

RECURSOS HÍDRICOS DA MICRORREGIÃO CENTRO-OESTE DO ESPÍRITO SANTO E SUA RELAÇÃO COM O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

WATER RESOURCES OF THE CENTRO-OESTE MICRORREGION OF ESPÍRITO SANTO AND ITS RELATIONSHIP WITH SUSTAINABLE DEVELOPMENT

^{1*}Gustavo Soares de Souza

²Patrícia Pereira Gonoring

³Leandro de Souza Lino

¹Leandro Glaydson da Rocha Pinho

¹Instituto Federal do Espírito Santo – Itapina. E-mail: gustavo.souza@ifes.edu.br; leandro.pinho@ifes.edu.br

²Instituto Federal do Espírito Santo – Cariacica. E-mail: trab.patriciagonoring@gmail.com

³União Capixaba de Ensino (UNICAPE / FAESA). E-mail: lsolino@gmail.com

*Autor de correspondência

Artigo submetido em 28/03/2021, aceito em 15/06/2021 e publicado em 02/09/2021.

Resumo: Este trabalho objetiva analisar a disponibilidade hídrica da microrregião Centro-Oeste do estado do Espírito Santo e avaliar suas utilidades em um contexto de desenvolvimento sustentável. A microrregião é composta por dez municípios e está inserida na unidade de gestão de recurso hídrico (UGRH) Doce. O trabalho foi baseado no levantamento de dados secundários, em entrevistas e na participação em reuniões técnicas com atores locais. As reuniões foram realizadas no período de julho a dezembro de 2020, utilizando plataformas digitais de comunicação. A UGRH Doce apresentou balanço hídrico das águas superficiais de 158%, o que representa um consumo maior que a oferta. Ao considerar a necessidade de vazão para diluir efluentes, o balanço hídrico foi de 257%, indicando a necessidade de ações de saneamento básico. Quanto à qualidade da água, o rio Doce é considerado de classe II, mas seus afluentes apresentaram valores de turbidez, fósforo total e coliformes termotolerantes acima dos limites preconizados. Os rios apresentaram sazonalidade no Índice de Qualidade de Água, variando entre as classes ruim e ótima. O rompimento da barragem de Fundão em 2015 e o lançamento de rejeitos de mineração no rio aumentaram os teores de arsênio, cádmio, chumbo, cromo, cobre, mercúrio e níquel na água, além de impactos socioeconômicos. Quanto aos tipos de uso da água, a irrigação predomina com 95% da captação e 98% do consumo, seguida pelo abastecimento humano e industrial. Projeções futuras indicaram um agravamento da escassez hídrica. A microrregião necessita de ações de gestão e estruturantes para minimizar os impactos com novos eventos climáticos extremos, o que pode influenciar no desenvolvimento da região.

Palavras-chave: bacia hidrográfica; escassez hídrica; irrigação; qualidade da água; rio Doce.

Abstract: This work aims to analyze the water availability of the Central-West Microregion of the state of Espírito Santo and to evaluate its usefulness in a context of sustainable development. The microregion is made up of ten municipalities and it is part of the water resource management unit (WRMU) Doce. The work was based on the collection of secondary data, interviews and participation in technical meetings with local actors. The meetings were held from July to December 2020, using digital communication platforms. WRMU Doce presented a water balance of surface waters of 158%, which represents a consumption greater than the supply. When considering the need for flow to dilute effluents, the water balance was 257%, indicating the need for basic sanitation actions. As for water quality, the Doce River is considered class II, but its tributaries presented turbidity, total phosphorus and thermotolerant coliform values above the recommended limits. The rivers presented seasonality in the Water Quality Index, varying between bad and excellent classes. The collapse of the Fundão dam in 2015 and the release of mining tailings into the river increased the levels of arsenic, cadmium, lead, chromium, copper, mercury and nickel in the water, in addition to causing socioeconomic impacts. As for the types of water use, irrigation predominates with 95% of uptake and 98% of consumption, followed by human and industrial supply. Future projections indicated a worsening of water scarcity. The microregion needs management and structuring actions to minimize the impacts of new extreme climate events, which may influence the region's development.

Keywords: hydrographic basin; water scarcity; irrigation; water quality; Doce river.

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural vital para a manutenção dos seres vivos e que está sendo degradado em muitas regiões do país. Recentemente, intensificou-se a preocupação da sociedade e de agências governamentais em relação a condição atual dos recursos hídricos e a sua disponibilidade, em razão da deterioração de suas características qualitativas e quantitativas. O aumento da demanda de recursos hídricos é proveniente do crescimento da população, da indústria, do setor de energia elétrica, pela expansão da produção agrícola e questões relacionadas com as mudanças climáticas (FUNG; LOPES; NEW, 2011; GUANDIQUE; MORAIS, 2015).

A demanda hídrica crescente tem provocado alterações na quantidade e qualidade dos recursos hídricos, resultando na diminuição de sua disponibilidade, principalmente em regiões urbanas com elevada densidade populacional ou com uso intensivo do tipo industrial e agrícola (FUNG; LOPES; NEW, 2011). Em algumas regiões, a emissão de poluentes nos cursos hídricos ultrapassa o limite natural de autodepuração, resultante dos processos biológicos para diluir e assimilar

esgotos e resíduos recebidos (NOVAIS *et al.*, 2019), inviabilizando os serviços ecossistêmicos e a demanda ecológica.

A microrregião Centro-Oeste do estado do Espírito Santo apresentou recentemente um baixo grau de segurança hídrica, com risco para o abastecimento urbano e as atividades agropecuárias e industriais (ANA, 2019 b,c). A insuficiência na disponibilidade e/ou a baixa qualidade da água geram efeitos diretos no cotidiano da população e na economia de uma região, o que requer a busca de alternativas para o enfrentamento dos problemas (ANA, 2016).

A disponibilidade hídrica é uma estimativa do volume de água disponível para atendimento aos usos múltiplos de uma região, sendo um dos fatores decisivos para o desenvolvimento e planejamento socioeconômico. Ela norteia a escolha da melhor alternativa de aproveitamento hídrico para os diversos setores usuários presentes na bacia (GONÇALVES, 2020).

No Brasil são estabelecidos valores máximos de retirada de volume de água de um corpo hídrico, outorgados pelo poder público num prazo determinado, visando assegurar o controle qualitativo e quantitativo dos usos da água e mantendo uma vazão mínima remanescente para

cumprir serviços ecossistêmicos (GONÇALVES, 2020). A vazão mínima remanescente é a menor vazão a ser mantida no curso de água visando o atendimento aos usos múltiplos de recursos hídricos e define o limite máximo outorgável para um curso hídrico. No Espírito Santo, o limite máximo de outorga de um curso hídrico é de 50% da vazão mínima com 90% de permanência no tempo ($Q_{90\%}$), conforme Instrução Normativa do IEMA nº 13/2009 (SEAMA, 2018). Estados como Rio de Janeiro e São Paulo utilizam um critério mais restritivo, sendo 50% da vazão mínima de sete dias de duração com tempo de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$) (GONÇALVES, 2020).

Os tipos de usos da água são separados em consuntivos e não-consuntivos (ANA, 2005). Os usos consuntivos referem-se àqueles que captam certo volume de água dos corpos hídricos e posteriormente devolvem apenas uma parcela deste montante e, portanto, levam ao consumo de determinado volume de água ao longo de seus processos, sendo os setores: abastecimento público, industrial, agrícola, pecuário, mineração e aquicultura (SEAMA, 2018).

Os usos não-consuntivos referem-se àqueles que captam certo volume de água, porém este é devolvido integralmente aos corpos hídricos posteriormente, ou que utilizam os recursos hídricos para algum fim que não represente consumo hídrico (SEAMA, 2018). Nestes usos foram considerados a geração de energia, o transporte hidroviário, pesca, turismo, lazer e proteção ambiental.

