

ALTERAÇÕES GEOMORFOLÓGICAS DE FUNDO DE VALE NA BACIA DO RIO DO CARMO DECORRENTES DO ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE FUNDÃO (MINAS GERAIS, BRASIL)

Laís Carneiro Mendes

Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF
Mestranda em Geografia
lais.mendes15@hotmail.com

Miguel Fernandes Felipe

Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF
Professor do departamento de Geociências
mff.felippe@gmail.com

RESUMO

Em 5 de novembro de 2015 ocorreu o rompimento da barragem de rejeitos de mineração Fundão, que pertence a Samarco Mineração S. A. e está localizada no município de Mariana (MG). Esse rompimento resultou na liberação de um grande volume de rejeitos que causaram mortes e danos ao meio ambiente, em especial no corredor hídrico atingido. Estudos preliminares buscaram interpretar a natureza físico-química dos rejeitos e suas ações na qualidade da água e na fauna e flora da região, porém, os aspectos geomorfológicos foram pouco trabalhados. Diante disso, surge o interesse de avaliar as transformações na geomorfologia do fundo de vale ao longo dos cursos d'água mais afetados pela deposição de rejeitos decorrentes desse rompimento. As feições fluviais (de calha e planície) ganham destaque nesse estudo. O recorte espacial abrange as planícies e baixas vertentes periféricas aos canais fluviais, desde o dique de Fundão até a confluência dos rios Carmo e Piranga. A avaliação das alterações geomorfológicas pautou-se em imagens do software Google Earth Pro, utilizando-se o software ESRI ArcGIS para a realização de fotointerpretações e mapeamentos. Também foram realizados trabalhos de campo para reconhecimento da área estudada e validação dos resultados. A análise das imagens anteriores e posteriores ao rompimento possibilitou a identificação e discussão das diversas alterações que modificaram o sistema fluvial da área estudada, sendo possível a constatação dos trechos de maior acúmulo de rejeitos nas planícies, a descaracterização de feições fluviais, o intenso espraiamento dos depósitos nas confluências e o refluxo de sedimentos em canais afluentes.

Palavras-chave: Tecnógeno. Feições Fluviais. Mapeamento.

GEOMORPHOLOGICAL ALTERATIONS ON THE VALLEY BOTTOM OF THE CARMO RIVER WATERSHED CAUSED BY THE FUNDÃO DAM BREAK (MINAS GERAIS, BRAZIL)

ABSTRACT

On November 5th, 2015, the Fundão mining tailings dam (belonging to Samarco Mineração S. A. and located in Mariana-MG) collapsed. This event released a large volume of tailings that caused human deaths and countless damages to the environment in the affected fluvial system. Preliminary studies sought to interpret the physical-chemical nature of tailings and their consequences on water quality and biodiversity of the region. However, few works investigated its geomorphological aspects. Therefore, it's necessary to evaluate the transformations in the geomorphology of the valley bottom over the most affected water courses, caused by the deposition of tailings from the dam. The fluvial features (channel and lowlands) gain prominence in this paper. The study area ranges from the Fundão dam to the confluence of Carmo and Piranga rivers. For the evaluation of geomorphological changes, we used Google Earth Pro images and ESRI ArcGIS software to make photo interpretations and mappings. Fieldwork was also done to recognize the studied area and validate the results. The temporal image analysis of the dam break allowed the identification and discussion of the modifications on the fluvial system, such as the fluvial segments with larger accumulation of tailings, the degradation of fluvial features, the spreading of tailings at confluences and the reflux of sediment in the tributaries.

Keywords: Tecnogene. Rivers Features. Mapping.

INTRODUÇÃO

A geomorfologia terrestre caracteriza-se por estar em constante mudança. Essas mudanças podem ocorrer dentro de limites e serem absorvidas pelo sistema, ou podem ser mudanças irreversíveis que causam severas modificações (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017). O ser humano ao agir sobre determinado local no interior de uma bacia hidrográfica consegue causar modificações há quilômetros de distância e por longos períodos de tempo (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017). O rompimento da barragem de rejeitos de minério Fundão, em 5 de novembro de 2015, é um exemplo desse tipo de ação. Seus efeitos modificaram a dinâmica dos diversos cursos d'água atingidos, alterando o comportamento do sistema fluvial; mudanças essas, que perdurarão por um tempo ainda inestimável.

O rompimento de Fundão liberou, aproximadamente, 60 bilhões de litros de rejeitos, deixando 19 mortos e centenas de desabrigados. Milhares de pessoas ficaram sem água em suas residências. Uma vasta gama de danos socioambientais vem sendo paulatinamente elucidada ao longo dos cerca de 600 km desde a barragem de Fundão até a foz do rio Doce, localizada em Regência – ES (GEMG, 2016; FELIPPE et al. 2016a).

O vazamento dos rejeitos atingiu o córrego Fundão, o córrego Santarém, o rio Gualaxo do Norte, o rio do Carmo e o rio Doce e chegando ao Oceano Atlântico no dia 21 de novembro de 2015. Em toda extensão dos canais afetados o material se comportou de forma distinta, ora recobrando as planícies, ora se restringindo a depósitos de calha (FELIPPE et al. 2016a). Posteriormente, o rejeito se espalhou amplamente nas águas do oceano, atingindo o Parque Nacional Marinho de Abrolhos e as reservas extrativistas do Corumbau e Cassurubá, no litoral baiano (IBAMA, 2016).

A ruptura dessa barragem, e todas as suas reverberações, denotam a capacidade humana de modificar os processos geológicos e geomorfológicos terrestres (PELOGGIA e OLIVEIRA, 2005), alterando a superfície e produzindo novas maneiras de modelar a paisagem. Com isso, o ser humano se torna um agente geológico-geomorfológico diferenciado, pois é “capaz de fazer as propriedades e o modo de ser da natureza combinarem-se de maneira original, em novos modos de funcionamento, de forma subordinada a suas intenções” (PELOGGIA e OLIVEIRA, 2005, p.1). Portanto, a sociedade é influenciada pela natureza, mas também é capaz de agir sobre ela, transformando o ambiente e se transformando ao mesmo tempo (PELOGGIA e OLIVEIRA, 2005).

