

FERGUSON, H. F. (1967) . Valley Stress Release in the Allegheny Plateau. Bulletin of the AEG.

SOBRINHO, J. A.; INFANTI JR., N. (1986) Erosion of Rocks Masses Subject do Flow Action. Some Geomechanical and Hydraulic Aspects. 5° Congresso da IAEG. Buenos Aires.

SERRA JÚNIOR, E. e outros (1986) . Análise das Feições Estruturais para Estudo do Estado de Tensões Naturais no Maciço Basáltico da UHE Taquaruçu. 2° Simpósio Sulamericano de Mecânica das Rochas. Porto Alegre.

ARTHAUD, F. (1969) . Método de Determinação Gráfica das Direções dos Eixos de Deformação de uma População de Falhas. Bulletin. Soc. France (7) . XI. Tradução do IPT.

HERCET, G. (1976) . The Stress Field in the Urquhart Shales at Mount Isa (Queensland, Australia) , Based on Structural Investigations . Felsmechanik u. Ingenieurgeol (1968) .

GHTORSE, W.C. (1984) . Biology of Iron and Manganese Depositing Bacteria. Ann. Rev. Microbiol. 1984.

JONES, J. G. (1983) . A note on the Isolation and Enumeration of Bacteria which Deposit and Reduce Ferric Iron . Journal Applied Bacteriology .

JONES, J. C. e outros (1984) . Reduction of Ferric Iron by Heterothrophic Bacteria in Lake Sediments. Journal of General Microbiology. Great Britain.

GUIDICINI, G. e outros (1972a) . Um Método de Classificação Geotécnica Preliminar de Meios Rochosos. Anais da 4 a Semana da APGA.

BROWN, E. T. (1981) . Rock Characterization Testing and Monitoring ISRM Suggested Methods. Pergamon Press.

GUIDICINI, G. e outros (1972b) . Análise do Método de Compressão Puntiforme em Fragmentos Irregulares na Caracterização Geotécnica Preliminar de Rochas. 4a Semana da APGA.

ROCHA, M. e outros (1970) . Characterization of the Deformability of Rocks Masses by Dilatometer Tests, Memória 360 do LNEC.

ROCHA, M - e outros ( 1975) . Application of Advanced Techniques to the Study of the Foundation of São Simão Dam. Memória 458, LNEC.

LOPES, J. A. U. (1987) Terra Roxa-PR: Um Caso Notável de Problemas em Fundações Rasas Provocados por Fenômenos Associados a Colapso dos Solos.

CORRÊA FILHO, D. e QUADROS, E. F. (1987) . Instrumento Auxiliar de Interpretação do Comportamento Hidrogeotécnico de Maciços Rochosos - Obturador de Impressão. 5° CBGE.

CORRÊA FILHO, D. e QUADROS, E. F. (1986) . Metodologia para Determinação do Comportamento Hidrogeotécnico dos Maciços Rochosos. Anais do 2° Simpósio Sulamericano de Mecânica das Rochas. Porto Alegre .



ANDRADE , R. M. de (1987) . A Compressão do Escoamento em Maciços Fraturados Através de Novos Testes Realizados no Campo. 5º CBGE .

SILVA, R. F. (1987) Ensaio com a Sonda Hidráulica Multiteste na Barragem Juruá da Usina Hidrelétrica de Kararaô. 5º CBGE.

DOBEREINER, L. CAMARGO, F. JÁCOMO, A.A.C. (1987) . Caracterização Geomecânica do Maciço Rochoso de Fundação da UHE Cachoeira Porteira. 5º CBGE.

# COMENTÁRIO À CONFERÊNCIA DO SÉRGIO BRITO

COMMENTARY ON SÉRGIO BRITO'S CONFERENCE

JOÃO JERÔNIMO MONTICELLI

*Geólogo (IGc-USP, 1971), Mestre em Geotecnia (EESC-USP, 1984) e Presidente da ABGE em 2012-2013.*

Os editores da RBGEA me convidaram para ser um dos revisores da Conferência feita pelo colega Sérgio N.A. de Brito, publicada nos anais do 5º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, realizado em São Paulo, no ano de 1987.

Resumidamente, a minha opinião aos editores foi a seguinte:

- I. O tema permanece atual e deve propiciar debate visando avanços para um nível mais elevado da Geologia de Engenharia;
- II. Trata-se de artigo histórico que sugiro ser publicado na íntegra, sem modificações, inclusive com Nota de rodapé ou Apresentação, pelos Editores da Revista, que explique a importância do resgate histórico do artigo. Recomendo a todos consultar o início do Capítulo 40, do livro GEA, da ABGE, onde há situação semelhante, ou seja, artigo do Sérgio Brito, publicado na íntegra, *in memoriam*. Cabe, apenas, fazer a diagramação, dentro dos padrões da Revista.

Alguns dias depois, ao comentar a minha avaliação com o colega Erik Wunder, um dos editores da Revista, ele me incentivou a estender um pouco mais os comentários, o que faço nos parágrafos seguintes.

A ABGE irá publicar (previsão para julho/2021) o livro “Investigações geológico-geotécnicas – Guia de boas práticas”, uma coletânea que atualiza sucessos editoriais da entidade, entre os quais o Manual de Sondagens e o Ensaio de Per-

da D’água sob Pressão – Diretrizes. A conferência feita pelo Sérgio, de título “Desafios atuais do Geólogo de Engenharia no Brasil”, agora republicada pela RBGEA, contém assuntos correlatos ao Guia, entre eles o mérito de mostrar que a atuação em GEA merece reflexão contínua e inseparável do questionamento das técnicas e metodologias provenientes do exterior, nem sempre adequadas ao meio físico e socioeconômico do nosso país. Como editor da coletânea, assumi o compromisso de escrever à ABGE um relatório onde apontaria assuntos relevantes que ficaram pendentes, ou merecem atenção nas futuras revisões do Guia ou dos livros que o compõem. Ao comentar com o colega Erik que iria abordar a Conferência do Sérgio no relatório citado, ele me sugeriu submeter tal relatório à RBGEA, permitindo sua disponibilização aos associados da ABGE e demais interessados no tema.

Sérgio sempre teve muito orgulho em se dizer “Geólogo de Engenharia”. Em minhas andanças por Belo Horizonte, nos encontramos em eventos ou nos finais dos expedientes, nossas tradicionais confraternizações. Em 1984, no Congresso Nacional da ABGE, em BH, eu sugeri e depois fui organizador e mediador da Mesa Redonda “Políticas Brasileiras de Grandes Obras”, tendo por palestrante Carlos Lessa, destacado jornalista nos anos de arrefecimento da ditadura militar. Sérgio, que coordenava outra Mesa no mesmo horário, me procurou para juntar as duas sessões, o que foi prontamente atendido por mim, apesar do posicionamento contrário dos organizadores do Congresso. O saudoso Tancredo Neves, governa-

dor de MG na época, esteve na abertura do evento, graças à articulação do Sérgio e de seu irmão, então deputado federal.

Devo mencionar que, coincidindo com aquele Congresso, houve a votação (tarde e noite de 25/04/1984) da emenda constitucional do deputado Dante de Oliveira, para permitir eleição direta à Presidente da República. Na Praça da Rodoviária, em BH, um ato político contou com a presença de muitos colegas, que acompanharam pelos alto falantes discursos de políticos e, depois, a votação de cada deputado. Infelizmente a emenda por diretas, uma das maiores campanhas cívicas do Brasil, saiu derrotada.

Outras duas ocasiões merecem ser lembradas

No aniversário de 45 anos de ABGE (out/2013), Sérgio aceitou meu convite e fez uma Depoimento de título “Imprevisto geológico em contratos EPC”, publicado pela ABGE no livro “45 anos: perspectivas da Geologia de Engenharia e Ambiental e o papel da ABGE – Depoimentos”. Nesse relato Sérgio retoma o tema da sua Conferência Especial de 1987 sobre o papel do Geólogo de Engenharia e defende a necessidade dos contratos previrem “Junta para Disputas”, antes da judicialização e que os Imprevistos Geológicos sejam debatidos ao âmbito da geologia e por seus técnicos. O artigo passou a fazer parte, na sua íntegra, do Capítulo 40 do livro “Geologia de Engenharia e Ambiental” da ABGE (publicado em 2018), com o título “Imprevistos geológicos e perícias”, sendo

a parte pericial a cargo do colega Leandro E. da Silva Cerri. Sérgio já havia participado como co-editor, junto com Antônio Manuel dos Santos Oliveira, da publicação pioneira da ABGE “Geologia de Engenharia”, de 1998, que inspirou a revisão e atualização do livro de 2018, acima citado. Esse artigo do Sérgio foi indicado pelo colega Erik, juntamente com outras referências bibliográficas, ao Grupo de Trabalho da Comissão 25 da IAEG, que trata de “modelos de geologia de engenharia”. Erik fez questão de endereçar a IAEG, inspirado no Depoimento do Sérgio, uma recomendação de inestimável valor metodológico: **“o Geólogo de Engenharia deve antecipar ocorrências que, mesmo não tendo sido identificadas nas investigações de campo, são reconhecidamente admissíveis naquele cenário geológico, surgindo daí o critério para contingenciamento e para avaliação do risco geológico.”** (Negrito nosso).

