

**A INTELIGÊNCIA OPERACIONAL APLICADA AOS RESGATES EM DESASTRES:  
A ATUAÇÃO DOS BOMBEIROS NO ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE MINERAÇÃO EM BRUMADINHO/MG - BRASIL\***

THE OPERATIONAL INTELLIGENCE APPLIED TO DISASTER RESCUE EFFORTS:  
THE PERFORMANCE OF THE FIREFIGHTERS AFTER THE FAILURE OF THE MINING DAM IN BRUMADINHO/MG - BRAZIL

**Anderson Passos de Souza**

Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (Brasil)

ORCID 0000-0002-6717-5900 [anderson.passos@bombeiros.mg.gov.br](mailto:anderson.passos@bombeiros.mg.gov.br)

**Josias Soares de Freitas Júnior**

Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (Brasil)

ORCID 0000-0001-8229-7431 [josias.junior@bombeiros.mg.gov.br](mailto:josias.junior@bombeiros.mg.gov.br)

**RESUMO**

Este artigo descreve alguns aspectos relevantes da inteligência operacional aplicada pelo Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais na operação de busca e resgate em Brumadinho, Minas Gerais-Brasil, na sequência do desastre decorrente da ruptura da barragem de mineração B1. Buscando uma cronologia, cita estratégias, dados e resultados obtidos nos primeiros 365 dias da mais longa operação de busca no país. Os 95,9% das vítimas fatais identificadas através da recuperação de seus corpos/segmentos corporais indica o grau de efetividade da operação, embora não alcance os aspectos humanos envolvidos. O resultado deve-se a uma soma de fatores, que inclui o registro e análise de dados, definição de estratégias claras, táticas e técnicas aplicadas pelos envolvidos na missão e a experiência adquirida pela Corporação em eventos anteriores em Minas Gerais.

**Palavras-chave:** Brumadinho, inteligência operacional, salvamento, barragem, Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais.

**ABSTRACT**

This article describes some relevant aspects of operational intelligence applied by the Minas Gerais Military Fire Department in the rescue operation in Brumadinho/Minas Gerais-Brazil, a disaster resulting from the breach of the B1 mining dam. Searching for a chronological report, it mentions actions, resources, difficulties, and results obtained in the first 365 days of the longest search operation ever recorded in the country. The 95.9% of fatal victims who were identified through the recovery of their bodies/body parts indicates a high degree of effectiveness, although it does not reach the human aspects involved. The result is due to a number of factors, including data recording and analysis, definition of clear strategies, tactics, and techniques applied by those involved in the mission and the experience acquired by the Department in previous events in Minas Gerais.

**Keywords:** Brumadinho, operational intelligence, rescue, dam, Minas Gerais Fire Department.

\* O texto deste artigo corresponde a uma comunicação apresentada no III Simpósio Ibero-Afro-Americano de Riscos, tendo sido submetido em 20-03-2020, sujeito a revisão por pares a 24-03-2020 e aceite para publicação em 29-04-2020.

Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 28 (I), 2021, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

Introdução

Às 12h28m20s, do dia 25 de janeiro de 2019, ocorreu o rompimento da barragem B1, situada em Brumadinho, estado de Minas Gerais, Brasil (fig. 1). A estrutura continha 12,7 milhões de metros cúbicos de rejeito proveniente do beneficiamento de minério de ferro da Mina Córrego do Feijão, de propriedade da empresa Vale S.A.

Havia várias edificações administrativas e áreas operacionais da Vale S.A., que abrigavam centenas de funcionários no caminho da onda de lama, por

exemplo: escritórios, restaurante, oficinas mecânicas, instalação de tratamento de minério, galpões diversos, pêra ferroviária, centro de materiais descartados, estacionamento, portaria, dentre outras. Na área externa da empresa havia também várias edificações e estruturas particulares que também foram atingidas, tais como uma pousada, residências, uma rodovia, vias de acesso, 2 outras barragens, plantações e ponte férrea.

O objetivo deste artigo consiste em descrever a complexa operação de busca e salvamento que foi montada para socorrer a população atingida pelo

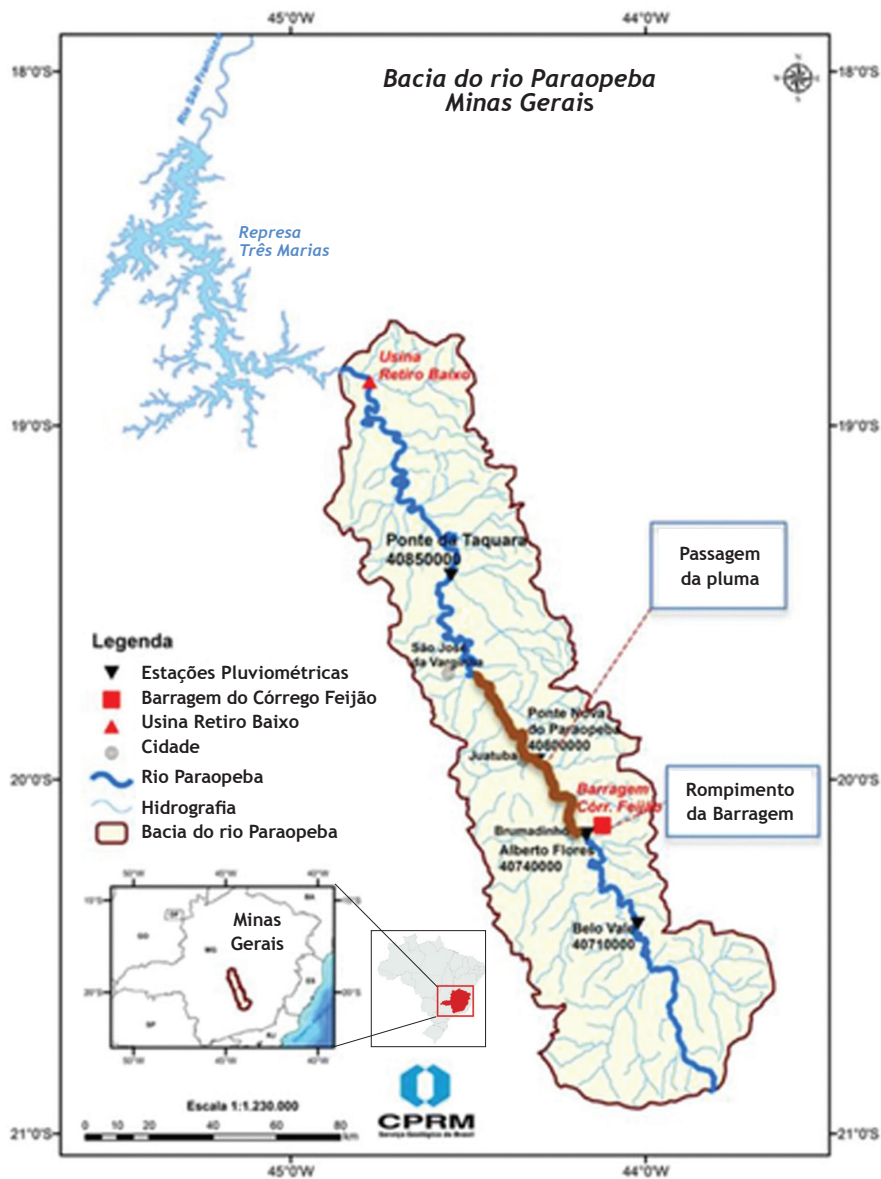


Fig. 1 - Localização do rompimento da barragem B1, situada em Brumadinho, estado de Minas Gerais, Brasil (Fonte: Adaptado de <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2019/01/31/brumadinho-agua-do-rio-paraopeba-apresenta-riscos-a-saude-humana-e-animal-dizem-secretarias.ghtml>).

Fig. 1 - Site of the breach of the B1 dam, in Brumadinho, state of Minas Gerais, Brazil (Source: Adapted from <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2019/01/31/brumadinho-agua-do-rio-paraopeba-apresenta-riscos-a-saude-humana-e-animal-dizem-secretarias.ghtml>).

rompimento da barragem de Brumadinho e dela tirar lições para aplicar em futuros eventos desta natureza.

A metodologia usada para o salvamento das vítimas passou por mobilizar uma robusta estrutura, sob a coordenação do Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (CBMMG). A primeira equipe do CBMMG a acessar a área e confirmar oficialmente o desastre foi o helicóptero Arcanjo 3, às 12h56min. Nos minutos seguintes, chegaram uma série de viaturas terrestres e os recursos foram aplicados conforme a necessidade de cada local. Havia cobertura de sinal da rede de rádios do CBMMG em quase todo o perímetro, ainda que em uma rede congestionada pelas grandes demandas, houve efetividade no fluxo de informações.

O Sistema de Comando de Operações - SCO foi instalado de imediato pelo Tenente Coronel Eduardo Ângelo Gomes da Silva, militar mais antigo naquela área, que informou pela rede de rádio estar no comando da operação e que o Posto de Comando - PC fora estabelecido na Igreja de Nossa Senhora das Dores, situada no distrito de Córrego do Feijão. As demais estruturas, tais como a Área de Concentração de Vítimas - ACV, o heliponto e a Área de Espera foram estabelecidos nas adjacências do PC. Para o PC foram então direcionadas as informações que subsidiaram as decisões que eram emanadas no local. Em poucas horas o Comandante-Geral do CBMMG assumiu o comando das operações juntamente ao governador do estado Romeu Zema Neto.