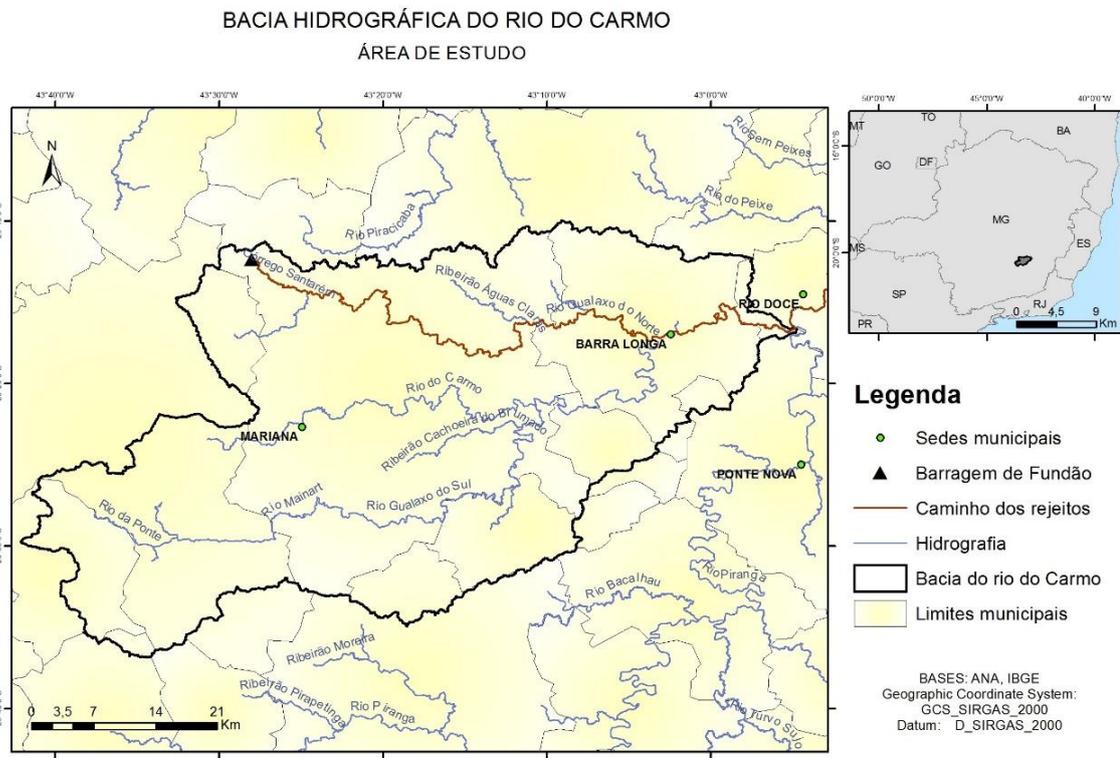
A capacidade de alteração do relevo terrestre pela sociedade, de um modo geral, ocorre de forma mais intensa que os processos naturais correspondentes (PELOGGIA e OLIVEIRA, 2005). A escala espaço-temporal da geomorfologia é subvertida pela velocidade e intensidade dos processos antropogênicos (KOHLE, 2002; PEREZ-FILHO e QUARESMA, 2012), que podem exceder o potencial de recuperação do ambiente, ou causar danos a vida dos próprios seres humanos, como é o caso do rompimento da barragem de Fundão (MENDES, 2018). Diante desse trágico evento, esse trabalho tem por objetivo avaliar as alterações geomorfológicas decorrentes do rompimento da barragem de Fundão, com foco nas feições do sistema fluvial, fazendo uma discussão das consequências desse rompimento para a morfodinâmica do fundo de vale dos rios afetados na bacia do rio do Carmo. Destaca-se a relevância dessa investigação, uma vez que esse evento é causador de grandes mudanças que envolvem o ambiente, a sociedade e a economia, que geraram questionamentos mundiais sobre as políticas minerárias. Além disso, há poucos estudos nessa linha, destacando-se o fato da geomorfologia nacional estar silenciosa em relação a esse assunto, considerando a insuficiência de textos sobre o rompimento de Fundão nos periódicos nacionais.

A área de estudo

A área estudada nesse trabalho compreende os cursos d'água do córrego Fundão, córrego Santarém, rio Gualaxo do Norte e rio do Carmo, pertencentes a bacia hidrográfica do rio do Carmo. A

área abrange parte dos municípios mineiros de Mariana, Barra Longa, Rio Doce e Ponte Nova (Figura 1).

Figura 1 – Localização da área estudada.



Fonte – elaborado pelos autores.

A bacia hidrográfica do rio do Carmo possui, aproximadamente, 2.278 km² e se constitui em uma das principais subbacias do rio Doce. Localizado inteiramente em território mineiro, o rio do Carmo possui 134 km de extensão, desde sua nascente, no município de Ouro Preto – MG, até sua confluência com rio Piranga, a partir de onde inicia-se a toponímia rio Doce (IGAM, 2010).

O clima da bacia do rio do Carmo sofre influências da altitude e da incidência de massas polares (NÍMER, 1989), sobretudo no alto curso da bacia. Em razão dessas características, sua maior porção pode ser enquadrada no domínio climático sub-quente e suas cabeceiras no clima mesotérmico brando (NÍMER, 1989). Com relação à pluviometria, atuam na área diversos mecanismos atmosféricos que interferem na distribuição da precipitação, caracterizando o regime como semi-úmido, apresentando uma estação seca, de abril a setembro, e outra úmida, de outubro a março (CUPPOLLILO, 2008).

No tocante a geologia da bacia do Carmo, ocorrem, em maior medida, rochas formadas no Proterozóico, à exemplo do Grupo Dom Silvério, do Grupo Piracababa, do Grupo Itabira e do Complexo Acaiaca. Ocorrem, também, rochas mais antigas, originadas no Arqueano, são as rochas do Grupo Nova Lima e Complexo Córrego Taioba (MENDES, 2018). De um modo geral, configuram litotipos cristalinos, ígneos a metamórficos, com grande variedade associada a longa e complexa evolução geomorfológica do Brasil-Oriental e do complexo do Espinhaço e Quadrilátero Ferrífero.

Com relação aos tipos de solos encontrados na bacia, os LATOSSOLOS Vermelho-Amarelos correspondem ao principal grupo (MENDES, 2018), e se caracterizam por serem solos com uniformidade de cor, textura e estrutura em profundidade, apresentando drenagem acentuada, e geralmente ocorrem onde o relevo é plano, suave ondulado e ondulado (ALMEIDA et al., 2017).

LATOSSOLOS Vermelhos podem ser encontrados na parte central da bacia (MENDES, 2018) e tratam-se de solos minerais, muito intemperizados e com baixa reserva de nutrientes para nutrição mineral de plantas (CONSORCIO ECOPLAN-LUME, 2017).

Abrangendo a região das cabeceiras da bacia, estão os CAMBISSOLOS, caracterizados por serem solos pouco profundos, bem drenados, ocorrendo em regiões de relevos ondulados e montanhosos (ZARONI e SANTOS, 2017). Por fim, com menor representatividade na bacia, estão os ARGISSOLOS (MENDES, 2018), ocorrendo onde os relevos são mais dissecados (ZARONI e SANTOS, 2017; CONSORCIO ECOPLAN-LUME, 2007).

Acompanhando os grandes processos geotectônicos de formação da Plataforma Sul-Americana, duas Unidades Geomorfológicas destacam-se na área: as Serras do Quadrilátero Ferrífero e os Planaltos Dissecados do Sul e Sudeste de Minas (IBGE, 2006).

A região da barragem de Fundão se insere na porção leste do Quadrilátero Ferrífero, possuindo como embasamento estrutural as rochas do Supergrupo Rio das Velhas cuja origem é vulcânica e sedimentar, e por rochas do Supergrupo Minas de origem sedimentar (VERVLOET, 2016). O Quadrilátero Ferrífero caracteriza-se pela presença de forte controle estrutural na morfologia, apresentando relevos tipo sínclinais suspensos e anticlinais esvaziados (SOUZA et al., 2005). E na formação e modelagem do relevo dessa unidade houve a atuação de fortes processos erosivos e, também, de movimentos tectônicos (BARBOSA, 2004).

A partir da porção média do rio Gualaxo do Norte está inserida a unidade dos Planaltos Dissecados do Centro-Sul e leste de Minas (MENDES, 2018). Suas formações tiveram origem com base na dissecação fluvial sobre rochas granito-gnaissicas, em sua maioria. São característicos dessa unidade as colinas e cristas com vales encaixados e vales de fundo chato (COSTA, 2001).

Conforme Saadi e Campos (2015, p. 82) os relevos da área consistem em “morrarias e colinas organizadas em densos agrupamentos em torno de vales estreitos e vertentes declivosas”. Os canais de drenagem apresentam trechos de corredeiras com pouca ocorrência de planícies e terraços (SAADI e CAMPOS, 2015). Em relação aos cursos d’água presentes na área de estudo, Ávila et al. (2017) afirmam que esses possuem leito misto rochoso-aluvial com segmentos de corredeiras e planícies aluviais pouco extensas, muitas das vezes entrecortadas por rápidos em pequenas rupturas de declive.

