

## Aplicação do Índice de Concentração de Rugosidade (ICR) para Avaliação da Mancha de Inundação da Barragem Vargem Grande em Nova Lima (MG)

Isadora Fonseca Navarro<sup>1\*</sup>, Barbara Janine Reis Silva Araújo<sup>2</sup>, Victor Cordeiro da Silva<sup>3</sup>, Adriana Monteiro da Costa<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Graduanda em Geografia pela Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil (\*Autor correspondente: [navarroisadora08@gmail.com](mailto:navarroisadora08@gmail.com))

<sup>2</sup>Mestranda em Geografia pela Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil.

<sup>3</sup>Mestrando em Geografia pela Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil.

<sup>4</sup>Doutora em Ciência do Solo pela Universidade Federal de Lavras, Brasil.

*Histórico do Artigo:* Submetido em: 28/03/2023 – Revisado em: 09/05/2023 – Aceito em: 29/05/2023

### RESUMO

Manchas de Inundação são representações fundamentais contidas nos Planos de Ação de Emergência para Barragens de Mineração (PAEBM), sendo esquemas de distribuição de fluxo a jusante, nos casos hipotéticos de rompimento destas estruturas. Por tratar-se de uma modelagem de vazão e de interações (do escoamento) com a paisagem, estão associados componentes topográficos na sua elaboração. Há, então, uma importância morfológica na estimativa das áreas inundadas, a qual conta, por exemplo, com a quantificação da declividade, mapeada tanto de forma simplificada, quanto por software específico à hidrodinâmica. Dadas as normativas e revisões da legislação sobre as barragens e considerando a tradicionalidade do estado de Minas Gerais em sua vocação minerária, bem como os danos conhecidos causados por rompimentos como os de Fundão (2015, em Mariana) e Córrego do Feijão (2019, Brumadinho), esta pesquisa objetivou avaliar o tratamento da relação entre uma mancha de inundação e a aderência geomorfológica desta estimativa. Para isso, realizou-se levantamento de barragens de alto risco e alto Dano Potencial Associado (DPA) e tomou como caso, a Zona de Auto Salvamento (ZAS) da barragem de Vargem Grande (Vale S.A.), em Nova Lima - MG. Avaliou-se a resposta do Índice de Concentração de Rugosidade (ICR), a fim de compreender e discutir as superfícies de passagem por propagação desta mancha e suas relações com porções com maior ou menor dissecação com informações contidas no PAEBM referentes a potencial população atingida em caso de rompimento. O ICR mostrou-se eficaz em ambas as análises realizadas.

**Palavras-Chaves:** Zona de Auto Salvamento; Rompimento de Barragens; Quantificação do Relevô

## Application of the Roughness Concentration Index (ICR) for Evaluation of the Flood Stain of Vargem Grande Dam in Nova Lima (Minas Gerais/Brazil)

### ABSTRACT

Flood zones are fundamental representations contained in Emergency Action Plans for Mining Dams (PAEBM), which are downstream flow distribution schemes in hypothetical cases of these structures' failure. As it involves flow modeling and interactions with the landscape, topographic components are associated with its elaboration. Therefore, there is a morphometric importance in the estimation of flooded areas, which includes, for example, the quantification of slope, mapped both in a simplified way and through specific software for hydrodynamics. Given the regulations and revisions of legislation on dams and considering the traditional mining vocation of the state of Minas Gerais, as well as the known damages caused by ruptures such as those in Fundão (2015, in Mariana) and Córrego do Feijão (2019, in Brumadinho), this research aimed to evaluate the treatment of the relationship between a flood zone and the geomorphological adherence of this estimation. For this, a survey of high-risk and high-Potential Damage Associated (DPA) dams was conducted, and the Zone of Self-Salvage (ZAS) of the Vargem Grande Dam (Vale S.A.), in Nova Lima-MG, was taken as a case study to evaluate it with the response of the Rugosity Concentration Index (ICR), in order to understand and discuss the passage surfaces by the propagation of this zone and its relationships with portions with greater or lesser dissection with information contained in the PAEBM referring to the potential population affected in case of rupture. The ICR proved to be effective in both analyses.

**Keywords:** Self-rescue zone; Dam rupture; Quantification of relief

Navarro, I., Araújo, B., Silva, C., Costa, D (2023). Aplicação do Índice de Concentração de Rugosidade (ICR) para Avaliação da Mancha de Inundação da Barragem Vargem Grande em Nova Lima (MG). *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto.*, v.4, n.1, p.30-39.