Muitas outras autoridades do primeiro escalão dos governos federal, estadual e municipal chegaram à sede do município de Brumadinho e o PC foi transferido para a Faculdade ASA, localizada na área urbana, com acesso

terrestre fácil a veículos pequenos, controle de acesso de pessoas, meios de comunicação eficientes, salas para reuniões e locais de pouso de helicópteros. A Igreja de Nossa Senhora das Dores passou a ser denominada Posto Avançado Feijão - PA Feijão, sendo de uso exclusivo das equipes operacionais voltadas à busca e salvamento.

Para facilitar as comunicações entre equipes operacionais e outras de diversas origens, algumas padronizações foram estabelecidas, por exemplo, o dia 25 de janeiro de 2019 foi denominado de D1 (dia um), o dia seguinte foi denominado D2 e assim, sucessivamente. A área afetada diretamente passou a ser chamada de zona quente e foi dividida em quadrículas (fig. 2) identificadas por prefixos alfanuméricos de planos cartesianos de localização, tais como A1, A2, etc.

Grande parte das informações aqui citadas foram produzidas a partir do banco de dados da operação, cujo acesso é restrito em razão da preservação da privacidade das vítimas e dos seus familiares. Alguns dados foram estimados para permitir a tomada de decisões em uma emergência, sendo determinantes e de grande relevância em momentos de crise.

Números do desastre e outras informações relevantes

Em 25 de Janeiro de 2020 a Operação Brumadinho completou um ano e seguiu sem previsão de encerramento com 11 pessoas desaparecidas e 259 óbitos identificados, o que representa 95,9% das vítimas fatais. Este número dimensiona-a em relação a outras que também tiveram repercussão mundial, tal como o atentado terrorista ao World

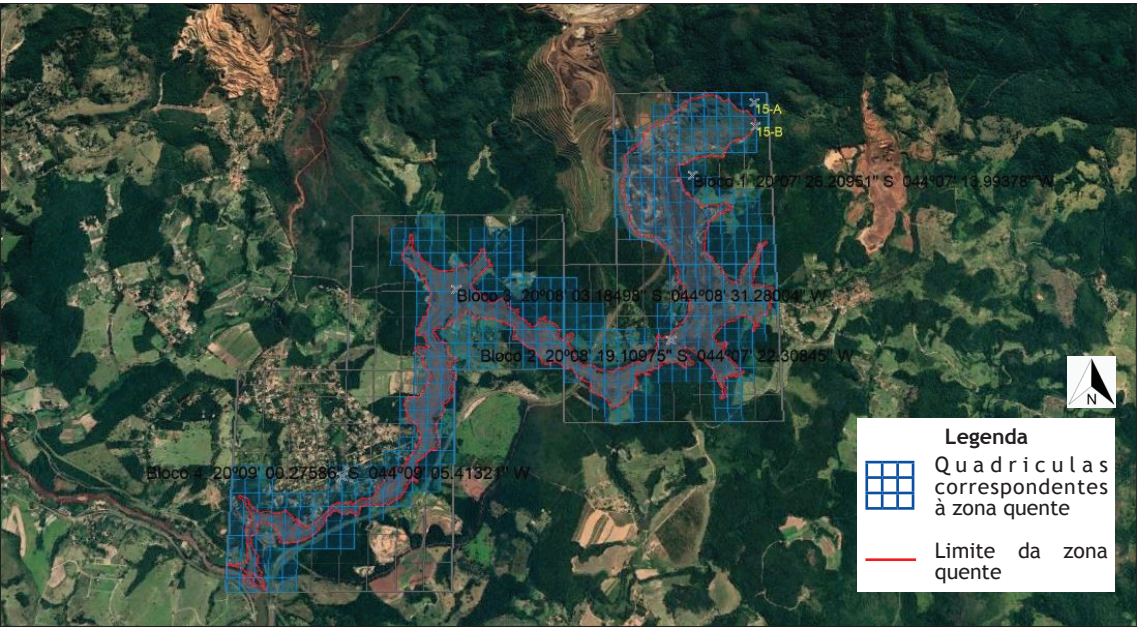


Fig. 2 - Croqui da zona quente (Fonte: CBMMG, Banco de dados da operação Brumadinho, adaptado de Google Earth).  
Fig. 2 - Rough layout of the hot zone (Source: CBMMG, Operation Brumadinho database, adapted from Google Earth).

Trade Center nos Estados Unidos (60% das vítimas fatais recuperadas) (Disponível em: [https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2019/12/30/interna\\_gerais,111183/resgates-e-identificacao-de-brumadinho-superam-indices-do-atentado-as.shtml](https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2019/12/30/interna_gerais,111183/resgates-e-identificacao-de-brumadinho-superam-indices-do-atentado-as.shtml), acesso em 11fev.2020).

Estima-se que extravasaram 10 milhões de metros cúbicos do material contido na barragem B1 e sua densidade seria de 2,8 ton/m<sup>3</sup>. Os 2,7 milhões de metros cúbicos remanescentes, equivalentes a 21,3% do conteúdo original, submetidos a fatores climáticos e erosivos sofreram pequenas movimentações. A área plana atingida foi estimada em 3,5 milhões de m<sup>2</sup>, com espessura irregular da camada de rejeitos formando deposições de até 16 metros. A distância linear entre o barramento rompido e o Rio Paraopeba é de aproximadamente 10 km, esse foi alcançado pela lama em menos de 10 minutos.

Os distritos atingidos diretamente pela lama foram o Córrego do Feijão e Parque das Cachoeiras. A estrada entre o centro da cidade de Brumadinho e o distrito de Alberto Flores foi submersa pela lama e o acesso foi restabelecido em 10 de abril de 2019, através de uma ponte construída pela empresa Vale.

O CBMMG resgatou 192 pessoas vivas à superfície da lama de rejeitos, com variadas lesões nas primeiras 24 horas após o rompimento, assim como diversos animais salvos pelas equipes. A qualidade de dados coletados a respeito dos resgates realizados nas primeiras 24 horas foi impactada pela emergência generalizada, tal qual toda resposta a desastres durante as primeiras horas quando as informações fluem de forma conturbada, intensa e com grande imprecisão de dados. Informações sobre a amplitude da área atingida, a quantidade de vítimas e seu estado de saúde, os riscos da área de buscas, a toxicidade do rejeito podem ser imprecisas, o que gera desencontros, sobreposições de esforços e também lacunas que afetam a efetividade das decisões tomadas pelos gestores. O clareamento desses dados e o estabelecimento das prioridades ocorre após a fase de primeira resposta, emergencial.

Assim, várias ações foram realizadas simultaneamente, tais como o salvamento de sobreviventes, recuperação de corpos e segmentos, de equipamentos e itens que pudessem trazer informações relevantes ao planejamento da operação, identificação de riscos, para intervenção nas buscas. Foram georreferenciadas as recuperações e descrições que pudessem colaborar com a inteligência nas buscas. Ao longo dos primeiros dias a operação foi estruturada, permitindo que a qualidade dos dados fosse incrementada com a inserção de fotografias e demais circunstâncias em que tudo foi sendo localizado.

Nos primeiros momentos, foram somados a esse esforço centenas de profissionais, oriundos de dezenas de agências, bem como voluntários e empresa Vale.

Percebeu-se que cada agência possuía um formato próprio para registro de coordenadas geográficas e temporais. Por isso, foi necessário convertê-las para o formato GGMMSS.S, *Datum* WGS 84 e as datas para o formato DDMMAAAA, que são os padrões operacionais do CBMMG. Para a delimitação espacial, foram observadas apenas as áreas da Zona Quente, ou seja, a área onde se produzem mais intensamente os efeitos do fenômeno causador da emergência ou situação crítica. Foi nessa área e nas suas imediações, até 50 metros, que se desenvolveram as operações de maior risco e complexidade (Santa Catarina, 2010). Os dados foram inicialmente transmitidos ao Posto de Comando (PC) via rede de rádio, registrados em papel e posteriormente transcritos em planilhas eletrônicas.

Ainda durante a primeira semana foi elaborado um sítio eletrônico para que as equipes de busca pudessem enviar, de forma *online*, informações ao Posto de Comando. A construção do sítio eletrônico foi feita por bombeiros militares com experiência em emergências dessa natureza. A ferramenta digital possui rotinas de supervisão, filtros, importação e exportação de dados e fotografias, etc. (fig. 3 e 4).

Ressalte-se que, considerando as frequentes atualizações das informações decorrentes do progresso das buscas, os mapas e imagens utilizados neste trabalho referem-se a momentos distintos das buscas.

Por conta de alguns dados haverem sido retirados de documentos internos da empresa, que nos foram fornecidos para suporte às buscas, algumas informações não foram referenciadas às suas fontes em respeito às normas de sigilo da informação e da classificação das informações das diversas investigações em curso.

### Hipótese

A hipótese que norteou a atuação do CBMMG neste desastre foi que, uma vez identificados o ponto inicial e final de uma vítima atingida pela onda de lama, as demais pessoas atingidas na sua proximidade também teriam o mesmo ponto final. Ou seja, o deslocamento do corpo das vítimas seria coincidente.

Essa hipótese surgiu das lições aprendidas no atendimento ao desastre do rompimento da barragem de Fundão na cidade de Mariana-MG, em 2015, onde os deslocamentos ocorreram exatamente em grupos, permitindo a localização de todas elas, exceto uma cujo corpo segue desaparecido. Naquela ocasião, foi possível reunir as vítimas em 3 grupos ao considerar-se seus pontos iniciais: no topo da barragem, na base da barragem e no distrito de Bento Rodrigues. As recuperações ocorreram também em regiões, consoante os grupos formados.