O objetivo do trabalho foi analisar a disponibilidade hídrica da microrregião Centro-Oeste do estado do Espírito Santo e avaliar suas utilidades, principalmente em um contexto de desenvolvimento sustentável. Para tanto, além de discussões sobre seus usos atuais, também foram debatidas as prioridades futuras frente a um cenário cada vez mais recorrente de escassez hídrica.

2 ASPECTOS METODOLÓGICOS

2.1 REGIÃO DE ESTUDO

O trabalho foi realizado sobre os recursos hídricos da microrregião Centro-Oeste do estado do Espírito Santo, conforme divisão geopolítica Lei 9.768/2011, para fins de planejamento estadual (ESPÍRITO SANTO, 2011), sendo composta por dez municípios (Tabela 1).

Tabela 1. Municípios da microrregião Centro-Oeste presentes nas Unidades de Planejamento (UP) São José (SJ), Guandu e Santa Maria do Doce (SMD).

Município	UP
Alto Rio Novo	SJ
Baixo Guandu	Guandu
Colatina	SJ / SMD
Governador Lindenberg	SJ
Marilândia	SJ
Pancas	SJ
São Domingos do Norte	SJ
São Gabriel da Palha	SJ
São Roque do Canaã	SMD
Vila Valério	SJ

Fonte: adaptado de Consórcio Ecoplan-Lume (2010a,b,c,d).

A região está inserida na Unidade de Gestão de Recurso Hídrico (UGRH) Doce (Figura 1), que no estado do Espírito Santo é subdividida em três Unidades de Planejamento (UP), sendo: Guandu, Santa Maria do Doce e São José (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME 2010a).

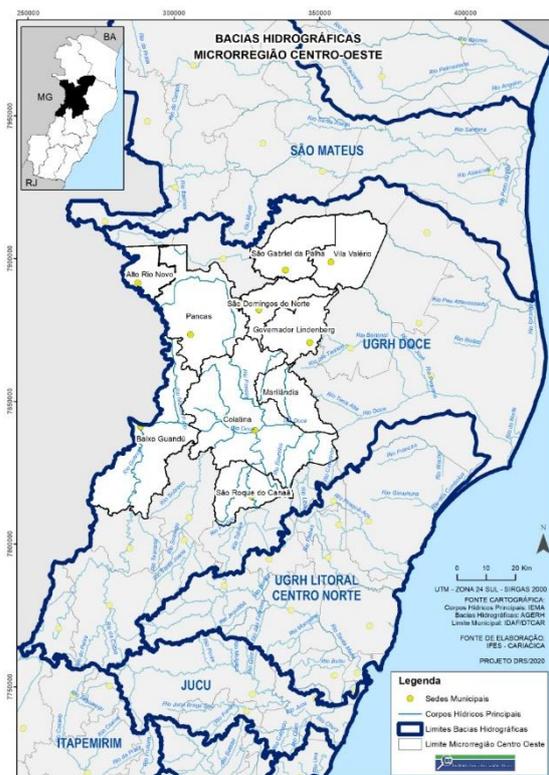
2.2 BASE DE DADOS

O ponto de partida para a elaboração deste trabalho foi baseado no levantamento de dados secundários, obtidos por meio de revisão bibliográfica acerca do tema recursos hídricos, especialmente em um contexto de desenvolvimento sustentável (HUMMELS; ARGYROU, 2021).

Foram utilizados os dados a seguir: disponibilidade hídrica (SEAMA, 2018), qualidade da água (IGAM, 2018; SEAMA, 2018, CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010a), índice de qualidade da água (AGERH, 2020), presença de metais pesados (ANA, 2016, 2019c; IGAM, 2018;

FUNDAÇÃO RENOVA, 2019; DUARTE *et al.*, 2021) uso consuntivo e não consuntivo (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010a; SEAMA, 2018). A busca pelas bibliografias foi realizada no Google Acadêmico e no Portal de Periódicos CAPES, por meio da busca por assunto, utilizando as mesmas como palavras-chave, acrescentando os termos “Espírito Santo” ou “rio Doce”. Neste sentido, vale mencionar as bases destas discussões, como as apontadas por Hummels e Argyrou (2021), em que cita a necessidade das gerações humanas terem os mesmos direitos ao “meio ambiente”, independente do momento em que vivem. Tal afirmação denotou a necessidade de conservação dos recursos naturais pelas gerações atuais para que as futuras tenham acesso as mesmas condições ambientais.

Figura 1. Distribuição espacial dos municípios da microrregião Centro-Oeste na UGRH Doce



Fonte: os autores.

A base da pesquisa também foi composta por entrevistas individuais e em grupos e por meio da participação em

reuniões técnicas com atores locais, previamente acordado com os participantes, realizadas no período de julho a dezembro de 2020, utilizando plataformas de comunicação digitais e internet e devidamente gravadas. Essas entrevistas e reuniões foram agendadas pela equipe do Projeto Desenvolvimento Regional Sustentável – Microrregiões Centro-Oeste e Rio Doce executado pelo Instituto Federal do Espírito Santo por meio de um Convênio de Cooperação Técnica junto à Secretaria de Estado de Planejamento e Economia, ao Instituto Jones dos Santos Neves e a Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo. Nestas entrevistas e reuniões foram ouvidas 86 pessoas de forma voluntária associadas aos aspectos de disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos, sendo representantes de setores públicos (SEAG, IDAF, INCAPER, SEAMA, IEMA, AGERH, ICMBIO, IFES, UFES, IMA, CEPAGRI/UNICAMP, secretarias municipais de agricultura e meio ambiente, entre outros), privados (consultores, prestadores de serviço, vendedores de produtos, entre outros) e organizações não governamentais (SOS Mata Atlântica).

Os dados quantitativos extraídos das bibliografias foram apresentados por meio de figuras e tabelas. Aspectos qualitativos também foram considerados nas discussões e criando um debate sobre as características gerais da disponibilidade e qualidade hídrica na microrregião Centro-Oeste. Também se encontram suas formas de uso e suas perspectivas em cenários futuros de disponibilidade e uso hídrico baseados em estatísticas de crescimento populacional e econômico (ANA, 2019 b,c; CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010a; SEAMA, 2018; SEAMA, 2018). Essas projeções foram realizadas até 2038.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 DISPONIBILIDADE HÍDRICA

A UGRH Doce apresentou balanço hídrico quantitativo considerando as águas

superficiais de 158% (Tabela 2), o que representa um resultado crítico para os municípios que integram a microrregião, com o consumo maior que a disponibilidade hídrica de referência (100%). Valores acima de 40% são considerados muito críticos (ANA, 2005). Isso indica a necessidade de ações de gestão e com maior impacto na redução das demandas ou incremento da oferta hídrica. Investir em tecnologias para aumentar a eficiência hídrica em setores produtivos, principalmente agrícolas e industriais, é uma necessidade atual.

Tabela 2. Balanço quantitativo e qualitativo dos recursos hídricos superficiais (Sup) e subterrâneos (Sub) na UGRH Doce

Balanço hídrico	UGRH (%)
Quantitativo / Sup	158
Quali-quantitativo / Sup	257
Quantitativo / Sup e Sub	91

Fonte: SEAMA (2018).

Em 2000, a UGRH Doce apresentou um balanço hídrico considerado como confortável, ou seja, com um consumo entre 5 e 10% apenas da água disponível (ANA, 2005). Quando comparado ao balanço hídrico atual (Tabela 2), fica evidente o crescimento populacional e econômico ocorrido nas últimas décadas, concordando com Licínio *et al.* (2015). Como ponto negativo, destaca-se o crescimento de conflito pelo uso da água em diversas localidades (CAMPOREZ, 2016a). O acompanhamento do balanço hídrico de uma bacia ajuda a evitar situações futuras de escassez de água, pois permite identificar cenários críticos ou regiões com conflito, onde a demanda encontra-se elevada com relação à produção de água e melhor o planejamento das ações mitigadoras.

