

# Conexões geo-históricas e contemporâneas entre ocupação territorial, degradação ambiental e rarefação hídrica na Bacia do Rio Doce

Prof. Dr. Miguel Fernandes Felipe  
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Antônio Pereira Magalhães Junior  
Universidade Federal de Minas Gerais

Lais Carneiro Mendes  
Mestranda/PPGEO-UFJF

Guilherme Eduardo Macedo Cota  
Graduando em Geografia/UFMG

Prof. Dr. Patrício Silva Carneiro  
Departamento de Ensino da Aeronáutica/EPICAR

Prof. Dr. Bernardo Machado Gontijo  
Universidade Federal de Minas Gerais

## Resumo

Uma das principais regiões hidrográficas do Brasil, a bacia do Rio Doce configura-se como um mosaico de paisagens complexo, herança de processos geo-históricos de ocupação e exploração econômica e ambiental. Se por um lado, sua porção leste reflete de modo mais evidente as mazelas do histórico processo de desmatamento, o oeste da bacia vive o constante risco inerente às atividades minerárias. Como síntese, a degradação ambiental e a rarefação hídrica da bacia do Rio Doce emergem como preocupações latentes. Nesse sentido, esse artigo discute as relações entre os processos de ocupação territorial, degradação ambiental e rarefação dos recursos hídricos na bacia do rio Doce, a partir de uma contextualização geo-histórica e de reflexões sobre o quadro atual. Os principais vetores de pressão e os impactos humanos que se consolidaram na bacia são elucidados, afim de que se pense em estratégias para uma gestão territorial socialmente justa e ambientalmente segura.

**Palavras-chave:** Rio Doce; Crise hídrica; Ecogeografia; Geo-história.

## Abstract:

*One of the most important Brazilian hydrographic region, the Doce river watershed is a complex mosaic of landscapes, heritage of geo-historic processes of economic and environmental exploration. The east side of the watershed shows clearly the scars of the historical deforestation. In the other hand, the west is under the constant risk of mining activities. In synthesis, the Doce river watershed presents a scenario of environmental degradation and hydric rarefaction. Thus, this paper discuss the relationships between territorial occupation, environmental degradation and the hydric crisis in the Doce river watershed, through a geo-historical and a contemporary context. The main vectors of pressure and the human impacts in the watershed are elucidated to contribute with strategies of a territorial management that are socially just and environmentally safe.*

**Key-Words:** Doce River; Hydric crisis; Ecogeography; Geo-history.

miguel.felippe@ufjf.edu.br  
magalhaesufmg@yahoo.com.br  
lais.mendes15@hotmail.com  
guilhermehmg@hotmail.com  
patriciocarneiro@yahoo.com.br  
gontijob@geo.igc.ufmg.br

## Introdução

O processo histórico de ocupação do território brasileiro sempre esteve intrinsecamente associado à distribuição espacial das águas. A maioria dos núcleos urbanos surgiu e evoluiu com base na proximidade de mananciais hídricos, superficiais ou subterrâneos, potencialmente exploráveis para o abastecimento humano. Entre o período colonial e o Século XX, quando se expandiram as vias férreas e rodoviárias, a navegação foi o principal meio de adentramento de muitas zonas interiores do país. Ainda hoje, bacias como as do Amazonas e do Paraná destacam-se por apresentar rios com importante transporte de mercadorias e pessoas por meio da navegação.

A partir do Século XX, a distribuição espacial das águas tornou-se ainda mais determinante para o crescimento das atividades econômicas. Os usos industriais e agrícolas expandiram-se em associação com a disponibilidade dos recursos hídricos em quantidade e qualidade. O modelo econômico baseado na busca contínua do aumento das exportações trouxe o avanço da agricultura irrigada e dos usos industriais e minerários dependentes de água nos processos de extração, beneficiamento e produção. A organização espacial das águas em artérias hidrográficas, lagos naturais ou artificiais e aquíferos representa, portanto, um decisivo fator aglutinador ou dispersor de atividades humanas no país.

As bacias hidrográficas da região sudeste do país foram palco de diversos ciclos econômicos que determinaram os seus atuais mosaicos de uso e ocupação do solo e, conseqüentemente, o panorama de pressões e impactos nas dimensões quantitativas, qualitativas e ecológicas dos recursos hídricos. A complexidade inerente aos diversos quadros de apropriação territorial e dos recursos naturais geraram cenários muito distintos de degradação dos ambientes aquáticos regionais.

A bacia do rio Doce está situada na região sudeste, estados de Minas Gerais e Espírito Santo, drenando 83.431 km<sup>2</sup>, dos quais 86,1% em território mineiro e 13,9% capixaba. O rio Doce, cuja nascente principal, com o nome de rio Piranga, encontra-se na serra da Mantiqueira - Trapizonga (município de Ressaquinha, MG), percorre 853 km até atingir o Oceano Atlântico próximo da vila de Regência, município de Linhares, estado do Espírito Santo. O rio Doce recebe este nome a partir do limite entre os municípios de Ponte Nova e Rio Doce, onde o rio Piranga recebe, pela sua margem esquerda, o rio do Carmo.

A bacia apresenta uma ampla variação climática. No decorrer do ano, o comportamento do clima é determinado pela atuação das Massas Polar Atlântica, Tropical Continental e Equatorial Continental. A distribuição das precipitações na bacia é heterogênea. Segundo Euclides, Ferreira e Rubert (1996), ocorre maior concentração na área pertencente ao Estado do Espírito Santo, devido ao efeito orográfico. Precipitações mais escassas ocorrem na área que se estende de Colatina (ES) a Governador Valadares (MG). A precipitação total anual média gira em torno de 1.400 mm.

A bacia do rio Doce foi expressivamente alterada em função do processo histórico de retirada contínua da cobertura florestal original (a Floresta Estacional Semidecidual enquanto formação vegetacional preponderante do bioma da Mata Atlântica), fato exacerbado a partir do início século XX com a implantação da Estrada de Ferro Vitória-Minas (EFVM). Este eixo ferroviário possibilitou a efetiva ocupação do território da bacia, já bastante alterado em função do desmatamento, e a conseqüente dinamização da economia regional, com destaque para as atividades agropastoris, a mineração de ferro, a siderurgia e, a partir da década de 1940, a silvicultura do eucalipto (COELHO, 2006).

Juntamente com os usos urbanos e agrícolas, estas atividades econômicas determinaram distintos recortes espaciais de uso e ocupação do solo e de alteração das condições hidroambientais. Condicionando a estruturação do ordenamento espacial na bacia, os recursos hídricos sofrem, por outro lado, as consequências das atividades humanas, configurando cenários de degradação e rarefação hídrica.

Diagnósticos ambientais realizados na bacia apontam para um balanço hídrico relativamente favorável em termos da relação entre oferta e demandas de água (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010). Porém, este cenário pode mudar de um ano para outro, pois o regime pluviométrico é dinâmico e pode sofrer importantes alterações. Variações sazonais no regime hidrológico podem gerar déficits hídricos locais, prejudicando determinadas atividades econômicas que fazem uso significativo da água. A crescente demanda de água para abastecimento público, geração de energia elétrica, necessidades intrínsecas ao processo de retirada do minério de ferro (como a construção de barragens de contenção de rejeitos) e atendimento de minerodutos agrava o quadro de pressões nos recursos hídricos e eleva os riscos de comprometimento e de desabastecimento em períodos de redução dos inputs hídricos na bacia. Esta fragilização da bacia em termos hidrológicos resulta em aumento dos riscos de surgimento de conflitos pelo uso da água, já que os estoques hídricos disponíveis tornam-se facilmente incapazes de atender as demandas outorgadas e não outorgadas.

O aumento das demandas de água e das fontes de poluição/contaminação geram cenários futuros preocupantes na bacia do rio Doce, fato potencializado recentemente com o desastre ambiental decorrente do rompimento da represa de Fundão, responsável pela contenção de rejeitos da mineradora Samarco (subsidiária da BHP Billiton e da Vale) em Mariana, Minas Gerais. Consoante, suas diversas particularidades físicas e socioambientais apontam para um quadro marcado por situações de fragilidade ambiental característica (NETO et al., 2015) cujas vulnerabilidades físicas são agravadas pelas pressões humanas crescentes. Problemas de erosão acelerada, turbidez das águas, assoreamento de cursos d'água, poluição hídrica, ocupação desordenada de margens fluviais e artificialização de artérias hidrográficas vem sendo recorrentemente mencionados na literatura (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010). Particularmente relevante é a retirada irregular e excessiva de água para as atividades agropecuárias.

As preocupações com o quadro hídrico e ambiental da bacia ganharam enfoque a partir do período de estiagem vivenciado entre 2013 e 2015<sup>1</sup> somado ao desastre ambiental referido acima. Se, por um lado, a redução das precipitações certamente gerou impactos na disponibilidade hídrica regional, o quadro de escassez hídrica levantou fortes indagações acerca de possíveis causas atreladas aos processos de gestão dos recursos hídricos no Brasil. A possibilidade concreta da falta de água para múltiplos usos, entre eles o abastecimento público, induziu novos debates acadêmicos acerca da gestão dos recursos hídricos no país, visando refletir sobre as origens de uma suposta crise da água e suas possíveis soluções. Acrescente-se a isso o modelo econômico fortemente voltado para a maximização da extração mineral e de seu escoamento, com poucos dividendos para as comunidades diretamente envolvidas no que tange à qualidade de vida e ampliação dos riscos ambientais a que estão sujeitos.