A outra ocasião foi a participação de Sérgio em Mesa Redonda sobre “Investigações” no 14º Congresso Nacional da ABGE, no Rio de Janeiro, em dezembro de 2013. Sérgio, muito atarefado, havia declinado do convite, mas por minha insistência compareceu e brindou a todos com magnífica intervenção. Ainda me recordo de colegas dizerem que a ABGE deveria evitar sessões paralelas em seus Congressos, pois aquela mesa sobre Investigações merecia uma sessão exclusiva, dado o interesse do tema e a relevância dos participantes.

---

# CONTRIBUIÇÕES E REFLEXÕES

A RBGEA abre esse espaço para que os membros de nossa comunidade tenham divulgados suas ideias, pensamentos e opiniões sobre temas e assuntos relacionados à Geologia de Engenharia e Ambiental.

Esperamos com estes textos iniciar debates e discussões e por isso questionamentos, perguntas, opiniões serão muito bem vindas.





# O MEIO AMBIENTE MERECE RESPEITO. MERECE GESTÃO. MERECE SOLUÇÕES

FERNANDO FACCIOLA KERTZMAN

A questão ambiental vem sendo crescentemente um dos principais temas de debates e preocupações da sociedade em geral, e das comunidades técnicas e científicas em particular.

Os recursos naturais estão sendo explorados exaustivamente numa escala cada vez maior.

Os ecossistemas e os refúgios de vida silvestre estão sendo reduzidos e degradados.

A produção de todo tipo de poluição aumenta à medida que a população mundial cresce.

É um cenário triste, catastrófico e deprimente. A raça humana parece não conseguir se desenvolver em equilíbrio com a natureza e degrada continuamente seu próprio habitat, colocando em risco sua própria sobrevivência, e a de outras espécies também.

Mas existem inúmeros exemplos de boas iniciativas e casos de sucesso na busca do equilíbrio entre desenvolvimento e preservação. A Sustentabilidade está entre as prioridades de uma grande parcela da população, de vários governos e até mesmo de muitas empresas.

A ABGE desde a muito tempo engloba e valoriza a questão ambiental. É a Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental. Poderia e deveria ter um A à mais na sua sigla - ABGEA! Mas fica implícito!

O grande foco da Geologia de Engenharia historicamente sempre foi a atuação dos geólogos e geotécnicos nos projetos e nas grandes obras de infraestrutura. E há décadas foram incorporadas também as ações e atuações nas questões ambientais. Muitos profissionais ligados ou interessados na ABGE atuam na área Ambiental, em diversos campos, como os estudos e análises de impactos ambientais e a proposição de medidas de controle e mitigação; o diagnóstico e soluções para áreas contaminadas; a recuperação de erosões; os proje-

tos de aterros sanitários; e até mesmo as questões sociais e urbanas como a cartografia geotécnica e de riscos.

## LICENCIAMENTO AMBIENTAL

Uma das áreas importantes de atuação são os Licenciamentos Ambientais.

Os Grandes Empreendimentos apresentam classicamente 3 fases distintas: a fase de projeto; a fase de obras; a fase de operação. O Licenciamento ambiental também é dividido em 3 fases: a fase de estudos socioambientais ou Estudos de Impactos Ambientais e obtenção da licença ambiental prévia; a fase de desenvolvimento dos programas ambientais, obtenção da Licença de Instalação e a realização das obras; e a fase de gestão ambiental da operação do empreendimento.

A primeira fase, dos estudos e obtenção de licenças tem sido objeto de inúmeras discussões e controvérsias, muito em função do tempo que demora o licenciamento e da subjetividade que o envolve. O fato é que o licenciamento ambiental tem sido muitas vezes tratado como um entrave e uma dificuldade a ser vencida para realizar uma obra. Quando de fato é ou deveria ser encarado como uma fase de avaliação e melhoria do projeto e do empreendimento proposto, de modo a ser menos impactante e trazer ganhos ambientais.

O licenciamento seria uma fase nobre do empreendimento, quando diferentes aspectos são analisados por equipes multidisciplinares; a comunidade é ouvida; o projeto como um todo é melhorado.

Mas Infelizmente o licenciamento ambiental em muitos casos tem sido considerado e tra-

tado simplesmente como uma burocracia e um obstáculo.

Do ponto de vista da Geologia de Engenharia, uma contribuição muito importante nessa fase de estudos é o entendimento das características do meio físico que condicionam os processos naturais da região onde se pretende implantar obra de infraestrutura, de grande porte. Assim, um instrumento muito importante é a caracterização geotécnica da região e com isso prever ou indicar as principais características do comportamento do solo/relevo/substrato, e a identificação dos processos que já ocorrem no local ou poderão ocorrer, e que poderão ser intensificados ou deflagrados em função das futuras intervenções.

Mas muitas vezes não existe essa Carta Geotécnica do local desejado. Aí vem o desafio de interpretar a geologia, a geomorfologia, a hidrologia e os solos e elaborar uma Carta ou pelo menos uma classificação das Suscetibilidades, e gerar uma Carta de Restrições Ambientais.

Quando esse tipo de mapeamento e caracterização é realizado e utilizado previamente, como base para a concepção e detalhamento do projeto, o que se percebe é que o Empreendimento como um todo ganha e o licenciamento ambiental é menos questionado.

Ou seja, quando a variável ambiental e o entendimento do meio físico é incorporado desde o início da concepção do projeto, o empreendimento fica mais sustentável, e ganham o empreendedor e a sociedade, e o meio ambiente.

## CONTROLE AMBIENTAL DAS OBRAS

Muito destaque se dá a fase dos Estudos Ambientais e obtenção das Licenças. É justo e importante. Porém os impactos de fato ocorrem na fase de implantação das obras. É quando os programas ambientais previstos no licenciamento ambiental precisam de fato ser implantados. Nessa fase de obras o desafio é implantar a gestão ambiental, os monitoramentos e as medidas de controle, para evitar os impactos no local das obras e no seu entorno.

Nessa fase as equipes de meio ambiente, em especial os técnicos e engenheiros e geólogos ambientais tem uma grande gente de trabalho. E uma

responsabilidade de propor medidas, implantar e fiscalizar de forma a evitar erosões e o assoreamento, tão frequentes nas etapas de terraplenagem. A erosão e o conseqüente assoreamento dos cursos d'água e das várzeas são impactos praticamente irreversíveis. O solo que levou milhares de anos para ser formado é perdido. Os cursos d'água são soterrados, e perdem seu leito natural. As drenagens são modificadas, provocando enchentes e inundações onde antes o córrego corria. A vegetação das baixadas e margens sofre ou morre e a fauna é duramente afetada.

O impacto da erosão acelerada em função da exposição do solo durante as obras é um dos impactos mais graves! E de difícil recuperação.

Os impactos do meio físico são portanto de grande magnitude, duradouros e muitas vezes irreversíveis. Mesmo sua compensação é difícil e duvidosa. Ou seja, precisam ser evitados ou pelo menos minimizados. Esse é um grande desafio da comunidade geotécnica/ambiental.

Boas práticas envolvem definir locais notáveis e de interesse que existem na região onde será implantado o empreendimento. Então, caracterizar esses locais, documentar e transformá-los em pontos de controle e monitoramento durante as obras. Fotografar, medir e principalmente proteger esses locais são medidas efetivas de controle ambiental.

A supervisão e fiscalização ambiental permanente das obras é outra medida fundamental. As frentes de obras devem ser estudadas antes de serem iniciados os trabalhos e implantadas medidas de proteção das drenagens, das matas e das comunidades lindeiras. Uma prática efetiva é ter critérios claros e a aplicação de notas mensais para cada trechos de obras. Premiar as boas práticas. Implantar sistema de emissão de Notificação de Não Conformidades e punir os responsáveis pelos problemas. Essas práticas fazem uma obra mais limpa, um controle ambiental efetivo e evitam passivos ambientais.

As obras realizadas pelo DER do Estado de São Paulo tem esse tipo de gestão ambiental.

É papel do geotécnico, geólogo ou engenheiro, propor medidas de prevenção e de controle. Acompanhar a implantação e manutenção. Dar soluções e proteger de fato o meio ambiente.

O bom Gerenciamento Ambiental implica em cuidar do processo ambiental desde a fase de concepção até a implantação e construção do empreendimento.

Desde a Concepção do Projeto incorporar a variável ambiental, e utilizar as informações ambientais para subsidiar um projeto amigável com o meio ambiente.

## O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

A sociedade quer o progresso e é natural que assim seja.

Cabe aos setores de planejamento atuarem no sentido de tentar uma ocupação do solo e o uso dos recursos naturais da forma menos impactante possível e considerando a capacidade e resiliência do território. Porém os setores dos governos voltados ao planejamento estão sendo sucateados, fechados ou mesmo nunca existiram de fato.

O licenciamento ambiental acaba fazendo esse papel de verificar a compatibilidade do empreendimento proposto com o desenvolvimento local e regional.

Cada região tem suas peculiaridades e precisam ser entendidas, respeitadas e valorizadas.

A Amazônia é um exemplo disso. A ocupação dessa região através do desmatamento, pastagens, rodovias e barragens é um modelo comprovadamente inadequado e insustentável.