No balanço hídrico quali-quantitativo considerou os aspectos conjuntos de qualidade e quantidade de água. Neste caso, vazões de diluição de efluentes foram introduzidas no balanço, somadas às vazões de captação. Tal abordagem considera que a diluição dos

efluentes domésticos, industriais e de cargas difusas requer determinada vazão disponível nos cursos de água. Os resultados mostraram uma situação muito crítica com balanço hídrico de 257% na UGRH Doce (Tabela 2), uma vez que o comprometimento hídrico para a diluição de efluentes e para demandas de usos consuntivos é superior à disponibilidade hídrica superficial, o que ocorre em praticamente todo o Estado (SEAMA, 2018). Entre estas ações, a mais óbvia é o tratamento dos esgotos domésticos, principal fonte das cargas orgânicas consideradas para estimativa das vazões de diluição (NOVAIS *et al.*, 2011).

Outra análise do balanço hídrico considerou as disponibilidades hídricas superficiais e subterrâneas. Neste caso, foi adicionada 20% da quantidade de águas subterrâneas da reserva ativa ou renovável à disponibilidade hídrica superficial e esta soma foi comparada com a demanda hídrica. A UGRH Doce apresentou balanço hídrico de 91% (Tabela 2), cenário mais otimista em relação aos resultados anteriormente discutidos. Contudo, vale destacar que praticamente todo o território da microrregião Centro-Oeste se encontra sobre aquíferos fraturados, onde a água subterrânea está presente nas fissuras que nem sempre são acessíveis por perfurações de poços (CONSÓRCIO ECOPLANLUME, 2010a,b,c,d). Apenas na parte litorânea e de baixadas da UGRH Doce ocorrem os aquíferos granulares com maior produtividade (SEAMA, 2018). Mas, estes apresentam problemas de intrusão salina que limitam o uso das águas subterrâneas.

Também deve ser considerado que os volumes das reservas ativas de água podem ser altos, mas a produtividade (volume por tempo) pode ser insuficiente para atender às demandas hídricas de grandes empreendimentos agrícolas e industriais presentes na microrregião Centro-Oeste. Mas, devido à importância estratégica as águas subterrâneas devem ser preservadas e destinadas a objetivos específicos de uso. Estas observações são

importantes devido aos aspectos de qualidade da água subterrânea, pelo fato de demandarem tratamento simplificado para o consumo humano (SEAMA, 2018).

Analisando os principais rios da UGRH Doce, tem-se que o São José, Guandu, Santa Maria do Doce e Pancas apresentavam balanço hídrico superficial de 23,1%, 20,1%, 7,9% e 31,5%. Estes foram classificados como confortável em 2010, enquanto o rio Santa Joana já apresentava balanço igual a 61,6% classificado como preocupante (CONSÓRCIO ECOPLANLUME, 2010a,b,c,d).

Em 2010, os relatórios já indicavam uma situação crítica em grande parte das unidades de planejamento quanto à disponibilidade hídrica. Em 2012, a ANA também havia identificado a bacia do rio Doce como de especial interesse para gestão de recursos hídricos, apresentando problemas de quantidade e de qualidade no seu curso d'água principal (ANA, 2016). Este cenário vem se agravando nas últimas décadas, devido ao crescimento econômico e urbano da região, principalmente relacionado a atividade agrícola, resultando em aumento da demanda hídrica da região (LICÍNIO *et al.*, 2015).

Na microrregião predomina a classe de declividade ondulado e forte ondulado, com ocorrência significativa da classe montanhosa na maioria dos municípios (SEAMA, 2018). Essa declividade favorece o processo erosivo, dificulta uma agricultura mecanizada e acaba limitando o desenvolvimento econômico (SOUZA *et al.*, 2019). Desenvolver e adaptar tecnologias para a agricultura de montanha é um desafio para os órgãos de governo e para o setor privado. Essa elevada dificuldade no trabalho e a falta de incentivo político-financeiro criam um cenário de êxodo rural e abandono de áreas agricultáveis, intensificando a degradação do solo (BARRETO; SARTORI, 2012) e o empobrecimento da região.

Outro desafio é fiscalizar práticas de manejo em condições de declividade acentuada, uma vez que no estado é

proibido o preparo do solo no sentido do declive em áreas com declividade média maior de 44,5% (ESPÍRITO SANTO, 2001). Esse preparo do solo no sentido do declive é frequente na microrregião, principalmente para reforma de pastagens. O solo desagregado fica mais suscetível a erosão, sendo os sedimentos carregados para os cursos d'água, causando assoreamento e redução da qualidade hídrica.

Nas três unidades de planejamento (Tabela 1), a microrregião em estudo apresenta uma combinação de tipos de solo e relevo que favorecem o processo erosivo (BARRETO; SARTORI, 2012; SEAMA, 2018). Tais fatos reforçam a necessidade de implantação de mecanismos de controle de erosão aliados à preservação dos fragmentos florestais, para minimizar o processo de degradação do solo e produção de sedimentos nos cursos hídricos (HOFFMAN; OLIVEIRA, 2018). Esses mecanismos devem associar a indução de práticas de conservação do solo com a recuperação das áreas de preservação permanente atualmente degradadas.

De acordo com levantamento realizado por Barreto e Sartori (2012), as regiões hidrográficas de Santa Maria do Doce, Guandu, Santa Joana, Pancas, São José apresentaram 16,0%, 15,8%, 15,5%, 12,6% e 7,9% de suas áreas degradadas, respectivamente, sendo as quatro primeiras as bacias mais degradadas do estado. Esses dados ajudam a explicar a alta suscetibilidade a degradação que ocorre em praticamente toda a microrregião, resultado de um planejamento de uso e ocupação do solo inadequados, associados a regiões mais declivosas.

3.2 QUALIDADE DA ÁGUA

A análise de variáveis de qualidade da água é relevante para a compreensão dos níveis de qualidade dos corpos hídricos e delimitada de acordo com os usos, finalidade e sua destinação. As análises de qualidade da água subsidiam o processo de enquadramento dos corpos hídricos,

conforme os padrões de qualidade estabelecidos pela resolução N° 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2005) e alterada pelas resoluções CONAMA N° 397/2008, 410/2009 e 430/2011, que dispõem sobre a classificação das águas doces, salobras e salinas, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.

Em regiões urbanas densas ou com uso intensivo do tipo industrial e agrícola, os tipos usos podem provocar alterações na qualidade da água e geralmente diminuem a disponibilidade dos recursos hídricos. Isto ocorre porque a água tem um limite natural de autodepuração, resultante dos processos naturais de diluir e assimilar esgotos e resíduos (GUANDIQUE; MORAIS, 2015).

O rio Doce é classificado, nos critérios estabelecidos pela referida resolução, como de águas doces de classe 2 (IGAM, 2018; SEAMA, 2018). Os usos prioritários para corpos hídricos classes 2 são: o abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional, a proteção das comunidades aquáticas, a recreação de contato primário, tais como natação, esqui-aquático e mergulho, a irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto, e a aquicultura e a atividade de pesca (CONAMA, 2005; ANA, 2016; SEAMA, 2018). Entretanto, outros usos que exigem qualidade da água inferior também podem ser feitos em rios classe 2, tais como ao abastecimento para consumo humano, após tratamento avançado, à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras, à pesca amadora, à recreação de contato secundário, à dessedentação de animais, à navegação e à harmonia paisagística.

Contudo o enquadramento oficial ainda está em processo de definição pelo Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Doce. Na calha principal do rio Doce o impacto sobre a qualidade da água é minimizado pela maior vazão disponível, com destaque para a pouca expressividade da matéria orgânica biodegradável e prevalência de

bons níveis de oxigenação das águas (ANA, 2016).

Os três pontos de monitoramento da qualidade da água na Unidade de Planejamento São José coletados em 2006 e 2007 apresentaram amostras com valores de turbidez, fósforo total e coliformes termotolerantes acima dos limites preconizados pela resolução N° 357/2005 CONAMA para a classe 2 (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010a). Os valores de coliformes e fósforo total explicaram o aporte de esgotos sanitários lançados nos cursos d'água sem o tratamento adequado, criando um quadro bacteriológico crítico da água. Resultados elevados de turbidez são um reflexo da produção de sedimentos na bacia provenientes de processos erosivos e da degradação do solo (HOFFMAN; OLIVEIRA, 2018).