Formulários / Formulário 1783284

O que foi encontrado?\*

☐ Corpo

☐ Segmento

☐ Veículo

☐ Estrutura

☐ Máquina Pesada

☐ Animal

☐ Objeto

Profundidade\*

☐ Superfície

☐ 1m

☐ 2m

☐ 3m

☐ 4m

☐ 5m

☐ 6m

☐ 7m

☐ Mais de 7m

☐ Não informada

☐ Informar grau, minuto e segundo

Converter (pressione atualizar)

Fig. 3 - Exemplo de tela do sítio eletrônico para transmissão de dados online entre o que foi encontrado pelas equipes de busca e o Posto de Comando (Fonte: CBMMG, Banco de dados da Operação Brumadinho).

Fig. 3 - Example of website screen for online data transmission between what was found by the search teams and the Command Post (Source: CBMMG, Operation Brumadinho database).

Fontes de dados

Sinais de rádio portáteis

Obtivemos da Vale S. A. os dados georreferenciados dos rádios portáteis em uso na área atingida, bem como seus usuários e horários em que a repetidora captou o último sinal de cada um. A este croqui de sinais de rádio foram incluídas as posições dos aparelhos localizados durante as buscas, através de pontos amarelos, que representam os sinais de rádio e o horário do último sinal emitido, e de pontos azuis, que indicam as posições dos aparelhos recuperados (fig. 5). Nota-se que houve emissão de sinais até 3h55min após o rompimento.

Embora os aparelhos possam ter se deslocado de forma distinta dos corpos das vítimas, suas posições iniciais são próximas ou coincidentes.

Sinais de telefones celulares

Em Brumadinho há 27 (vinte e sete) Estações Rádio-Base-ERB (fig. 6) e apenas uma ERB está nas imediações da Mina Córrego do Feijão (fig. 7), o que fragiliza a precisão da geolocalização dos sinais.

Formulários / Formulário 1783284 (cont.)

Localização

Foto 1 (opcional)

Escolher arquivo

Nenhum arquivo selecionado

Enviar

Foto 2 (opcional)

Escolher arquivo

Nenhum arquivo selecionado

Enviar

Foto 3 (opcional)

Escolher arquivo

Nenhum arquivo selecionado

Enviar

Foto 4 (opcional)

Escolher arquivo

Nenhum arquivo selecionado

Enviar

Observação Curta (opcional)

Descrição (opcional)

Fig. 4 - Exemplo de tela do sítio eletrônico para transmissão de fotografias online entre as equipes de busca e o Posto de Comando (Fonte: CBMMG, Banco de dados da Operação Brumadinho).

Fig. 4 - Example of website screen for online photo transmission between search teams and the Command Post (Source: CBMMG, Operation Brumadinho database).

Tal qual aos rádios portáteis, foram levantadas as informações relativas aos sinais registrados de aparelhos telefônicos celulares na região afetada, na data do rompimento.

Com as informações da ERB situada nas imediações da Mina Córrego do Feijão foi produzido um croqui com os sinais registrados dentro da Zona Quente (fig. 8). Foram registrados sinais por quase 11 horas após o rompimento.

Uma constatação importante foi identificar que o ponto inicial da vítima desaparecida estava no mesmo ponto do aparelho recuperado ou do sinal identificado ou, pelo menos, à montante deste ponto.

Equipamentos e objetos recuperados

Dentre os diversos itens localizados durante as buscas, foram registrados aqueles que pudessem indicar seu ponto inicial e contribuir para a compreensão da dinâmica do deslocamento da onda de rejeitos. Bolsas com documentos pessoais, papéis, peças de roupas, cilindros de gás, ferramentas e equipamentos usados em edificações ou áreas específicas foram localizados aos milhares (fot. 1 e 2). Quando possível ou necessário, foram recuperados

39



Fig. 5 - RRecovered portable radios, signals, and final transmission times on 25/1/2019 (Fonte: CBMMG, Banco de dados da Operação Brumadinho, adaptado de Google Earth).

Fig. 5 - Recovered portable radios, signals and final transmission times on 1/25/2019 (Source: CBMMG, Operation Brumadinho database, adapted from Google Earth).



Fig. 6 - Croqui da localização das ERB de Brumadinho

(Fonte: Telebrasil, adaptado de Google Maps: <http://www.telecocare.com.br/telebrasil/erbs/>, acessado em 2 de Maio de 2019, às 2h32min).

Fig. 6 - Rough layout of the location of the Brumadinho base stations (ERBs)

(Source: Telebrasil, adapted from Google Maps: <http://www.telecocare.com.br/telebrasil/erbs/>, accessed on May 2, 2019, at 2:32am).

e a destinação de cada um deu-se conforme o risco ou relevância para as buscas e investigações.

O georreferenciamento, a descrição dos detalhes, o registro de fotos e a marcação com tinta cor laranja foram algumas das técnicas aplicadas aos itens

localizados. Neste rol de itens estão, desde um pequeno crachá até uma enorme locomotiva.

Dentre tantos equipamentos peculiares de uma edificação ou outra, os piezômetros foram especialmente relevantes por estarem instalados no corpo do



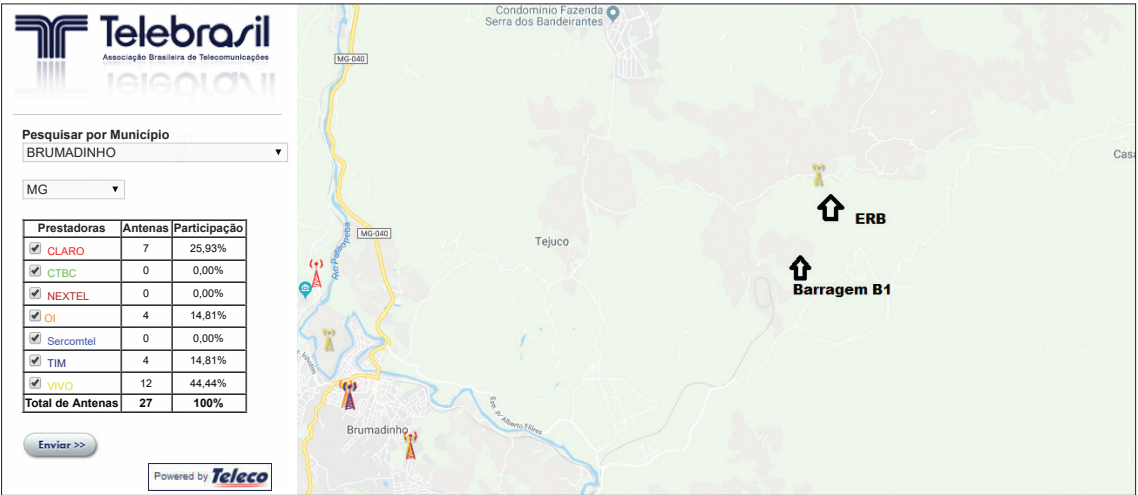


Fig. 7 - Croqui da localização da ERB e da Barragem B1

(Fonte: Telebrasil, adaptado de Google Maps: <http://www.telecocare.com.br/telebrasil/erbs/>), acessado em 2 de maio de 2019, às 2h32min).

Fig. 7 - Rough layout of the positions and times of mobile phone signals recorded in the Hot Zone

(Source: Telebrasil, adapted from Google Maps: <http://www.telecocare.com.br/telebrasil/erbs/>), accessed on May 2, 2019, at 2:32am).

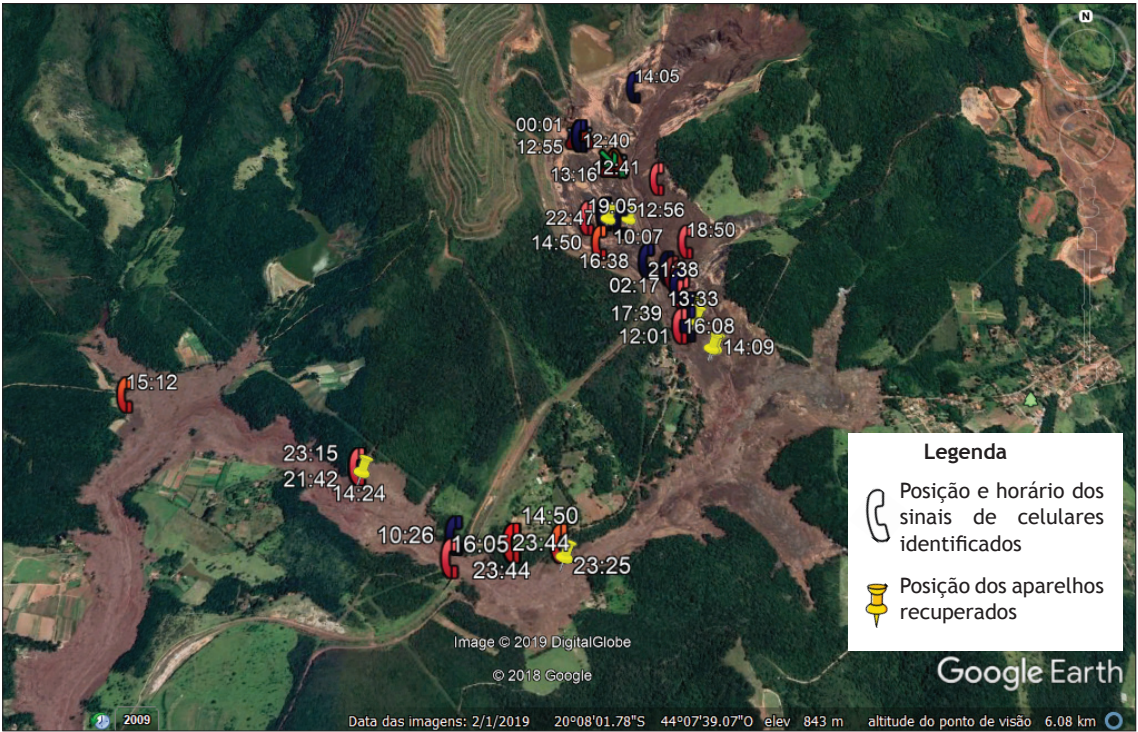


Fig. 8 - Croqui das posições e horários de sinais de celulares registrados na Zona Quente  
(Fonte: CBMMG, Banco de dados da Operação Brumadinho, adaptado de Google Earth).