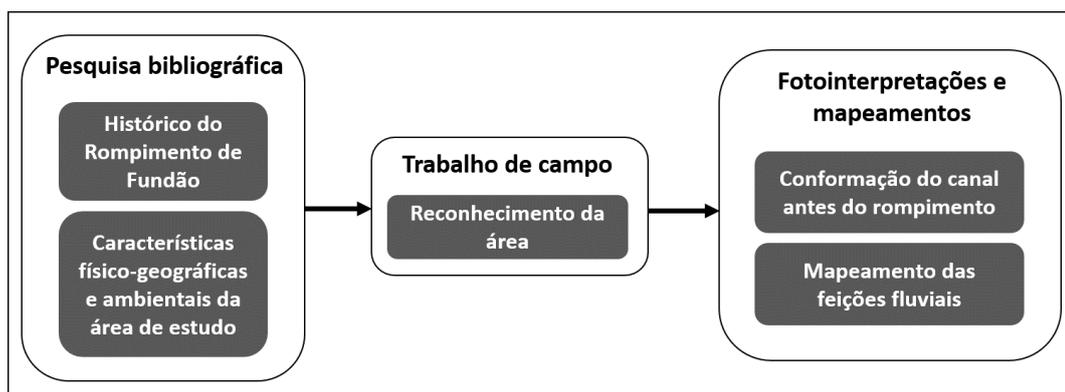
METODOLOGIA

Para a realização da pesquisa, inicialmente foram feitas consultas bibliográficas em periódicos, livros e internet, intencionando conhecer melhor como ocorreu o rompimento da barragem de Fundão, suas causas e as características físico-geográficas e ambientais da área de estudo.

Em um segundo momento, para que se pudesse fazer um reconhecimento das transformações ocorridas em parte da área de estudo após o rompimento, realizou-se um trabalho de campo nos dias 5 e 6 de novembro de 2016, onde foram visualizadas *in loco* parte das alterações na geomorfologia da região.

Posteriormente foram realizadas as fotointerpretações e mapeamentos, utilizando o software Google Earth Pro. Através das imagens disponibilizadas do Digital Globe dos dias 31 de maio e 10 de agosto de 2014 e utilizando a ferramenta adicionar polígono, foi mapeado, em toda a extensão da área de estudo, a conformação do canal antes do rompimento e as seguintes feições do sistema fluvial: meandros abandonados, lagoas de natureza indefinida, barras fluviais, ilhas e os afloramentos rochosos. Por fim, utilizando-se de imagens recentes (pós-rompimento), foi realizada a vetorização manual dos depósitos de rejeitos ao longo dos vales fluviais. As bases cartográficas produzidas foram sobrepostas para interpretações acerca do recobrimento das morfologias mapeadas. O organograma mostrado na Figura 2 sintetiza a metodologia do trabalho.

Figura 2 – Organograma da metodologia.



Fonte – elaborado pelos autores.

Conforme Christofolletti (1980, p. 90), meandros abandonados “são estruturas que não mais possuem ligação direta com o curso d’água atual, resultantes da evolução dos meandros que cortam o pedunculo através do solapamento basal na margem côncava. Quando isolados, formam lagoas ou pântanos, e são numerosos nas planícies aluviais”. Nos croquis mostrados nos resultados, essas feições estão delimitadas com a cor vermelha.

As lagoas marginais são mais abundantes em regiões de planícies mais amplas. Essas feições podem ser formadas por processos naturais ou serem formadas a partir da influência do ser humano, tornando-se feições tecnogênicas. Nos croquis as lagoas naturais e de origem antropogênica estão demarcadas por azul claro.

Conforme Stevaux e Latrubesse (2017, p.145), “as barras arenosas constituem formas deposicionais de material do fundo do canal (areia) que emergem a superfície da água ou que se encontram parcialmente submersas”. Essas feições encontram-se representadas pela cor amarela.

As ilhas fluviais da área de estudo se constituem em barras emersas onde houve desenvolvimento de cobertura vegetal e afloramentos rochosos ou mantos de intemperismo, em alguns casos, com vegetação estabilizada. Nos croquis as ilhas encontram-se delimitadas pela cor verde.

Por fim, foram confeccionados croquis comparativos entre as imagens anteriores e posteriores ao rompimento de algumas localizações mais representativas do segmento estudado, e realizadas as apropriadas análises com foco nas modificações sofridas pelas feições fluviais, além da conformação dos depósitos de rejeitos nas planícies aluviais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As planícies de inundação são registros morfossedimentares do regime fluvial ao longo do tempo. Por conceito, são feições deposicionais, porém, internamente, subcompartimentos possuem comportamentos distintos, produzindo formas multiescalares associadas aos processos fluviais (LEOPOLD *et al.*, 1964). Sua morfologia está diretamente associada ao clima regional e ao controle tectono-estrutural sofrido pelos cursos d’água, e suas feições internas retratam a dinâmica evolutiva dos fundos de vale (CHARLTON, 2008). Por esse motivo, as tradicionais classificações/tipologias dos canais fluviais, como a proposta de Rosgen (1994) ou a de Brierley e Fryirs (2013), tem a planície como elemento chave.

Considerando terrenos com relativa estabilidade tectônica e baixo grau de controle estrutural, as planícies fluviais de rios de climas úmidos tendem a ser bastante desenvolvidas (largas), com cinturões ativos de meandros e distintos ambientes deposicionais. Por esse motivo, a partir do médio curso, rios com essas características ampliam sua sinuosidade a partir da formação de meandros. Nesse contexto, as feições de fundo de vale mais comumente encontradas são os meandros abandonados, barras laterais e diques marginais (CHRISTOFOLETTI, 1981; STEVAUX e LATRUBESSE, 2017).

O rio do Carmo, após descer das rochas metassedimentares que sustentam o Quadrilátero Ferrífero, ganha características meandranter. O controle estrutural ainda é nítido em alguns trechos, com o estreitamento de sua planície e algumas inflexões de direção. Porém, predomina um vale aberto, com planície assimétrica, cortado por um canal de média sinuosidade. A área de estudo corresponde ao corredor hídrico formado pelos vales do córrego Fundão, córrego Santarém, rio Gualaxo do Norte e rio do Carmo, totalizando uma extensão de 104,5km. Nesse trecho, os rejeitos foram depositados em uma área de mais de 17km².

O mapeamento realizado encontrou como morfologias mais corriqueiras ilhas, lagoas marginais (muitas com origem na evolução dos meandros) e barras (predominantemente laterais, mas com ocorrência de outras geometrias), mas também foram identificados paleocanais, meandros abandonados e afloramentos rochosos (Tabela 1).

Tabela 1 – Número de feições fluviais identificadas no fundo de vale afetado.

Feições	Freq.
Ilhas	120
Lagoas	105
Barras	79
Afloramentos rochosos	63
Meandros abandonados	8
Paleocanais	4

Fonte – Os autores (fotointerpretação de imagens Google Earth anteriores ao desastre).

Tais categorias seguiram a proposta de Christofolletti (1981), uma vez que há uma grande diversidade de termos relacionados às formas de relevo geradas por rios, como indicam Wheaton *et al.* (2015). A realidade das formas verificada no fundo de vale do rio do Carmo não é distinta daquelas já mapeadas em outros trabalhos para rios de características análogas (MORAIS *et al.*, 1995; SILVA *et al.*, 2013; LUZ e RODRIGUES, 2013).

Meandros abandonados são corriqueiros no vale do rio do Carmo, muitas vezes associados a lagoas marginais (naturais, antropogênicas ou de origem indefinida). Ocorrem sobretudo em trechos onde a planície é mais larga. Por se tratarem de formas de geometria côncava, as que estavam localizadas próximas ao canal fluvial foram total ou parcialmente preenchidas e recobertas pelos rejeitos (ÁVILA *et al.*, 2007). Aquelas que ainda apresentam água, são identificadas nas imagens pela coloração marrom, característica do material em suspensão oriundo de Fundão, evidenciando que a cheia provocada pela onda de rejeitos as atingiu.