As regiões hidrográficas desta microrregião apresentaram áreas significativas com histórico de solos degradados (BARRETO; SARTORI, 2012), com ocorrência de processos erosivos que contribuem para a produção de sedimentos para os cursos de água superficiais, reduzindo sua qualidade. Além disso, quantidades reduzidas de áreas cobertas com vegetação natural principalmente nas margens dos rios são observadas (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010a). Áreas de preservação permanente nas beiras dos rios contribuiriam para redução dessa turbidez dos cursos hídricos e melhorariam a qualidade da água (FIORESE; TORRES, 2019). Isso evidencia a importância de projetos de reflorestamento, como o Reflorestar (SEAMA, 2020).

Um importante método de avaliação da qualidade hídrica é o Índice de Qualidade da Água (IQA), sendo calculado a partir das variáveis: coliformes fecais, pH, demanda bioquímica de oxigênio, oxigênio dissolvido, nitrogênio total, fósforo total, temperatura, turbidez, resíduos totais, conforme CETESB (2019) e AGERH (2020). Os principais rios da UGRH apresentaram grande sazonalidade no IQA,

variando de um recurso de classe ruim a ótima (Tabela 3), sendo influenciados pelos períodos de maior e menor vazão dos rios. Esses dados concordaram com Mello *et al.* (2020), que comentaram que as águas dos rios brasileiros estão perdendo qualidade por causa da falta de planejamento no uso do solo. Os autores associaram isso a agricultura e urbanização, como fatores que preocupam pela extensão, contudo a mineração presente na bacia hidrográfica mesmo ocupando áreas relativamente pequenas apresentam elevado potencial de dano ambiental.

Tabela 3. Índice de Qualidade de Água (IQA) dos principais rios da UGRH Doce

Rio	Período (mês/ano)	IQA (%)	Classe*
Doce	1/07 a 1/20	34 a 86	ruim a boa
Pancas	6/07 a 1/20	21 a 79	ruim a boa
Rio Guandu	6/07 a 1/20	39 a 75	aceitável a boa
Santa Joana	6/07 a 1/20	44 a 86	aceitável a boa
Santa Maria do Doce	4/18 a 1/20	47 a 84	aceitável a boa
São José	5/07 a 1/20	30 a 92	ruim a ótima

*Classe: péssima (IQA20%), ruim ($20 \leq \text{IQA} < 37\%$), aceitável ($37 \leq \text{IQA} < 52\%$), boa ($52 \leq \text{IQA} < 80\%$), ótima ($80 \leq \text{IQA} < 100\%$).

Fonte: AGERH (2020).

Esses dados concordam com a percepção dos entrevistados, tanto agentes governamentais, quanto representantes da sociedade civil, que declararam piora da qualidade da água do rio Doce, relacionada a coloração no período da chuva e a presença de bancos de areia na época seca. Outro problema apontado nas entrevistas foi o lançamento de esgoto sem tratamento no rio, além do histórico de mineração ocorrido principalmente no estado de Minas Gerais, como causas que contribuíram para essa redução na qualidade da água nas últimas décadas.

Nas áreas urbanas existem dois problemas principais apontados por Mello *et al.* (2020). O primeiro é a

impermeabilização do solo. Em período de chuva a água é escoada para os rios e lagos, levando contaminantes diversos, inclusive metais pesados. O segundo problema é o lançamento de esgoto sem tratamento nos rios, como coliformes fecais, resíduos orgânicos e outros poluentes. Isso no Brasil é significativo já que quase metade da população brasileira não possui tratamento de esgoto (MELLO *et al.*, 2020). O índice médio de coleta de esgotos nas Unidades de Planejamento São José, Guandu e Santa Maria do Doce é de 60, 72 e 47%, respectivamente, enquanto o percentual de tratamento é de apenas 24, 17 e 7% (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010a,b,c,d).

A atividade agropecuária afeta a dinâmica do escoamento superficial, além de ser responsável por um grande aporte de nutrientes como nitrogênio e fósforo e outras substâncias químicas nos cursos de água (MELLO *et al.*, 2020). Segundo esses autores, o Brasil é um dos maiores consumidores de fertilizantes e agrotóxicos do mundo, o que gera impactos nas águas superficiais e subterrâneas. A região em análise apresenta intensa atividade agrícola, concordando com os resultados. Dessa forma, o controle da produção de sedimentos é necessário, além de ações integradas para a recuperação da bacia, envolvendo restauração de matas ciliares, implantação de dispositivos de controle de enxurradas em estradas rurais e recuperação de áreas degradadas, além de cuidados extremos com as atividades de mineração (ANA, 2016).

O rompimento da barragem de Fundão, localizada no distrito de Bento Rodrigues, município de Mariana, no dia 5 de novembro de 2015, fez com que 34 dos 50 milhões de m³ de rejeitos de mineração armazenados escoassem até o rio Doce, no que é considerado o maior desastre ambiental da história do Brasil, causando diversos impactos socioeconômicos e ambientais (ANA, 2016, 2019c; FERNANDES *et al.*, 2016). O barramento, classificado como Classe III, de alto

potencial de dano ambiental, era destinado a receber e armazenar o rejeito gerado pela atividade de beneficiamento de minério de ferro (IGAM, 2018).

O sistema fluvial recebeu um fluxo de lama intenso que foi transportado por mais de 650 km, até atingir a foz do rio Doce no Oceano Atlântico, em Linhares-ES, no dia 21 de novembro de 2015 (ANA, 2019c; DUARTE *et al.*, 2021; FERNANDES *et al.*, 2016). No oceano, a mancha de coloração alaranjada espalhou-se por uma área de aproximadamente 7.000 km², atingindo inclusive unidades de conservação (ANA, 2016). Como a área já tinha sido impactada pelas atividades de mineração, urbana, industrial e agropecuária de longo histórico (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010a), ficou ainda mais complexa a avaliação do desastre e a quantificação dos reais danos do rompimento.

Com o rompimento da barragem não houve aporte de nenhum elemento químico novo na bacia, mas elevações significativas nas concentrações de metais pesados, como alumínio, arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio e níquel, prejudiciais à saúde humana, mesmo quando ingeridos em pequenas concentrações (ANA, 2016; IGAM, 2018). Estes elementos quando presentes na água podem inviabilizar o abastecimento público, uma vez que o tratamento do tipo convencional não os remove com eficiência, e também eles podem se acumular na biota aquática e, devido à sua toxicidade, causam prejuízos aos ecossistemas aquáticos naturais. Além disso, o consumo de pescado contaminado com esses metais pode resultar em problemas de saúde para a população (ANA, 2016; IGAM, 2018).

De acordo com a ANA (2016, 2019c) e IGAM (2018), a passagem da pluma de rejeitos elevou a concentração de sedimentos e os níveis de turbidez em todo o rio Doce por vários dias. Isso resultou na interrupção total ou parcial do abastecimento de água de 12 cidades de dois estados da federação (Espírito Santo e

Minas Gerais), afetando 477.000 pessoas, além de 88 indústrias, 49 empreendimentos agrícolas e 6 com outros usos. A passagem do pico da pluma de sedimentos durou 5 dias, mas o tempo durante o qual os níveis de turbidez ficaram acima de 1.000 unidades nefelométricas de turbidez (UNT) foi superior a 30 dias (Tabela 4).

Tabela 4. Qualidade da água na calha do rio Doce, antes e após o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana-MG

Local	Turbidez (UNT)		Sólidos totais (mg L ⁻¹)	
	Antes ¹	Após	Antes	Após
Aimorés/MG	61	10.050	98	3.270
Baixo Guandu/ES	50	9.560	106	- ²
Itapina/ES	54	1.680	106	-
Colatina/ES	29	1.590	90	-
Linhares/ES	29	2.090	87	-

Local	Fe dissolvido (mg L ⁻¹)		Mn total (mg L ⁻¹)	
	Antes	Após	Antes	Após
Aimorés/MG	0,21	4,46	0,10	1,82
Baixo Guandu/ES	-	2,13	-	2,76
Itapina/ES	-	1,50	-	0,43
Colatina/ES	-	1,43	-	0,43
Linhares/ES	-	0,89	-	0,43

UNT: unidades nefelométricas de turbidez. Fe: ferro, Mn: manganês. ¹Período de coleta: 25/3/1998 a 21/12/2015. ²Dados inexistentes foram representados por um traço. Fonte: ANA (2016).