Fig. 8 - Sketch of the positions and times of cell phone signals registered in the Hot Zone  
(Source: CBMMG, Operation Brumadinho database, adapted from Google Earth).

barramento e trazerem na sua carcaça uma numeração única, o que permitiu identificar seu ponto inicial no corpo da barragem, a partir do qual foi traçada em amarelo uma rota estimada do deslocamento de cada piezômetro (fig. 9).

O deslocamento dos piezômetros foi usado como referência para a definição das buscas aos corpos do grupo de vítimas que estava no topo da barragem, o que sugeriu o trabalho nas áreas denominadas pêra ferroviária e Izapita. Fortalecendo essa percepção, a



**Fot. 1** - Vagão recuperado na Zona Quente  
(Fonte: CBMMG, Banco de dados da Operação Brumadinho).  
*Photo 1* - Wagon recovered in the hot zone  
(Source: CBMMG, Operation Brumadinho database)



**Fot. 2** - Peça de concreto recuperada na Zona Quente  
(Fonte: CBMMG, Banco de dados da Operação Brumadinho).  
*Photo 2* - Concrete element retrieved in the hot zone  
(Source: CBMMG, Operation Brumadinho database).



**Fig. 9** - Croqui de deslocamento estimado dos piezômetros recuperados  
(Fonte: CBMMG, Banco de dados da Operação Brumadinho, adaptado de Google Earth).  
*Fig. 9* - Rough layout of estimated displacement of recovered piezometers  
(Source: CBMMG, Operation Brumadinho database, adapted from Google Earth).

posição final de uma pessoa resgatada com vida, e que trabalhava no topo da barragem com outras 3 pessoas que faleceram, coincide com o padrão de deslocamento dos piezômetros.

**Registro dos sistemas computacionais**

Conforme os registros dos sistemas informatizados da empresa Vale S. A., os acessos de vítimas desaparecidas



foram identificados em termos de horário e local de acesso.

Por exemplo, um determinado funcionário utilizou a impressora do seu local de trabalho 57 segundos antes do rompimento (fig. 10), o que permitiu estabelecer o seu ponto inicial e agrupar este funcionário a outros nessa área e, posteriormente, analisar a dispersão das posições finais dos corpos das vítimas desse grupo.

#### *Dispersão de corpos e segmentos corporais das vítimas*

Até o dia 25 de Janeiro de 2020, quando a operação completou um ano, foram recuperados 132 corpos e 753 segmentos corporais (fig.s 11 e 12), tendo havido recuperações de corpos e segmentos corporais ao longo de toda a Zona Quente e além dela, a cerca de 10 km a jusante do encontro do córrego ferro-carvão com o Rio Paraopeba.

Assim, com a gradual identificação através dos corpos e segmentos corporais, as informações de geolocalização foram filtradas de forma qualitativa, sendo acrescidos os

nomes das vítimas falecidas. Isso permitiu acrescentar ao croqui as posições iniciais das vítimas falecidas (conhecidas ou estimadas) e as suas posições finais.

Ao ser reanalisado o croqui com mais estas informações, percebeu-se que as posições finais dos corpos não traziam relação com as posições iniciais dos grupos de vítimas, o que representou um grande avanço na compreensão da dinâmica do desastre. Diferentemente da hipótese estabelecida nos primeiros dias de busca, constatou-se que as posições finais dos corpos foram recorrentes em algumas áreas, independentemente das posições iniciais das vítimas (fig.s 13, 14 e 15).

A definição de cada grupo decorreu de entrevistas realizadas com parentes, sobreviventes, informações de sinais de aparelhos celulares, rádios portáteis, registros de sistemas, câmeras de circuito interno de TV, etc.

Os pontos numerados indicam a posição inicial de grupos de pessoas, enquanto as quadrículas coloridas indicam as posições finais dos corpos recuperados desse grupo.

RELEASEMODEL	FINALDATE	SUBMITIP	SUBMITDATE		SERIALNUMBER	SITE	LOCAL
Lexmark CS725	2019-01-05 09:29:30.820	172.21.224.87	2019-01-25 09:29:30.820	1483006	50287120112BR	MG - Córrego do Feijão	VESTIARIO
Lexmark CS725	2019-01-25 11:18:00.017	172.21.224.87	2019-01-25 11:49:00.017	1483006	50287120112BR	MG - Córrego do Feijão	VESTIARIO
Lexmark CS725	2019-01-25 12:11:23.197	172.21.224.87	2019-01-25 12:11:23.197	1483006	50287120112BR	MG - Córrego do Feijão	VESTIARIO
Lxmark CS725	2019-01-25 07:46:34.967	172.21.224.87	2019-01-25 07:46:34.967	1487581	75287180114V5	MG - Córrego do Feijão	OFICINA CENTRAL
Lexmark CS725	2019-01-25 09:56:05.200	172.21.224.87	2019-01-25 09:56:05.200	1495434	75287180114V5	MG - Córrego do Feijão	OFICINA CENTRAL
Lexmark MX511de	2019-01-25 00:20:15.543	BR1109037	2019-01-25 00:20:15.543	1495484	70157PHH1FKN	MG - Córrego do Feijão	Armazem
Lexmark CS725	2019-01-25 11:32:11.170	172.21.224.87	2019-01-25 11:32:11.170	1499156	5028715011216	MG - Córrego do Feijão	GEOLOGIA
Lexmark CS725	2019-01-25 08:38:03.613	172.21.224.87	2019-01-25 08:38:03.613	1501641	75287180114TG	MG - Córrego do Feijão	ITM
Lexmark CS725	2019-01-25 13:43.900	172.21.224.87	2019-01-25 11:13:45.900	1501641	75287180114TG	MG - Córrego do Feijão	ITM
Lexmark CS725	2019-01-25 12:11:23.197	172.21.224.87	2019-01-25 12:11:23.197	1483006	50287120112BR	MG - Córrego do Feijão	VESTIARIO
Lexmark MX511de	2019-01-25 11:53:51.370	BR1109028	2019-01-25 11:53:51.370	1513058	70157PHH1FKWN	MG - Córrego do Feijão	Armazem
Lexmark MX511de	2019-01-25 12:03:19.007	BR1109028	2019-01-25 12:03:19.007	1513058	70157PHH1FKWN	MG - Córrego do Feijão	Armazem
Lexmark MX511de	2019-01-25 12:06:10.407	BR1109037	2019-01-25 12:06:10.407	1513393	70157PHH1FKWN	MG - Córrego do Feijão	Armazem
Lexmark MX511de	2019-01-25 12:16:16.047	BR1109037	2019-01-25 12:16:16.047	1513393	70157PHH1FKWN	MG - Córrego do Feijão	Armazem
Lexmark MX511de	2019-01-25 12:19:51.473	BR1109037	2019-01-25 12:19:51.473	1513393	70157PHH1FKWN	MG - Córrego do Feijão	Armazem
Lexmark MX511de	2019-01-25 12:23:03.427	BR1109037	2019-01-25 12:27:23.423	1513393	70157PHH1FKWN	MG - Córrego do Feijão	Armazem
Lexmark MX511de	2019-01-25 12:27:23.423	BR1109037	2019-01-25 12:27:23.423	1513393	70157PHH1FKWN	MG - Córrego do Feijão	Armazem
Lexmark MX511de	2019-01-25 12:15:20.510	172.21.224.87	2019-01-25 12:15:20.510	1543487	70157PHH1GD2N	MG - Córrego do Feijão	SEGURANÇA DO TRABALHO
Lexmark MX511de	2019-01-25 12:15:23.013	172.21.224.87	2019-01-25 12:15:23.013	1543487	70157PHH1GD2N	MG - Córrego do Feijão	SEGURANÇA DO TRABALHO
Lexmark MX511de	2019-01-25 12:15:21.627	172.21.224.87	2019-01-25 12:15:21.627	1543487	70157PHH1GD2N	MG - Córrego do Feijão	SEGURANÇA DO TRABALHO
Lexmark MX511de	2019-01-25 12:18:59.410	172.21.224.87	2019-01-25 12:18:59.410	1543487	70157PHH1GD2N	MG - Córrego do Feijão	SEGURANÇA DO TRABALHO
Lexmark CX725	2019-01-25 12:11:04.730	172.21.224.87	2019-01-25 12:11:04.730	1871749	75287180114V5	MG - Córrego do Feijão	OFICINA CENTRAL
Lexmark MX511de	2019-01-25 11:51:15.503	172.21.224.87	2019-01-25 11:51:15.503	c0015370	70157PHH1GD45	MG - Córrego do Feijão	ADMINISTRATIVO
Lexmark MX511de	2019-01-25 12:06:01.753	172.21.224.87	2019-01-25 12:06:01.753	c0015370	70157PHH1GD45	MG - Córrego do Feijão	ADMINISTRATIVO
Lexmark MX511de	2019-01-25 12:17:47.843	172.21.224.87	2019-01-25 12:17:47.843	c0015370	70157PHH1GD45	MG - Córrego do Feijão	ADMINISTRATIVO

Fig. 10 - Registro dos sistemas computacionais antes do rompimento (Fonte: CBMMG, Banco de dados da Operação Brumadinho).