Com relação às feições tecnogênicas, as barragens de rejeito de minério localizadas nos córregos Fundão e Santarém, alto curso da bacia do rio do Carmo, eram as principais e mais extensas. As demais se constituem em lagoas artificiais para criação de peixes, lazer ou dessedentação do gado. Assim como as lagoas naturais, as lagoas artificiais que se encontravam mais próximas ao canal fluvial foram afetadas (MENDES, 2018). Existiam, também, lagoas formadas a partir da extração de “ouro de aluvião”, localizadas a cerca de 14km de Bento Rodrigues. Essas últimas, em razão da proximidade com a barragem foram assoreadas devido a intensidade do fluxo de rejeitos nesse segmento (ÁVILA et al., 2017; MENDES, 2018).

As barras arenosas podem ser encontradas ao longo de todo segmento estudado e são mais abundantes próximo a trechos de confluência, uma vez que a velocidade do fluxo diminui e há uma reordenação dos fluxos existentes no interior dos canais, tornando-as zonas caracteristicamente deposicionais (CHARLTON, 2008), portanto, propensas a formação de barras. Todas as barras identificadas e demarcadas encontram-se, após o rompimento, recobertas por uma fina camada de rejeitos, contudo, as barras que estavam mais próximas a barragem rompida foram totalmente descaracterizadas, tendo sido inclusive verificada a remobilização (via erosão) completa de algumas dessas feições (ÁVILA et al., 2017; MENDES, 2018).

Assim como as barras, as ilhas (formadas a partir de afloramentos rochosos ou pela estabilização de barras emersas) podem ser encontradas por toda extensão dos canais. As ilhas situadas a montante da confluência dos rios Gualaxo do Norte e Carmo encontram-se recobertas por rejeito, tendo, a maior parte delas, a vegetação removida e/ou soterrada. Algumas ilhas que se encontram a jusante da confluência também perderam toda a vegetação, enquanto outras perderam apenas parte da cobertura florestal.

Com o objetivo de exibir mais detalhadamente as transformações ocorridas, são apresentados alguns recortes de trechos representativos da área de estudo e suas interpretações. A Figura 3 evidencia a distribuição espacial desses recortes.

Figura 3 – Mapa da distribuição espacial dos recortes.

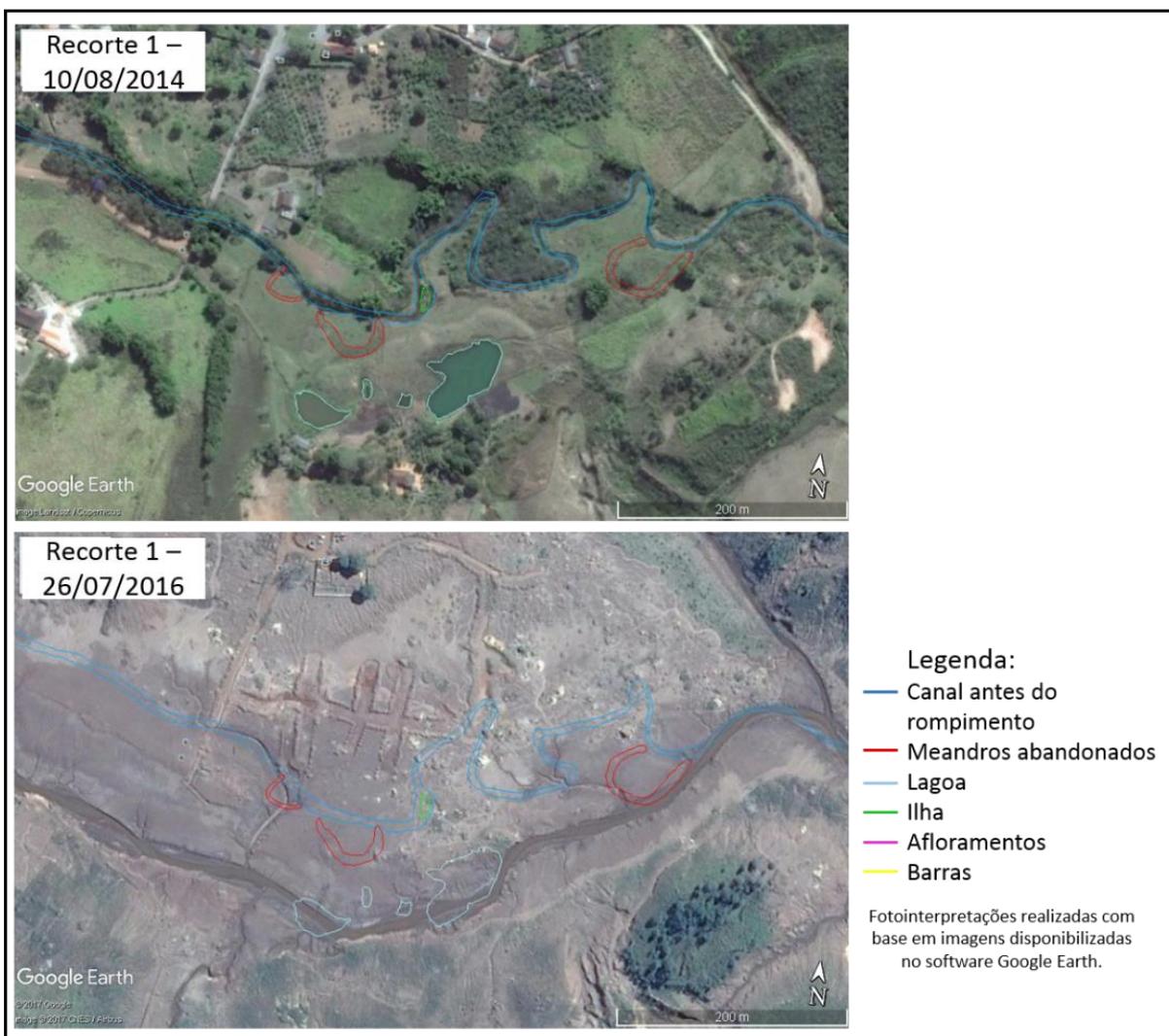


Fonte – Elaborado pelos autores.

A espacialização dos afloramentos rochos se assemelha à das barras e ilhas, sendo mais abundantes em alguns segmentos onde o vale apresenta-se mais estreito (confinado). Todas essas feições mostram-se recobertas por camadas de rejeito após o rompimento. Visivelmente, quanto mais se distancia da barragem rompida, menos espessos são esses depósitos (MENDES, 2018).

O recorte 1 (Figura 4) mostra o trecho do córrego Santarém, no local aonde existia a comunidade de Bento Rodrigues, primeira localidade a receber a onda de rejeitos e que foi mais severamente afetada. Os rejeitos recobriram totalmente a área transformando intensamente a planície e descaracterizando todas as feições do sistema fluvial. As lagoas, os meandros abandonados, as ilhas foram soterradas e desapareceram da paisagem. O canal fluvial sofreu avulsão, devido à obstrução completa do leito do canal pelos rejeitos, fazendo com que as águas se espalhassem e traçassem um novo leito. Registra-se o deslocamento do canal em mais de 100m para margem direita em diversos trechos, com perda de sinuosidade significativa. O talvegue original do córrego Santarém foi completamente assoreado, e suas águas agora procuram outros caminhos para drenarem, e isso ocorre por onde se encontravam as lagoas que foram soterradas.