Vale destacar a ausência de informações da qualidade da água do rio Doce no Espírito Santo (Tabela 4), quando comparado com Minas Gerais, seja pela ausência de uma série histórica que permitisse caracterizar o cenário pretérito ao rompimento da barragem, seja pela necessidade de avaliações perenes para continuar o monitoramento e inferir o real dano ao curso hídrico.

De acordo com a ANA (2016) e Mello *et al.* (2020), os principais impactos sobre os corpos hídricos e os usos da água produzidos pelo desastre foram: 1- interrupção do abastecimento de água em função da degradação da qualidade da água nos rios afetados; 2- prejuízos à agricultura

(irrigação); 3- prejuízos à indústria e demais atividades econômicas que dependem da qualidade da água dos corpos hídricos atingidos; 4- prejuízos à produção de energia nas hidrelétricas; 5- comprometimento da pesca em toda a extensão do rio e na transição com o ambiente marinho; 6- comprometimento do turismo, sobretudo na região do estuário do rio Doce; 7- destruição de áreas de preservação permanente nos trechos de cabeceira; 8- assoreamento dos corpos hídricos; 9- alterações morfológicas dos corpos hídricos atingidos; 10- mortalidade de peixes e de outros organismos aquáticos; e 11- perturbações do equilíbrio dos ecossistemas aquáticos.

As variáveis cádmio total, chumbo total e cromo total apresentaram máximas históricas acima dos limites aceitáveis para águas de Classe 2 (ANA, 2016), mas sempre próximos ao limite preconizado (Tabela 5). Para as variáveis cobre dissolvido e mercúrio total as concentrações máximas históricas apresentaram valores 46 e 1.000 vezes superiores aos limites do CONAMA (2005), respectivamente. Entretanto, esses valores após o rompimento aumentaram de 147 a 16.286% em relação aos valores médios históricos ao longo do rio. Vale destacar que o IGAM monitora regularmente as concentrações de metais pesados (IGAM, 2018), enquanto o IEMA realizou o monitoramento emergencial após desastre e por não possuir uma série histórica não foram apresentados. Isso evidencia a necessidade de políticas públicas de monitoramento da qualidade dos recursos hídricos na UGRH para subsidiar o planejamento e os prognósticos para o desenvolvimento regional, o que foi enfatizado nas entrevistas e reuniões por alguns atores sociais.

Para a Fundação Renova (2019), não houve violação dos limites de referência legal para as variáveis arsênio total, cádmio total, chumbo total, cobre dissolvido, cromo total, mercúrio total, níquel total, zinco total, sólidos suspensos totais, turbidez e fósforo total nos pontos monitorados no rio

Doce e lagoas. Para os autores, o limite de referência legal foi ultrapassado para os metais alumínio dissolvido, ferro dissolvido e o manganês total. Os autores também observaram violações dos limites de referências legal para *Escherichia coli*, oxigênio dissolvido e nitrogênio total em amostras coletadas na bacia após o desastre.

Tabela 5. Concentrações máximas de metais pesados (mg L^{-1}) determinados na água do rio Doce, coletados em Minas Gerais, antes e após o rompimento da barragem de Fundão, Mariana-MG

Variável	Antes ¹	Após ²	Limite Classe 2
Arsênio total	0,010	0,108	0,010
Cádmio total	0,001	0,035	0,001
Chumbo total	0,023	1,650	0,010
Cobre dissolvido	0,411	0,675	0,009
Cromo total	0,070	2,863	0,050
Mercúrio total	0,200	0,293	0,0002
Níquel total	0,014	2,280	0,025

¹Coleta entre 11/3/1998 e 14/4/2010. ²Coleta em 15/11/2015. Fonte: adaptado de ANA (2016).

Duarte *et al.* (2021) compararam a concentração de metais-traço nos sedimentos da planície aluvial do rio Doce, antes e depois do rompimento da barragem, encontraram resultados divergente da Fundação Renova (2019). Os dados indicaram que as partículas finas depositadas foram incorporadas aos sedimentos arenosos do rio. O conteúdo de cádmio e arsênio nos sedimentos aumentou para níveis acima dos limites da resolução N° 357/2005 do CONAMA (CONAMA, 2005). A comparação entre os níveis de metais traço nas situações antes e depois do desastre mostrou que a lama de mineração é a fonte de cádmio, enquanto o arsênio estava presente antes do desastre ambiental, e sua concentração aumentou devido à remobilização de sedimentos. Os rejeitos de minério de ferro depositados nas planícies aluviais também afetaram os parâmetros físicos do solo. A formação de crostas ferruginosas impermeabilizou a superfície do solo, dificultando a infiltração de água da

chuva e, quando expostos ao intemperismo e retrabalho dos rios, podem liberar metais tóxicos (DUARTE *et al.*, 2021).

No mesmo sentido, a ANA (2016) descreveu que a qualidade da água do rio Doce estará sujeita a variações decorrentes da liberação da massa de rejeitos acumulada na calha do rio Doce quando da ocorrência de chuvas e consequente aumento da vazão, intervenções físicas abruptas no rio e outras ações antrópicas. Ela relatou que poderão ocorrer novos picos de turbidez, queda de oxigênio dissolvido, aumento temporário da concentração de metais e prejuízos para os diversos usos de água da bacia, por períodos indeterminados e, ainda, imprevisíveis. A recuperação da qualidade das águas será um processo longo e persistente, que deverá ser acompanhada por monitoramento quali-quantitativo consistente e minuciosa investigação dos vários aspectos envolvidos.

Os recursos hídricos podem ser impactados ainda pela disposição inadequada de resíduos sólidos, descartados inadequadamente em lixões não planejados (SIMAN; BALDAM, 2019), conforme também ocorre na microrregião. De acordo com os autores, a poluição oriunda destas áreas tem início com a decomposição de materiais orgânicos, quando são liberados gases e chorume, esse último um líquido tóxico composto, muitas vezes, por metais pesados, sais minerais dentre outros. Nos eventos de infiltração, lixiviação e/ou escoamento superficial é esperada a contaminação dos recursos hídricos adjacentes, acelerando a dispersão dos poluentes no ambiente. Ações para minimizar esses impactos devem ser priorizadas, a fim de mitigar possíveis danos sobre os recursos hídricos. Entretanto, estas ações não serão tratadas por extrapolarem ao objetivo deste artigo.

3.3 UTILIZAÇÃO DA ÁGUA

3.3.1 Usos consuntivos

Os usos consuntivos das águas na UGRH Doce apresentaram vazão de

captação de 51.284,8 L s⁻¹ e de consumo de 39.667,7 L s⁻¹, o que representa 77% da vazão captada (Tabela 6). No Brasil o percentual de consumo foi de 53% (ANA, 2007), menor ao apresentado nesta UGRH, o que indica uma maior pressão sobre os recursos hídricos em relação à média brasileira. A maior captação (95%) e consumo (98%) de água ocorrem na agricultura, sendo superior aos 46% do consumo brasileiro devido a irrigação (ANA, 2007). Esses valores estão acima da média estadual de captação e consumo provenientes da irrigação, sendo de 78 e 92%, respectivamente. Já a captação e o consumo industrial são de 0,9 e 0,2% na UGRH Doce. A média estadual é de 5,4 e 1,6% para captação e consumo industrial, respectivamente.

Tabela 6. Demandas consuntivas de água por setor na UGRH Doce

Sector	Captação (L s ⁻¹)	Consumo (L s ⁻¹)
Abastecimento	1.450,9	383,4
Indústria	469,4	93,9
Pecuária	345,5	276,4
Agricultura	48.641,9	38.913,5
Mineração	5,9	0,6
Aquicultura	371,3	0,0
Total	51.284,8	39.667,7

Fonte: adaptado de SEAMA (2018).