*Fig. 10 - Registration of computer systems before breach (Source: CBMMG, Operation Brumadinho database).*

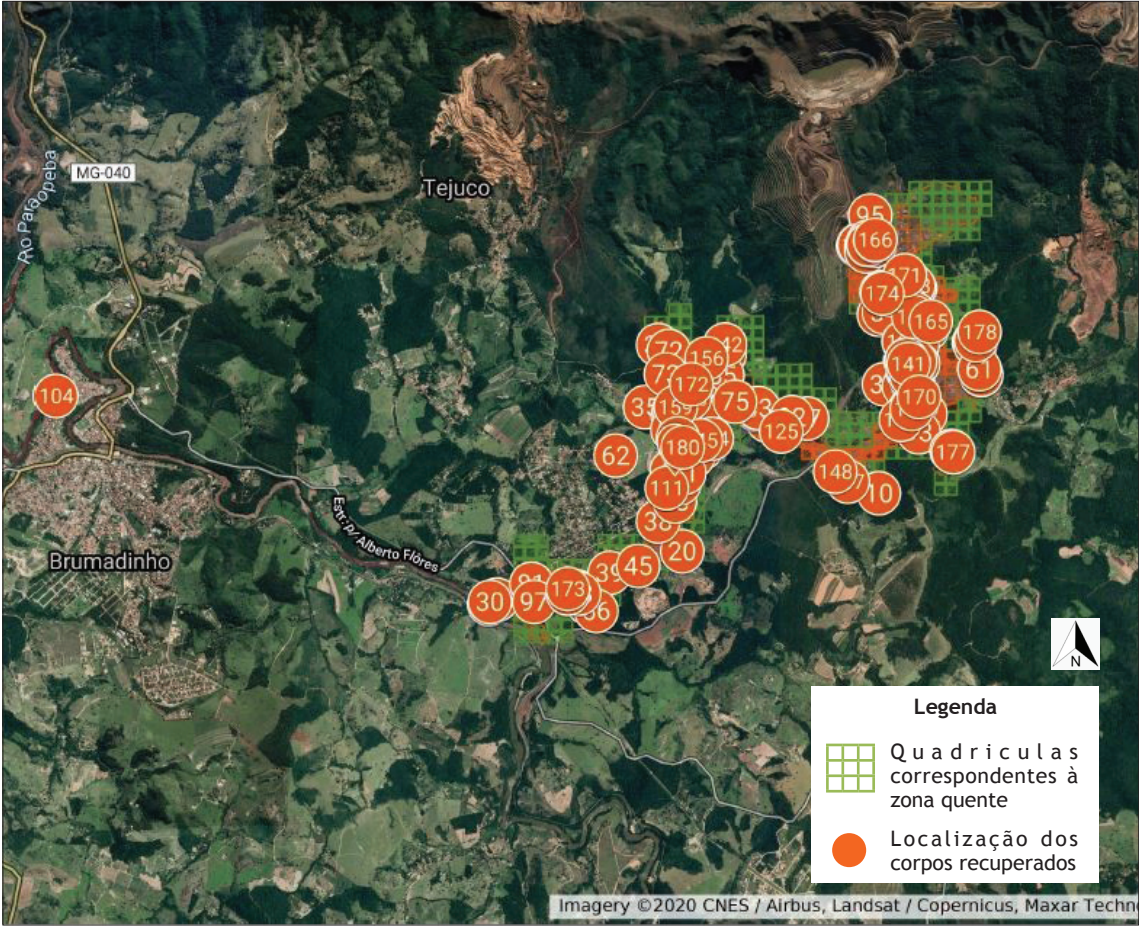


Fig. 11 - Croqui de corpos recuperados (Fonte: CBMMG, Banco de dados da Operação Brumadinho, adaptado de Google Earth).

Fig. 11 - Rough layout of sites where bodies were recovered (Source: CBMMG, Operation Brumadinho database, adapted from Google Earth).



Fig. 12 - Croqui de segmentos corporais resgatados (Fonte: CBMMG, Banco de dados da Operação Brumadinho, adaptado de Google Earth).

Fig. 12 - Rough layout of sites where body parts were recovered (Source: CBMMG, Operation Brumadinho database, adapted from Google Earth).



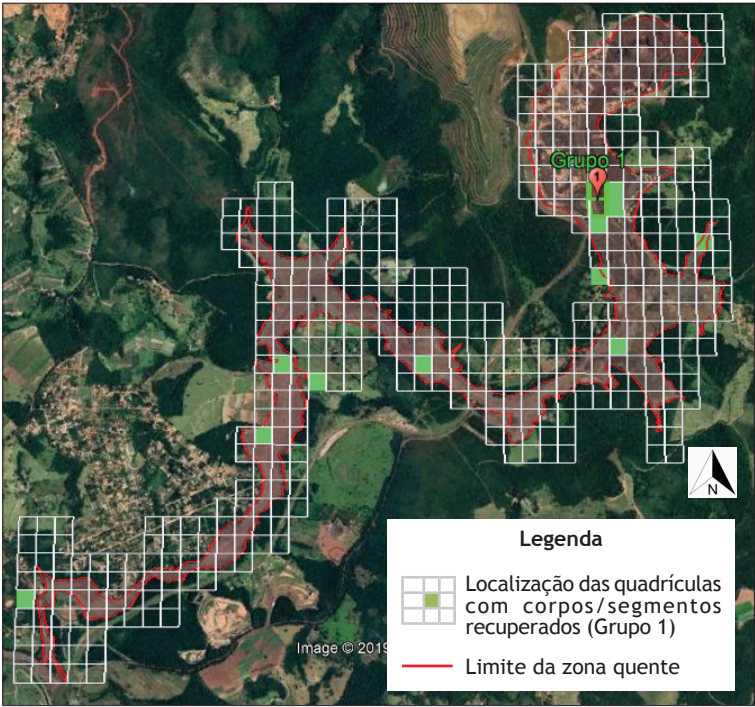


Fig. 13 - Croqui de dispersão de corpos/segmentos recuperados de vítimas do grupo 1 (Fonte: CBMMG, Banco de dados da operação Brumadinho, adaptado de Google Earth).

Fig. 13 - Rough layout of area where bodies/body parts were recovered (group 1 victims) (Source: CBMMG, Operation Brumadinho database, adapted from Google Earth).

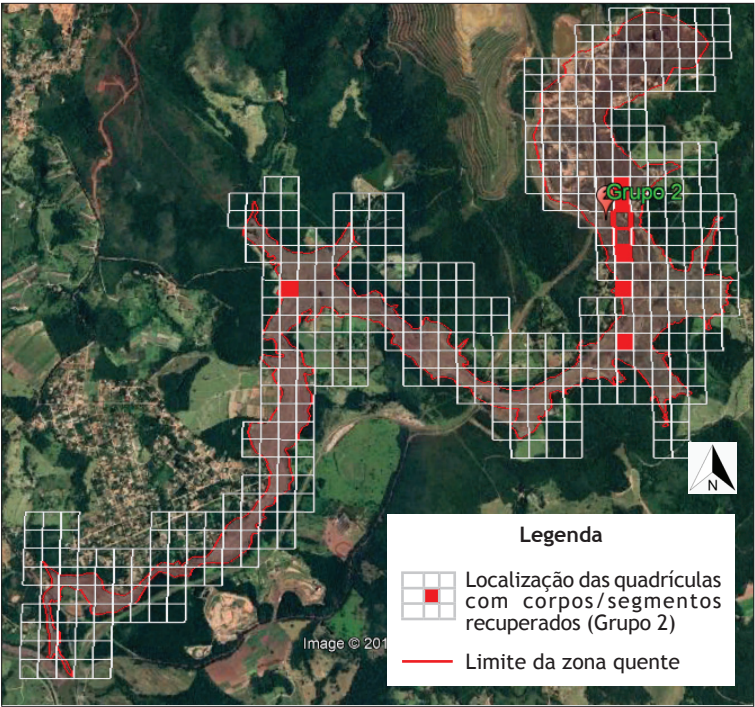
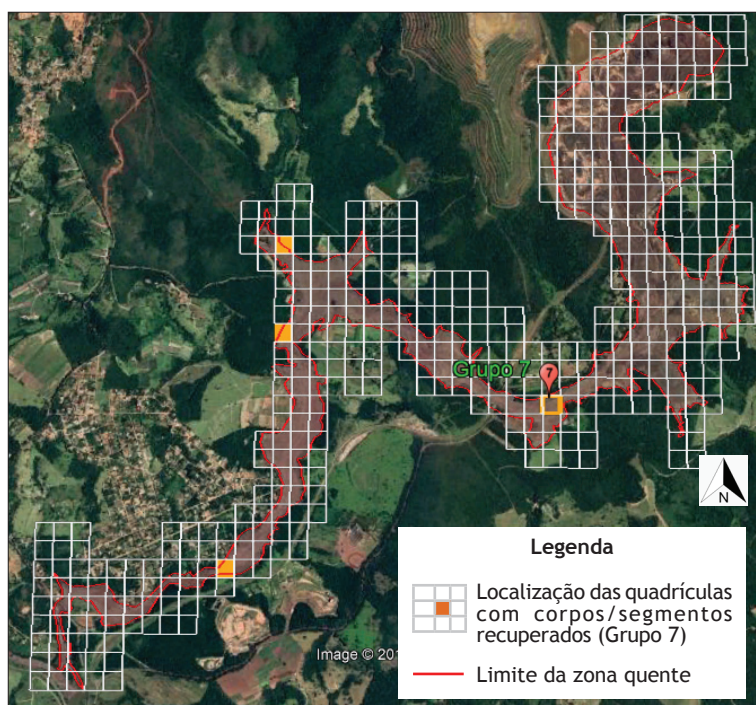


Fig. 14 - Croqui de dispersão de corpos/segmentos recuperados de vítimas do grupo 2 (Fonte: CBMMG, Banco de dados da operação Brumadinho, adaptado de Google Earth).