## 1. Introdução

Barragens de Mineração consistem em estruturas (diques, barramentos e cavas) desenvolvidas para a contenção, acumulação, decantação ou descarga de rejeitos e/ou sedimentos provenientes de atividades de mineração com ou sem captação de água (BRASIL, 2022). Estas, por sua vez, mesmo que desativadas ou em construção, de acordo com a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) - Lei nº 12.334, de setembro de 2020 devem ser cadastradas para gerenciamento através Sistema Integrado de Segurança de Barragens de Mineração (SIGBM) no Cadastro Nacional de Barragens de Mineração (CNBM). Devem também terem elaborado o Mapa de Inundação para o auxílio na classificação do Dano Potencial Associado (DPA) e para suporte às demais ações descritas no Plano de Ação e Emergência para Barragens de Mineração (PAEBM).

O Mapa de Inundação, elaborado por um responsável técnico, deve exibir de forma detalhada e georreferenciada o cenário de maior dano das áreas a serem inundadas, em caso de rompimento da barragem, as zonas de autossalvamento (ZAS), as zonas de segurança secundária (ZSS), os tempos de chegada para picos de onda e os locais críticos contendo os corpos hídricos e os possíveis impactos ambientais. (BRASIL, 2022).

O mapeamento dessas manchas de inundação (áreas a serem inundadas) deriva dos contextos do estudo de Dam Break, com origem nas simulações hidrológicas e hidrodinâmicas advindas de métodos numéricos para avaliação de escoamentos não permanentes, derivados da equação unidimensional da conservação da energia e de modelos simplificados derivados de equações empíricas (Fernandes et al., 2017).

O *Hydrologic Engineering Center - River Analysis System* (HEC-RAS), por exemplo, é um dos Modelos Complexos adotados para geração de manchas de inundação (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA, 2018; *US Army Corps of Engineers - Hydrologic Engineering Center*, 2016) utilizado com frequência em ensaios de ruptura de barragens deriva-se de dados de caracterização topo batimétrica da área, coeficiente de rugosidade e das condições de contorno (elevação da superfície da água, curva-chave e hidrogramas) (ANA, 2018).

Os Modelos Simplificados, como é o caso do LNEC, focam na interpretação topográfica, como da declividade, utilizando de Modelos Digitais de Elevação (MDE) ou outros levantamentos remotos, que materializam a tridimensionalidade do relevo. Nestes casos, a mancha de inundação pode ser obtida por algoritmos nativos de ferramentas de softwares de geoprocessamento como o QGIS (Reis & Schmitt, 2017), ArcGIS ou SPRING (Silva & Barbosa, 2017). E mesmo envolvendo de forma significativa um maior grau de incerteza, de acordo com Carlos et al. (2017), os resultados de sua utilização consistem em um importante auxílio na estimativa do nível máximo da inundação e se apresentam coerentes quando comparados com modelos mais complexos.

As formas de relevo, pelas quais a mancha de inundação é modelada, resultam da interação entre forças endógenas e exógenas que atuam condicionadas por um longo período geológico, que pode sobrepor o tempo de vivência do homem (Fellipe et al., 2014; Barros & Valadão, 2018) ou estarem associadas à remobilização de materiais da superfície, em interação à dinâmica geomorfológica (Pegologia, 2019). Essa segunda opção, gera formas conhecidas como tecnogênicas que se associam em muitos casos com à mineração em suas diferentes técnicas e com as alterações decorrentes de uma situação de rompimento de barragem.

Minas Gerais, um estado com tradição secular na extração mineral, atividade importante à sua organização espacial e alterações das paisagens, conta com 208 barragens cadastradas na PNSB, sendo 153 com DPA alto, 36 com médio e 19 com baixo (ANM, 2023). Todas contam com Mapas de Inundação elaborados em comprimento à Resolução N° 95 que, para além da obrigatoriedade da elaboração do Mapa o relaciona com dimensões sociais e ambientais, com base em variáveis capazes de representar as condições de escoamento e as dinâmicas com a paisagem.

Considerando-se estes aspectos (normativos e da mineração em Minas Gerais, com barragens em níveis críticos) e que o número de rompimentos se tornou maior nos últimos anos (Armstrong et al., 2019), esta

pesquisa objetivou avaliar e discutir sobre a ZAS de uma mancha hipotética, do PAEBM da Barragem Vargem Grande, no município de Nova Lima - MG.