Diante da conjuntura anteriormente exposta, o presente artigo busca discutir as relações entre os processos de ocupação territorial, degradação ambiental e rarefação dos recursos hídricos na bacia do rio Doce, a partir de uma contextualização geo-histórica e de reflexões sobre o quadro atual. Consoante, o presente estudo discorre sobre os principais vetores de pressão e os impactos humanos que se consolidaram na bacia.

<sup>1</sup> Não é consenso no meio científico de que uma redução na precipitação seja o fator determinante na disponibilidade hídrica regional. Em que pese a configuração de tal cenário entre os anos de 2013 e 2015, há fatores desencadeadores de tal fato, a exemplo do próprio desmatamento e da expansão da silvicultura na região.

2 Quando observa-se o conjunto da bacia do rio Doce como um todo, as atividades de mineração não configuram um problema ambiental generalizado, mas localizado, apesar da possibilidade generalizada dos riscos oferecidos, como ficou evidente o caso do rompimento da barragem da Samarco.

## Metodologia

As bacias hidrográficas são sistemas complexos (CHRISTOFOLETTI, 1999) cujo funcionamento e equilíbrio estão intrinsecamente ligados às trocas entre seus constituintes físico-naturais e socioeconômicos. Assim, o entendimento de sua dinâmica pode ser traduzido a partir de indicadores que sintetizam essa complexidade. Desse modo, para se fazer um panorama sobre as pressões ambientais na bacia do rio Doce e suas implicações na disponibilidade hídrica em qualidade e quantidade de água, foram selecionados dois indicadores relacionados às pressões humanas (percentual de área desmatada; e percentual de domicílios com saneamento deficitário) e dois relacionados ao estado do meio (percentual de amostras violadas para coliformes termotolerantes; e percentual de amostras violadas para turbidez).

A seleção desses parâmetros ocorreu em consonância a um diagnóstico ambiental da bacia, realizado previamente (NETO et al., 2015). De posse de mapeamentos de órgãos oficiais, trabalhos acadêmicos e com informações coletadas em campo, foi possível traçar um panorama dos problemas ambientais preponderantes da bacia: degradação da qualidade das águas fluviais; desmatamento; intensificação de processos erosivos e de movimentos de massa e atividades intensivas de mineração, especialmente do minério de ferro<sup>2</sup>.

A obtenção dos dados para construção dos indicadores ocorreu por meio de fontes oficiais: os dados referentes à área da bacia e sua drenagem foram obtidos na base hidrográfica otocodificada do estado de Minas Gerais, do IGAM (Instituto Mineiro de Gestão das Águas); os cálculos da área desmatada foram realizados a partir da base de vegetação do Zoneamento Ecológico-Econômico de Minas Gerais (ZEE-MG) de 2009; os dados de turbidez e coliformes foram cedidos pelo IGAM, utilizando-se uma série histórica de dez anos; e a partir do Censo Demográfico de 2010, do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), obtiveram-se os dados de esgotamento sanitário.

Após a organização, tabulação e tratamento dos dados brutos, os quatro indicadores foram especializados em função das bacias de contribuição dos pontos relacionados às estações de monitoramento da qualidade da água (IGAM). Tal procedimento se deu pela aglutinação semiautomatizada (via equações SQL) das ottobacias tributárias das estações de qualidade de água, em escala 1/50.000.

Os dados referentes à qualidade da água foram transferidos diretamente dos pontos das estações para as bacias de contribuição correspondentes. As violações foram parametrizadas pela Resolução do CONAMA n. 357/2005, classe 2 (em concordância com o enquadramento dos corpos d'água da maior parte da bacia). Já os dados referentes à vegetação foram calculados automaticamente a partir desses novos recortes espaciais. A área desmatada, metodologicamente, foi considerada aquela que não possui quaisquer das tipologias vegetacionais nativas mapeadas pelo ZEE-MG, o que coloca nessa classe pastagens diversas, cultivos perenes e temporários, silvicultura e solo exposto, além de áreas urbanas e infra-estrutura viária. Para os dados de saneamento, foram considerados como deficitários quaisquer modos de esgotamento sanitário diferente de rede geral ou fossa séptica. Foi calculado o percentual de domicílios com saneamento deficitário em cada município da bacia e, posteriormente, realizada a média ponderada (pelo número de domicílios) dos municípios que possuem sede dentro de cada bacia de acumulação.

A integração dos dados em um mapa-síntese foi inspirada na metodologia de Ross (1994) para fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. O objetivo dessa metodologia é proceder a análises integradas dos dados. Como afirma Bertrand (2004), se considerarmos a paisagem como unidade global, admitimos implicitamente que os elementos que a constituem participam de dinâmicas comuns que não corresponde a uma evolução de cada um desses elementos separadamente.

Então, o que se busca é realizar análise de combinações dinâmicas de elementos físicos, biológicos e antropológicos que fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, sempre em evolução.

Ross (1994), fundamentado na teoria das Unidades Ecodinâmicas de Tricart (1977), discute a instabilidade da paisagem a partir da interpretação qualitativa de seus elementos constituintes (declividade, solo, cobertura vegetal e clima). Assume-se que determinada característica desses elementos pode contribuir para uma menor ou maior instabilidade do meio. A união de todas essas interpretações monovariadas parciais fornecerá uma síntese que retratará a fragilidade dos ambientes.

A metodologia proposta por Tricart (1977), desde a elaboração, foi bastante replicada, criticada e adaptada com resultados extremamente satisfatórios (SPORL e ROSS, 2004; KAWAKUBO et al, 2005), tornando-se referência para estudos de síntese da relação homem-meio no Brasil. Sobretudo após a popularização dos softwares de geoprocessamento, somaram-se a essa proposta conceitos e fundamentos da álgebra de mapas, possibilitando a automação de grande parte das técnicas empregadas (DONHA et al., 2006).

Para fins deste trabalho, a metodologia de elaboração do mapa-síntese consistiu na organização e na manipulação dos dados geoespaciais no software ArcGIS 10.1®. De acordo com Meirelles (1997), os modelos mais utilizados nos ambientes SIG para a combinação de mapas são os operadores booleanos (pois são mais simples e mais conhecidos) e a sobreposição por média ponderada (utilizados quando os mapas devem ser analisados juntos, através de uma combinação com pesos aos temas e notas às classes, segundo o julgamento de sua influência no fenômeno modelado). Essa última opção foi a mais adequada para o trabalho.

As quatro informações geoespaciais foram transformadas em raster, com a ferramenta conversion tools. Em cada camada, o indicador percentual foi traduzido de 0 a 100, conforme a resposta estatística do parâmetro, sendo 0 a melhor condição possível e 100 a pior. Posteriormente, foi feita a sobreposição das camadas por soma ponderada com o auxílio da ferramenta spatial analyst tools. Nessa soma ponderada foi atribuído o valor de 0,25 para cada uma das quatro camadas, sem que houvesse qualquer hierarquização entre elas. Desse modo, o resultado final mantém a mesma escala entre 0 e 100 dos indicadores primários.

## Ocupação territorial e gênese das interferências humanas na bacia do rio Doce

No período colonial existiam vários sertões na Capitania de Minas Gerais (SOUZA, 1998). Na percepção dos moradores das vilas de São José e São João Del Rei, os sertões eram os cerrados do alto São Francisco e as picadas de Goiás. Em Barbacena, as escarpas da Mantiqueira. Na Comarca de Sabará, o médio São Francisco. E na de Vila Rica, as densas florestas que integravam o leste da capitania (faixas orientais das Comarcas de Vila Rica, Rio das Mortes e Serro Frio), onde se inserem as atuais regiões da Zona da Mata, do Vale do Rio Doce e do Mucuri, bem como o Baixo Vale do Jequitinhonha. O último grande conjunto, marcado pelo domínio da floresta tropical, formava um espaço genericamente conhecido como “sertão do leste”.

Na literatura histórica criou-se o dogma de que a ocupação dessa parte da capitania, o leste, só ocorreu no decurso das primeiras décadas do século XIX, em decorrência da crise da mineração e da revogação da política metropolitana de isolamento das áreas não povoadas. De acordo com Valverde (1958, p.25), a Coroa Portuguesa procurou “manter virgem a floresta da Zona da Mata e do vale do rio Doce, proibindo, terminantemente, a penetração nela e a abertura de atalhos” para impedir o descaminho do ouro. Na visão da administração colonial, razões naturais (densa cobertura florestal) e presença de população indígena belicosa configuravam fatores aliados para combater o contrabando<sup>3</sup>.

3 Em 1784, disse o governador Luiz da Cunha Menezes: “Sertão para a parte de Leste desta Capitania, denominado áreas proibidas, na hipótese de servirem os ditos sertões de uma barreira natural a esta Capitania, para segurança da sua fraude”. Revista do Arquivo Público Mineiro, Belo Horizonte, v.2, 1897, p.347.