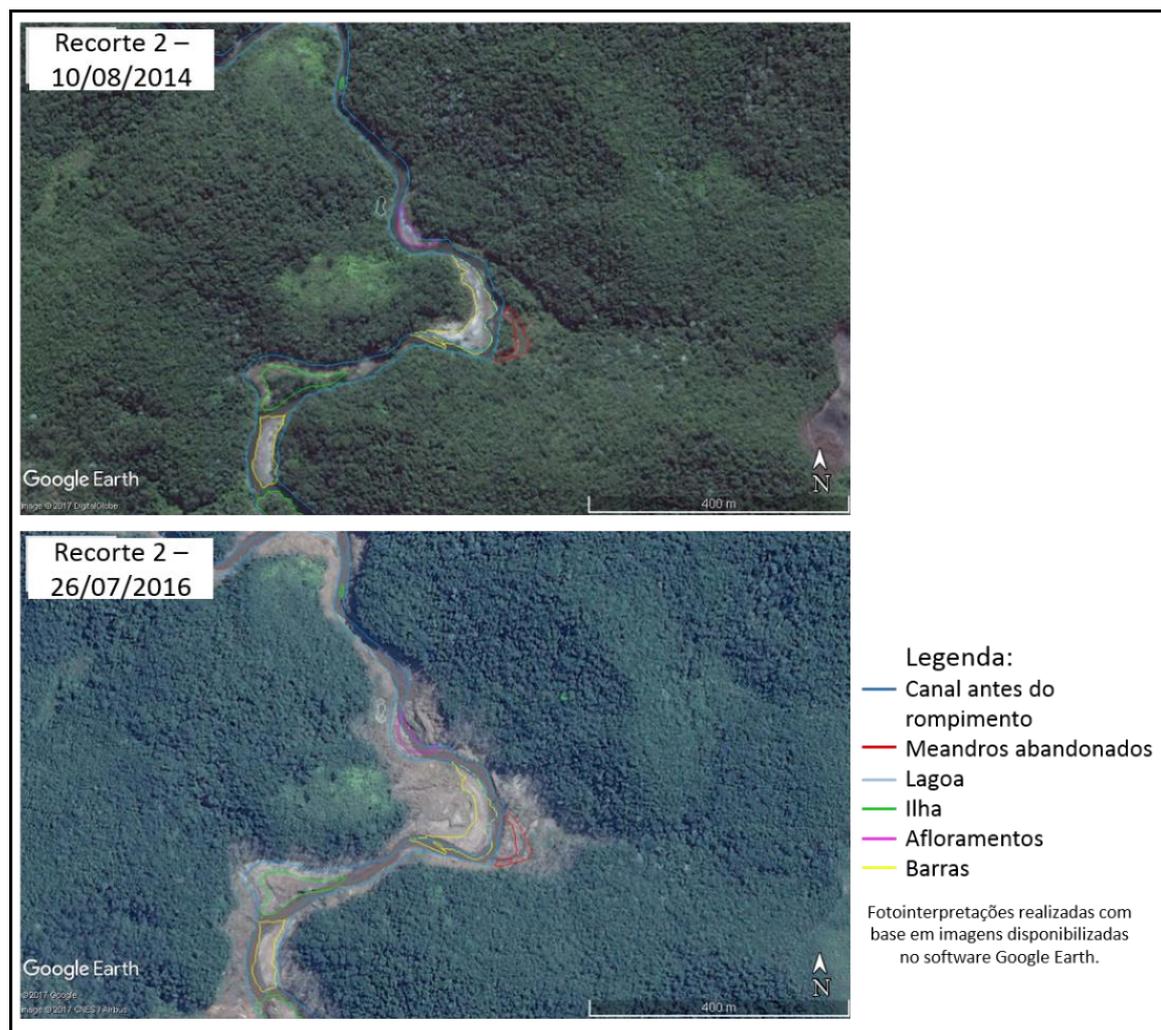
Figura 4 – Recorte 1.



Fonte – elaborado a partir do software Google Earth.

O recorte 2 (Figura 5), poucos quilômetros a jusante de Bento Rodrigues, ilustra um trecho de planície estreita, onde o vale é confinado, mas ainda com padrão meandrante e suas feições corriqueiras. Também mostra feições que foram descaracterizadas, como o lago e o meandro abandonado, além das significativas mudanças nas barras, ilha e afloramentos que agora encontram-se recobertos pelo material oriundo de Fundão. O fato dos vales serem mais estreitos nessa região, fez com que os rejeitos não se espalhassem lateralmente por grandes extensões (MENDES, 2018).

Figura 5 – Recorte 2.



Fonte – elaborado a partir do software Google Earth.

No recorte 3 (Figura 6), a área apresentada possui planície fluvial mais ampla, o que possibilitou maior espraiamento dos rejeitos. Nessa área ocorria a extração de ouro de origem aluvial, com a existência de uma série de lagoas artificiais que se formaram em virtude dessa exploração. Como pode ser visto, a maioria dessas lagoas foi assoreada pelos rejeitos; e as que não foram completamente assoreadas também foram atingidas pela cheia provocada pelo rompimento de Fundão, uma vez que suas águas estão com elevada turbidez. As barras fluviais neste trecho ocorriam de modo mais contundente, como consequência do revolvimento da calha e das margens para extração mineral. De um modo geral, essas feições foram recobertas ou erodidas, desaparecendo da paisagem.

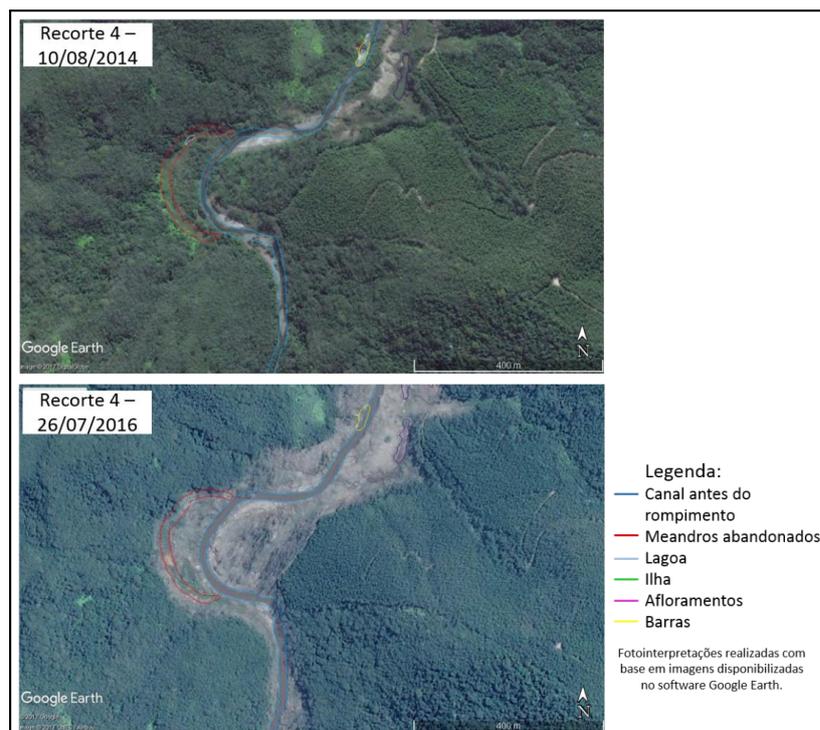
Figura 6 – Recorte 3.



Fonte – elaborado a partir do software Google Earth.

O recorte 4 (Figura 7), trata-se de um segmento meândrico do rio Gualaxo do Norte, que apresenta densa cobertura florestal (além de silvicultura a leste). Por se tratar de uma porção sinuosa do canal, a velocidade fluxo de rejeitos foi diminuída proporcionando maior espriamento do material o que provocou a remoção e/ou soterramento da vegetação e feições fluviais, como um grande e bem demarcado meandro abandonado.