Partiu-se do pressuposto do enfoque dado à declividade, na estimativa destas manchas e, assim, aplicou-se o Índice de Concentração da Rugosidade (ICR) de Sampaio e Augustin (2014) para apontamentos sobre as superfícies de passagem da mancha. Tem-se por hipótese que, recorrer ao mapeamento geomorfológico constitui caminho para interpretação da aderência das manchas às condições da superfície. As relações entre esta ZAS e o ICR mostraram que este método constitui solução viável no estudo de modelos distribuídos, dos rompimentos de barragens. Importante tanto à compreensão dos atributos intrínsecos, processuais, à mancha de inundação, quanto na tomada e interpretação das suas superfícies de passagem a jusante.

## 2. Material e Métodos

A Resolução Nº 95, de 7 de fevereiro de 2022 (BRASIL, 2022) e as legislações referentes a PNSB (BRASIL, 2020b & BRASIL, 2010) tratam dos parâmetros e tipologias de barragens cabíveis às aplicações da Política Nacional, tais como a altura e capacidade do reservatório e categoria de DPA. Para tanto, elegeu-se o estudo de caso como recurso de pesquisa, tendo sido levantadas as barragens com nível de risco e DPA altos, em Minas Gerais, via Sistema Integrado de Gestão de Barragens de Mineração (SIGBM), para a extração georreferenciada dos dados (ANM, 2022).

A estratégia metodológica seguiu em função da existência e disponibilidade pública dos arquivos de uma mancha de inundação, seja para CAD (Computer-aided design) ou SIG (Sistema de Informação Geográfica), evitando-se, assim, a geração de novo desenho, incorrendo em incertezas associadas. Houve, então, consultas aos PAEBM, como forma de estudo bibliográfico e dos desenhos técnicos, a fim de encontrar exemplares, nestas condições, com recorte para a Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH).

Foram levantadas 34 barragens de altos risco e DPA em MG no SIGBM (ANM, 2022), posteriormente recortadas para a Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) - território, constantemente, em pautas afetas aos impactos da mineração. Destas, 50% localizam-se na RMBH, sendo 9 em Nova Lima. Com exceção de estrutura da Vallourec (Dique Lisa), as demais são da empresa Vale S.A, que disponibilizava, à época deste artigo, estudos para 11 projetos (Quadro 1) (Vale, 2022b).

No enfoque às estruturas do município de Nova Lima (Tabela 1) e, baseado na reunião e estudos dos PAEBM (Quadro 1), foi selecionada a mancha da barragem de Vargem Grande, complexo homônimo, correspondente aos requisitos normativos mencionados (BRASIL, 2020b; 2022). Trata-se de barragem a montante, desativada (2001-2010), para contenção de rejeito (minério de ferro e água). A mancha de inundação (Vale S.A. & Tetra Tech, 2021) tem áreas de 4,60 Km<sup>2</sup> (ZAS) e 51,04 Km<sup>2</sup> (referente à ZSS).

**Quadro 1** – PAEBM (MG e PA) (Vale S.A 2022a; 2022b)

Projeto	Estruturas	Total
Itabira	Alcindo Vieira; Borrachudo; Borrachudo II; Cambucal I; Cambucal II; Cemig I; Cemig II; Conceição; Dique Ipoema; Itabiruçu; Jirau; Piabas; Quinzinho; Santana; Pontal; Sistema Rio do Peixe.	16
Igarapé Bahia	Igarapé Bahia	1
Mariana/Brucutu e Água Limpa	Mina Água Limpa: Diogo; Elefante; Monjolo; Porteirinha. Mina Alegria: Campo Grande; Xingu; PDE Fosforoso; Portaria. Mina de Capanema: Principal. Mina Brucutu: B3; Dicão; Norte	23

	Laranjeiras; Sul (Córrego do Canal); PDE3; Torto. Mina Fábrica Nova: PDE Permanente I; PDE Permanente II. Mina Fazendão: Dição Leste; Mosquito; Paracatu. Mina Timbopeba: Doutor; Natividade; Timbopeba.	
Mina Santa Cruz	Barragem Gregório.	1
Norte (Parauapebas)	Azul; Geladinho; Gelado; Pera Jusante.	4
Onça Puma	Dique do Onça 06	1
Paraopeba	Paraopeba	20
Salobo	Salobo	1
Sossego (Canaã dos Carajás)	Sossego	1
<b>Vargem Grande</b>	Dique II; Dique III; Capão da Serra; Capitão do Mato; Cianita 1; Cianita 2; Cianita 3; Dique B; Fernandinho; Maravilhas I; Maravilhas II; Maravilhas III; Peneirinha; <b>Vargem Grande.</b>	14

Fonte: Vale S.A (2022a; 2022b). Grifos dos autores.