Já no século XVI, expedições sertanistas, desencadeadas pelas promessas de honras e mercês, por relatos indígenas da existência de riquezas no interior, pelo desenvolvimento da cartografia e pela abundância de mão-de-obra farta e barata no sertão, se dirigiram ao vale do rio Doce. Com a ocupação da região das minas na primeira metade do século XVIII, colonos e sertanistas também passaram a se deslocar para a área citada. De acordo com Saint-Hilaire (1975, p.45), das chamadas “minas gerais”, área situada na confluência das bacias dos rios Doce, Velhas e Mortes, os desbravadores adentraram pelos espaços fronteiriços da região mineradora. O objetivo foi introduzir a agropecuária, a extração de recursos mineral e vegetal e/ou o aldeamento dos índios. A posição geográfica da área, situada na borda da região mineradora, conferiu-lhe a condição de porta obrigatória de passagem para o deslocamento de frentes pioneiras. O poder metropolitano encontrou dificuldades para restringir o devassamento dessas áreas vedadas à ocupação. E, à revelia da legislação proibitiva que instituiu as “áreas proibidas” e impediu a abertura de novos caminhos nas áreas não povoadas da capitania, o leste foi devassado.

A visão de um mundo desconhecido entre os colonizadores criou o fascínio pela riqueza fácil e imediata e seduziu aventureiros ávidos ao deslocamento da fronteira. Os bandeirantes tinham a convicção de que lá se encontrava a fortuna: índios predestinados ao cativo e minas resplandcentes. A imagem do leste como área natural intocada pelo homem branco, fronteira sob o domínio da natureza e do “gentio” pouco afeito à civilização, espaço onde a civilização estava ausente e imperava a barbárie devido à antropofagia dos temidos e genericamente chamados Botocudos, foi um dos entraves que retardaram o povoamento, mas não barrou o avanço e a ocupação. O leste se tornou um espaço com surtos variáveis de ocupação territorial, com pequenos núcleos de povoamento, marcados por avanços e retrocessos.

Com o declínio das jazidas auríferas na região mineradora ao longo da segunda metade do século XVIII, lavras cada vez mais significativas de luso-brasileiros se dirigiram para o leste, motivados pela promessa de novas jazidas de ouro, pela abundância de mão de obra indígena e, sobretudo, pelas possibilidades favoráveis do solo para a instalação de atividades agropecuárias. Esta atividade era baseada na contínua derrubada e queima da vegetação. Onde não havia matas não existiam lavouras, assim se expressou Saint-Hilaire (1975, p.90), em 1816. A decomposição vegetal advinda da prática das queimadas promovia o enriquecimento da terra devido à incorporação de biomassa.

O método de produção extensivo, responsável por suprimir boa parte da cobertura florestal do Vale do Rio Doce, foi reflexo dos contextos demográfico, geográfico e econômico dos séculos XVIII e XIX. Numa ótica econômica e demográfica, em condições de fronteira aberta e população pouco numerosa, não seria provável que a agricultura experimentasse transformações técnicas e intensificação no sistema de cultivo. Por esse motivo, Saint-Hilaire (1975, p.90-92) apontou que alguns “homens podiam dispor à vontade de um território imenso e não tinham nenhuma necessidade de tomar precauções para poupar o pedaço de terra em que acabavam de colher alguns grãos”, tendo em vista o custo reduzido da incorporação de novas terras.

Com o deslocamento da fronteira, a presença de índios belicosos se tornou o principal entrave no processo de conquista territorial da área. Por isso, vários decretos foram aprovados para subjugar e cristianizar os silvícolas, bem como para prescrever, oficialmente, as concessões de sesmaria. Os conflitos na área se tornaram frequentes e o domínio territorial desse espaço se apresentou sobreposto, disputado entre os colonos que expandiam as atividades mercantis, e os índios que procuravam defender a posse das suas terras. A metrópole procurou resolver esse embate por meio da instalação de aldeamentos, presídios e divisões militares, a fim de romper os principais “entraves” ao progresso da colonização. Mas, o projeto de redução da população nativa e de consolidação das atividades mercantis na área se arrastou ao longo do século XIX, em função da ampla resistência oferecida pelos indígenas.

A crítica rarefação dos recursos hídricos em várias áreas do Brasil, mesmo sob condições pluviométricas favoráveis, reflete o descompasso entre o crescimento das demandas e a disponibilidade hídrica. Apesar de certos avanços dos aparatos e processos de gestão, as iniciativas de adequação dos usos da água e do solo não tem sido suficientes para frear o crescimento da degradação ambiental e da escassez de recursos naturais.

Com 14% de toda a água doce do planeta, o Brasil se encontra em uma posição privilegiada no que tange à disponibilidade hídrica quando comparado com diversos outros países. No entanto, esta disponibilidade é espacialmente desigual. O fato do país ser dotado de uma extensa e densa rede de drenagem, onde 90% dos cursos d'água são perenes, fomenta a ideia de que o Brasil é um país com abundância de água e gera quadros de desinformação social, bem como de desatenção e desleixo nas políticas públicas quanto aos recursos hídricos (REBOUÇAS, 2003).

Grande parte da região Sudeste apresenta clima tropical úmido, apesar da heterogeneidade climática devido à sua posição geográfica associada às várias barreiras orográficas e às massas de ar atuantes (COELHO, 2006). A bacia do rio Doce, particularmente, apresenta importante diversidade climática em decorrência da ação dos sistemas frontais e de suas interações com a continentalidade tropical e a topografia regional acidentada (CUPOLILLO, ABREU e VIANELLO, 2008). A pluviosidade da bacia possui um comportamento geral caracterizado por uma estação chuvosa, que normalmente se estende de outubro a março, e uma estação seca, que normalmente se estende de abril a setembro. Este quadro condiciona a configuração da disponibilidade hídrica e do regime fluvial da bacia, o qual é majoritariamente perene. As vazões máximas ocorrem durante o período úmido, entre dezembro e março, enquanto as mínimas ocorrem durante a estação seca, entre agosto e setembro (COELHO, 2006).

Entretanto, se o ciclo hidrológico responde pelos inputs pluviométricos e vazões fluviais das bacias hidrográficas, o ciclo hidrossocial responde pelas demandas e impactos na disponibilidade hídrica em quantidade e qualidade (SWYNGEDOUW, 2004). A água enquanto recurso finito e estratégico para viabilizar a vida e as atividades humanas sofre os efeitos das pressões e impactos derivados dos usos consuntivos e não consuntivos. A degradação dos corpos d'água e mananciais hídricos não raras vezes gera quadros de escassez e de conflitos pelo uso da água em bacias hidrográficas brasileiras.

Processos de gestão dos recursos hídricos e de bacias hidrográficas possuem, dentre suas funções, a de buscar minimizar os riscos de rarefação hídrica em quantidade e qualidade e, conseqüentemente, o surgimento de conflitos. A gestão de recursos hídricos envolve diretamente a gestão territorial e a gestão de outros recursos naturais como a vegetação e os solos. É consenso na literatura que perdas de solos estão associadas a perdas de água em seus respectivos sistemas espaciais (OLIVEIRA et al., 2012). A erosão acelerada compromete a disponibilidade hídrica, já que aumenta as perdas de água por escoamento superficial em detrimento da infiltração. Por sua vez, a perda de solo está diretamente associada ao desmatamento generalizado, especialmente quando o mesmo ocorre em terrenos ondulados, como no caso de grande parte da bacia do rio Doce.

Em seu estudo acerca da fragilidade ambiental da bacia do rio Doce, Neto et al. (2015) destacam a presença de argissolos nas porções média e baixa da bacia, o que indica uma maior fragilidade dessas áreas aos processos erosivos. A forte alteração/remoção da cobertura vegetal para a formação de pastagens e para a silvicultura, ao longo do processo histórico de ocupação da bacia, potencializa este quadro de fragilidade. Estes dois tipos de usos do solo ocupam a maior parte das áreas rurais da bacia do rio Doce e respondem pela maior parte dos focos de erosão acelerada (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010; SILVA et al., 2011). Por sua vez, estes focos lineares (erosão concentrada) e areolares (erosão difusa) são as principais fontes de sedimentos para as calhas fluviais durante as chuvas.

Incapazes de transportar toda a carga sedimentar recebida, os cursos d'água são palco do surgimento de barras de canal e de trechos fluviais assoreados. Com suas seções ocupadas, em grande parte, por sedimentos, as águas fluviais tornam-se potencialmente mais impactantes nos períodos de inundações, já que tendem a abranger maiores extensões marginais. No caso do aumento desproporcional da carga sedimentar em suspensão nos cursos d'água, ocorre forte elevação da turbidez, a qual pode comprometer as funções biológicas e ecológicas dos mesmos. Tais fatos puderam ser verificados de maneira evidente e dramática a partir da corrida de lama e rejeitos oriunda do rompimento da represa do Fundão em Mariana. As consequências hidrológicas de tal evento ainda estão para serem devidamente mensuradas e avaliadas.