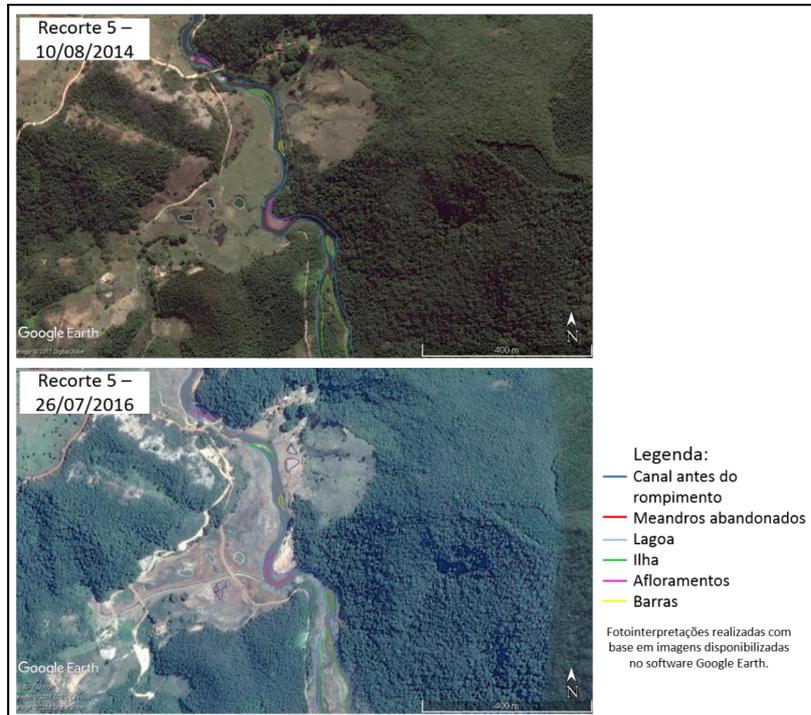
Figura 7 – Recorte 4.



Fonte – elaborado a partir do software Google Earth.

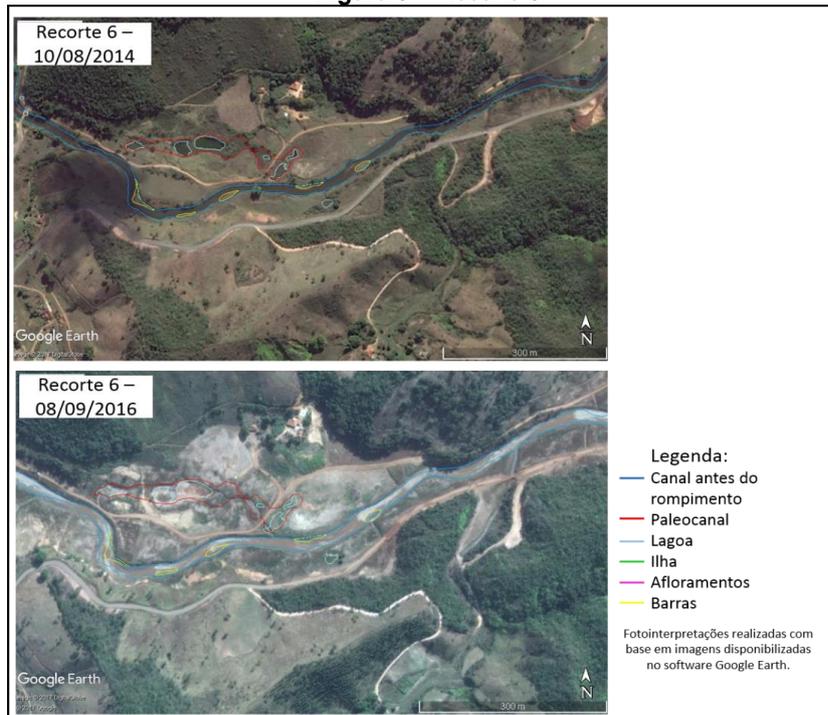
Área de planícies mais extensas para os padrões da bacia, são mostradas nos recortes 5 (Figura 8) e 6 (Figura 9). Tratam-se de áreas de pastagens, onde podem ser observadas a ocorrência de lagoas, afloramentos rochosos, barras fluviais, ilhas e, ainda, um paleocanal (recorte 6) com alguns segmentos em contato com o lençol nível freático, formando lagoas. Nestes recortes houve grande espraiamento dos rejeitos, causando o assoreamento das lagoas e recobrimento das barras, ilhas e afloramentos. Cabe ressaltar que o rejeito quase atingiu as sedes de propriedades rurais existentes nos locais dos recortes (MENDES, 2018).

Figura 8 – Recorte 5.



Fonte – elaborado a partir do software Google Earth.

Figura 9 – Recorte 6.



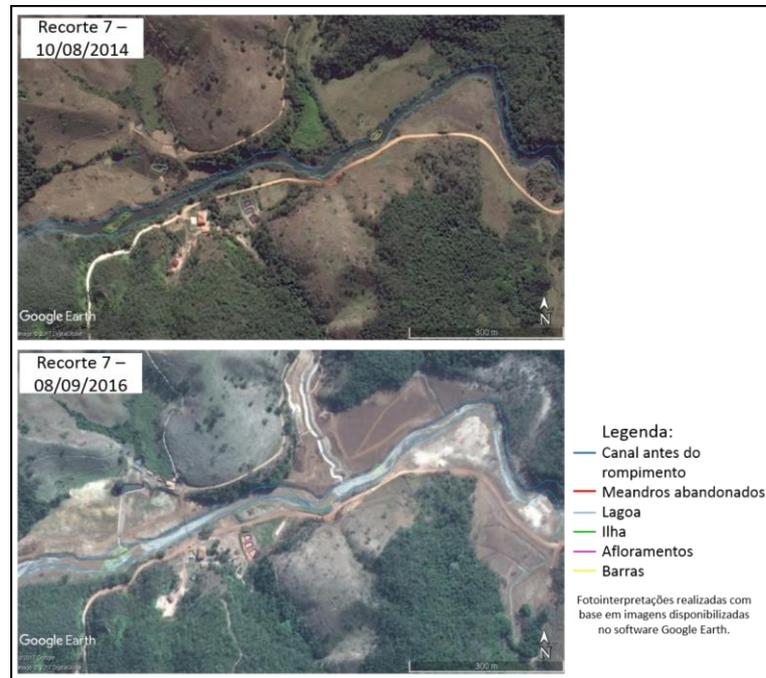
Fonte – elaborado a partir do software Google Earth.

Assim como os recortes 5 e 6, o recorte 7 (Figura 10) também mostra uma área de planícies mais largas, utilizadas como pastagens. Esse recorte mostra um afluente do rio Gualaxo do Norte, que em

Caminhos de Geografia Uberlândia - MG v. 20, n. 69 Mar/2019 p. 237-252 Página 247

função da onda de rejeitos, sofreu refluxo, tendo toda a vegetação da margem removida. Mesmo a uma maior distância da barragem de Fundão, esse trecho ainda sofreu expressivo depósito do rejeito, com registros de recobrimento a aproximadamente de 150 metros da margem do canal ativo.

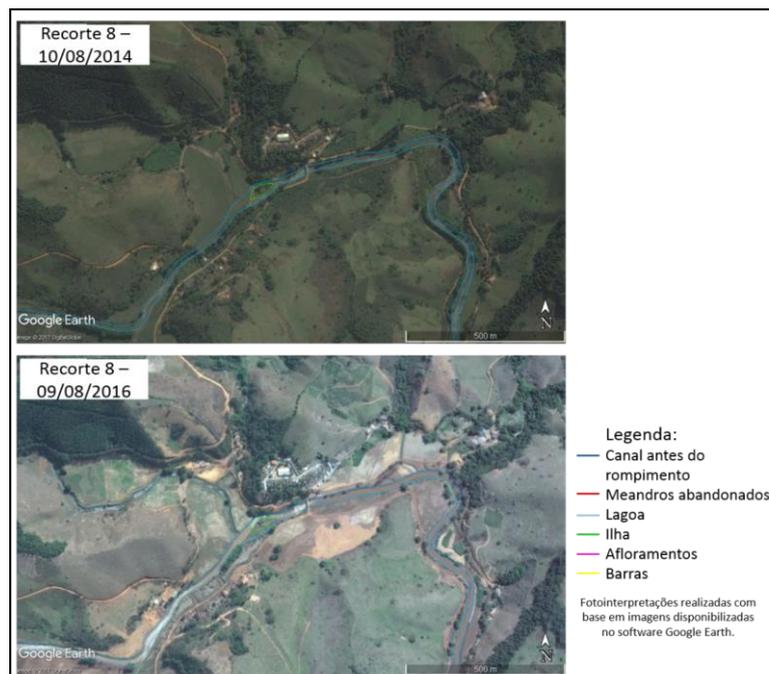
Figura 10 – Recorte 7.