Para ficar nas questões mais geológicas e geotécnicas, a implantação da infraestrutura de transportes não pode e não deve seguir o modelo de outras regiões. Os solos são frágeis e é muito restrito o acesso e as condições das jazidas de material pétreo tão necessário aos pavimentos e as obras de concreto (pontes por exemplo). A implantação de rodovias não parece ser a melhor solução. E a manutenção das poucas rodovias existentes é um transtorno permanente. Geológica e geotecnicamente rodovias na Amazônia são um desafio e não parecem ser a melhor opção.

E socialmente e ambientalmente tampouco, pois o que se observa é a acelerada degradação ao longo dos eixos rodoviários. A abertura dos acessos facilita o desmatamento, traz todo tipo de degradação, impulsionando mais os impactos e a pobreza do que o progresso.

Entender a região amazônica é importante para ver que o transporte tradicionalmente é realizado pelos rios, embarcado. Assim, o transporte sustentável seria o fluvial. Uma rede organizada, funcional, protegida de transporte fluvial de cargas e passageiros provavelmente seria muito efetivo, garantiria a mobilidade e preservaria a região.

Na construção da rodovia entre Cruzeiro do Sul e Rio Branco, no Acre, isso ficou evidente. A obra só era realizada durante 6 a 7 meses. O período chuvoso impedia o trabalho em boa parte do ano, e ainda destruía setores recentemente construídos.

Por outro lado a ligação por rios nem sempre garante a ligação entre grandes cidades, como é o caso entre Cruzeiro do Sul e Rio Branco, e muitos outros casos. Tendo em vista novamente os fatores do meio físico, como o relevo em geral plano, a ligação por ferrovias seria uma opção de menor impacto que as rodovias.

Em resumo, o meio ambiente é a base da sustentação da vida e da permanência de nossa espécie, e sua degradação e super exploração termina por comprometer a qualidade de vida e a própria permanência do Homem nesse planeta.

É possível entender os limites e as suscetibilidades e desenvolver projetos e obras e empreendimentos de modo mais amigável e sustentável.

Enfim, existe conhecimento acumulado e boas práticas e boas técnicas que a Geologia de Engenharia e Ambiental já desenvolveu e que podem e devem ser entendidas e aplicadas para a apresentação e implantação de soluções.

# PROJETOS DE USINAS HIDRELÉTRICAS

GERALDO MAGELA PEREIRA

Nos anos 1970, com o país em desenvolvimento acelerado, nós tínhamos muitos projetos de usinas hidrelétricas para fazer. Naquela época não tínhamos nem experiência, expertise, os consultores e os livros eram estrangeiros e caros.

Tempos difíceis. Foi tanto sufoco que pensei “um dia, vou escrever um livro”, e esse sonho foi concretizado 40 anos depois com a publicação do “Projetos de Usinas Hidrelétricas-Passo a Passo” pela Editora Oficina de Textos.

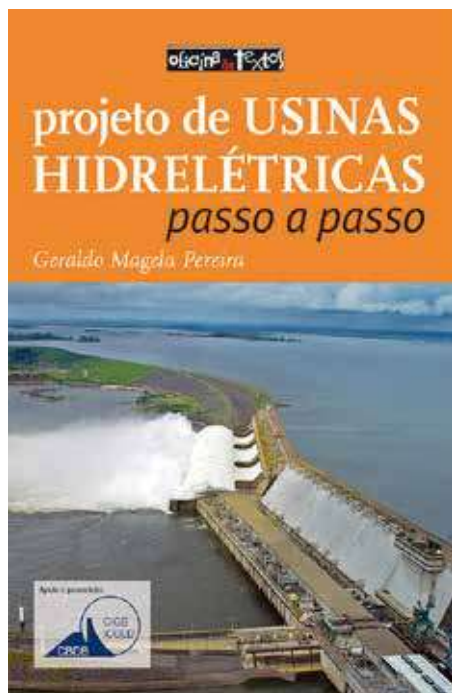


Figura 1. Livro Projeto de Usina Hidrelétricas - Passo a Passo”

O texto apresenta para a RBGEA, a revista da ABGE, um resumo em notas sobre alguns pontos

que merecem ser considerados na definição do arranjo geral das estruturas que compõem uma usina hidrelétrica. Apresentam-se também alguns exemplos de usinas hidrelétricas com diferentes composições de arranjo das estruturas.

Desde o início, ressalta-se que as condições topográficas e geológico-geotécnicas dos sítios condicionam fortemente os arranjos das usinas, e acima de tudo, a importância da multidisciplinaridade no desenvolvimento do projeto, com a integração das disciplinas da Cartografia, Topografia, Hidrologia, Geologia, Geotecnia, Estruturas, Hidráulica, Mecânica, Elétrica e Meio Ambiente.

## 1 TRANSFORMAÇÃO DA ENERGIA POTENCIAL EM ENERGIA ELÉTRICA

A geração de energia elétrica a partir de uma usina hidrelétrica acontece pela transformação da energia potencial associada ao fluxo fluviométrico e à diferença de nível d’água criada pela existência de quedas, degraus ou corredeiras no caminhar do rio.

Todas as estruturas civis, equipamentos mecânicos e sistemas elétricos da usina são definidos em função do potencial de geração que o curso d’água oferece e a definição do arranjo das estruturas e do tipo dos equipamentos eletromecânicos é feita de forma a propiciar seu melhor aproveitamento. A figura a seguir apresenta um croqui clássico do esquema de transformação da energia potencial em energia elétrica por meio de usina hidrelétrica.





Figura 2. Geração de energia elétrica através de usinas hidrelétricas (fonte: ANEEL)

A vazão de fluxo e a diferença de nível de água são as características do rio que definem o potencial de geração de energia elétrica de um aproveitamento hidrelétrico. Desta forma, a potência da usina é obtida pela expressão:

$$P = H \times Q \times g \times h$$

onde:

P = potência instalada (kW)

Q = vazão do rio (m<sup>3</sup>/s)

H = diferença de nível d'água ou queda (m)

g = aceleração da gravidade (9,81 m/s<sup>2</sup>)

h = rendimento dos equipamentos (%)

## 2 ETAPAS DE ESTUDOS E PROJETOS DE UM APROVEITAMENTO HIDRELÉTRICO

Os estudos para a identificação, avaliação, projeto e implantação dos empreendimentos hidrelétricos são desenvolvidos em etapas, cada uma avançando em conhecimento e detalhamento. As etapas são:

- i. Estimativa do Potencial Hidrelétrico: fase que em se procede a análise preliminar das características da bacia hidrográfica, especialmente quanto aos seus

aspectos topográficos, hidrológicos, geológicos e ambientais. Sua finalidade é verificar a vocação da bacia para a geração de energia elétrica.

- ii. Estudos de Inventário Hidrelétrico: fase em que se determina o potencial hidrelétrico da bacia hidrográfica e se estabelece o melhor posicionamento dos aproveitamentos hidrelétricos, que em conjunto ofereçam o máximo de energia ao menor custo e com o mínimo de impacto ao meio ambiente. Por ele fica definida a divisão de quedas no rio principal e em seus afluentes que formam a bacia hidrográfica.
- iii. Estudos de Viabilidade: fase que se define a concepção geral de um determinado aproveitamento que compõem a divisão de quedas de um rio. Sua finalidade é avaliar, otimizar e estabelecer as características técnico, econômica e ambiental do aproveitamento, analisando seus benefícios e custos associados.
- iv. Projeto Básico: fase em que o aproveitamento concebido nos Estudos de Viabilidade tem seu projeto efetivamente detalhado e desenvolvido, estabelecendo as características técnicas de suas

estruturas civis, dos seus equipamentos mecânicos e se seus sistemas elétricos, bem como de seus programas socioambientais.

- v. Projeto Executivo: fase em que são elaborados todos os documentos, relatórios, desenhos, memórias de cálculo, especificações técnicas, lista de materiais, programas e instruções necessários para a completa implantação do empreendimento hidrelétrico.

Os aproveitamentos hidrelétricos são classificados em função de sua capacidade de geração de energia elétrica, dada pela potência instalada estabelecida no projeto. Os empreendimentos são classificados em:

Central Geradora Hidrelétrica	CGH	$P \leq 5$
Pequena Central Hidrelétrica	PCH	$5 < P \leq 30$
Usina Hidrelétrica	UHE	$P > 30^*$

\* São caracterizados como UHEs os aproveitamentos com potência instalada superior a 5 MW e igual ou inferior a 50 MW desde que não sejam enquadrados como PCH e estejam sujeitos a outorga de autorização.