No mapa síntese elaborado por Neto et al. (2015) sobre a fragilidade natural da bacia (Figura 1) foram adotadas as variáveis solos, declividade, clima e remanescentes florestais. As classes predominantes foram de fragilidade “média” e “forte”, decorrentes da alteração da cobertura vegetal associada à susceptibilidade dos solos à erosão. As áreas de fragilidade “muito fraca” e “fraca” são bem menos expressivas em termos espaciais, localizando-se principalmente nas áreas com clima de menor sazonalidade. Já as de fragilidade “muito forte” são pontualmente localizadas. Entretanto, mesmo espacialmente restritas, estas podem responder por impactos significativos nos cursos d'água, podendo superar áreas bem mais extensas de menor fragilidade.

A fragilidade ambiental pode ser intensificada pelas pressões antrópicas que aumentam a vulnerabilidade de um sistema. Coelho (2006), em seu trabalho acerca das vazões na bacia do rio Doce, destaca várias modificações nos cursos d'água que acarretaram fortes alterações na dinâmica fluvial e hidrossedimentológica da bacia. O autor destaca a ocupação desordenada das margens fluviais, a construção de usinas hidrelétricas e a exposição do solo para a formação de pastagens.

Por suas características geo-históricas associadas à ocupação e à territorialização, a bacia do rio Doce apresenta vários núcleos urbanos dispostos sobre planícies fluviais, a exemplo da importante cidade de Governador Valadares, que se expandiu às margens do curso d'água citado. Instalados nas zonas naturais de dissipação da energia dos cursos d'água durante os períodos de inundações, os núcleos urbanos se tornam fragilizados aos impactos dos processos hidrológicos. Como vários trechos de leitos fluviais encontram-se assoreados, ou seja, com seções ocupadas parcialmente por sedimentos, o potencial de avanço lateral das águas ao longo das margens durante as inundações aumenta, podendo intensificar os impactos nas comunidades humanas. Segundo o IGAM (2014), a bacia do rio Doce possui 304 trechos vulneráveis à inundação, a maioria, trechos urbanizados e sem matas ciliares. Apesar da naturalidade das inundações, na bacia do rio Doce elas são fortemente condicionadas pelas ações antrópicas, principalmente pelas ocupações irregulares nas margens dos cursos d'água.

Figura 1 Fragilidade Ambiental da bacia do rio Doce



Fonte: Neto et al. (2015, p. 1956).

As pressões e os impactos humanos nas águas fluviais da bacia também estão relacionadas às demandas e usos para fins domésticos, industriais, minerários e, principalmente, agrícolas. As demandas variam de acordo com cada sub-bacia, ou seja, com as particularidades associadas às atividades econômicas e ao uso e ocupação da terra. Segundo o Plano Integrado de Recursos Hídricos da bacia (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010), a retirada de água para a irrigação representa cerca de 75% do volume total de água explorada da bacia. As captações são mais expressivas no baixo curso, principalmente nas bacias dos rios São José e Santa Maria do Doce. Nas bacias dos rios Piracicaba e Santo Antônio predomina o uso industrial (incluindo minerário) cujas vazões outorgadas são as mais elevadas da bacia. Já a bacia do rio Piranga apresenta demandas mais elevadas para o abastecimento humano. Os focos de mineração, já antigos na região do Quadrilátero Ferrífero, e mais recentes no Espinhaço Meridional, apontam para a forte demanda pela água, incorporada ao processo produtivo, seja para a lavagem do minério e sua deposição em barragens de contenção, seja para a utilização intensiva em minerodutos.

As atividades humanas, expressas nos usos da água e dos solos, também determinam diretamente o panorama de pressões e impactos nos aspectos qualitativos dos recursos hídricos da bacia. O mais recente Relatório de Qualidade das Águas, elaborado pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM, 2015), indica que, em 2014, o principal parâmetro responsável por casos de inconformidade da qualidade da água em relação aos limites pré-estabelecidos para as classes de águas doces na bacia do rio Doce foi *Escherichia Coli*.

Isso indica que a principal fonte de poluição das águas da bacia está associada, principalmente, ao despejo de efluentes domésticos sem o devido tratamento. A pecuária (bovina e suína) também contribui para este quadro, sobretudo quando destacamos a região do Vale do Piranga, onde a suinocultura se desponta como atividade econômica importante.

Apesar da poluição por esgotos ser, historicamente, a principal causa de degradação da qualidade da água na bacia, outros usos também agravam os riscos de rarefação de recursos hídricos em termos qualitativos e potencializam os cenários de conflitos. A agricultura é o uso que mais pressiona os sistemas hídricos da bacia em termos quantitativos, mas também apresenta importantes riscos de impactos qualitativos. Os agrotóxicos, empregados para o controle de pragas danosas aos cultivos, podem causar danos ambientais irreversíveis, poluindo solos e águas superficiais e subterrâneas. Podem se acumular na cadeia alimentar e gerar um ciclo de contaminação que extrapola o raio de aplicação direta dos agrotóxicos. Fertilizantes ricos em nitrogênio e fósforo também podem poluir as águas, particularmente a partir da superfertilização de corpos lênticos. A agricultura na bacia do rio Doce, é importante frisar, se deu às custas do desaparecimento da cobertura florestal original. A história desta devastação é detalhada com maestria e riqueza de dados por Warren Dean (1996) em sua obra “A Ferro e Fogo – a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira”. O comprometimento dessa cobertura original afetou, em grande medida, a disponibilidade hídrica em toda a bacia do rio Doce.

Empreendimentos de grande porte e com alto grau de rigidez locacional, como é o caso das atividades minerárias, também exercem forte pressão sobre os recursos hídricos na bacia. A mineração de ferro é a principal atividade minerária regional e se concentra no alto curso da bacia, principalmente no Quadrilátero Ferrífero. Destacam-se as sub-bacias dos rios Piracicaba, Carmo e Santo Antônio, as quais sofrem impactos na disponibilidade hídrica em quantidade e qualidade. A extração do minério de ferro é geralmente marcada pela remoção das camadas rochosas superiores e a formação de uma cava, exigindo o rebaixamento do nível freático. A agressiva alteração da dinâmica hídrica superficial e sub-superficial, derivada da retirada da cobertura pedo-geológica, modifica os fluxos em termos de escoamento superficial, infiltração e armazenamento subterrâneo. O rebaixamento do nível freático pode extinguir ou reduzir a vazão de nascentes e cursos d'água.

As etapas de beneficiamento do minério, por sua vez, podem gerar efluentes com problemas de acidez, metais pesados e salinidade elevada (ANA, 2006), inviabilizando outros usos da água e afetando a biota aquática. A deposição desses efluentes em barragens de contenção, solução economicamente mais viável do que a formação de pilhas de rejeito, revelou seu lado perverso, em termos ambientais, a partir da recente catástrofe em Mariana. Por lei, tais barragens demandam um monitoramento contínuo e qualquer projeto de ampliação deve, em tese, passar por um rigoroso crivo técnico (o que parece não ter sido o caso da barragem do Fundão em Mariana).

Além das questões inerentes à própria extração do minério de ferro, a tendência adotada nos últimos anos de escoamento da produção por meio de minerodutos também tem gerado preocupações. A água utilizada para o transporte do minério é retirada do sistema e lançada no mar, não retornando para os cursos d'água de onde é retirada, comprometendo a vazão dos rios no local de captação e à jusante do mesmo. Encontra-se em operação desde outubro do ano passado, o Projeto Minas-Rio, que leva o minério extraído no município de Conceição do Mato Dentro (MG), sub-bacia do rio Santo Antônio, até o Porto do Açu, em São João da Barra (RJ), projeto que o ex-bilionário Eike Batista vendeu à Anglo American em 2008. Este é o maior duto de minério de ferro do mundo: com extensão de 529 km, atravessa 33 municípios de Minas Gerais e do Rio de Janeiro. O tempo médio estimado para que o minério de ferro saia da mina e chegue ao porto é de quatro dias, a uma velocidade média de 6 km/h. A capacidade de produção inicial na primeira fase é de 26,5 milhões de toneladas de minério de ferro por ano (90 milhões de toneladas/ano é a capacidade de produção após a expansão), e visa abastecer, principalmente, as siderúrgicas da Ásia. Em meio a uma das piores secas no estado de Minas Gerais, a mina e o mineroduto consomem 2.500 m<sup>3</sup> de água por hora, quantidade suficiente para abastecer uma cidade de 220 mil habitantes.

Isso indica que a principal fonte de poluição das águas da bacia está associada, principalmente, ao despejo de efluentes domésticos sem o devido tratamento. A pecuária (bovina e suína) também contribui para este quadro, sobretudo quando destacamos a região do Vale do Piranga, onde a suinocultura se desponta como atividade econômica importante.