Fonte – elaborado a partir do software Google Earth.

A área mostrada pelo recorte 8 (Figura 11) engloba a localidade de Gesteira, pequeno distrito de Barra Longa-MG. Essa região foi severamente impactada pelo rompimento de Fundão, com recobrimentos de pastagens e perda de bens materiais dos moradores do local, que são, principalmente, pequenos produtores rurais. Nesse local, similarmente ao recorte 7, existe um pequeno afluente que sofreu refluxo de rejeitos por mais de 150 metros, o que colaborou para o maior espreadimento do material na extensão do recorte.

Figura 11 – Recorte 8.

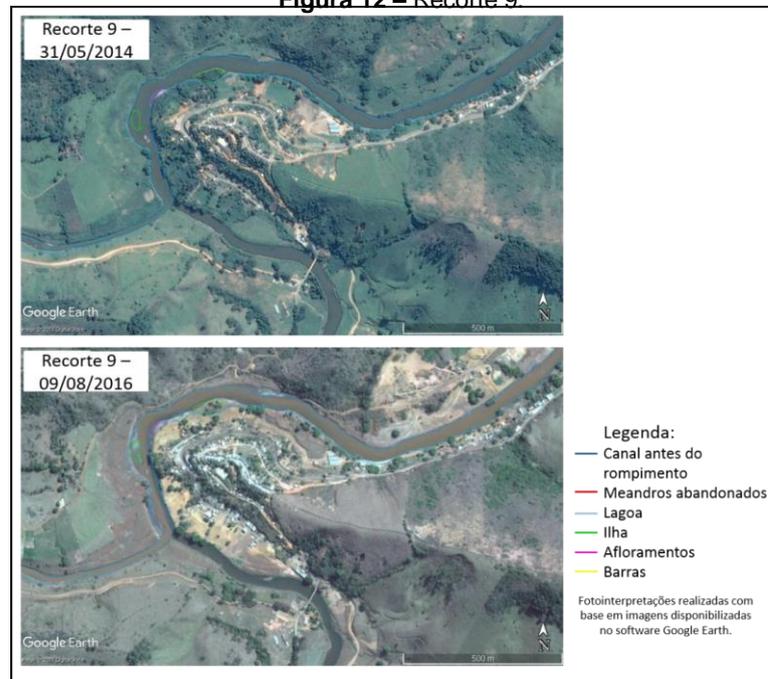


Fonte – elaborado a partir do software Google Earth.

Na área apresentada pelo recorte 9 (Figura 12) pode ser vista a confluência dos rios Gualaxo do Norte e Carmo, próximo ao perímetro urbano de Barra Longa. Nessa confluência o rio do Carmo, mesmo tendo um volume de água maior que os pequenos córregos que desaguavam no rio Gualaxo do Norte, também sofreu refluxo, o que favoreceu a ampla deposição de rejeitos nas planícies coalescentes de ambos os cursos d'água.

Com maior controle estrutural do canal nessa zona, não há formação de significativas feições fluviais. Extensas áreas de pastagens foram afetadas, houve remoção de vegetação, além dos danos no espaço urbano do município que foi fortemente impactado.

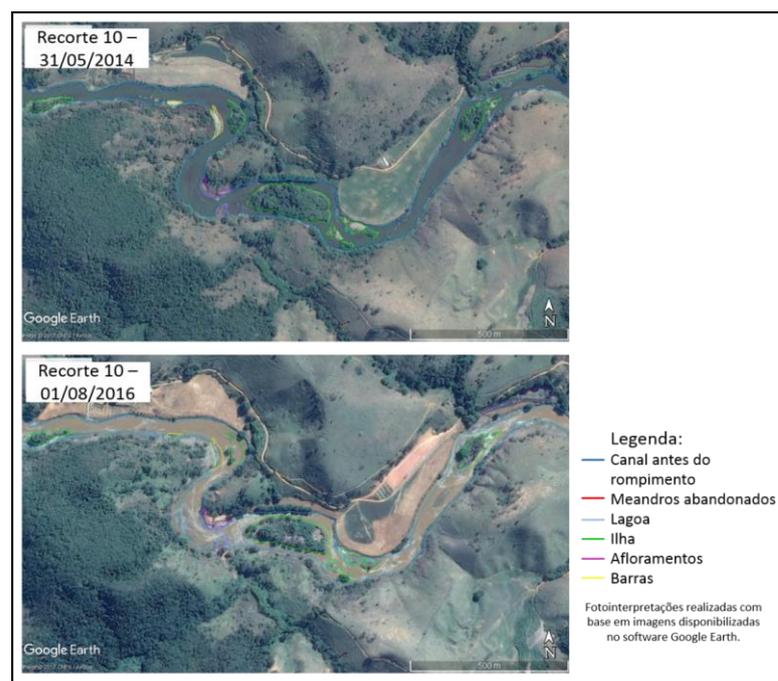
Figura 12 – Recorte 9



Fonte – elaborado a partir do software Google Earth.

O recorte 10 (Figura 13) mostra um segmento meândrico do rio do Carmo, próximo a confluência deste com rio Piranga (nível de base regional). Neste trecho há variadas feições fluviais, como ilhas, barras e afloramentos rochosos. As áreas mais planas adjacentes ao canal, bem como as feições fluviais, foram recobertas por rejeitos. As ilhas tiveram, ainda, a vegetação removida e/ou soterrada pelo material.

Figura 13 – Recorte 10.



Fonte – elaborado a partir do software Google Earth.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O rompimento da barragem de Fundão provocou intensas mudanças geomorfológicas e ambientais em toda bacia hidrográfica do rio Doce, sendo mais intensas no trecho abrangido pelo vale do rio do Carmo. Nesse trabalho foi avaliada qualitativamente parte dessas mudanças e suas consequências, todavia, as transformações provocadas por esse desastre ainda irão refletir por muitos anos em toda a extensão afetada.

As fotointerpretações para a identificação e vetorização das feições antes do rompimento e as posteriores comparações com a configuração da área após o rompimento mostraram as intensas alterações na morfologia e na morfodinâmica do fundo de vale dos canais estudados. O acúmulo de rejeitos nas planícies foi intenso, e a maior parte das feições mapeadas (lagoas, meandros abandonados, barras fluviais, ilhas, afloramentos rochosos e feições tecnogênicas) foi recoberta ou atingida parcialmente pelos rejeitos. Apenas as feições que se encontravam mais distantes do canal fluvial, ou em uma parte mais elevada do relevo não foram atingidas.

Nas confluências, áreas deposicionais por natureza, pôde-se constatar que o rejeito se espalhou lateralmente pelas margens, e a intensidade do fluxo provocado pelo rompimento causou refluxo nos canais afluentes e também no próprio rio do Carmo (canal principal da bacia).

Evidentemente, há um controle longitudinal na intensidade das alterações, já que os trechos mais próximos à barragem de Fundão tiveram mudanças mais drásticas. Por outro lado, não se pode negar a importância de níveis de base locais e supra-locais, que promoveram o controle da deposição.