A experiência acumulada pelas décadas de desenvolvimento do setor hidrelétrico brasileiro possibilitou a elaboração de critérios, instruções, manuais e diretrizes que estabelecem padrões para o desenvolvimento de cada etapa de estudo dos aproveitamentos hidrelétricos<sup>1</sup>. Dentre eles, citam-se:

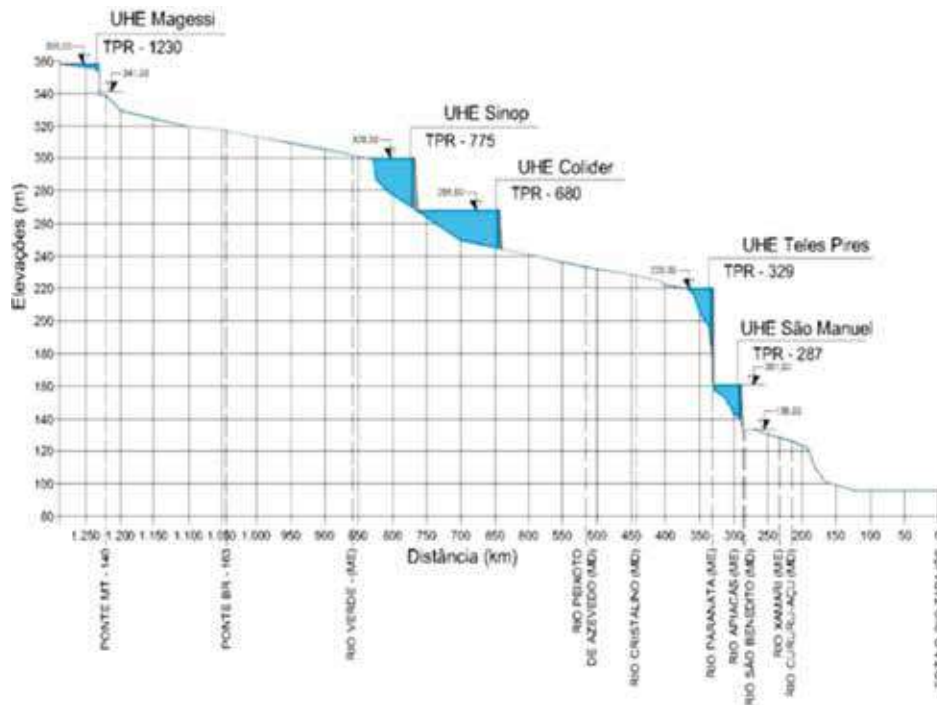
- Manual de Inventário Hidrelétrico de Bacias Hidrográficas;
- Instruções para Estudos de Viabilidade de Aproveitamentos Hidrelétricos;
- Diretrizes para Elaboração de Projeto Básico de Usinas Hidrelétricas;
- Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas;
- Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas

A figura a seguir apresenta as usinas do rio Teles Pires, na região Norte, uma das últimas a ser totalmente aproveitada no país. Ele se junta ao rio Juruena para juntos formarem o rio Tapajós.



**Figura 3.** Localização da Bacia Hidrográfica do rio Tapajós, formado pela junção dos rios Teles Pires e Juruena.

<sup>1</sup> <https://eletrobras.com/pt/Paginas/Manuais-e-Diretrizes-para-Estudos-e-Projetos.aspx>



**Figura 4.** Divisão de quedas do rio Teles Pires indicando os Aproveitamentos Hidrelétricos identificados no respectivo Estudo de Inventário.

### 3 NOTAS SOBRE DADOS E DISCIPLINAS FUNDAMENTAIS

**Cartografia e Topografia:** é preciso ter uma base cartográfica e levantamentos topográficos em escala adequada para possibilitar à determinação da queda bruta (H) do empreendimento, e para possibilitar a avaliação das alternativas de arranjo e o desenvolvimento do projeto da usina.

**Hidrologia:** os estudos hidrológicos definem as vazões médias máximas e mínimas características do rio as quais, junto com a queda ou desnível, serão utilizadas nos estudos energéticos para determinação da potência a ser instalada na usina e do dimensionamento das estruturas hidráulicas da usina.

**Geologia e Geotecnia:** é necessário ter a correta caracterização e parametrização do ambiente geológico que irá hospedar a usina, notadamente quanto suas propriedades de resistência, deformabilidade e permeabilidade.

**Ambiental:** é de extrema importância verificar e quantificar os aspectos e as condicionantes socioambientais locais e regionais, estabelecendo diagnósticos e prognósticos para as interações

entre o empreendimento e o meio ambiente onde estará inserido.

Demais disciplinas: Estruturas Civas, Hidráulica; Arquitetura; Engenharia Mecânica, Engenharia Elétrica; Sistema de Transmissão.

Por isso, fica claro que o desenvolvimento dos estudos e projetos de empreendimentos hidrelétricos é realizado necessariamente por uma equipe multidisciplinar composta por profissionais representantes de cada dessas disciplinas. A estes juntam-se ainda os profissionais de planejamento, orçamentação, coordenação e interface.

### 4 ARRANJOS DE USINAS HIDRELÉTRICAS

A definição do arranjo as estruturas da usina hidrelétrica é uma das tarefas mais importantes dos estudos pois através de um arranjo bem elaborado, que considere as características fluviais, geomorfológicas e geológicas do local, se obtém a melhor alternativa, com a maior viabilidade técnica, econômica e ambiental para a implantação do empreendimento.

De forma resumida, existem 2 tipos mais comuns de arranjo:

- Arranjos compactos: onde todas as estruturas da usina ficam posicionadas ao longo do eixo de barramento;
- Arranjos com circuito de adução: onde a estrutura do barramento, que estabelece o reservatório, e a estrutura da casa de força, que abriga as unidades turbogeradoras, estão desassociadas e separadas, e o fluxo hidráulico é conduzido do reservatório à casa de força por meio de um circuito hidráulico de adução.

Cada caso tem suas particularidades e as alternativas mais econômicas, técnica e ambientalmente, são objeto de pesquisas, análises

e verificações durante os estudos e projetos dos empreendimentos.

Nos livros do Comitê Brasileiro de Barragens, *Topmost Dams of Brazil* (CBDB, 1978) e “*Main Brazilian Dam.*” Vol. 1 (CBDB, 1982), Vol. 2 (CBDB, 2000) e Vol. 3 (CBDB, 2009), encontram-se ilustrados os principais projetos das usinas hidrelétricas brasileiras. Esses documentos são da maior importância e de consulta imprescindível para quem trabalha para o setor elétrico. Neles constam, com alguns detalhes, os arranjos gerais das principais obras brasileiras. Não será difícil observar que, para locais com características semelhantes.

A seguir são apresentados alguns exemplos de arranjo utilizados em usinas no Brasil, ilustrando o uso dos 2 tipos de arranjo acima identificados.



**Figura 5.** UHE Tucuruí – Arranjo Compacto. Situa-se no trecho baixo do rio Tocantins, no Estado do Pará, com potência de 8.125 MW. A barragem tem 95 m de altura e comprimento de 7 km. O vertedouro da usina, um dos maiores do mundo, tem 23 vãos de 20 m largura e 21 m altura e capacidade de vertimento (Q) de 110.000 m<sup>3</sup>/s.





**Figura 6.** UHE Itaipu - Arranjo Compacto. Situa-se no rio Paraná e tem potência de 14.180 MW. A barragem tem 196 m de altura e 7,8 km comprimento. O vertedouro tem 14 vãos de 20 m largura e 21,34 m altura e capacidade de vazão de 62.000 m<sup>3</sup>/s.



**Figura 7.** UHE Campos Novos - Arranjo com Circuito Adutor. Situa-se no rio Canoas, 21 km a montante da confluência com o rio Pelotas, e tem potência de 900 MW. A barragem, de enrocamento com face de concreto, tem 202 m de altura e 590 m de comprimento. O vertedouro tem 4 vãos de 17,4 m largura e 20 m altura. A capacidade de vazão é de 18.300 m<sup>3</sup>/s.



**Figura 8.** UHE Irapé – Arranjo com Circuito Adutor. Situada no rio Jequitinhonha, Minas Gerais, possui a maior barragem do Brasil e a segunda maior da América Latina, com 205 m de altura. Possui 360 MW de potência instalada. O arranjo compreende uma barragem de enrocamento com núcleo de argila fechando o vale, túneis de desvio na margem direita, tomada de água, vertedouro e extravasor na margem esquerda e casa de força a jusante da barragem.

## 5 ESTUDOS SEDIMENTOLÓGICOS E DE VIDA ÚTIL DOS RESERVATÓRIOS

Além de todos os recursos mobilizados para a elaboração dos estudos e dos projetos das estruturas civis e para a definições e especificações dos equipamentos mecânicos e dos sistemas elétricos da usina, é necessário também prestar atenção ao reservatório. Não são raros os problemas de redução do volume do reservatório em função do assoreamento ao longo do tempo.

A produção de sedimentos envolve muitos fatores associados ao ambiente geológico, às características geomorfológicas da bacia, à pluviosidade, aos ventos e às ações antrópicas. Para a avaliação da vida útil do reservatório deve-se escolher a estação com medições sedimentométricas mais próxima ao projeto, cujos dados estejam disponíveis no Hidroweb/ANA.

O tema vem merecendo atenção crescente por parte dos projetistas, pesquisadores e agências de financiamento de todo o mundo. A revista *World Water* (1988 apud Almeida e Carvalho, 1993), cita um estudo do Banco Mundial, realizado em 1974, indicando que a expectativa média de vida útil dos reservatórios mundiais havia decrescido de 100 para 24 anos.

Power (1988), no artigo “Siltation is Threat to Whole World’s Storage Dams”, registrou que: o reservatório da Usina Hoover (1935) está assoreando 0,3% ao ano, portanto, já perdeu 24% do seu reservatório em 79 anos, aproximadamente; Tarbela está assoreando 1,5% ao ano; e Três Gargantas, inaugurada em 1970, está assoreando 1,7% ao ano; e que o reservatório de Warsak, no rio Kabul no Paquistão, perdeu 18% de sua capacidade no seu primeiro ano de operação.