As Unidades de Planejamento São José, Guandu e Santa Maria do Doce apresentaram, respectivamente, 85%, 91% e 87% do consumo da água com irrigação; 1%, 1% e 1% para a indústria; e 13%, 7% e 11% para o abastecimento humano, respectivamente (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010a,b,c). Esses resultados indicam a maior influência da atividade agrícola no consumo de água em relação ao abastecimento humano e demanda industrial nas referidas unidades de planejamento.

As Unidades de Planejamento São José e Guandu apresentaram vazão de captação de 6.418 L s⁻¹ e 1.687 L s⁻¹ e vazão de consumo de 4.784 e 1.286 L s⁻¹, respectivamente (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010a,b,c). Para a

Unidade de Planejamento Santa Maria do Doce não foram definidos os consumos em função da falta de dados hidrológicos (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010 a,d), contudo o relatório indicou um consumo maior que a vazão de referência, o que é preocupante e contribui para as ocorrências frequentes de conflito pelo uso da água, conforme apresentado por Camporez (2016a) e Fernandes, Ribeiro e Lopes (2016).

Nas entrevistas, reuniões e seminários também se constatou uma maior demanda do setor agrícola em relação aos demais tipos de uso consuntivos. Esta maior demanda está relacionada principalmente a necessidade de irrigação de lavouras e a dessedentação animal. Contudo, ficou evidenciado a importância da atividade agrícola e, dessa forma, a necessidade de investimentos de recursos públicos e instituições de financiamento na criação de reservas de água nas propriedades rurais, por meio de barragens de terra, barraginhas, caixas secas, práticas de conservação de solo, a proteção de nascentes e o reflorestamento de áreas protegidas por lei, em degradação ou com baixa aptidão agrícola.

3.3.2 Usos não-consuntivos

• Transporte hidroviário

A partir do começo do século XX, as vias hidrográficas deixaram de ser priorizadas e a política pública passou a investir no desenvolvimento de veículos automotores e nas melhorias e expansão das linhas modais em boa parte do país (GONÇALVES, 2020). Como resultado, as vias hidrográficas foram desvalorizadas e inviabilizadas na maior parte do país.

O assoreamento intenso da calha do rio Doce, pontos com leito rochoso e barragens já construídas são empecilhos que dificultam o desenvolvimento de uma hidrovia para o transporte de carga na calha principal do rio Doce (ANA, 2005). Além disso, uma burocracia regulatória pesada, escassez de capital, integração tecnológica

deficiente e resistência política brasileira aos investimentos externos já haviam contribuído para o insucesso deste transporte hidroviário (BIEBER, 2016).

Segundo Melo (2007), o rio Doce precisaria de 11 barragens para se tornar navegável, além de intervenções de recuperação da extensão, a um custo de R\$ 5,5 bilhões. Contudo, o Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Doce informou ser tecnicamente viável a implantação de uma hidrovia no trecho que liga a cidade de Ipatinga-MG, no rio Piracicaba, até a foz do rio Doce (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010a), criando mais uma oportunidade para o desenvolvimento da região.

Os rios da UGRH também são historicamente usados como meio de transporte local (BIEBER, 2016), tanto para escoamento de mercadorias quanto para pesca esportiva e de subsistência.

• Turismo e lazer

A utilização de recursos hídricos para fins de turismo e lazer tem apresentado crescente importância socioeconômica no país (PADILHA *et al.*, 2018). No âmbito social, o interesse pelo desenvolvimento de atividades de lazer ligadas ao contato direto com o meio natural vem, principalmente, como uma forma de contrapor o modo de vida urbanizado contemporâneo (GONÇALVES, 2020). A microrregião está inserida nas regiões turísticas “Pedras, Pão e Mel” e “Verde e das Águas” (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010a).

Esse potencial turístico ficou evidenciado nas entrevistas e reuniões técnicas, conforme mencionado por vários atores sociais. Mas, pode-se dizer que o potencial turístico da bacia se estabelece em função de seu patrimônio natural, histórico e cultural, ficando evidente a diversidade de atividades turísticas. No entanto, os entrevistados acreditam que ocorre uma exploração menor que o potencial da microrregião.

- Preservação ambiental

As áreas ambientais protegidas têm por finalidade assegurar a preservação e conservação da biodiversidade e seus ecossistemas (GONÇALVES, 2020), com destaque, assegurando a qualidade e a disponibilidade dos recursos hídricos. De acordo com Plano Estratégico Nacional de Áreas Protegidas, são consideradas: unidades de conservação, terras quilombolas, terras indígenas, reservas legais e áreas de preservação permanente (BRASIL, 2006). Já o uso antrópico destes locais varia de acordo com as regras e normas específicas de cada bioma, e sua análise torna-se fundamental para fins de planejamento e ações de desenvolvimento.

Quatro áreas consideradas prioritárias para a conservação estão presentes na microrregião: 1- Região dos Pontões, 2- Alto Misterioso, 3- Marilândia e 4- Sooretama. As duas primeiras são classificadas como de muito alta prioridade e as outras duas como alta prioridade (IEMA, 2020). Essa prioridade ocorre devido a sua biodiversidade, presença de espécies ameaçadas de extinção e importância para a conservação dos rios e regiões de recarga hídrica.

A microrregião Centro-Oeste apresenta uma das menores porcentagens de mata nativa entre as dez microrregiões de planejamento do estado do Espírito Santo, com apenas 11,9% (IJSN, 2020b). Esse valor é inferior à meta estadual de 13% de cobertura florestal da Mata Atlântica, em 2020, e à meta de 18,5%, em 2030 (ESPÍRITO SANTO, 2013).

Além disso, a microrregião apresenta ainda um dos menores percentuais de área ocupada com unidades de conservação do estado (2,89%) (IJSN, 2020a), com apenas três unidades, sendo o Monumento Natural dos Pontões Capixabas, a Reserva Biológica de Sooretama e o Monumento Natural Pedra do Monjolo. A cobertura florestal é importante para o equilíbrio ecossistêmico e sua redução indiscriminada é uma ameaça para os recursos hídricos. Dessa forma,

preservar as florestas ajuda a proteger mananciais e contribui para a infiltração de água no solo, garantindo água superficial e subterrânea para os múltiplos usos, além de controlarem a erosão do solo (ESPÍRITO SANTO, 2018; STRASSBURG *et al.*, 2020).

- Geração de energia

No uso não consuntivo da água, o uso dos recursos hídricos na geração de energia elétrica é um fator significativo, pelo impacto ambiental gerado e pelas receitas produzidas. A microrregião Centro-Oeste possui três Centrais Geradoras Hidroelétricas (CGH) e duas Usinas Hidroelétricas (UHE) (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010a; SEAMA, 2018).

Estes empreendimentos contribuem para a regulação dos níveis de água na calha principal, além de benefícios econômicos para os municípios. No entanto, as barragens alteram a hidráulica dos rios e processos ecológicos, como os ciclos biogeoquímicos de nutrientes (MAARAVA *et al.*, 2020). Além disso, o aumento do abastecimento de água estimula o maior consumo de água, o que pode compensar rapidamente os benefícios iniciais dos reservatórios, bem como o aumento da vulnerabilidade de uma região devido a uma dependência excessiva dos reservatórios (DI BALDASSARRE *et al.*, 2018).

3.4 CENÁRIOS FUTUROS

A proposição de cenários baseia-se na análise e representação de situações de evolução de um ambiente, levando-se em conta o tempo, espaço, interação entre variáveis e a lógica intuitiva (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010a; SEAMA, 2018). Essas propostas auxiliam o planejamento e a eficácia de diretrizes atuais, a partir de uma perspectiva futura (FUNG; LOPES; NEW, 2011).