Por fim, destaca-se a necessidade de estudos que busquem compreender a nova dinâmica hidrológica e geomorfológica que está se estabelecendo nos canais fluviais atingidos pelo rompimento de Fundão. Mesmo com o passar do tempo, os registros geomorfológicos vão se manter, abrindo frente para investigações quantitativas e verticalizadas que colaborarão, ainda mais, para a compreensão do fenômeno. Ademais, em uma perspectiva demasiadamente otimista, pode-se, inclusive, vislumbrar projetos e ações de recuperação ambiental a partir de evidências científicas vindas da geomorfologia, aliadas a interesses político-econômicos responsáveis.

BIBLIOGRAFIA

ALMEIDA, E. P. C.; SANTOS, H. G.; ZARONI, M. J. Ageitec – Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Latossolos Vermelho-Amarelos. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000g05ip3qr02wx5ok0q43a0r3t5vjo4.html#>. Acesso em: 27 de dezembro de 2017.

ÁVILA, B.T.; MENDES, L. C. FELIPPE, M. F.; SILVA, M. B. Transformações na morfologia fluvial decorrentes do rompimento da Barragem de Fundão: estudos preliminares. In: PEREZ FILHO, A.; AMORIN, R. R. (org). Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento. Ebook do XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada e I Congresso Nacional de Geografia Física. Campinas: Instituto de Geociências – UNICAMP, 2017.

BARBOSA, S. E. S. **Análise de dados hidrológicos e regionalização de vazões da bacia do rio do Carmo**. 2004. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto. Núcleo de Pesquisa em Recursos Hídricos – Pró-Água. Programa de pós-graduação em Engenharia Ambiental.

BRIERLEY, G. J.; FRYIRS, K. A. **Geomorphology and river management: applications of the river styles framework**. John Wiley & Sons, 2013.

CH2M. **Plano de manejo de rejeito**. Preparado para Fundação Renova. 20 de abril de 2017.

CHARLTON, R. **Fundamentals of fluvial geomorphology**. New York: Routledge, 2008.
<https://doi.org/10.4324/9780203371084>

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: E. Blücher, 1981.

CUPOLILLO, F.; ABREU, M. L.; VIANELLO, R. L. Climatologia da bacia do rio Doce e sua relação com a topografia local. **Geografias**, Belo Horizonte, v.4, n.1, p.45-60, jul-dez.2008.

DAVIES, M.; MARTIM, T. Mining Market Cycles and Tailings Dam Incidents. In: **13th International Conference on Tailings and Mine Waste, Banff**. 2009. Disponível em: <http://www.infomine.com/publications/docs/Davies2009.pdf>.

FELIPPE, M. F.; COSTA, A.; FRANCO, R.; MATOS, R. A Tragédia do Rio Doce: A Lama, O Povo e a Água. Relatório de Campo e Interpretações Preliminares Sobre as Consequências do Rompimento da Barragem de Rejeitos de Fundão (Samarco/Vale/BHP). **Geografias**, Belo Horizonte, edição Especial Vale do Rio Doce, p. 63-94, 2016.

GEMG - Governo do Estado de Minas Gerais. **Relatório: Avaliação dos efeitos e desdobramentos do rompimento da Barragem de Fundão em Mariana-MG**. Belo Horizonte, fevereiro de 2016.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis; DIPRO - Diretoria de Proteção Ambiental. **Avaliação de Impacto Ambiental: agentes sociais, procedimentos e ferramentas**. Brasília, DF, 1995.

IBGE. **Mapa de Unidades de Relevo do Brasil**, escala 1: 5.000. 000. Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 2ª Edição, 2006.

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos Piranga: PARH Piranga**. Belo Horizonte – MG, maio, 2010.

KOHLER, Heinz Charles. A escala na análise geomorfológica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 3, n. 1, 2002. <https://doi.org/10.20502/rbg.v3i1.12>

LEOPOLD, L. B.; WOLMAN, M. G.; MILLER, J. P. **Fluvial processes in geomorphology**. San Francisco: Freedman, 1964, 319 p.

LUZ, R. A.; RODRIGUES, C. Reconstituição geomorfológica de planícies fluviais urbanizadas: o caso do rio Pinheiros, São Paulo-SP. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 1, 2013. <https://doi.org/10.20502/rbg.v14i1.354>

MENDES, L. C. **Alterações geomorfológicas e danos aos produtores rurais atingidos pelo rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio do Carmo**. 2018. 135 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Juiz de Fora. Departamento de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geografia.

MORAIS, R. P.; OLIVEIRA, L. G.; LATRUBESSE, E. M.; PINHEIRO, R. C. D. Morfometria de sistemas lacustres da planície aluvial do médio rio Araguaia. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, Maringá, v. 27, n. 3, p. 203-213, jul. / set. 2005. <https://doi.org/10.4025/actasciobiolsci.v27i3.1278>

NÍMER, E. **Climatologia do Brasil**. IBGE: Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989. Rio de Janeiro. 2ed. 421p.

PELOGGIA, A. U. G.; OLIVEIRA, A. M. S. Tecnógeno: um novo campo de estudos das geociências. **I Encontro de Tecnólogos**. ABEQUA, 2005. Disponível em: http://www.abequa.org.br/mostra_sessao.php?pageNum_editoria=2&sessao=27>. Acesso em: 22 de julho de 2016.

PEREZ FILHO, Archimedes; QUARESMA, Cristiano Capellani. Ação antrópica sobre as escalas temporais dos fenômenos geomorfológicos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 12, número especial, 2012. <https://doi.org/10.20502/rbg.v12i0.261>

ROCHA, P. C. Sistemas rio-planície de inundação: geomorfologia e conectividade hidrodinâmica. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 1, n. 33, p. 50-67, 2011.

ROSGEN, D. L. A. Classification of natural rivers. **Catena**, v. 22, n. 3, p. 169-199, 1994. SAADI, A.; CAMPOS, J. C. F. Geomorfologia do caminho da lama: contexto e consequências da ruptura da Barragem do Fundão (novembro 2015, Mariana–MG) In. **Arquivos do Museu de História Natural e Jardim Botânico** - UFMG Belo Horizonte. v. 24, n.1, p. 63-103, 2015. [https://doi.org/10.1016/0341-8162\(94\)90001-9](https://doi.org/10.1016/0341-8162(94)90001-9)

SILVA, E. S. C.; SOUZA, C. A.; SANTOS, L. G. R.; DA SILVA ANDRADE, L. N. P.; GALBIATI, C. Evolução das feições morfológicas do rio Paraguai no Pantanal de Cáceres-Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 4, 2013. <https://doi.org/10.20502/rbg.v13i4.299>

SOUZA L.A.; SOBREIRA F.G.; PRADO-FILHO J.F. 2005. Cartografia e diagnóstico geoambiental aplicados ao ordenamento territorial do município de Mariana-MG. **Revista Brasileira de Cartografia**, 57(3): 189-204.

STEVAUX, J. S.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo. Oficina de Textos, 2017.

VERVLOET. R. J. H. M. A geomorfologia da região de rompimento da barragem da Samarco: a originalidade da paisagem a paisagem da mineração In: MILANEZ, B.; LOSEKANN, C. **Desastre no Vale do Rio Doce: antecedentes, impactos e ações sobre a destruição**. Rio de Janeiro: Folio Digital: Letra e Imagem, 2016.

WHEATON, J.; FRYIRS, K. A.; BRIERLEY, G.; BANGEN, S. G.; BOUWES, N.; O'BRIEN, G M. Geomorphic mapping and taxonomy of fluvial landforms. **Geomorphology**, v. 248, p. 273-295, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.07.010>

ZARONI, M. J.; SANTOS, H. G. Ageitec – Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Argissolos. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_7_2212200611538.html#>. Acesso em: 27 de dezembro de 2017.

ZARONI, M. J.; SANTOS, H. G. Ageitec – Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Cambissolos. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_8_2212200611538.html> Acesso em: 27 de dezembro de 2017.

Recebido em: 16/02/2018

Aceito para publicação em: 02/09/2018