White (2010), no trabalho “World Water: Resources, Usage and the Role of Man-Made Reservoirs”, apresentou dados de 2.300 reservatórios em 31 países fornecidos pelo ICOLD (2003), “World Register of Dams”. Ele citou que a perda anual de armazenamento é de 0,5% ao ano. Citou também a meia vida dos reservatórios de 12 regiões do mundo. Para a América do Sul essa meia vida é de 500 anos.

Segundo Carvalho (1994) registra que no Brasil, nossa perda também é de 0,5% ao ano.

O Guia de Avaliação de Assoreamento de Reservatório<sup>2</sup> publicado pela Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas da ANEEL

<sup>2</sup> [https://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/2000\\_GuiaAvaliacaoAssoreamentoReservatorios.pdf/68c4953-f696-5925-573a-b7b3207db875](https://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/2000_GuiaAvaliacaoAssoreamentoReservatorios.pdf/68c4953-f696-5925-573a-b7b3207db875)

fornecem orientações e recomendações para a avaliação do impacto dos sedimentos carreados pelos cursos d'água aos reservatórios neles instalados.

A Tabela 1 apresenta os resultados desses estudos desenvolvidos para o Projeto Básico da PCH Poço Fundo, localizada no município de São José do Vale do Rio Preto.

No caso da PCH Poço Fundo verificou-se que não eram esperados problemas de assoreamento. O reservatório é estreito e pouco profundo, com considerável velocidade de escoamento, o que resultou em um baixo índice de sedimentação.

**Tabela 1.** Cálculo do Tempo de Assoreamento Previsto para o Reservatório da PCH Poço Fundo.

Sigla	Descrição / Fórmula	Un.	Valor
AD	Área de drenagem	(km <sup>2</sup> )	730
Q <sub>mlt</sub>	Descarga líquida média de longo período	(m <sup>3</sup> /s)	16,86
L	Comprimento do reservatório	(m)	5.191
NA <sub>res</sub>	Nível d'água máximo normal do reservatório	(m)	691,00
A <sub>res</sub>	Área do reservatório no NA máximo normal	(10 <sup>3</sup> m <sup>2</sup> )	140
V <sub>res</sub>	Volume do reservatório no NA máximo normal	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	0,47
Q <sub>st</sub>	Descarga sólida média de longo período	(t/ano)	43.518
IS	Índice de Sedimentação = $V_{res}^2 / (Q^2 \times L)$	-	1,83 E+05
ER	Eficiência de retenção *(dado pela curva de Churchill)	(%)	20%
Pc	Porcentagem de argila contida no sedimento	(%)	25%
Pm	Porcentagem de silte contida no sedimento	(%)	25%
Ps	Porcentagem de areia contida no sedimento	(%)	50%
Wc	Coefficiente de compactação da argila*	-	0,416
Wm	Coefficiente de compactação do silte*	-	1,121
Ws	Coefficiente de compactação da areia*	-	1,554
Kc	Constante dependente do tipo de operação do reservatório (argila)*	-	0,256
Km	Constante dependente do tipo de operação do reservatório (silte)*	-	0,091
Ks	Constante dependente do tipo de operação do reservatório (areia)*	-	0,000
K	Constante dependente do tipo de operação do reservatório (total)*	-	0,087
g <sub>i</sub>	Peso específico aparente inicial = $Wc \times Pc + Wm \times Pm + Ws \times Ps$	(t/m <sup>3</sup> )	1,161
T'	Tempo de assoreamento (cálculo inicial) = $V_{res} \times g_i / (Q_{st} \times ER)$	(anos)	69,22
g <sub>T</sub>	Peso específico aparente médio em T anos (compactado) = $Kc \times Pc + Km \times Pm + Ks \times Ps$	(t/m <sup>3</sup> )	1,319
T	Tempo de Assoreamento (corrigido) = $V_{res} \times g_T / (Q_{st} \times ER)$	(anos)	78,63

\*Valores válidos para o caso de "sedimento sempre ou quase sempre submerso";  
 \*\*A eficiência de retenção obtida pela curva de Churchill para o sedimento em suspensão foi nula. Considerou-se 20% de retenção, referentes à porcentagem estimada para o sedimento do leito.

Entretanto existem vários de reservatórios de usinas no Brasil com algum tipo de problema associado ao acúmulo de sedimentos. O ambiente geológico, o regime pluviométrico e as grandes declividades da bacia são as principais causas naturais que favorecem a erosão do seu solo. Como causas antrópicas, destacam-se a proximidade de regiões de exploração de minérios a céu aberto e o

desmatamento extensivo nas margens dos cursos d'água.

Cita-se por exemplo o caso da UHE Mascarenhas (120 MW), inaugurada em 1974, o projeto não contemplou os estudos sedimentológicos, segundo Almeida e Carvalho (1993). Essa usina teve seu reservatório quase que totalmente assoreado em 1979, 5 anos após a inauguração e sua opera-

ção exigia dragagem permanente até a época da publicação do trabalho de Almeida e Carvalho (1993).

A UHE Funil, com 30 MW de potência instalada no rio das Contas, na Bahia, foi inaugurada em 1962 e teve as três unidades geradoras paralisadas no período de janeiro de 1992 a março de 1993. Para recolocar a usina em operação, foi necessário efetuar a dragagem de um volume de 33.000 m<sup>3</sup> do reservatório, e a retirada de 1.000 m<sup>3</sup> de sedimentos dos condutos forçados.

Coelho (1993) mostrou em sua Dissertação de Mestrado desenvolvida no Instituto de Geociências e Ciências Exatas UNESP que o reservatório da UHE Americana (SP) assoreou 8,9% em 40 anos, correspondente a 0,22% ao ano.

Miranda (2011) mostrou em sua Dissertação de Mestrado apresentada a Escola de Engenharia de São Carlos, que o reservatório de Três Irmãos assoreou 14% entre 1975 e 2008, o que corresponde a 0,42% ao ano, e que as perdas de energia, de 1993, ano de funcionamento da primeira turbina, a 2008 seriam de 377 MWh/mês.

As pesquisas desenvolvidas na Universidade Estadual de Campinas mostram que o reservatório da UHE Barra Bonita, onde existe a eclusa que permite o tráfego fluvial, também sofre as consequências do assoreamento. Em menos de cinco anos, alguns pontos ficaram 12 m mais rasos, con-

forme levantamentos batimétricos realizados na região. Segundo a pesquisa, na época já não era possível navegar com embarcações de 2,9 m de calado. Neste trecho a hidrovia só funcionava, de forma plena, seis meses por ano e a tendência era de que isso piorasse com o aumento do assoreamento. Além do prejuízo para a geração de energia, havia o risco de paralisação do transporte de cargas no trecho que integra o traçado da hidrovia Tietê-Paraná.

A questão deve receber a atenção e ser monitorada pelos concessionários ou autorizados de geração de energia hidrelétrica de acordo com a Resolução Conjunta no 3, de 10 de agosto de 2010, da ANEEL e ANA, a qual estabelece as condições e os procedimentos a serem observados pelos concessionários de geração de energia hidrelétrica para a instalação, operação e manutenção de estações hidrométricas visando ao monitoramento pluviométrico, limnimétrico, fluviométrico, sedimentométrico e de qualidade da água associado a aproveitamentos hidrelétricos.

O assunto do assoreamento possui grande importância e relevância para a vida e a capacidade operacional das usinas hidrelétricas, para a manutenção da trafegabilidade das embarcações e para a qualidade socioambiental das bacias hidrográficas



# PROPOSTA DE ESTRUTURAÇÃO DE UM CURSO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA

STRUCTURE PROPOSAL OF AN ENGINEERING GEOLOGY COURSE

ÁLVARO RODRIGUES DOS SANTOS

Geólogo, Ex-pesquisador Sênior V do IPT, Diretor Executivo ARS Geologia Ltda., santosalvaro@uol.com.br

## RESUMO ABSTRACT

Os cursos brasileiros de Geologia têm até hoje revelado uma certa relutância em entender a Geologia de Engenharia como uma atribuição própria do campo da Geologia, pelo que o ensino e o desenvolvimento técnico-científico dessa geociência aplicada, que entende o Homem como agente geológico, não têm sido percebidos como uma atividade de importância estratégica pela Universidade. Tem esse trabalho o objetivo de defender e propor a estruturação de um curso de Geologia de Engenharia intimamente associado à sua ciência de sustentação, a Geologia, entendendo o “raciocínio geológico” como seu principal instrumento de trabalho.

**Palavras-chave:** Geologia de Engenharia, Ensino, Geociência Aplicada

Brazilian Geology courses have so far shown a certain reluctance to understand Engineering Geology as an attribution of the field of Geology, so the teaching and technical-scientific development of this applied geoscience, which understands Man as a geological agent, have not been perceived as an activity of strategic importance by the University. This paper has the objective of defending and proposing the structuring of a course in Engineering Geology closely associated with its support science, Geology, understanding “geological reasoning” as its main working tool.