Apesar da poluição por esgotos ser, historicamente, a principal causa de degradação da qualidade da água na bacia, outros usos também agravam os riscos de rarefação de recursos hídricos em termos qualitativos e potencializam os cenários de conflitos. A agricultura é o uso que mais pressiona os sistemas hídricos da bacia em termos quantitativos, mas também apresenta importantes riscos de impactos qualitativos. Os agrotóxicos, empregados para o controle de pragas danosas aos cultivos, podem causar danos ambientais irreversíveis, poluindo solos e águas superficiais e subterrâneas. Podem se acumular na cadeia alimentar e gerar um ciclo de contaminação que extrapola o raio de aplicação direta dos agrotóxicos. Fertilizantes ricos em nitrogênio e fósforo também podem poluir as águas, particularmente a partir da superfertilização de corpos lênticos. A agricultura na bacia do rio Doce, é importante frisar, se deu às custas do desaparecimento da cobertura florestal original. A história desta devastação é detalhada com maestria e riqueza de dados por Warren Dean (1996) em sua obra “A Ferro e Fogo – a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira”. O comprometimento dessa cobertura original afetou, em grande medida, a disponibilidade hídrica em toda a bacia do rio Doce.

Empreendimentos de grande porte e com alto grau de rigidez locacional, como é o caso das atividades minerárias, também exercem forte pressão sobre os recursos hídricos na bacia. A mineração de ferro é a principal atividade minerária regional e se concentra no alto curso da bacia, principalmente no Quadrilátero Ferrífero. Destacam-se as sub-bacias dos rios Piracicaba, Carmo e Santo Antônio, as quais sofrem impactos na disponibilidade hídrica em quantidade e qualidade. A extração do minério de ferro é geralmente marcada pela remoção das camadas rochosas superiores e a formação de uma cava, exigindo o rebaixamento do nível freático. A agressiva alteração da dinâmica hídrica superficial e sub-superficial, derivada da retirada da cobertura pedo-geológica, modifica os fluxos em termos de escoamento superficial, infiltração e armazenamento subterrâneo. O rebaixamento do nível freático pode extinguir ou reduzir a vazão de nascentes e cursos d’água.

As etapas de beneficiamento do minério, por sua vez, podem gerar efluentes com problemas de acidez, metais pesados e salinidade elevada (ANA, 2006), inviabilizando outros usos da água e afetando a biota aquática. A deposição desses efluentes em barragens de contenção, solução economicamente mais viável do que a formação de pilhas de rejeito, revelou seu lado perverso, em termos ambientais, a partir da recente catástrofe em Mariana. Por lei, tais barragens demandam um monitoramento contínuo e qualquer projeto de ampliação deve, em tese, passar por um rigoroso crivo técnico (o que parece não ter sido o caso da barragem do Fundão em Mariana).

Além das questões inerentes à própria extração do minério de ferro, a tendência adotada nos últimos anos de escoamento da produção por meio de minerodutos também tem gerado preocupações. A água utilizada para o transporte do minério é retirada do sistema e lançada no mar, não retornando para os cursos d’água de onde é retirada, comprometendo a vazão dos rios no local de captação e à jusante do mesmo. Encontra-se em operação desde outubro do ano passado, o Projeto Minas-Rio, que leva o minério extraído no município de Conceição do Mato Dentro (MG), sub-bacia do rio Santo Antônio, até o Porto do Açu, em São João da Barra (RJ), projeto que o ex-bilionário Eike Batista vendeu à Anglo American em 2008. Este é o maior duto de minério de ferro do mundo: com extensão de 529 km, atravessa 33 municípios de Minas Gerais e do Rio de Janeiro. O tempo médio estimado para que o minério de ferro saia da mina e chegue ao porto é de quatro dias, a uma velocidade média de 6 km/h. A capacidade de produção inicial na primeira fase é de 26,5 milhões de toneladas de minério de ferro por ano (90 milhões de toneladas/ano é a capacidade de produção após a expansão), e visa abastecer, principalmente, as siderúrgicas da Ásia. Em meio a uma das piores secas no estado de Minas Gerais, a mina e o mineroduto consomem 2.500 m<sup>3</sup> de água por hora, quantidade suficiente para abastecer uma cidade de 220 mil habitantes.

Acrescente-se ainda, o projeto da mineração Manabi S/A, no município vizinho de Morro do Pilar, Médio Espinhaço, que prevê a instalação de outro mineroduto, com 511 km de extensão, previsto para operar em 2018, que, em parte, seguiria rota paralela ao mineroduto da Anglo American, porém, até um terminal portuário situado no litoral capixaba (município de Linhares). A mineradora já tem licença prévia (LP) para iniciar a implantação do empreendimento, que contempla a mina, planta de beneficiamento e outras instalações do complexo, e deverá produzir cerca de 31 milhões de toneladas de minério de ferro por ano (25 milhões de toneladas na mina de Morro do Pilar e outros 6 milhões de toneladas na reserva de Morro Escuro, em Santa Maria do Itabira), portanto, superior aos 26,5 milhões de toneladas do complexo Minas-Rio da multinacional Anglo American, a ser destinada ao mercado externo, especialmente Oriente Médio e Ásia. A base acionária da Manabi inclui a Ontario Teachers Pension Plan (OTPP), Korea Investment Corporation e a Southeastern Asset Management.

### Síntese sociedade/água na ecogeografia da bacia do rio Doce

Os resultados obtidos nesse trabalho (TAB. 1) podem ser interpretados em duas perspectivas. Primeiramente, a avaliação de cada um dos indicadores é de suma importância na identificação de pressões antrópicas sobre os recursos hídricos. Em um segundo momento, a interpretação do mapa-síntese, produto final da proposta, possibilita uma comparação mais ampla acerca da espacialidade da relação homem-água na bacia do rio Doce.

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), saneamento é o controle de todos os fatores do meio físico do homem, que exercem ou podem exercer efeitos nocivos sobre o bem-estar físico, mental e social. De outra forma, pode-se dizer que saneamento caracteriza o conjunto de ações socioeconômicas que têm por objetivo alcançar salubridade ambiental, incluindo, dentre outros serviços, abastecimento de água, coleta, tratamento e disposição ambientalmente adequada e sanitariamente segura de águas residuais (RIBEIRO e ROOKE, 2010).

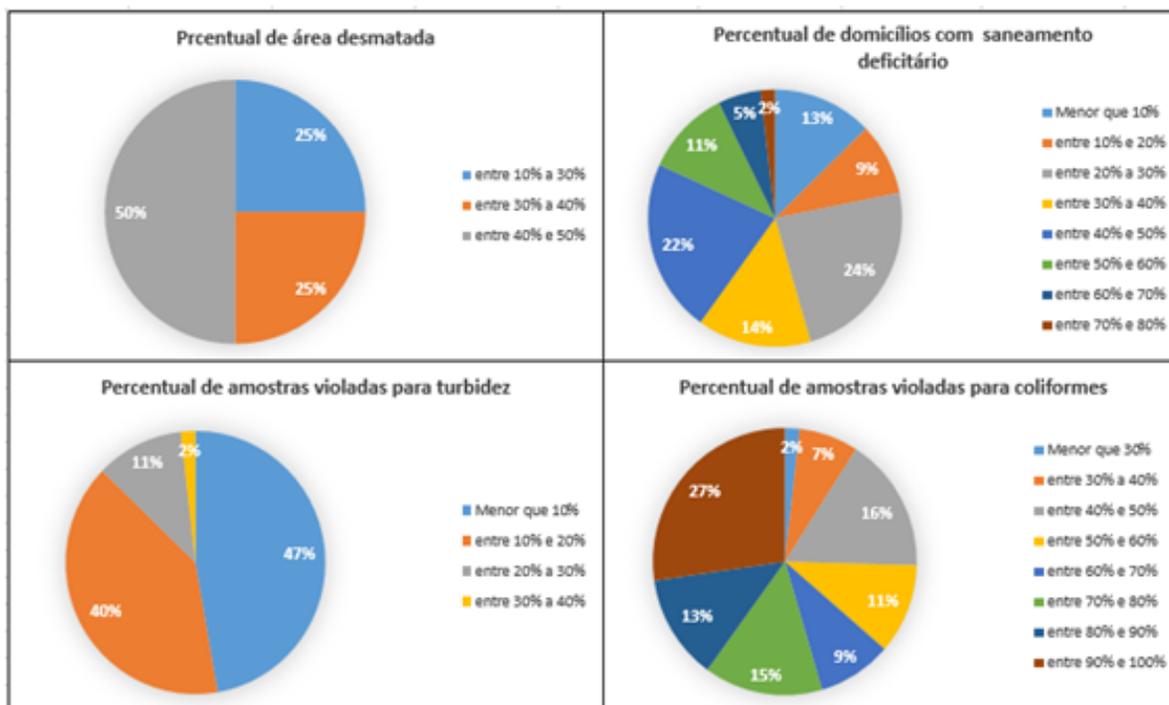
De um modo geral, o esgotamento sanitário na bacia está longe de ser satisfatório. Em 18% das unidades de análise, há mais domicílios com deficiência no esgotamento sanitário, do que domicílios com infra-estrutura adequada de saneamento (FIG. 2). O indicador aponta 72% de deficiência na RD056 (córrego Caratinga), pior situação da bacia. Como pode ser observado na FIG. 2, bacia do rio Santo Antônio engloba quatro unidades de elevado déficit de saneamento, destacando-se em termos espaciais. Por outro lado, as áreas RD035 (rio Doce), RD049 e RD085 (ambas no rio Suaçuí Grande) são as que possuem melhores condições de saneamento, com ineficiência abaixo de 10%. Nota-se que RD035 é a unidade que abarca as sedes municipais da Região Metropolitana do Vale do Aço, zona de grande importância econômica para a bacia do rio Doce.