Fig. 14 - Rough layout of area where bodies/body parts were recovered (group 2 victims) (Source: CBMMG, Operation Brumadinho database, adapted from Google Earth).



**Fig. 15** - Croqui de dispersão de corpos/segmentos recuperados de vítimas do grupo 7  
(Fonte: CBMMG, Banco de dados da operação Brumadinho, adaptado de Google Earth).

**Fig. 15** - Rough layout of area where bodies/body parts were recovered (group 7 victims)  
(Source: CBMMG, Operation Brumadinho database, adapted from Google Earth).

A posição inicial dos grupos de vítimas foi obtida a partir da verificação cruzada de uma série de fontes de dados, tais como o relato de sobreviventes, relatos de familiares, sinais de rádios portáteis e aparelhos telefônicos celulares, dentre outros, enquanto a posição final dos corpos foi obtida através do registro das coordenadas geográficas no momento da recuperação somada aos nomes fornecidos pelo IML-Instituto Médico Legal.

A análise da dispersão contrariou a hipótese de deslocamento em grupos e não se mostrou suficiente para o planejamento das buscas, que, por volta do D22 passaram a ser feitas cada vez mais, através de escavações.

A partir desta constatação e através de modelos matemáticos cada vez mais elaborados, foram estabelecidas áreas prioritárias para buscas.

Analisando a dispersão dos corpos recuperados das vítimas dos grupos identificados, notou-se a recorrência de corpos em algumas quadrículas. Essas quadrículas foram, então, agrupadas em áreas, por proximidade (fig. 16), e essas áreas passaram a ser a base para a terceira estratégia: concentrar as buscas nos pontos de maior incidência de recuperação.

Observou-se, pelas posições finais, que o deslocamento dos corpos/segmentos não ocorreu em grupo, conforme propunha a hipótese inicial, que, portanto, as posições

finais guardavam pouca relação com os pontos iniciais e sim que estavam mais associadas à dinâmica do deslocamento da massa de rejeitos.

Essa estratégia foi aplicada por volta do D40, através do reposicionamento das frentes de trabalho e da readequação dos recursos em cada local. Embora tenha havido variações, foi mantida uma média de 20 frentes de trabalho (110 bombeiros militares, 120 máquinas).

A alocação das frentes de trabalho (fig. 17), de acordo com a 3ª estratégia, também absorveu o acompanhamento pelos bombeiros de algumas obras dentro da Zona Quente, para a construção de acesso e mitigação de riscos da Zona Quente.

#### *Intervenção pluviométrica nas buscas*

O impacto das chuvas sobre as buscas foi negativo, sobretudo entre o D1 e D122 (fig. 18). Mesmo observando a previsão e os fatos meteorológicos, ajuste de táticas e realocação de frentes de trabalho, houve redução quantitativa de recuperações, haja vista o terreno úmido ser desfavorável à segurança das equipes terrestres, aéreas e aquáticas, comprometendo também a efetividade das buscas com cães, inspeção visual do rejeito por parte das equipes, deslocamento de pessoas, máquinas e veículos.



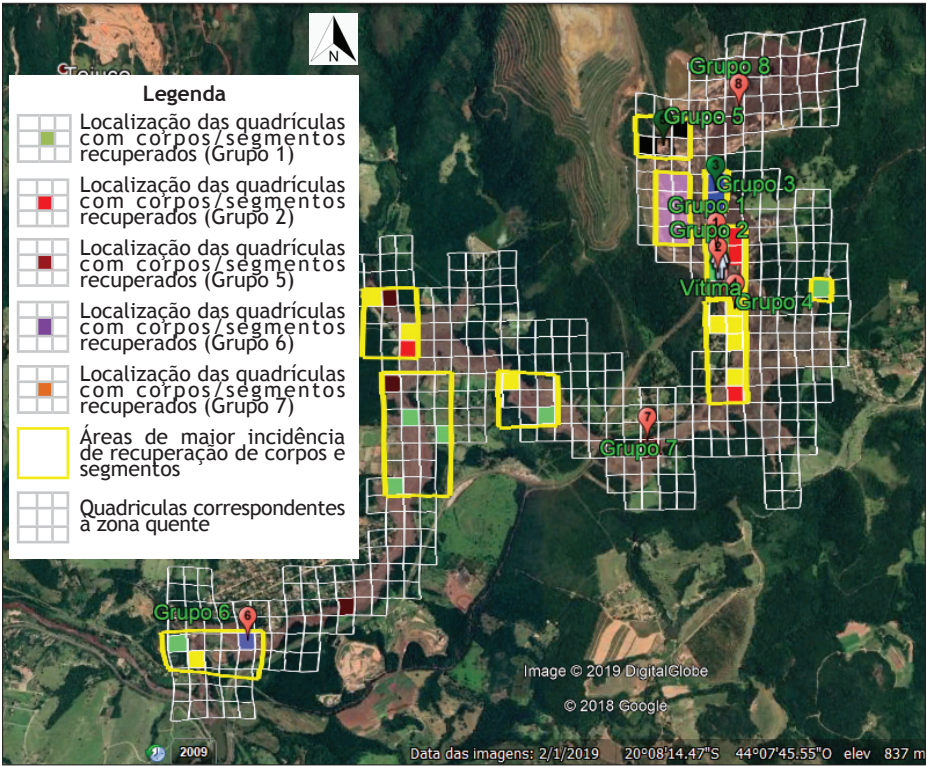


Fig. 16 - Croqui de áreas de reincidência de recuperação de corpos e segmentos corporais (Fonte: CBMMG, Banco de dados da operação Brumadinho, adaptado de Google Earth).

Fig. 16 - Rough layout of áreas of recurrence of recovery of bodies and body parts (Source: CBMMG, Operation Brumadinho database, adapted from Google Earth).

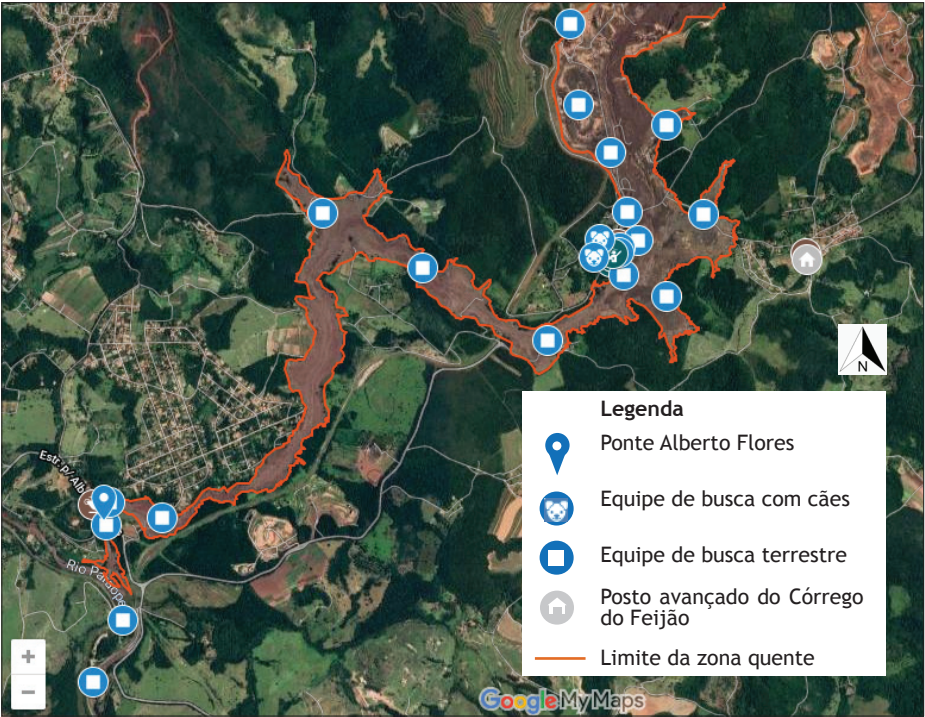


Fig. 17 - Croqui da disposição das frentes de trabalho (Fonte: CBMMG, Banco de dados da operação Brumadinho, adaptado de Google Earth).

Fig. 17 - Rough layout of the work fronts (Source: CBMMG, Operation Brumadinho database, adapted from Google Earth).