## 1 INTRODUÇÃO – EXPOSIÇÃO DE MOTIVOS

Não estaríamos exagerando se afirmássemos que, salvo raríssimas exceções, hoje ainda não se ensina Geologia de Engenharia (GE) aos geólogos brasileiros em nossos cursos de graduação em Geologia. É importante observar que se está falando de Geologia de Engenharia e não de Mecânica dos Solos ou Mecânica das Rochas ou Geotecnia, disciplinas com que muitos ainda imaginam estar aprendendo ou ensinando Geologia de Engenharia. Estamos aqui nos referindo especificamente à Geologia de Engenharia, especialidade aplicada da Geologia, com sua história, conceitos e méto-

dos próprios de trabalho, e que tem por missão maior a vital responsabilidade de compatibilizar tecnicamente as intervenções do Homem no planeta com as características geológicas naturais de cada região ou local afetado. De uma forma concisa, podemos entender a Geologia de Engenharia como a Geociência Aplicada responsável pelo domínio tecnológico da interface entre a atividade humana e o meio físico geológico.

Por outro lado, a GE só conseguirá cumprir cabalmente essa responsabilidade, e assim ser útil à Engenharia e à sociedade em um sentido mais amplo, na medida em que não se descole de suas raízes disciplinares, de sua ciência-mãe, a Geologia, o que significa exercitar e priorizar seu

principal instrumento de trabalho, o raciocínio geológico. Essa precaução a fará sempre ter como ponto de partida a consciência de que qualquer ação humana sobre o meio fisiográfico interfere, não só limitadamente, em matéria pura, mas significativamente, em matéria em movimento, ou seja, em processos geológicos, sejam eles menos ou mais perceptíveis, sejam eles mecânicos, físico-químicos ou de qualquer outra natureza, estejam eles temporariamente contidos ou em pleno desenvolvimento.

Já com tantos geólogos praticando a GE, e por tantos anos, e com tão importantes serviços prestados à sociedade, impacta o fato de ainda a grande maioria dos cursos de Geologia não ter acolhido devidamente essa especialização. A ponto de, a bem da verdade, o geólogo de engenharia brasileiro continuar sendo, em boa parte de sua formação, um autodidata. Ressalte-se a enorme e estratégica importância, nas circunstâncias atuais de enfraquecimento de nossas instituições públicas de pesquisa e das empresas nacionais de engenharia, de nossas Universidades e seus cursos de Geologia assumirem a formação acadêmica em Geologia de Engenharia. A Universidade deveria se projetar como o futuro e fantástico espaço para a discussão, formação e desenvolvimento da Geologia de Engenharia brasileira.

Do que foi exposto depreende-se a necessidade estratégica das escolas brasileiras de Geologia assumirem definitivamente como atribuição e responsabilidade suas a formação disciplinar em Geologia de Engenharia dos estudantes de geologia, entendida a GE, em toda sua essência, como uma Geociência Aplicada.

É preciso insistir e persistir, uma boa formação escolar é condição elementar para o oferecimento de bons profissionais para o mercado de trabalho e para o mundo da pesquisa.

## 2 A EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA GEOLOGIA DE ENGENHARIA NO BRASIL

Vargas (1985) destaca os relatos do Engenheiro Miguel Arrojado Lisboa sobre as obras de prolongamento da Estrada de Ferro Noroeste do Brasil, em 1907, como o primeiro registro documental

da utilização da Geologia em apoio a obras de engenharia no Brasil.

Antes e após esse evento, Vargas (1985) e Ruiz (1987) consideram a possibilidade real de outras contribuições equivalentes da Geologia, mas sem recuperação documental, e destacam como o segundo grande marco histórico, a criação em 1937, da Seção de Geologia e Petrografia no IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, sob a chefia do Engenheiro Luis Flores de Moraes Rego, e, já em 1938, com o nome de Seção de Geologia e Minas, sob a chefia de Tharcisio Damy de Souza Santos; ambos, aliás, autores do histórico Boletim nº 18 do IPT, *Contribuições para o Estudo dos Granitos da Serra da Cantareira*, em colaboração com os então assistentes-alunos Fernando Flávio Marques de Almeida e Ernesto Pichler, que tanto viriam marcar a história da Geologia no país.

Foi, no entanto, com os trabalhos práticos intensivos e a produção bibliográfica de Ernesto Pichler, nas décadas de 40 e 50, que a Geologia de Engenharia brasileira foi pela primeira vez disciplinarmente individualizada.

Nas décadas de 60 e 70, já com a então Seção de Geologia Aplicada do IPT sob o dinâmico comando do Engenheiro Murillo Dondici Ruiz, ex-assistente-aluno de Pichler, a Geologia de Engenharia brasileira, respondendo à implantação de grandes e diferenciadas obras de infraestrutura, observou um espetacular desenvolvimento, dando efetiva e reconhecida colaboração para alçar a Engenharia Nacional ao nível da melhor engenharia internacional, com soluções avançadas e aplicadas às características fisiográficas e socioeconômicas do país e de suas diferentes regiões.

Nessa fase, o exercício da GE no Brasil, contando com o precioso aporte da consultoria e ensinamentos de formidáveis geotecnologistas do exterior – Terzaghi, Fox, Cabrera, Deere –, foi natural e fortemente influenciado pelo ritmo das inúmeras grandes obras em implantação em todo o país e pelos paradigmas técnicos da Engenharia Geotécnica, o que a levou a priorizar o esforço de parametrização geotécnica, ou seja, pela simples busca de informações e parâmetros geotécnicos solicitados pela Engenharia. Desta fase resultou, como fator extremamente positivo, uma singular intimidade dos geólogos de engenharia, que se

formavam autodidaticamente neste período já em diversos estados brasileiros, com os mais diversos aspectos dos grandes empreendimentos de engenharia e das diferentes solicitações ao meio físico geológico por eles provocadas nas diversas fases de sua implantação e de sua posterior operação. Esta singularidade histórica, como ressalta Ruiz (1987), foi responsável pelo perfil objetivo e eficiente que marca a Geologia de Engenharia brasileira frente às suas congêneres internacionais.

Nas décadas subseqüentes (70, 80 e 90), respondendo aos novos desafios técnicos que lhe foram colocados pelo acelerado e diversificado processo de interferência do crescimento econômico brasileiro em sua fisiografia de suporte, resultando em uma diferenciada gama de problemas urbanos, rurais e ambientais, e apreendendo que tão importantes como as características geotécnicas intrínsecas dos materiais (solos e rochas) afetados por um determinado empreendimento, são os processos geológicos e geomorfológicos locais e regionais e sua relação biunívoca com as solicitações então impostas, a Geologia de Engenharia brasileira galgou, com a participação ativa e adesão dos geólogos pioneiros, um patamar disciplinarmente mais personalizado. Neste novo patamar, destacam-se, de um lado, a revalorização dos conhecimentos e dos instrumentos e procedimentos metodológicos próprios da Geologia e, de outro, a percepção definitiva de que os patrimônios naturais, de alguma forma afetados pela atividade humana, são finitos e têm propriedades e comportamentos próprios que, uma vez não levados em conta, podem concorrer para respostas catastróficas ante os interesses maiores da sociedade.

Em 1976, o autor desse texto apresenta ao 1º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia

o trabalho *“Por Menos Ensaios e Instrumentações e por uma Maior Observação da Natureza”*, que marca definitiva e conceitualmente o movimento de aproximação metodológica da Geologia de Engenharia com a Geologia, entendida então como sua ciência matriz.

Também emblemática desse período foi a participação dos professores. Fernando Flávio Marques de Almeida, José Moacyr Vianna Coutinho e Yociteru Hasui – reconhecidamente entre os mais brilhantes geólogos brasileiros – como consultores permanentes da Divisão de Minas e Geologia Aplicada do IPT para o apoio a diversas pesquisas e projetos de Geologia de Engenharia desenvolvidos pela referida Divisão. Foram então definitivamente incorporados à prática da GE brasileira atributos e responsabilidades, como modelagem geológica/geomorfológica, identificação e avaliação de processos, análises e modelagens fenomenológicas, análises de previsibilidade e risco, avaliação e tratamento de impactos ambientais, etc.

Pelo exposto, percebe-se que a década de 70 foi excepcionalmente marcante para a GE brasileira, abrigando tanto as ações e fatos que corroboraram para sua definitiva consolidação no cenário tecnológico brasileiro, como já os elementos fundamentais que marcaram as características da fase posterior, quando se deu sua definitiva personalização disciplinar e a diversificação de suas aplicações, e tendo como sua mais virtuosa marca o resgate da GE brasileira para o domínio conceitual e metodológico da Geologia. A tabela adiante apresenta, esquematicamente, as diversas fases históricas da GE brasileira identificadas: Primórdios, Maturação, Consolidação e Personalização/Diversificação.