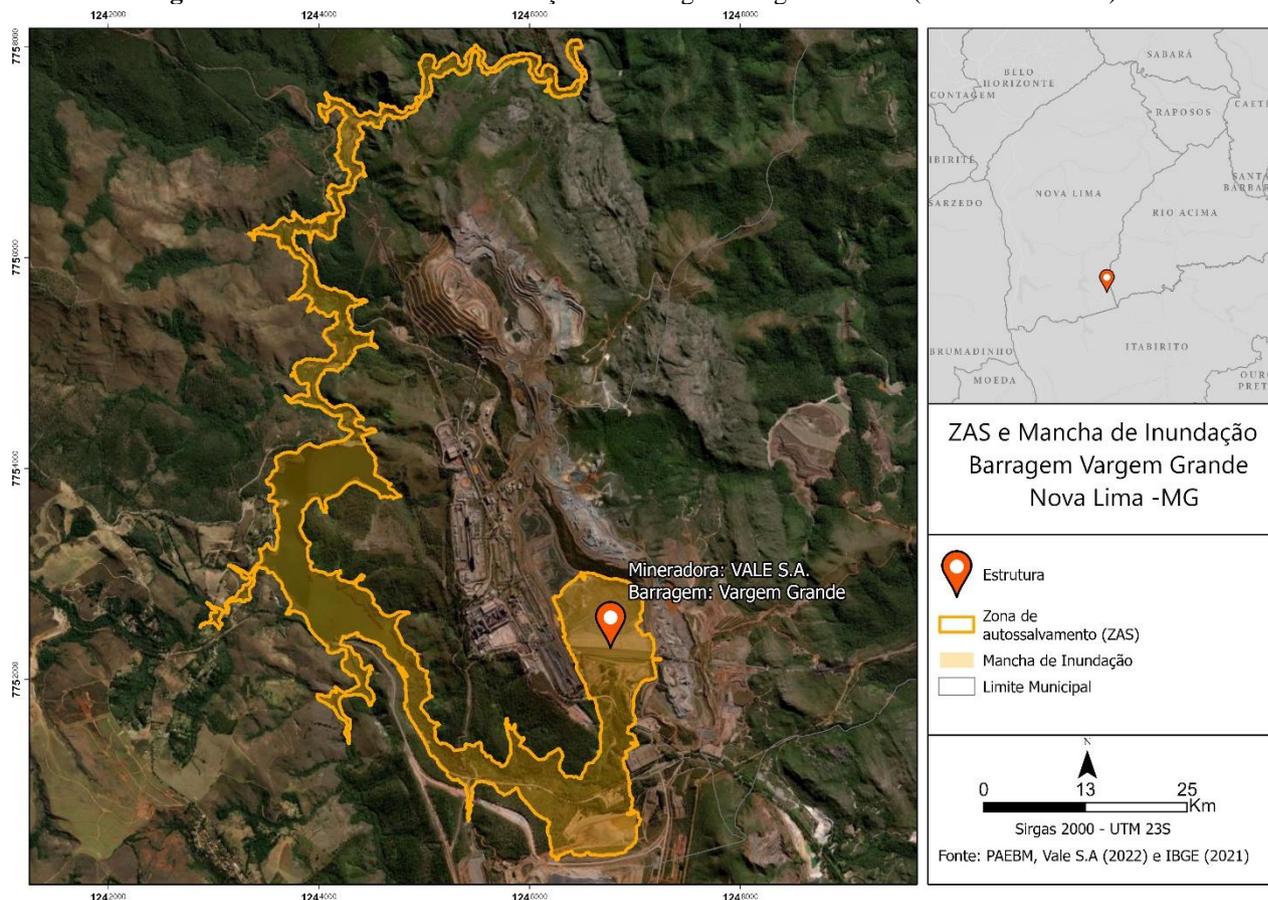
**Tabela 1** – Barragens em Nova Lima (MG)

Nome	Empreendedor	Altura(m)	Volume atual (m <sup>3</sup> )	Nível de Emergência
5 (MAC)	Vale S.A	78	15.553.688	1
5 (Mutuca)	Vale S.A	55	10.924.076	1
6	Vale S.A	21,6	75.000	1
7a	Vale S.A	30	200.000	1
B	Vale S.A	40	489.005	1
B3/B4	Vale S.A	60,67	2.414.967	3
Capitão do Mato	Vale S.A	38,31	1.819.650	2
Dique Lisa	Vallourec Tubos do Brasil LTDA	12	0,01	2
<b>Vargem Grande</b>	<b>Vale S.A.</b>	<b>35</b>	<b>8.500.000</b>	<b>1</b>

Fonte: ANM (2022). Grifos dos autores.