A primeira consequência para os recursos hídricos de um sistema de saneamento ineficiente é a contaminação dos cursos d'água. Isso pode ser verificado em diversas áreas na bacia do rio Doce ao se comparar os mapas de deficiência de saneamento e o de percentual de amostras violadas para coliformes termotolerantes (FIG. 3). Exceção a essa lógica deve ser feita para o eixo central do rio Doce que, por sintetizar a influência dos afluentes, mascara essa relação. A razão da escolha desse grupo de bactérias como indicador de contaminação da água deve-se, sobretudo, por estarem presentes nas fezes de animais de sangue quente, inclusive os seres humanos. Além disso, são facilmente detectáveis e quantificáveis por técnicas simples e economicamente viáveis (FUNASA, 2009).

Tabela 1: Indicadores da relação sociedade/água na bacia do Rio Doce (MG)						
Estação	Rio principal	Área desmatada	Violação por coliformes	Violação por turbidez	Saneamento deficitário	Índice de pressões
RD001	Rio Piranga	75,20%	66,70%	9,50%	62,00%	0,53
RD004	Rio Xopotó	82,30%	52,40%	14,30%	55,00%	0,51
RD007	Rio Piranga	68,90%	61,90%	14,30%	43,00%	0,47
RD009	Rio do Carmo	53,80%	76,20%	14,30%	22,00%	0,42
RD013	Rio Piranga	82,40%	100,00%	19,00%	17,00%	0,55
RD018	Rio Casca	83,50%	95,20%	28,60%	37,00%	0,61
RD021	Rio Matipó	84,10%	95,20%	4,80%	43,00%	0,57
RD025	Rio Piracicaba	81,30%	90,50%	19,00%	11,00%	0,5
RD026	Rio Piracicaba	92,00%	85,70%	23,80%	7,00%	0,52
RD027	Rio Santa Bárbara	57,80%	57,10%	0,00%	33,00%	0,37
RD029	Rio Piracicaba	75,60%	81,00%	19,00%	46,00%	0,55
RD030	Rio do Peixe	64,50%	71,40%	23,80%	9,00%	0,42
RD031	Rio Piracicaba	67,50%	80,00%	14,30%	36,00%	0,49
RD033	Rio Doce	76,10%	95,20%	14,30%	23,00%	0,52
RD034	Rio Piracicaba	53,60%	90,50%	14,30%	9,00%	0,42
RD035	Rio Doce	75,80%	85,70%	19,00%	8,00%	0,47
RD039	Rio Santo Antônio	79,20%	47,60%	14,30%	42,00%	0,46
RD040	Rio Corrente Grande	82,30%	38,10%	9,50%	7,00%	0,34
RD044	Rio Doce	92,30%	95,20%	14,30%	38,00%	0,6
RD045	Rio Doce	95,40%	95,20%	14,30%	7,00%	0,53
RD049	Rio Suaçuí Grande	91,40%	52,40%	23,80%	28,00%	0,49
RD056	Córrego Caratinga	81,00%	95,20%	19,00%	72,00%	0,67
RD058	Rio Doce	95,70%	81,00%	9,50%	27,00%	0,53
RD059	Rio Doce	88,10%	90,50%	4,80%	27,00%	0,53
RD064	Rio Manhuaçu	43,00%	57,00%	4,70%	33,00%	0,34
RD065	Rio Manhuaçu	82,40%	47,60%	9,50%	49,00%	0,47
RD068	Córrego da Cachoeira Alta	43,60%	95,00%	0,00%	13,00%	0,38
RD069	Rio Piranga	83,90%	23,80%	4,80%	61,00%	0,43
RD070	Rio Turvo Limpo	78,20%	52,40%	28,60%	17,00%	0,44
RD071	Rio do Carmo	57,20%	76,20%	14,30%	27,00%	0,44
RD072	Ribeirão Esmeralda	70,20%	95,20%	14,30%	15,00%	0,49
RD073	Ribeirão Sacramento	84,50%	85,70%	19,00%	37,00%	0,57
RD074	Rio Piracicaba	30,70%	47,60%	14,30%	23,00%	0,29
RD075	Rio Piracicaba	28,10%	90,50%	9,50%	22,00%	0,38
RD076	Rio da Prata	78,10%	100,00%	38,10%	45,00%	0,65
RD077	Rio Santo Antônio	59,10%	38,10%	0,00%	53,00%	0,38
RD079	Rio do Peixe	60,50%	61,90%	9,50%	46,00%	0,44
RD080	Rio do Tanque	70,70%	66,70%	9,50%	45,00%	0,48
RD081	Rio Santo Antônio	67,10%	42,90%	4,80%	67,00%	0,45
RD082	Rio Guanhães	63,90%	76,20%	4,80%	57,00%	0,5
RD084	Rio Suaçuí Pequeno	80,30%	81,00%	9,50%	55,00%	0,56
RD085	Rio Suaçuí Grande	59,10%	85,70%	4,80%	60,00%	0,52
RD086	Rio Suaçuí Grande	78,20%	42,90%	4,80%	54,00%	0,45
RD087	Rio Urupuca	87,30%	33,30%	19,00%	41,00%	0,45
RD088	Rio Itambacuri	87,40%	61,90%	23,80%	42,00%	0,54
RD089	Rio Suaçuí Grande	95,60%	42,90%	14,30%	28,00%	0,45
RD090	Ribeirão Traíra	78,90%	42,90%	9,50%	30,00%	0,4
RD091	Ribeirão Caramanho	91,90%	95,20%	4,80%	6,00%	0,49
RD092	Rio Preto	82,70%	52,40%	4,80%	38,00%	0,44
RD093	Rio Caratinga	90,60%	76,20%	9,50%	45,00%	0,55
RD094	Rio Eme	93,50%	42,90%	14,30%	22,00%	0,43
RD095	Rio Manhuaçu	86,90%	71,40%	0,00%	26,00%	0,46
RD096	Rio São Mateus	74,40%	76,20%	4,80%	31,00%	0,47
RD097	Rio José Pedro	84,10%	42,90%	14,30%	47,00%	0,47
RD099	Ribeirão dos Coqueiros	69,00%	33,30%	4,80%	21,00%	0,32

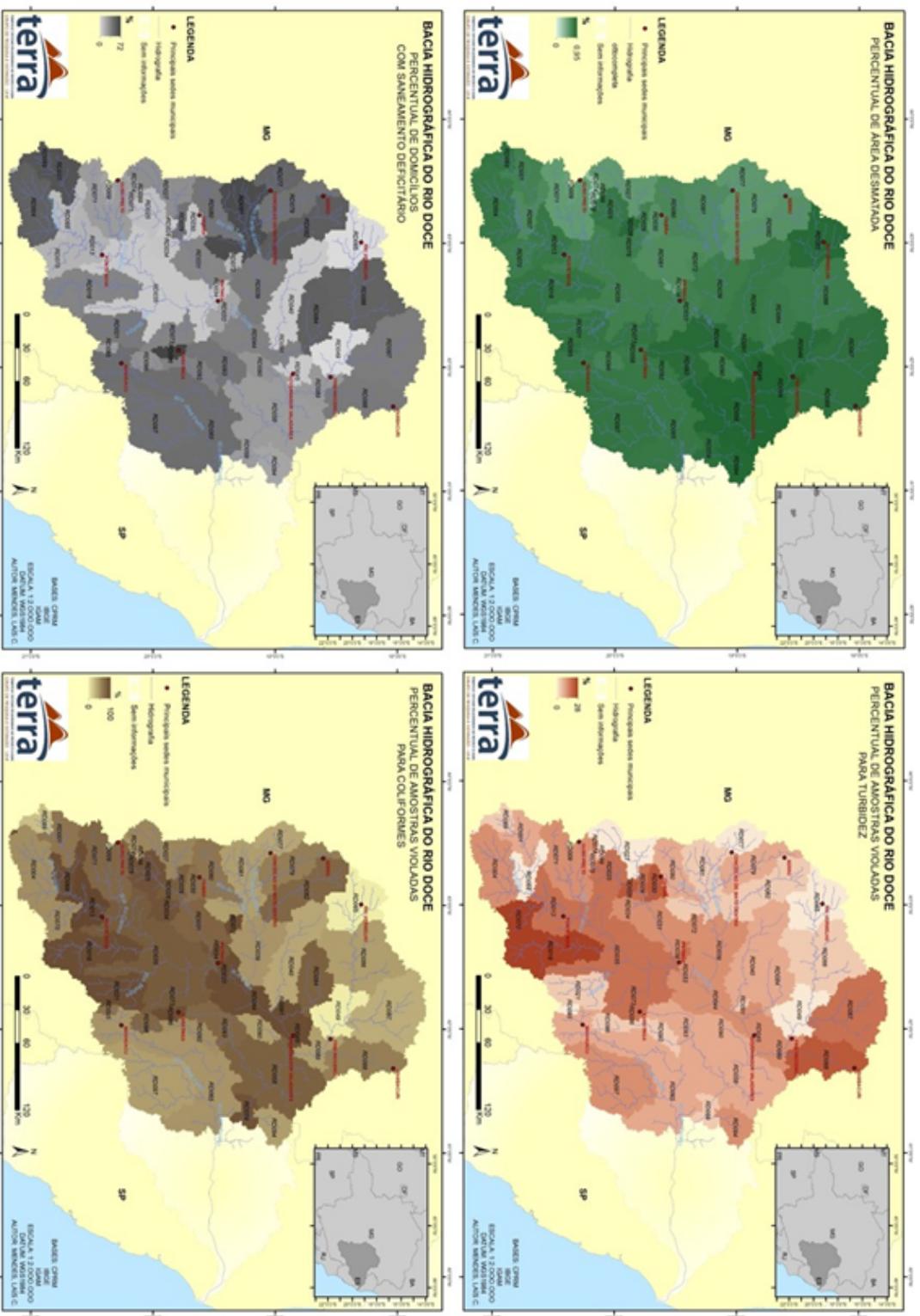
Fontes: ZEE-IEF; IGAM; IBGE.