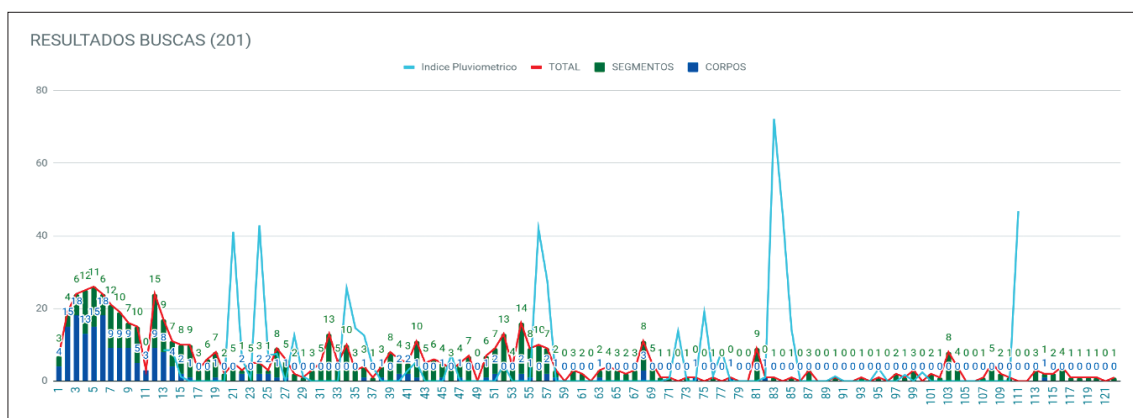


Fig. 18 - Quantidade diária de recuperações x índice pluviométrico (Fonte: CBMMG, Banco de dados da operação Brumadinho).

*Fig. 18 - Daily amount of recoveries x rainfall index (Source: CBMMG, Operation Brumadinho database).*

### Estratégias

Ao longo do primeiro ano da operação de buscas foram desenvolvidas as seguintes estratégias:

A primeira estratégia foi a resposta rápida e robusta à emergência, com prioridade para o salvamento de vidas humanas. Isto foi feito com a mobilização de boa parte dos recursos humanos e logísticos do CBMMG existentes nas cidades vizinhas. Esta estratégia pode ser resumida como “saturação”, tendo predominado do D1 ao D21, e consistiu em aplicar a maior quantidade possível de bombeiros militares e binômios fazendo buscas superficiais ao longo da Zona Quente, bem como sinais de vítimas soterradas. Esta primeira estratégia mostrou-se bastante eficiente para identificar sinais de vítimas vivas sob a lama ou recuperar os corpos e segmentos espalhados abundantemente por toda a Zona Quente. Havia grande emergência nas ações em face da possibilidade de vítimas vivas sob a lama. A quantidade incerta e os pontos iniciais das vítimas foi um elemento complicador.

A segunda estratégia foi desenvolvida entre D22 e D44, tendo consistido na busca de corpos e segmentos em áreas reincidentes e na construção de acessos e demolições de algumas estruturas atingidas.

Depois, entre o D45 e D60, foi aplicada a terceira estratégia, que ampliou as buscas através da inspeção visual em áreas secas e em profundidade.

No quarto momento da operação, a partir do D61, as escavações ocorreram em locais pontuais conforme as “manchas de calor” indicadas pelo serviço de inteligência.

A quinta estratégia foi adotada a partir do D 270 e tomou como base estudos realizados na curva de eficiência da maior parte dos maquinários e de um modelo matemático que demonstrou em que profundidade ocorreu o maior número de recuperações. Com base nesses dados e, ainda, no longo período de quase 3 meses sem nenhuma

nova identificação, as escavações foram paralisadas em profundidade e as buscas foram concentradas em uma camada de até 3 metros de profundidade, direcionadas para áreas “virgens” não investigadas em camadas, somente busca superficial até aquele momento.

### A relação entre a densidade do rejeito de minério de ferro e a profundidade das buscas

Após o rompimento, a lama de rejeitos foi destruindo e absorvendo uma série de outros componentes no seu trajeto, tornando-se uma mistura ainda mais heterogênea. Ao longo das buscas notou-se que, quando cessaram os movimentos da onda de rejeitos, a lama se decantou e, devido à sua densidade de 2,8 ton/m<sup>3</sup>, o rejeito de minério de ferro migrou para as porções mais profundas e impeliu diversos materiais em direção à superfície e regiões mais rasas. Uma série de itens muito pesados foram localizados à superfície ou a menos que 1m de profundidade, tais como locomotivas (fot. 3), tratores, grandes pedaços de alvenaria, grandes blocos de pedra, etc., alguns deles deslocados por alguns quilômetros.



Fot. 3 - Eixo de locomotiva encontrado à 1 m de profundidade (Fonte: CBMMG, Banco de dados da operação Brumadinho).

*Photo 3 - Locomotive axle found at 1 m depth (Source: CBMMG, Operation Brumadinho database).*

Nota-se que, na quantidade de recuperações de corpos e segmentos corporais a partir da superfície, predominaram as recuperações mais rasas e que no levantamento efetuado em 3/10/2019, 92,1% das recuperações ocorreram a 3m de profundidade ou menos (fig. 19). Esta constatação foi decisiva para a adoção de novas estratégias.

Um croqui multiparâmetro, com acúmulo de rejeitos e representação gráfica de altitudes através de mapa hipsométrico (fig. 20), permitiu exibir áreas ainda não exploradas, a 3m de profundidade e adjacentes a áreas recorrentes. Foi uma tentativa de direcionar as escavações e buscas para aquelas áreas com maior potencial para recuperações.

A espessura dos rejeitos depositados ao longo da área afetada, na data do rompimento, variou de zero a 16m (fig. 21), representada numa graduação de cores, da cor amarela até a cor marrom. Serviu para referenciar o planejamento das equipes de trabalho em diversas frentes ao longo da operação. A variação de cores auxilia também na compreensão da energia e velocidade, durante a trajetória da onda de rejeitos ao longo da zona quente, aspecto que foi considerado para o planejamento das ações e cálculo dos primeiros modelos matemáticos após o desastre (fig. 22).

A posição inicial das vítimas desaparecidas constitui um dado relevante para o planejamento e alocação das frentes de trabalho na mancha. Com a progressiva identificação dos corpos e segmentos, as frentes de trabalho à montante

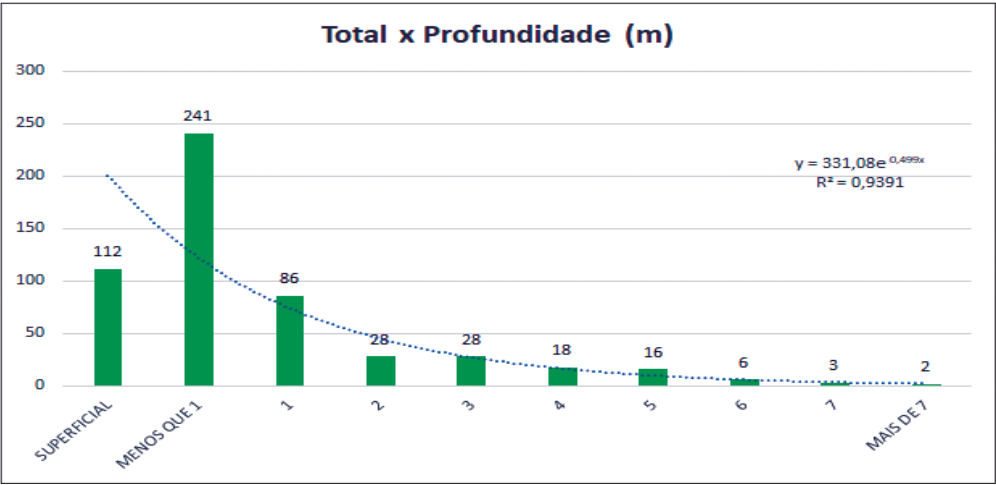


Fig. 19 - Quantidade de corpos e segmentos corporais x profundidade em que foram recuperados (Fonte: CBMMG, Banco de dados da operação Brumadinho).

Fig. 19 - Number of bodies and body parts x depth at which they were recovered (Source: CBMMG, Operation Brumadinho database).

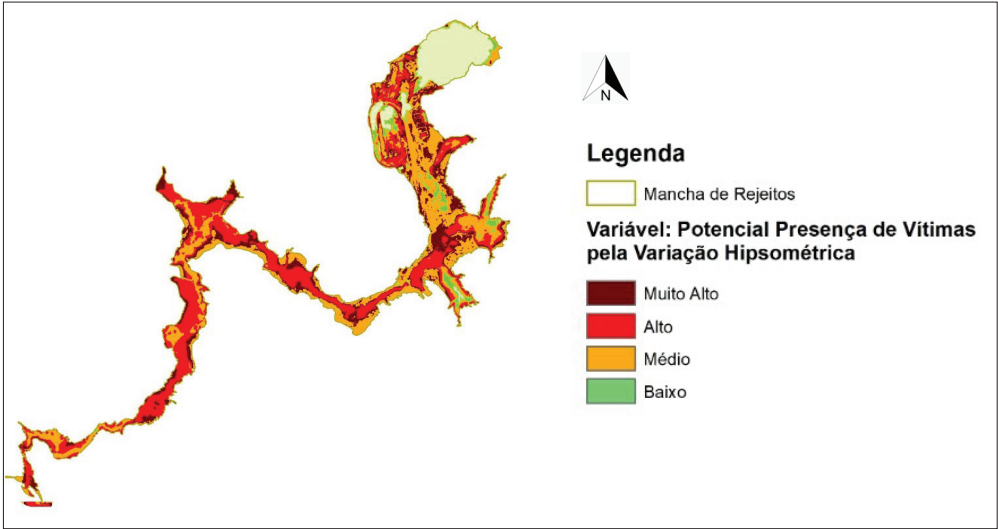
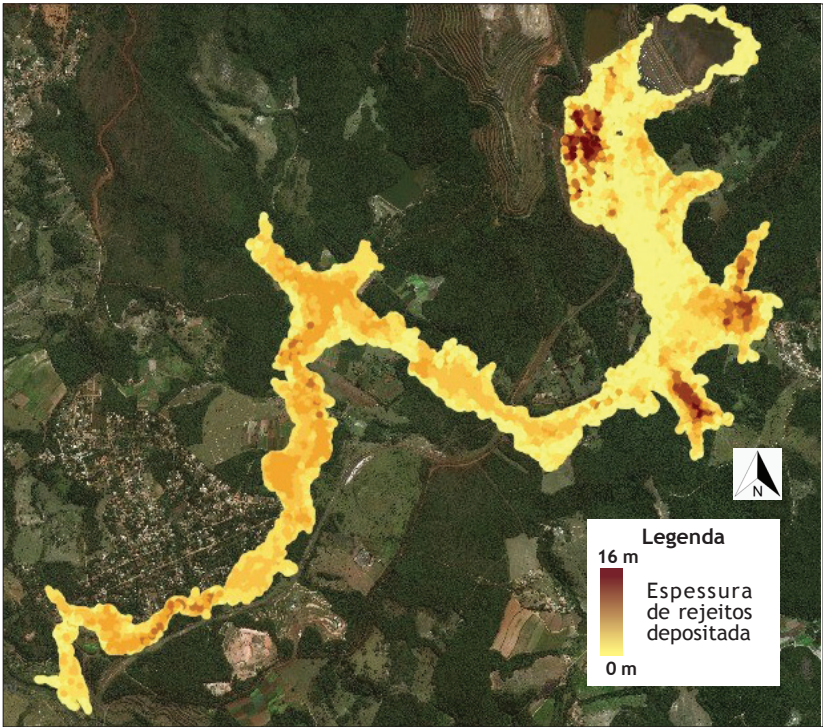