A análise de um cenário tendencial, elaborado em 2010, para 2030 da UGRH Doce indicou um déficit de vazão nos rios

São José, Pancas e Santa Joana de $2,1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$; $0,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e $1,1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, respectivamente (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010a), enquanto o rio Guandu apresentou ainda um excedente de vazão de $0,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. O aumento da demanda foi relacionado ao consumo do setor agrícola, principalmente com irrigação. Além disso, os autores associaram isso a uma redução na qualidade da água, da Classe 2 para a Classe 4 (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010a). Tal situação justifica a realização de intervenções estruturais, como a reservação da água em propriedades e o tratamento de esgotos sanitários, ainda necessários nestes municípios.

Na mesma perspectiva, SEAMA (2018) observaram em uma projeção para 2038 um aumento nas demandas hídricas totais. Estes autores observaram que as demandas hídricas são maiores nos cenários com maior dinâmica econômica, o que estão relacionados aos maiores consumos com a irrigação e atividade industrial e a necessidade de uma maior vazão para diluir a carga poluidora causada pelo esgoto doméstico e efluentes industriais.

A elevada demanda urbana, industrial e rural associada a falta de tratamento de efluentes resultou em balanços hídricos com as demandas superando as disponibilidades hídricas na UGRH Doce, criando um cenário de colapso, o que aumenta com o tempo e com a evolução da apropriação de água, sendo mais grave quanto mais aquecida for a economia (MELLO *et al.*, 2020; SEAMA, 2018). Esses resultados sugerem a necessidade de implementação de medidas gerenciais vinculadas ao aumento dos índices de eficiência hídrica e o ajuste das estruturas de reservação existentes, bem como a implantação de novas estruturas, como reservatórios de regularização e transposição de vazões entre rios e bacias, seguindo os critérios técnicos existentes, e a necessidade de intensificar o tratamento de efluentes.

De acordo com estimativas da ANA (2019b) para 2035, a bacia do rio Doce no

estado do Espírito Santo apresentará 1,33 milhões de habitantes e R\$ 7,98 bilhões relativos à produção agropecuária e industrial em risco de não ter suas necessidades atendidas decorrente da insegurança hídrica. Este fato cria um cenário preocupante e pessimista para um desenvolvimento regional que seja sustentável e que crie oportunidades para a microrregião.

Estimativas para 2030 indicaram severa degradação da qualidade da água caso o desmatamento e o saneamento básico não melhorem nos próximos anos (SEAMA, 2018). Isso resultará em maiores gastos para tratar a água poluída ou para transportá-la de regiões mais distantes, um custo repassado para a população via conta de água, além de mudanças drásticas nos demais serviços ecossistêmicos prestados (MELLO *et al.*, 2020). Estes autores afirmaram que a restauração de áreas de preservação permanente (áreas ripárias) evidenciou melhora da qualidade de água com redução de sedimentos e nutrientes na água, o que também concordou com Fiorese e Torres (2019).

Mudanças futuras no uso da terra relacionadas à expansão da agricultura e crescimento urbano no Brasil provavelmente degradarão a qualidade da água, e é crucial prever esses impactos para tomar ações para evitar ou reduzir a perda da qualidade da água e proteger o abastecimento de água para as gerações atuais e futuras (MELLO *et al.*, 2020). Estes autores relataram que as mudanças climáticas também degradarão a qualidade da água em bacias agrícolas tropicais. Isso porque os ciclos biogeoquímicos de nutrientes em ecossistemas de água doce são sensíveis às variações de temperatura e precipitação, e tais mudanças causadas pelas mudanças climáticas irão influenciar os processos biofísicos críticos subjacentes ao carregamento de nutrientes.

As mudanças climáticas também devem aumentar a variabilidade nos fluxos dos rios e, aumentar a incerteza hidrológica, com o aumento dos eventos extremos de

secas e enchentes (TSVETKOVA; RANDHIR, 2019). Avaliar os impactos dos cenários futuros possíveis da mudança de quantidade e qualidade da água é crucial para otimizar o planejamento e a gestão hídrica, considerando também as mudanças climáticas (MELLO *et al.*, 2020).

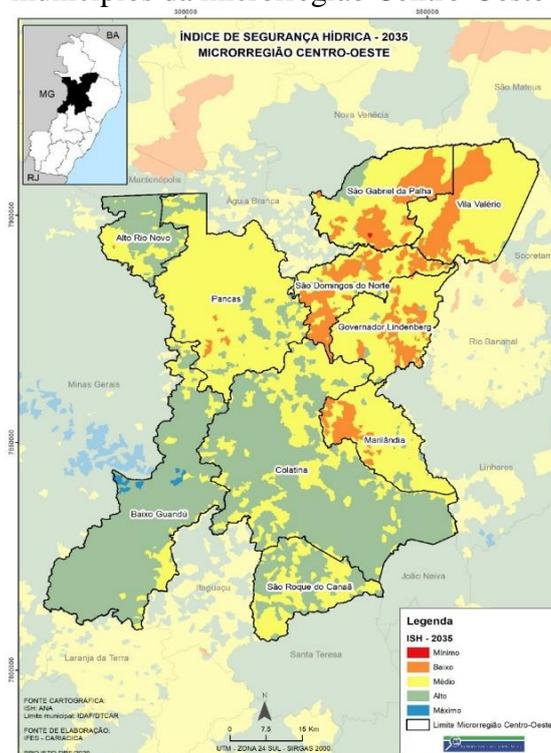
O ciclo hidrológico está diretamente vinculado às mudanças de temperatura da atmosfera e ao balanço de radiação (ANA, 2019b). Com o aquecimento da atmosfera, de acordo com o que sinalizam os modelos climáticos globais, esperam-se, entre outras consequências, mudanças nos padrões da precipitação (aumento da intensidade e da variabilidade), o que poderá afetar significativamente a disponibilidade e a distribuição temporal da vazão nos rios (ANA, 2019b; FUNG; LOPES; NEW, 2011). Em síntese, os estudos mostraram que os eventos hidrológicos críticos (secas e enchentes) poderão se tornar mais frequentes e mais intensos, como os constatados nos últimos anos no estado, como as enchentes de 2013 (BBC, 2013; MATOS *et al.*, 2013; ROMERO, 2013) e a estiagem severa de 2014 a 2016 (CAMPOREZ, 2016a,b; CEASA-ES, 2016; FERNANDES; RIBEIRO; LOPES, 2016).

Nas projeções para 2035 do Plano Nacional de Segurança Hídrica (ANA, 2019b), os municípios da microrregião Centro-Oeste apresentam predomínio da classe de segurança hídrica média e alta, com exceção dos municípios de Marilândia, Governador Lindenberg, São Gabriel da Palha, São Domingos do Norte e Vila Valério que apresenta parcela significativa do município na classe baixa (Figura 2).

De acordo com a ANA (2019c), o total da população brasileira em risco será de 73,7 milhões de pessoas e um aumento do risco total de produção para R\$ 518,2 bilhões, maior do que o dobro do valor estimado para 2015. Esses cenários informaram a necessidade de ações emergentes para reverter esses resultados, como aumentar a reservação de água em propriedades rurais, por meio de práticas conservacionistas ou utilizando estruturas

artificiais, como caixa secas, barraginhas e barragens de terra (SEAMA, 2018). Além disso, a recuperação de áreas degradadas e a recomposição florestal nas margens de rios e lagos podem contribuir para reduzir a produção de sedimentos nos cursos hídricos superficiais e melhorar a qualidade da água (FIORESE; TORRES, 2019; HOFFMAN; OLIVEIRA, 2018).

Figura 2. Índice de Segurança Hídrica (ISH) determinado para 2035 nos municípios da microrregião Centro-Oeste



Fonte: adaptado de ANA (2019b).

Diante de um cenário de pandemia e crise econômica, os governos federal, estadual e municipais não dispõem de recursos para investir de forma efetiva em planos de mitigação do risco hídrico (SEVERO; GUIMARÃES; DELLARMELIN, 2021). Dessa forma, muitos pensamentos convergem para a cobrança pelo uso da água como forma de financiar essas medidas de combate ao risco hídrico (GONÇALVES, 2020).