Figura 2 Mosaico de gráficos das classes de percentual dos indicadores por unidade de análise



Fonte: dados tabulados.

Figura 3 Espacialização dos indicadores na bacia do Rio Doce (MG)



Fonte: dados tabulados.

4 De acordo com Relatório PERD (2005, p.232), publicado em 2006, embora quase todo PERD seja constituído de vegetação em bom estado de conservação, apenas 8,4% é considerada “mata primária”, e boa parte da vegetação é “mata secundária”, tendo se desenvolvido após a ocorrência de queimadas, principalmente após a década de 60.

Grande parte da bacia teve um número significativo de amostras violadas para coliformes. 40% das bacias de contribuição apresentaram mais de 80% de amostras fora do padrão para coliformes no período avaliado, sendo que em RD013 (rio Piranga) e RD076 (rio da Prata) absolutamente todas as análises de coliformes termotolerantes realizadas violaram o padrão estabelecido. O menor percentual de violação ocorreu em RD069, nas proximidades cabeceiras do rio Piranga. Esses dados evidenciam a ineficácia do saneamento na bacia, tanto em termos de coleta quanto de tratamento dos efluentes domésticos.

O segundo parâmetro de qualidade de água avaliado (turbidez) foi escolhido por ser capaz de auxiliar na compreensão da poluição das águas via matéria orgânica, mas também, por traduzir a dinâmica de transporte de sedimentos das vertentes (extremamente representativa na bacia). A turbidez é criada devido à presença de materiais em suspensão na água, que reduzem a passagem de luz. Pode ser provocada pela presença de algas, plâncton, matéria orgânica e outras substâncias como o zinco, ferro, manganês e sedimentos, resultantes do processo natural de erosão ou de despejos domésticos e industriais (FUNASA, 2009).

O percentual de amostras violadas para turbidez foi o parâmetro com os menores problemas dentre os selecionados. Mais de 80% das unidades de análise apresentou percentual de violação abaixo de 20%. Com isso, não foi possível estabelecer relações diretas com os demais parâmetros, conforme esperado. Segundo os dados de turbidez, as áreas de contribuição das estações que tiveram mais violações foram RD018 (rio Casca), RD070 (rio Turvo Limpo) e RD076 (rio da Prata). Essas não coincidem com as estações em que foram constatadas as maiores áreas desmatadas, o que leva a crer que a opacidade da água não seja causada por sedimentos em suspensão na água fruto da erosão do solo em áreas de ausência de vegetação. Assim, volta-se a interpretação da turbidez para a carga orgânica.

Com relação à vegetação, a maior parte da bacia é composta por vegetação antropizada (ou seja, não se configura como “remanescente florestal” stricto sensu), herança do já relatado processo histórico de formação territorial da bacia. Nota-se um avanço severo nos últimos anos da silvicultura de eucalipto. Por esse motivo, e também em virtude da expansão das pastagens, os resultados dos percentuais de áreas desmatadas foram expressivos.

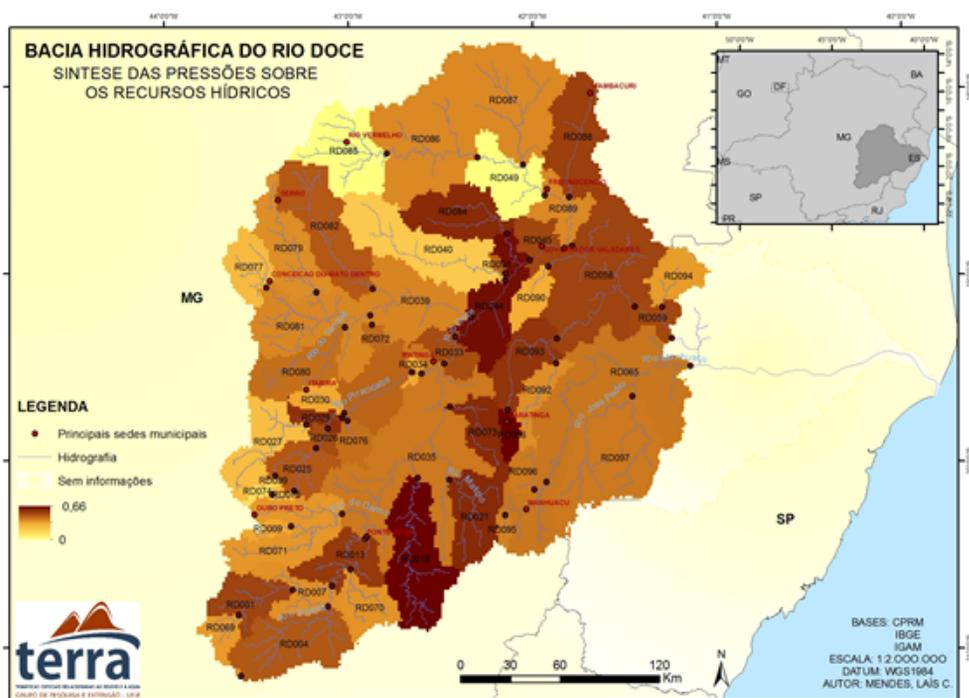
A mancha mais clara na porção central do mapa (FIG. 4), área de contribuição da estação RD034 (rio Doce), corresponde ao Parque Estadual do Rio Doce, porção da bacia onde ainda se encontra revestido por florestas<sup>4</sup>. Além dessa unidade, outras esparsas pela bacia apresentam também um percentual menor de área desmatada como RD074 (rio Piracicaba), e RD075 (rio Piracicaba). De forma mais espacialmente contígua, a porção oeste da bacia apresenta baixos percentuais de áreas desmatadas. Tais áreas abrangem os municípios de Serro, Conceição do Mato Dentro, Itabira e Ouro Preto.

As unidades com maior porcentagem de área desmatada são as das estações RD045 (rio Doce), RD058 (rio Doce) e RD089 (rio Suaçuí Grande), todas com 95%. Essas áreas abrangem os municípios de Governador Valadares, Tumiritinga e Conselheiro Pena.

A FIG. 3 evidencia que a síntese das pressões sobre os recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Doce estão situadas entre as faixas média e alta. As áreas de contribuição das estações RD018 (rio Casca), RD044 (rio Doce), RD056 (córrego Caratinga), e RD084 (rio Suaçuí Pequeno) são aquelas com as pressões mais elevadas. Estas áreas citadas tiveram altas porcentagens em praticamente todos os indicadores utilizados. Por outro lado, avaliando a conjuntura geral, é notório que a contribuição do percentual de amostras violadas para coliformes e do percentual de área desmatada é mais significativa. Esperava-se, contudo, que essas unidades que registraram maiores pressões estivessem espacialmente relacionadas aos grandes centros urbano-industriais, o que não foi verificado (exceto a RD056, que abrange Caratinga).

As áreas de contribuição das estações RD049 (rio Suaçuí Grande), RD074 (rio Piracicaba) e RD085 (rio Suaçuí Grande) são as que apresentaram menores pressões. Essas áreas apresentaram mais baixos percentuais em todos os dados utilizados. Em comum, está o fato de não abrangerem grandes centros urbanos e terem suas atividades econômicas principais voltadas aos serviços. Ademais, em uma interpretação zonal, nota-se menores pressões na faixa norte e oeste da bacia, ainda que existam alguns enclaves nessas zonas. Em contrapartida, a faixa sul da bacia e o centro-leste configuram as zonas de maiores pressões sobre os recursos hídricos.

Figura 4 Síntese das pressões sobre os recursos hídricos na bacia do Rio Doce (MG)



#### Considerações finais

Em novembro de 2015, o rompimento da barragem de Fundão, que retinha rejeitos da mineração de ferro da Samarco/Vale/BHP, trouxe à tona a fragilidade ambiental da bacia do rio Doce. Poucos meses antes, a mídia apresentava recordes negativos de cota do rio Doce evidenciando uma aclamada crise hídrica na bacia. Na verdade, ambas as situações apresentam-se como uma herança perversa de uma relação sociedade/natureza pautada no utilitarismo, no imediatismo e no lucro.