FASES	PERÍODO	CARACTERÍSTICAS	MARCOS
Primórdios	Até 1930	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oferecimento de informações geológicas gerais e/ou acadêmicas.</li> <li>• Ausência de uma experiência nacional.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesquisa de materiais naturais de construção.</li> <li>• Implantação de ferrovias e obras de saneamento.</li> </ul>
Maturação	1930 ≅ 1960	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crescente valorização das informações geológicas pela engenharia.</li> <li>• Primeiros equacionamentos conceituais e disciplinares para GE.</li> <li>• Ações pontuais e baixa participação de geólogos nas decisões de engenharia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Criação em 1937 da Seção de Geologia e Petrografia do IPT.</li> <li>• Atuação prática e produção bibliográfica de Ernesto Pichler.</li> <li>• Vinda de Terzaghi ao Brasil.</li> <li>• Implantação de obras viárias e energéticas na Serra do Mar.</li> <li>• Implantação e estudos de UHEs em todo o país.</li> </ul>
Consolidação	1960 ≅ 1975	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aceitação indiscutível da informação geológica como instrumento indispensável da engenharia.</li> <li>• Grande influência dos paradigmas da Engenharia na GE brasileira. Priorização da parametrização de variáveis geotécnicas.</li> <li>• Início da participação de geólogos na concepção de projetos e soluções de engenharia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formatura das primeiras turmas de geólogos brasileiros.</li> <li>• Presença no país dos melhores geotecnologistas do mundo.</li> <li>• Normatização de ensaios e técnicas de investigação.</li> <li>• Explosiva implantação de obras de infraestrutura viária e energética em todo o país.</li> <li>• Constituição de equipes permanentes de geotécnicos em empresas públicas e privadas.</li> <li>• Fundação e atuação da APGA/ABGE.</li> <li>• Realização do Congresso Internacional da IAEG no Brasil.</li> </ul>
Personalização e Diversificação	1975 até hoje	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resgate da GE para os domínios conceituais da Geologia.</li> <li>• Priorização do raciocínio geológico e da interpretação fenomenológica.</li> <li>• Participação crescente e decisiva de geólogos na concepção de projetos e soluções de engenharia e de planejamento do uso do solo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicação extensiva da GE em problemas urbanos e rurais.</li> <li>• Explosão da problemática ambiental.</li> <li>• Uso intensivo das ferramentas cartográficas.</li> <li>• Refinamento de técnicas diretas e indiretas de investigação.</li> <li>• Intensa produção bibliográfica na GE brasileira. Edição do primeiro livro-texto brasileiro.</li> </ul>

### 3 O CURSO PROPOSTO

A Geologia de Engenharia brasileira desenvolveu-se basicamente fora do contexto acadêmico, devendo esse desenvolvimento em grande parte a esforços autodidatas de caráter essencialmente empírico. Como já referido, desde meados dos anos 50, a GE brasileira sofreu grande influência dos paradigmas técnicos da Engenharia Geotécnica, o que a levou a priorizar o esforço mais simplório de parametrização geotécnica. A partir de meados da década de 1970, ganha espaço na GE brasileira a tendência em resgatá-la para o campo dos paradigmas e dos métodos da Geologia, guindando-a a um patamar disciplinarmente mais personalizado e tecnicamente mais resolutivo e influente para as decisões de engenharia.

No entanto, ainda que extremamente positiva e rica, essa abordagem geológica da Geolo-

gia de Engenharia ainda carece de consolidação no âmbito da prática geral da GE brasileira, para o que, não resta dúvida, lhe seria fundamental o abrigo do ambiente acadêmico, cultivador da reflexão teórica, do desenvolvimento prático e formador de profissionais através do exercício docente nos níveis de graduação, pós-graduação e especialização.

Refletindo essa circunstância histórica e as considerações expostas nos itens anteriores, o curso proposto é composto por cinco módulos, cada qual com seu objetivo devidamente individualizado e refletido nas respectivas disciplinas e atividades que os compõem. Assim:

- Os módulos e suas disciplinas estão apoiados na perspectiva de plena integração docente dos diversos departamentos que compõem o curso acadêmico de Geologia.



- O curso proposto pode ser considerado tanto como um referencial didático para a disciplina de Geologia de Engenharia hoje existente em vários cursos de graduação universitária de Geologia, como para o oferecimento de cursos de especialização ou de pós-graduação em GE.
- O curso está proposto em seus marcos fundamentais: Justificativa, Módulos, Disciplinas e Ementas. Os demais detalhamentos, como tópicos disciplinares, bibliografias, créditos por disciplina, etc., deverão ser considerados após o período de discussão do presente documento.

### 3.1 Módulos

#### Módulo I

Questões Conceituais e Metodológicas – geologia de engenharia, uma geociência aplicada que vê o homem como agente geológico (**Objeto: o que é e como trabalha a GE**)

#### Módulo II

Cenários Geológicos que Recebem e Integram com Intervenções Humanas – disciplinas de apoio e sustentação (**Objeto: as intervenções humanas no planeta interagem com processos geológicos**)

#### Módulo III

Campos de Aplicação – tipos de intervenções humanas e suas solicitações típicas sobre a natureza geológica (**Objeto: a prática da GE**)

#### Módulo IV

Atividades Especiais – Atividades de campo – Oficinas (**Objeto: os principais problemas geológico/geotécnicos/ambientais de caráter regional**)

#### Módulo V

Monografia (**Objeto: desenvolvimento de tema de livre escolha**)

### 3.2 Disciplinas e cargas horárias

#### Módulo I (Objeto: o que é e como trabalha a GE)

Nº	Disciplinas	Carga Horária
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fundamentos conceituais e metodológicos.</li> <li>• Posicionamento disciplinar.</li> </ul>	40
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evolução no mundo e no Brasil.</li> <li>• Geologia de Engenharia e Engenharia Geotécnica – trabalho integrativo/responsabilidades profissionais.</li> </ul>	30

#### Módulo II (Objeto: as intervenções humanas no planeta interagem com processos geológicos)

Nº	Disciplinas	Carga Horária
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A paisagem fisiográfica na qual o Homem interfere.</li> <li>• Processos geológicos de formação das paisagens.</li> <li>• Dinâmica Interna x Dinâmica Externa.</li> <li>• Geomorfologia aplicada.</li> </ul>	40
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hidrologia, Hidromorfologia, Hidrogeologia, Climatologia.</li> <li>• Dinâmica Costeira e Fluvial</li> </ul>	40
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solos – Intemperismo, Laterização, Pedogênese.</li> </ul>	30
6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geologia do Quaternário.</li> <li>• Neotectônica.</li> </ul>	40
7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mecânica dos Solos. Mecânica das Rochas.</li> </ul>	60
8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Técnicas diretas e indiretas de investigação.</li> <li>• Ensaios e instrumentação.</li> </ul>	60

#### Módulo III (Objeto: a prática da GE)

Nº	Disciplinas	Carga Horária
9	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Principais feições e fenômenos geológicos/geotécnicos de interesse da Geol. de Engenharia.</li> </ul>	40
10	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estabilidade de encostas e taludes de corte.</li> <li>• Processos erosivos e assoreadores</li> </ul>	40
11	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Barragens. Obras subterrâneas.</li> </ul>	40
12	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obras lineares. Mineração.</li> </ul>	40
13	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obras civis. Fundações.</li> </ul>	40
14	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cidades – principais problemas, causas e soluções. Gestão de Riscos. Mapas de Suscetibilidade, Carta de Riscos, Carta Geotécnica.</li> </ul>	60
15	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obras marinhas, fluviais e lacustres.</li> </ul>	40
16	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Problemas ambientais</li> </ul>	60

**Módulo IV (Objeto: os principais problemas geológicos e ambientais de caráter regional)**

**Carga horária:** 100 h

**Módulo V (Objeto: desenvolvimento de tema de livre escolha)**

**Carga horária:** 100 h

3.3 Ementas disciplinares

**MÓDULO I**

- 1. Fundamentos conceituais e metodológicos. Posicionamentos disciplinares.** Geologia de Engenharia, uma geociência aplicada com fundamentos conceituais e metodológicos próprios. O Homem como agente geológico. A abordagem fenomenológica. Posicionamentos disciplinares na Geologia e na Geotecnia. Responsabilidades da GE no mundo atual.
- 2. Geologia de Engenharia: evolução no mundo e no Brasil. Geologia de Engenharia e Engenharia Geotécnica.** Geologia de Engenharia – evolução no mundo e no Brasil. Geologia de Engenharia e Engenharia Geotécnica: integração colaborativa com diferentes responsabilidades profissionais.

**MÓDULO II**

- 3. Processos geológicos de formação da paisagem. Geomorfologia. Dinâmica Interna x Dinâmica Externa.** O ambiente geológico dinâmico e mutante onde se dão as intervenções humanas. A relação dialética da interação entre Dinâmica Interna X Dinâmica Externa. Geomorfologia Aplicada – Formas de Relevo. Diferentes paisagens geológicas e geomorfológicas brasileiras.
- 4. Hidrologia, Hidromorfologia, Hidrogeologia, Climatologia. Dinâmica Costeira e Fluvial.** Elementos de Hidrologia, Hidromorfologia, Hidrogeologia e Climatologia de

interesse para a compreensão da formação da paisagem e de sua interação com as intervenções humanas. Processos geológicos e hidromorfológicos envolvidos nas dinâmicas costeira e fluvial e a importância de sua consideração para o planejamento das intervenções humanas.

**5. Solos - Intemperismo, Laterização, Pedogênese.**

Formação dos solos, principais tipos e características. Os solos na perspectiva da Agronomia e na perspectiva da Geologia de Engenharia. Os diferentes comportamentos frente à ação dos agentes geológicos e frente às ações humanas.

**6. Geologia do Quaternário. Neotectônica.**

Processos geológicos recentes e contemporâneos como palco das ações de uso e ocupação do solo. O conceito de processo contido ou dormente.