Como proposta de análise da mancha de inundação, optou-se pelo trecho referente à ZAS (Figura 1), aplicando-se os atributos morfométricos que são exigidos por modelos de estimativa, como o coeficiente de rugosidade e declividade, dando-se ênfase ao ICR (Sampaio & Augustin, 2014) e o relacionando aos tempos de chegada da mancha, seções representativas, os pontos de encontro, as rotas de fuga, as sirenes e os cadastros da população potencialmente atingida em caso de rompimento indicados no PAEBM do ano de 2022.

**Figura 2 – ZAS e Mancha de Inundação da Barragem Vargem Grande (Nova Lima - MG)**

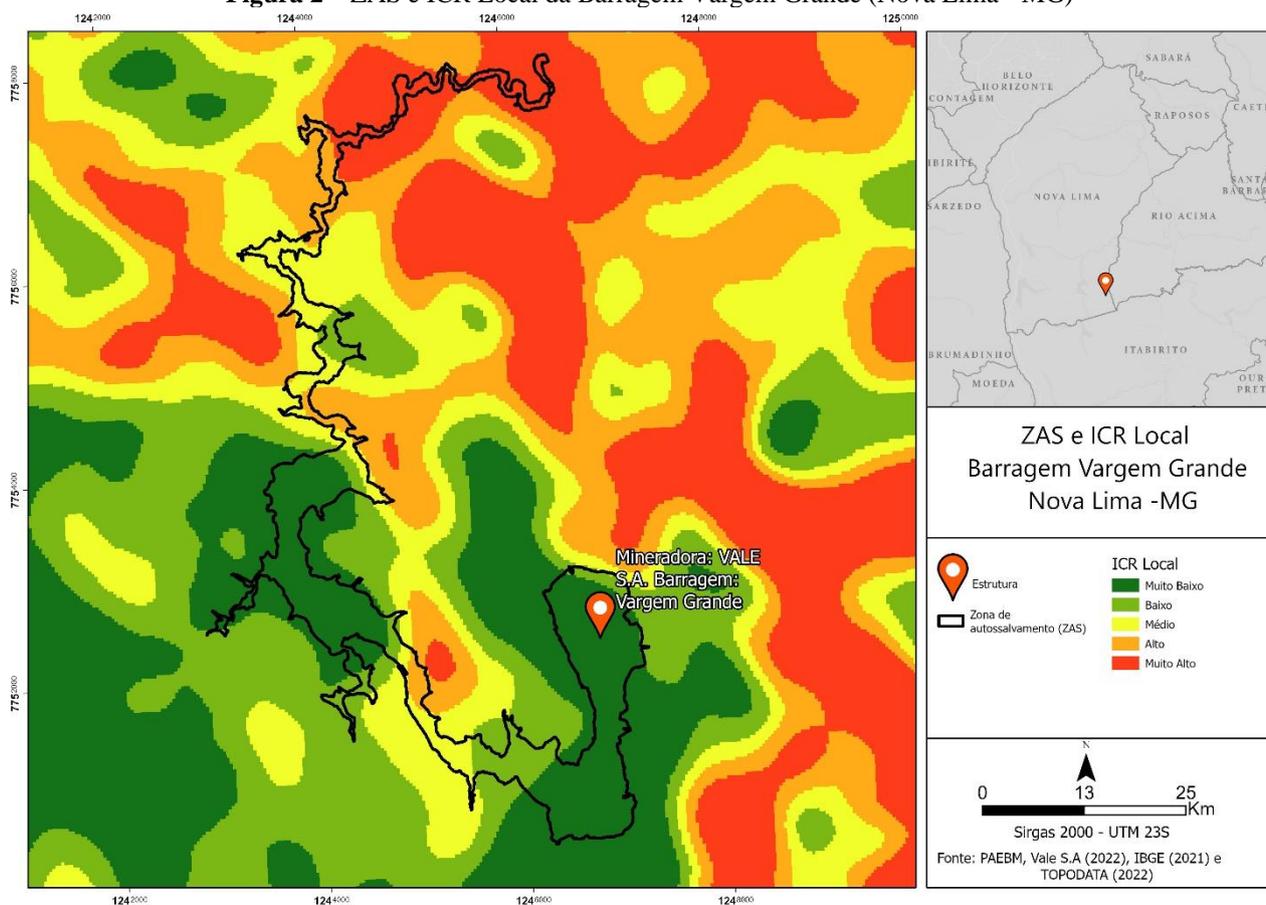


Fonte: PAEBM, Vale S.A (2002) e IBGE (2021).