Fig. 20 - Croqui multiparâmetro (Fonte: CBMMG, Banco de dados da operação Brumadinho, adaptado de Google Earth).

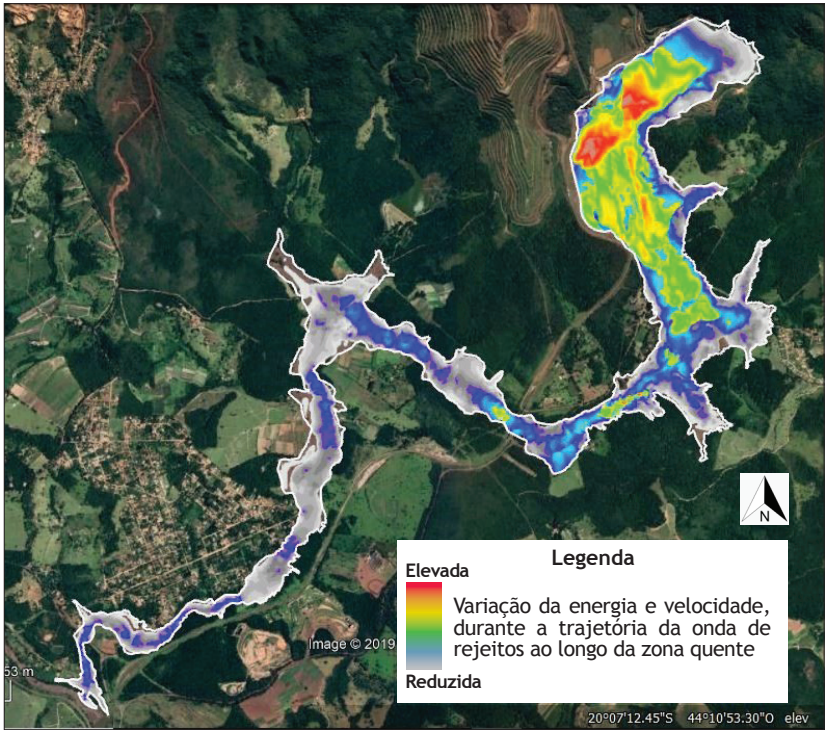
Fig. 20 - Multiparameter sketch (Source: CBMMG, Operation Brumadinho database, adapted from Google Earth).





**Fig. 21 -** Deposição da camada de rejeitos ao longo da zona quente  
(Fonte: CBMMG, Banco de dados da operação Brumadinho, adaptado de Google Earth).

*Fig. 21 - Deposition of the tailings layer along the hot zone (Source: CBMMG, Operation Brumadinho database, adapted from Google Earth).*



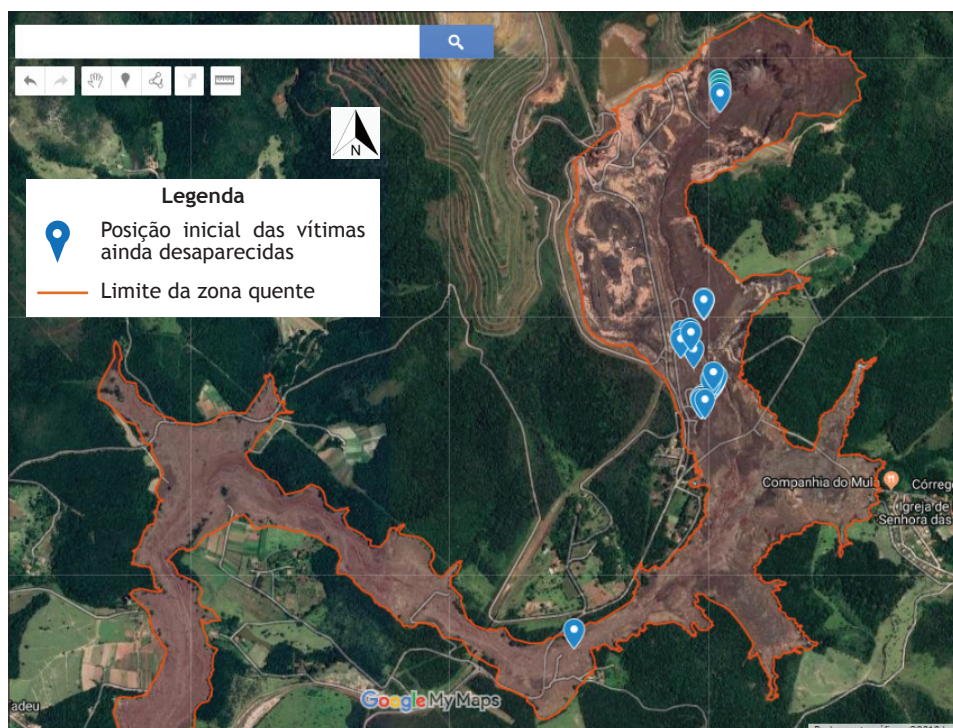
**Fig. 22 -** Velocidade estimada da onda de rejeitos extravasada  
(Fonte: CBMMG, Banco de dados da operação Brumadinho, adaptado de Google Earth).

*Fig. 22 - Estimated speed of the overflow tailings wave (Source: CBMMG, Operation Brumadinho database, adapted from Google Earth).*



eram realocadas conforme apontamentos de modelos matemáticos. Os pontos iniciais foram definidos através do cruzamento de diversos dados, incluindo entrevistas,

sinais de rádios portáteis, sinais de aparelhos telefônicos celulares, imagens de câmeras de circuito interno de TV, dentre outros (fig. 23).



**Fig. 23 - Croqui negativo das vítimas desaparecidas - referente a 07/06/2019**  
(Fonte: CBMMG, Banco de dados da operação Brumadinho, adaptado de Google Earth).

**Fig. 23 - Negative sketch of the missing victims - referring to 07/06/2019**  
(Source: CBMMG, Operation Brumadinho database, adapted from Google Earth).

## Conclusão

O tratamento científico dos dados para a produção de informações e a sua detida análise qualitativa foram determinantes para o assessoramento e tomada de decisões dos comandantes. Estas decisões surgiram, várias vezes, após reuniões técnicas entre os bombeiros militares mais ambientados às minúcias da operação em determinado momento ou fase dos trabalhos desenvolvidos.

A operação apresentou grandes obstáculos que foram trabalhados com equipe multidisciplinar de bombeiros militares, que com suas expertises em atividades de campo, um robusto banco de dados e boa gestão envidaram esforços para alcançar um resultado expressivo no número de recuperações. Os recursos humanos associados a logística e ao planejamento serviram como tripé e base da operação.

Os 95,9% de vítimas recuperadas e identificadas, traduzem em número percentual a efetividade da Operação Brumadinho, fruto da aplicação da inteligência operacional, da qualidade da gestão dos recursos e da assertividade na tomada de decisões nos vários níveis da estrutura de comando da

operação. Contudo, são imensuráveis os impactos humano e socioambiental do desastre no ambiente e comunidade afetados.

O registro do conhecimento produzido será relevante para futuras operações semelhantes e poderá impactar na sua efetividade, em termos de assertividade e agilidade. Também permitirá analisar aspectos ligados à capacitação profissional dos bombeiros militares, criação de procedimentos operacionais e protocolos interagências, contribuindo para a produção de importantes informações para o planejamento da operação de busca e salvamento. O tipo de conhecimento específico gerado poderá ser útil para a gestão de novos desastres envolvendo rompimento de barragens de mineração.

## Referências bibliográficas

- CBMMG - CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE MINAS GERAIS (2019). *Banco de dados da operação Brumadinho* (inédito).
- SANTA CATARINA (2010). *Sistema de Comando de Operações*. Florianópolis: Secretaria Nacional de Defesa Civil, UFSC, Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres, 2010, 82 p.