As pressões sobre os recursos naturais, em especial a água, na bacia do rio Doce são históricas e complexas. A ocupação urbana promove a concentração de efluentes que, se não tratados (como em grande parte dos casos), prejudicam a qualidade das águas fluviais, limitando seus usos. Além disso, a alteração da cobertura vegetal original promove uma série de implicações nos recursos hídricos tanto em termos quantitativos, quanto qualitativos.

As pressões econômicas sobre as águas também é inegável. As demandas por outorgas de água são crescentes. Na bacia do rio Doce, elas são concentradas nos usos para irrigação (muitas das vezes realizada com baixo nível técnico e alta taxa de desperdício) e para o processo industrial. Em especial, na bacia, as atividades minerárias demandam um volume de água expressivo, seja no processo produtivo, seja para o escoamento dos produtos via minerodutos. Uma ampla discussão na sociedade e na comunidade acadêmica vem se abrindo acerca das implicações das outorgas para esse tipo de atividade, em um período em que os usos domésticos estão sendo racionados.

O indicador sintético de pressão proposto, de um modo geral, uma relação sociedade/água degradante. Todavia, há grande heterogeneidade espacial na distribuição do índice. Diferentemente do que poderia ser levantado em um raciocínio mais raso, as principais concentrações urbanas não foram necessariamente associadas às mais elevadas pressões. Isso, pois a concentração demográfica está relacionada à concentração de recursos, que promove a ampliação das possibilidades de técnicas de controle ambiental. Além disso, o desmatamento que é um elemento essencial na compreensão da fragilidade ambiental está associado ao processo histórico de ocupação da bacia.

Por fim, não se espera que iniciativas pontuais revertam o quadro de degradação da bacia. Entretanto, uma mudança na lógica do licenciamento e controle ambiental é absolutamente essencial. A recente tragédia promovida pelo crime ambiental da Samarco é uma prova que há falhas na política nacional de meio ambiente, o que precisa ser tratado com seriedade. A água é um elemento essencial não apenas para o sistema econômico, mas também para a vida. Assim, não deve ser entendido apenas como um recurso, mas como um elemento essencial à integridade do sistema ambiental. Por isso, as áreas de maior pressão ambiental na bacia devem ser identificadas e compreendidas, para que iniciativas melhoria da qualidade ambiental sejam efetivadas, seja pelo setor público, privado, ou mesmo pela sociedade civil.

## Referências Bibliográficas

- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. A Gestão dos Recursos Hídricos e a Mineração. Brasília: ANA, 2006.
- ANA – Agência Nacional de Águas. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: regiões hidrográficas brasileiras – Edição Especial. Brasília: ANA, 2015.
- BERTRAND, Georges. Paisagem e Geografia Física Global. Esboço Metodológico. Revista RA'E GA, Curitiba, n. 8. v.?, p. 141-152. 2004.
- CHRISTOFOLETTI, Antonio. Modelagem de sistemas ambientais. Edgard Blücher, 1999.
- COELHO, André Luiz Nascentes. Situação hídrico-geomorfológica da bacia do rio Doce com base nos dados da série histórica de vazões da estação de Colatina – ES. Caminhos de Geografia, Uberlândia, v. 6, n. 19, p. 56-79, out. 2006.
- CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME. Plano integrado de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Doce e planos de ações para as unidades de planejamento e gestão de recursos hídricos no âmbito da bacia do rio Doce. Relatório Executivo. 2010. 99 p.
- CUPOLILLO, Fulvio; ABREU, Magda Luzimar; VIANELLO, Rubens Leite. Climatologia da bacia do rio Doce e sua relação com a topografia local. Geografias, Belo Horizonte, v. 4, n. 1, p. 45-60, 2008.
- DEAN, Warren. A ferro e fogo: A história e a devastação da Mata Atlântica brasileira. São Paulo: Cia. das Letras, 1996. 484 p.
- DONHA, Annelissa G.; SOUZA, LC de P.; SUGAMOSTO, Maria L. Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG. Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental, v. 10, n. 1, p. 175-181, 2006.
- EUCLYDES, Humberto Paulo; FERREIRA, Paulo Afonso; RUBERT, Og Arão Vieira. Regionalização da Vazão Máxima, Mínima e Média de Longo Período e da Curva de Permanência para a Bacia do Rio Doce, Minas Gerais. In: Tecnologia para elaboração de projetos hidroagrícolas em bacias hidrográficas para o Estado de Minas Gerais. Viçosa: Convênio UFV, RURALMINAS, 1996. p.1-96. (Boletim técnico, n.º 3).
- FUNASA – Fundação Nacional de Saúde. Manual Prático de Análise da Água. Brasília: FUNASA2009.
- INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM. Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais no estado de Minas Gerais – 4º Trimestre de 2014. Belo Horizonte: IGAM, 2015.
- KAWAKUBO, Fernando Shinji et al. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, p. 16-21, 2005.
- MEIRELES, Margareth Simões Penello. Análise integrada do ambiente através de geoprocessamento – uma proposta metodológica para elaboração de zoneamentos. 1997. 192 f. Tese (Doutorado em Ciências), Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997.
- NETO, José Oliveira de Almeida; MENDES, Laís Carneiro; DIAS, Johnny de Souza; FELIPPE, Miguel Fernandes. Fragilidade Ambiental da porção mineira da bacia do rio Doce. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 16., 2015.Teresina. Anais...Teresina: UFPI, 2015. p. 1952-1958.

OLIVEIRA, Jully Gabriela Retzlaf; RALISCH, Ricardo; GUIMARÃES, Maria de Fátima; BARBOSA, Graziela Moraes de Cesare; FILHO, João Tavares. Erosão no plantio direto: perda de solo, água e nutrientes. *Boletim de Geografia, Maringá*, v. 30, n. 3, p. 91-98, 2012.

REBOUÇAS, Aldo da Cunha. Água no Brasil: Abundância, Desperdício e Escassez. *Bahia Análise & Dados, Salvador*, v. 13, n. Especial, p. 341-345, 2003.

RELATÓRIO Técnico-científico das atividades do Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração - PELD. Dinâmica Biológica e a Conservação da Biodiversidade da Mata Atlântica no Médio Rio Doce - MG. Site 4 - Mata Atlântica e Sistema Lacustre do Médio Rio Doce - MG. Relatório Técnico-Científico das atividades de janeiro a dezembro de 2005. Abril, 2006, 443p.

RIBEIRO, J. W; ROOKE, J. M. S; Saneamento Básico e sua relação com o meio ambiente e a saúde pública. 2010. 28f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em análise ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2010.

OLIVEIRA, Jully Gabriela Retzlaf; RALISCH, Ricardo; GUIMARÃES, Maria de Fátima; BARBOSA, Graziela Moraes de Cesare; FILHO, João Tavares. Erosão no plantio direto: perda de solo, água e nutrientes. *Boletim de Geografia, Maringá*, v. 30, n. 3, p. 91-98, 2012.

REBOUÇAS, Aldo da Cunha. Água no Brasil: Abundância, Desperdício e Escassez. *Bahia Análise & Dados, Salvador*, v. 13, n. Especial, p. 341-345, 2003.

RELATÓRIO Técnico-científico das atividades do Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração - PELD. Dinâmica Biológica e a Conservação da Biodiversidade da Mata Atlântica no Médio Rio Doce - MG. Site 4 - Mata Atlântica e Sistema Lacustre do Médio Rio Doce - MG. Relatório Técnico-Científico das atividades de janeiro a dezembro de 2005. Abril, 2006, 443p.

RIBEIRO, J. W; ROOKE, J. M. S; Saneamento Básico e sua relação com o meio ambiente e a saúde pública. 2010. 28f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em análise ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2010.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. *Revista do Departamento de Geografia, São Paulo*, n.º 8, p. 63-73, 1994.

SAINT-HILAIRE, Auguste de. Viagem pelas Províncias do Rio de Janeiro e Minas Gerais. Belo Horizonte: Itatiaia; São Paulo: EDUSP, 1975.

SILVA, Mayesse Aparecida; SILVA, Marx Leandro Naves; CURI, Nilton; AVANZI, Júnior Cesar; LEITE, Fernando Palha. Sistemas de Manejo em Plantios Florestais de Eucalipto e Perdas de Solo e Água na Região do Vale do Rio Doce, MG. *Ciência Florestal, Santa Maria*, v. 21, n. 4, p. 765-776, 2011.

SOUZA, Laura de Mello e. Famílias de sertanistas: expansão territorial e riqueza familiar em Minas na segunda metade do século XVIII. 1998, pp. 15-16. (mimeo).

SWYNGEDOUW, Erik Achille Marie. Social Power and the Urbanization of Water: Flows of Power. Oxford: University Press, 2004. 209 p.

SPÖRL, Christiane; ROSS, JL Sanches. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. *GEOUSP-Espaço e Tempo*, v. 15, p. 39-49, 2004.

TRICART, J. Ecodinâmica. Rio de Janeiro: IBGE, 1977.

VALVERDE, Orlando. Estudo Regional da Zona da Mata de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro*, v. 20, n. 1, p. 3-79, 1958.