### 3. Resultados e Discussão

A aplicação do ICR para avaliação dos atributos da paisagem por onde passaria a mancha de Vargem Grande (Figura 2), esteve focada no ICR Local a fim de reconhecer diferentes compartimentos de relevo, com diferentes padrões de declividade, diante da proporcionalidade dada pela ZAS. A mancha perpassa por condições de menor ao maior entalhamento dos vales, o que é esperado e coerente à condução do fluxo a jusante da barragem.

**Figura 2 – ZAS e ICR Local da Barragem Vargem Grande (Nova Lima - MG)**



Fonte: PAEBM, Vale S.A (2002), IBGE (2021) e TOPODATA (2022).

No entanto, nas porções mais dissecadas, cabem desdobramentos, também com o uso do ICR como instrumento ou complemento, às avaliações das dinâmicas hidrogeomorfológicas ao nível das vertentes e dos materiais que sustentam estas porções mais rugosas. Ou seja, no intuito de compreender alcance e vazões representadas pela ZAS, bem como as concentrações de fluxo, nos seus segmentos em sua segunda metade, na transição de passagem das declividades onduladas aos gradientes mais movimentados. Observa-se na Tabela 2 os ZAS, ICR Local da Barragem Vargem Grande (Nova Lima – MG)

**Tabela 2 – ZAS, ICR Local da Barragem Vargem Grande (Nova Lima – MG)**

ICR Local	Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
<b>Seção Representativa (h:mm:s)</b>	6 Seções S-01 0h0min7seg S-02 0h0min22seg S-03 0h0min29seg S-04 0h0min36seg S-05 0h0min43seg S-06 0h0min43seg	3 Seções S-07 ST-08 S-09 0h2min38seg	3 Seções S-10 0h3min43seg S-12 0h7min12seg S-13 0h9min36seg	2 S-11 0h4min19seg S-14 0h19min12seg	3 S-15 0h20min24seg S-16 0h21min36seg S-17 0h26min24seg ZAS 0h30min0seg
<b>Ponto de Encontro</b>	9	5	3	2	2
<b>Rotas de Fuga</b>	9	5	3	2	2
<b>Sirene</b>	1	1	2	1	4
<b>População Cadastrada</b>	39	4	9	14	6

Fonte: PAEBM, Vale S.A (2002), IBGE (2021) e TOPODATA (2022).

A classificação do ICR em relação aos tempos de chegada da mancha, seções representativas, a localização dos pontos de encontro, das rotas de fuga, das sirenes e os cadastros da população potencialmente atingida (Tabela 2) demonstrou que as porções de menor rugosidade (ICR Muito Baixo e Baixo) apresentam seções representativas com menores tempos de chegada da mancha, bem como contam com um maior número de pontos de encontro e rotas de fuga. Já as áreas com maior rugosidade (ICR Local Médio, Alto e Muito Alto) contam com seções representativas com menores tempos de chegada da mancha, bem com um menor número de pontos de encontro e rotas de fuga. Em relação às sirenes de alerta pode-se observar que as mesmas se encontram em sua maioria em áreas de maior rugosidade ao final da ZAS e bem próximas das residências e comércios da população potencialmente atingida.

#### 4. Conclusão

A avaliação comparada e complementar entre uma ZAS de mancha hipotética de rompimento de mineração, utilizada como estudo de caso e o ICR, método de mapeamento geomorfológico quantitativo, proposto por Sampaio e Augustin (2014) permitiu a leitura e entendimento das porções de propagação da onda de fluxo de um eventual rompimento da estrutura operacional da barragem de Vargem Grande.

O ICR mostrou-se eficaz tanto como forma de entendimento do processo de geração da mancha, sugerindo ser passível de uso nesta determinação somando-se a uma etapa de alguns dos modelos avaliados nesta pesquisa ou, ainda, como instrumento de validação, como o proposto, em parte, neste trabalho.

## 5. Agradecimentos

Ao Laboratório de Solos e Meio Ambiente e ao Grupo de Estudos Integrado em Solos e Sustentabilidade (DGP/CNPq, do IGC/UFMG), pelas contribuições proporcionadas por suas linhas de investigação: análise ambiental; solos e paisagem; gestões da paisagem e dos recursos hídricos e geoprocessamento.