**7. Mecânica dos Solos. Mecânica das Rochas.**

Noções básicas de Mecânica dos Solos e Mecânica das Rochas. Os fenômenos geológicos e os materiais geológicos à luz da Mec. Solos e da Mec. Rochas.

**8. Técnicas diretas e indiretas de investigação. Ensaio e instrumentação.**

Técnicas de investigação de terrenos. Sondagens diretas e sondagens geofísicas, resolutividade e campos de aplicação. Ensaio e instrumentações de caracterização geotécnica de terrenos e materiais.

**MÓDULO III**

**9. Principais feições e fenômenos geológicos de interesse da Geologia de Engenharia. Modelos geológicos. Os diferentes tipos de obras e suas solicitações típicas sobre o meio físico geológico.**

Elenco de feições e fenômenos geológicos que, pelos riscos associados, geram necessidade de atenção e cuidados

especiais por parte das intervenções humanas. A elaboração de modelos geológicos como informação essencial à investigação e à indicação de cuidados e providências para o controle de potenciais problemas. Os diferentes tipos de obras e demais intervenções no meio físico geológico e suas solicitações típicas sobre os terrenos. Interação biunívoca entre solicitação e meio físico geológico.

**10. Estabilidade de encostas naturais e taludes de corte. Processos erosivos e assoreadores.**

Análise aprofundada dos fenômenos de estabilidade de taludes de corte e encostas naturais e processos erosivos/assoreadores. Sua importância na ocupação do território. Modelos geológicos, ações preventivas e corretivas. O crucial papel da vegetação.

**11. Barragens. Obras subterrâneas.**

A Geologia de Engenharia aplicada a estudos associados a Barragens e a Obras Subterrâneas. Metodologia de trabalho. Problemas potenciais advindos da interação obras-meio físico e investigações necessárias à sua avaliação e controle. A Geologia de Engenharia nas fases de Projeto, Obra e Operação.

**12. Obras lineares. Mineração.**

A Geologia de Engenharia aplicada a estudos associados a Obras Lineares (estradas, dutos, linhas de transmissão, canais...) e a atividades de Mineração. Metodologia de trabalho. Problemas potenciais advindos da interação obras-meio físico e investigações necessárias à sua avaliação e controle. A Geologia de Engenharia nas fases de Projeto, Obra e Operação.

**13. Fundações de edifícios, obras de arte e obras especiais.**

A Geologia de Engenharia aplicada a estudos de fundações para edifícios, pontes, viadutos e obras especiais (torres de

transmissão, torres de energia eólica, torres de sinalização...). Tipos de obras, tipos de solicitações ao terreno, tipos de fundações mais adequados. A Geologia de Engenharia nas fases de Projeto, Obra e Operação.

**14. Cidades. Mapas de Suscetibilidade. Carta de Riscos. Carta Geotécnica.**

Principais problemas decorrentes de intervenções urbanas no meio físico geológico. As informações e restrições de caráter geológico frente ao Estatuto das Cidades, Plano Diretor, Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo, Código de Obras e demais instrumentos legais de regulação técnica do uso do solo. Gestão de riscos. Cartografia de Geologia de Engenharia como informação privilegiada para a correta gestão das relações entre a cidade e o meio físico de suporte. Mapas de Suscetibilidade, Carta Geotécnica, Carta de Riscos.

**15. Obras marinhas, fluviais e lacustres**

A Geologia de Engenharia aplicada a estudos associados a Obras marinhas, fluviais e lacustres (canais, hidrovias, portos, diques, molhes, quebra-mares, pier, espigões marítimos, quebra-ondas, emissários submarinos, plataformas offshore ...). Metodologia de trabalho. Problemas potenciais advindos da interação obras-meio físico e investigações necessárias à sua avaliação e controle. A Geologia de Engenharia nas fases de Projeto, Obra e Operação.

**16. Problemas ambientais**

Principais e potenciais problemas de ordem ambiental associados aos diversos tipos de obras e intervenções humanas no território. O Código Florestal e as legislações ambientais e suas determinações. Identificação em campo de feições ambientais críticas: nascentes, mananciais, cursos d'água, várzeas, áreas úmidas, encostas e escarpas, áreas de risco geológico, áreas de recarga de aquíferos,

restingas, dunas... Expedientes para eliminação e/ou mitigação de danos ambientais.

#### MÓDULO IV

Oficinas com apresentações focando os problemas de Geologia de Engenharia mais comuns na região sede da Universidade. Excursões, visitas técnicas orientadas e trabalhos de campo.

#### MÓDULO V

Monografia com tema de livre escolha.

#### REFERÊNCIAS

- ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL. São Paulo, 2018
- ARNOULD, M. Bases theoriques de l'interaction de l'homme et de l'environnement géologique. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 27, 1984, Moscou. Proceedings. Utrecht: VNU Science Press, 1984. v.17, p.1-19.
- BOWEN, R. Geology in engineering. Londres: Elsevier Applied Science, 1984.
- CHIOSSI, N. Geologia de Engenharia. 3ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.
- DEARMAN, W.R.; SERGEEV, E.M.; SHIBAKOVA, V.S. Engineering Geology of the earth. Moscou: Nauka Pub., 1989. 184p.
- GEOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA. Application of geology to engineering practices. New York: Berkey, 1980.
- GUIDICINI, G. Relato geral – Geologia aplicada à mecânica de rochas. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO DE MECÂNICA DE ROCHAS, 2, 1986, Porto Alegre. Anais. São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos, 1986. v.2, p.251-260.
- HATHEWAY, A.W.; KANAORI, Y. Encompassing hydrogeology, environmental geology and the applied geosciences. Engineering Geology, v.57, p.133-153, 2000.
- KRYNINE, D.P.; JUDD, W.R. Principles of Engineering Geology and geotechnics. New York: McGraw-Hill Book, 1957. 730p. Graw-Hill Book, 1957. 730p.
- LEGGET, R.F. Geology and engineering. Tokio: McGraw-Hill/ Kogakusha, 1962. 884p.
- LEGGET, R.F; HATHEWAY, A.W. Geology and engineering. 3.ed. Singapura: McGraw-Hill, 1988.
- LETOURNEUR, J.; MICHEL, R. Geologie du genie civil. Paris: Librairie Armand Colin, 1971.
- MASLOV, N.N. Basic Engineering Geology and soil mechanics. Moscou: Mir, 1987. 551p.
- OLIVEIRA, A.M.S. A abordagem geotecnológica: a Geologia de Engenharia no quinário. In: Curso de geologia aplicada ao meio ambiente – DIGEO/IPT. São Paulo: ABGE, 1995. p.231-241.
- OLIVEIRA, A.M.S. Novas tendências da Geologia de Engenharia no Brasil. Ciências da Terra, v.2, p.31-3, jan./fev. 1982.
- OLIVEIRA, A.M.S.; SANTOS, A.R. Dois artigos e uma questão: Geologia de Engenharia no tecnógeno. Jornal da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, São Paulo, n.51, jul./set. 1989.
- RAHN, H. Engineering Geology an enviromental approach. New York: Elsevier, 1986.
- PANIUKOV, P.N. Geología aplicada a la ingeniería. Moscou: Mir, 1981. 320p.
- RUIZ, M.D. Evolução tecnológica da Geologia de Engenharia no período 1956–1970. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA. 30 anos: História da Geologia de Engenharia no Brasil. São Paulo: ABGE, [s.d.]. p.11-19.
- RUIZ, M.D. A evolução da Geologia de Engenharia no Brasil e suas perspectivas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 5, 1987, São Paulo. Anais. São Paulo: ABGE, 1987. v.3, p.29-46.
- SANTOS, A.R. Geologia de Engenharia: Conceitos, Método e Prática. Livro. 3ª edição, Editora O Nome da Rosa. 2017. 261p.



- SANTOS, A.R. Por menos ensaios e instrumentações e por uma maior observação da natureza. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 1, 1976, Rio de Janeiro. Anais. São Paulo: ABGE, 1976. v.1, p.177-85.
- SANTOS, A.R. Diálogos Geológicos – Livro. Editora O Nome da Rosa, São Paulo, 2008
- SANTOS, A.R. Cidades e Geologia. São Paulo, Ed. Rudder, 2017.
- SERGEEV, E.M. Engineering Geology and protection of the environment. Bulletin IAEG, n.22, 1980.
- SUGUIO, K. Geologia do quaternário e mudanças ambientais: (passado + presente = futuro?). São Paulo: Paulo's Comunicação e Artes Gráficas, 1999. 366p.
- TER-STEPANIAN, G. Beginning of the technogene. Bulletin IAEG, n.38, p.133-142, 1988.
- TERZAGHI, K. Ends and means in soil mechanics. Harvard: Harvard University, 1944. (Graduate School of Engineering; Soil Mechanics Series 24).
- TRICART, J. Principes et méthodes de la géomorphologie. Paris: Hassen, 1965. 496p.
- VARGAS, M. Origem e desenvolvimento da geotecnologia no Brasil. Quipo, São Paulo, v.2, n.2, p. 263-279, 1985.
- VAZ, L.F. Os geólogos e a Geologia de Engenharia na década de 60. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA. 30 anos: História da Geologia de Engenharia no Brasil. São Paulo: ABGE, [s.d.] p.20-85.
- ZARUBA, Q. Engineering Geology: some experiences and considerations. Bulletin IAEG, n.1, ago. 1970.