## 6. Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO - ANM. Sistema Integrado de Gestão de Barragens de Mineração (SIGBM). Módulo Extração de Dados. (2022) Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/acesso-a-sistemas/sistema-integrado-de-gestao-de-barragens-de-mineracao-sigbm-versao-publica>. Acesso em 15 jul. 2022.

ARMSTRONG, Margaret; PETTER, Renato; PETTER, Carlos. *Why have so many tailings dam failed in recent years?* **Resources Policy**, 63 (2019) 101412, pp. 1 - 11, out. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030142071830610X>. Acesso em 06 jul. 2022.

BARROS, Pedro Henrique Corrêa de Araújo; VALADÃO, Roberto Célio. Aquisição e Produção do Conhecimento em Geomorfologia: a investigação geomorfológica e seus conceitos fundantes. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, [S. l.], v. 22, n. 2, p. 416-436, 2018. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/123896>.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia/Agência Nacional de Mineração. Diário Oficial da União (DOU). **Resolução Nº 95, de 7 de fevereiro de 2022**. Consolida os atos normativos que dispõem sobre segurança de barragens de mineração. (2022). Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-n-95-de-7-de-fevereiro-de-2022-380760962>. Acesso em 18 jul. 2022.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME/AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO - ANM. Diário Oficial da União - DOU. **Resolução Nº 51, de 24 de dezembro de 2020**: Cria e estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento da Avaliação de Conformidade e Operacionalidade do PAEBM - ACO, que compreende o Relatório de Conformidade e Operacionalidade do PAEBM - RCO e a Declaração de Conformidade e Operacionalidade do PAEBM -BRASIL. Atos do Poder Legislativo. Diário Oficial da União - DOU. **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). (2020b) Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.066-de-30-de-setembro-de-2020-280529982>. Acesso em 16 jul. 2022.

BRASIL. CASA CIVIL. Presidência da República. **Lei Nº 12.334, de 20 de setembro de 2010**: 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. (2010) Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112334.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112334.htm). Acesso em 16 jul. 2022.

FELIPPE, Miguel Fernandes; MAGALHÃES JUNIOR, Antônio Pereira; PESCIOTTI, Henrique; COELI, Lílian. Nascentes antropogênicas: Processos tecnogênicos e hidrogeomorfológicos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, nº 4 (Out-Dez 2013), p.279-286. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/210/346>. Acesso em 18 jul. 2022.

FERNANDES, Márcia Rodrigues de Moura; SOUZA, Thiers Pereira de; ROCHA, João Carlos Santos da; MACÊDO, Ana Paula Barbosa Ávila; SOUZA, Renilda Gomes de. Simulação da mancha de inundação do rompimento hipotético da barragem Jacarecica II, Sergipe. XIII Encontro de Recursos Hídricos em Sergipe. Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRHidro. (2021) Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/jobs.php?Event=125>. Acesso em 16 jul. 2022.

MACHADO, Henrique Amorim; HENRIQUES, Renata Jordan; SOUZA, Ronaldo Ferreira de. Mineração e relevo antropogênico, o exemplo da extração de esteatito em Santa Rita, Ouro Preto, Minas Gerais. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia-MG, v. 22, n. 81, jun.2021, p. 166–175 Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/55361>. Acesso em 18 jul. 2022.

PELOGIA, Alex Ubiratan Goossens. Conceitos fundamentais da análise de terrenos antropogênicos: o estudo da agência geológico-geomorfológica humana e de seus registros. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, 40 (1), 1-17, 2019. Disponível em: <https://revistaig.emnuvens.com.br/riig/article/view/626>. Acesso em 19 jul. 2022.

PEREIRA, Calos Eugénio; VISEU, Maria Teresa; MELO, José Falcão; MARTINS, Tiago; SALLA, Marcio Ricardo; MOTA, Kevin Reiny Rocha. Comparação entre modelos simplificados e o modelo HEC-RAS no estudo de áreas de inundação para o caso de Minas Gerais, Brasil. **Revista Recursos Hídricos**, Vol. 38, Nº 1, 75-90, março de 2017. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Pereira-34/publication/315934590\\_Comparacao\\_entre\\_modelos\\_simplificados\\_e\\_o\\_modelo\\_HEC-RAS\\_no\\_estudo\\_de\\_areas\\_de\\_inundacao\\_para\\_o\\_caso\\_de\\_Minhas\\_GeraisBrasil/links/591a136eaca2722d7cf7e7b85/Comparacao-entre-modelos-simplificados-e-o-modelo-HEC-RAS-no-estudo-de-areas-de-inundacao-para-o-caso-de-Minas-Gerais-Brasil.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Pereira-34/publication/315934590_Comparacao_entre_modelos_simplificados_e_o_modelo_HEC-RAS_no_estudo_de_areas_de_inundacao_para_o_caso_de_Minhas_GeraisBrasil/links/591a136eaca2722d7cf7e7b85/Comparacao-entre-modelos-simplificados-e-o-modelo-HEC-RAS-no-estudo-de-areas-de-inundacao-para-o-caso-de-Minas-Gerais-Brasil.pdf). Acesso em 18 jul. 2022.

PETRY, André; LAUS, Fernanda; ANDERÁOS, Alexandre; BOMFIM, Marcio. Classificação de barragens quanto ao Dano Potencial Associado: A experiência da Agência Nacional de Águas. **Third International Dam World Conference**. Foz do Iguaçu: set., 2018. (2018) Disponível em: [https://www.snisb.gov.br/Entenda\\_Mais/outros/artigo-para-o-dam-world-2018/classificacao-de-barragens-quanto-ao-seu-dano-potencial-associado-2018.docx#:~:text=Após%20a%20consolidação%20do%20cadastro%2C%20a%20ANA%20buscou%20classificar%20as,nº%2012.334%20não%20se%20aplic](https://www.snisb.gov.br/Entenda_Mais/outros/artigo-para-o-dam-world-2018/classificacao-de-barragens-quanto-ao-seu-dano-potencial-associado-2018.docx#:~:text=Após%20a%20consolidação%20do%20cadastro%2C%20a%20ANA%20buscou%20classificar%20as,nº%2012.334%20não%20se%20aplic). Acesso em 18 jul. 2022.

REIS, Patrícia Antunes dos; SCHMIDT, Marcio Augusto Reolon. Avaliação dos Modelos HEC-RAS e GRASS na Identificação de Áreas Vulneráveis a Inundações em Áreas Urbanas. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ** Vol. 40 - 1 / 2017, pp. 115-126. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/viewFile/18198/10909>. Acesso em 17 jul. 2022.

SAMPAIO, Tony Vinícius Moreira; AUGUSTIN, Cristina Helena Ribeiro Rocha. Índice de Concentração da Rugosidade: Uma nova proposta metodológica para mapeamento e quantificação da dissecação do relevo como subsídio a cartografia geomorfológica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 15, nº 1, jan-mar (2014), p. 47-60. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/376/390>. Acesso em 06 jul. 2022.

SILVA, Ana Paula Moni; BARBOSA, Alexandre Augusto. Validação da função do SPRING. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 5499-5505. Disponível em: <http://martel.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.21.46.50/doc/5499-5505.pdf>. Acesso em 15 jul. 2022.

US ARMY CORPS OF ENGINEERS. Hydrologic Engineering Center. **HEC-RAS River Analysis System: Hydraulic Reference Manual Version 5.0**. Fev. 2016 (2016) Disponível em: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Reference%20Manual.pdf>. Acesso em 18 jul. 2022.

VALE S.A. **Barragens: Localização das barragens**. (2022a). Disponível em: <http://www.vale.com/brasil/pt/business/mining/paginas/barragem.aspx>. Acesso em 17 de jul. 2022.

VALE S.A. **PAEBMs**. (2022b). Disponível em: <http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/news/Paginas/paebms.aspx>. (2022a) Acesso em 15 jul. 2022.

VALE S.A. E TETRA TECH. **PAEBM Seção I Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração Vargem Grande Mina Abóboras**. Dezembro 2021. (2021).

VERÓL, Aline Pires; MIGUEZ, Marcelo Gomes; MASCARENHAS, Flávio Cesar Borba. Propagação da onda de ruptura de barragem através de um modelo Quasi-2D. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos - RBRH** Volume 18 n.1 – Jan/Mar 2013, pp. 165-176. (2013) Disponível em: [https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=1&ID=97&SUMARIO=1498&ST=propagacao\\_da\\_onda\\_de\\_ruptura\\_de\\_barragem\\_atraves\\_de\\_um\\_modelo\\_quasi\\_2d](https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=1&ID=97&SUMARIO=1498&ST=propagacao_da_onda_de_ruptura_de_barragem_atraves_de_um_modelo_quasi_2d). Acesso em 16 jul. 2022.