A cobrança pelo uso da água já possui diretrizes definidas para sua aplicação no estado, conforme Lei Estadual nº 10.179/2014 (ESPÍRITO SANTO,

2014), seguindo o que está definido no âmbito federal na Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997). A cobrança objetiva reconhecer a água como bem econômico e dar ao usuário uma indicação de seu real valor, incentivar a racionalização do uso da água e obter recursos financeiros para o financiamento dos programas e intervenções na melhoria dos recursos hídricos (ANA, 2019c).

Já existe uma discussão avançada para implementar a cobrança da água nas bacias do rio Doce, no Espírito Santo, similar ao que é realizado em Minas Gerais (SEAMA, 2018). Contudo, observou-se por meio dos entrevistados que isso ainda não ocorreu na prática, devido a existência de uma pressão política contrária, principalmente em regiões onde existe uma maior dependência da economia local pela atividade agropecuária e a presença de agricultores familiares, classe economicamente mais vulnerável.

4 CONCLUSÕES

A microrregião Centro-Oeste apresenta degradação dos recursos hídricos superficiais que compõem a UGRH Doce, devido ao histórico de mineração e degradação do solo pelo tipo de uso agrícola e industrial. Os recursos hídricos superficiais da UGRH Doce apresentam baixa qualidade, considerando o critério de enquadramento de água doce Classe 2 com valores de turbidez, fósforo total e coliformes termotolerantes acima dos limites preconizados. No entanto, esse enquadramento não limita o uso dos recursos hídricos para atividades agrícolas, industriais e para o abastecimento humano, neste último caso exigindo um tratamento mais avançado. Para amenizar a baixa qualidade, investimentos em saneamento básico e tratamento de efluentes são necessários por exercer menor pressão na vazão mínima remanescente.

O rompimento da barragem de Fundão em 2015 reduziu a qualidade hídrica do rio Doce, aumentando a

concentração de sedimentos, a turbidez e os níveis de alumínio, arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio e níquel, prejudiciais à saúde humana e a biodiversidade local.

O balanço hídrico indicou um consumo acima dos limites dos recursos hídricos superficiais na microrregião, o que representou uma disponibilidade de recurso que não atende à demanda existente. Esse problema é agravado quando se considera a necessidade de uma vazão para diluir a carga poluidora, principalmente esgoto doméstico, e permitir que os recursos hídricos cumpram sua função ecológica. O problema de escassez hídrica é parcialmente resolvido com o uso das águas subterrâneas. Mas o uso sem planejamento dos aquíferos da região, o que de fato vem ocorrendo, pode resultar em sérios problemas ambientais para as gerações futuras.

Cenários futuros indicaram um aumento na demanda dos recursos hídricos na microrregião, que serão maiores nos cenários com maior dinâmica econômica, o que estão relacionados aos maiores consumos com a irrigação, abastecimento humano e atividade industrial e a necessidade de uma maior vazão para diluir a carga poluidora causada pelo esgoto doméstico e efluentes industriais. Além disso, mudanças climáticas também devem aumentar a variabilidade nos fluxos dos rios e aumentar a incerteza hidrológica, bem como a frequência e intensidade de eventos extremos de secas e enchentes.

A microrregião Centro-Oeste necessita de ações de gestão e estruturantes relacionadas aos usos da água, uma vez que a situação atual da qualidade das águas, juntamente com o aumento da demanda, poderá agravar a situação de déficit hídrico, criando conflitos pelo uso e restringindo o desenvolvimento regional.

AGRADECIMENTOS

À FAPES pelo financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (AGERH). **IQA Espírito Santo**. 2020. Disponível em:

<https://servicos.agerh.es.gov.br/iqa/home.php>. Acesso em: 6 nov. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). **Cobrança pelo uso dos recursos hídricos**. Brasília-DF: ANA, 2019a. 80p.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). **Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil**. Brasília-DF: ANA, 2005. 134p.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). **GEO Brasil – Recursos hídricos**. Brasília: MMA/ANA, 2007. 60p.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). **Índice de segurança hídrica: Manual metodológico**. Brasília-DF: ANA, 2019b. 42p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Bacia do Rio Doce: Rompimento da Barragem em Mariana/MG. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**, v. 1, n. 1, p. 1-50, 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Plano Nacional de Segurança Hídrica**. Brasília-DF: ANA, 2019c. 112p.

BARRETO, P.; SARTORI, M. **Levantamento de áreas agrícolas degradadas no estado do Espírito Santo**. Vitória-ES: CEDAGRO, 2012. 63p.

BBC. Floods kill dozens in south-east Brazil. **BBC News**, 2013. Disponível em: <https://www.bbc.com/news/world-latin-america-25527542?print=true>. Acesso em: 9 nov. 2020.

BIEBER, J. 'The Brazilian Rhône': Economic Development of the Doce River Basin in Nineteenth-Century Brazil, 1819-1849. **Journal of Latin American Studies**. v. 48, n. 1, p. 89-114, 2016.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Lei nº 9.433/97. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 9 jan. 1997.

BRASIL. Presidência da República. Decreto Nº 5.758, de 13 de abril de 2006. Institui o Plano Estratégico Nacional de Áreas Protegidas - PNAP, seus princípios, diretrizes, objetivos e estratégias, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 17 abr. 2006.

CAMPOREZ, P. ES tem 30 mil poços artesianos clandestinos perfurados. **G1 Espírito Santo**, 2016a. Disponível em: <http://g1.globo.com/espírito-santo/noticia/2016/03/guerra-pela-agua-30-mil-pocos-clandestinos-sao-escavados-no-es.html>. Acesso em: 1 nov. 2020.

CAMPOREZ, P. Seca faz produção cair até 70% no Espírito Santo. **G1 Espírito Santo**, 2016b. Disponível em: <http://g1.globo.com/espírito-santo/agronegocios/noticia/2016/10/seca-faz-producao-cair-ate-70-no-espírito-santo.html>. Acesso em: 1 nov. 2020.

CENTRAIS DE ABASTECIMENTO DO ESPÍRITO SANTO S.A. (CEASA-ES). **Seca no ES: prejuízo de mais de R\$ 3,6 bilhões na agricultura**. 2016. Disponível em: <https://ceasa.es.gov.br/Not%C3%ADcia/seca-no-es-prejuizo-de-mais-de-r-3-6-bilhoes-na-agricultura>. Acesso em: 20 out. 2020.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo 2018**. São Paulo: CETESB, 2019. 284p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 mar. 2005.

CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME. **Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Análise São José – PARH São José**. Belo Horizonte-MG: Consórcio Ecoplan-Lume, 2010b. 89p.

CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME. **Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Análise Guandu – PARH Guandu**. Belo Horizonte-MG: Consórcio Ecoplan-Lume, 2010c. 86p.

CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME. **Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Análise do Santa Maria do Doce – PARH Santa Maria do Doce**. Belo Horizonte-MG: Consórcio Ecoplan-Lume, 2010d. 89p.

CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME. **Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce**, volume I. Belo Horizonte-MG: Consórcio Ecoplan-Lume, 2010a. 478p.

DI BALDASSARRE, G.; WANDERS, N.; AGHAKOUCHAK, A.; KUIL, L.; RANGECROFT, S.; VELDKAMP, T.I.E.; GARCIA, M.; VAN OEL, P.R.; BREINL, K.; VAN LOON, A.F. Water shortages worsened by reservoir effects. **Nature Sustainability**, v. 1, p. 617–622, 2018.

DUARTE, E.B.; NEVES, M.A.; OLIVEIRA, F.B.; MARTINS, M.E.; OLIVEIRA, C.H.R.; BURAK, D.L.; ORLANDO, M.T.D.; RANGEL, C.V.G.T. Trace metals in Rio Doce sediments before and after the collapse of the Fundão iron

ore tailing dam, Southeastern Brazil. **Chemosphere**, v. 262, 127879, 2021.

ESPÍRITO SANTO (ESTADO). **Espírito Santo 2030: Plano de Desenvolvimento**. Vitória-ES: DFV Consultoria, 2013. 252p.

ESPÍRITO SANTO (ESTADO). LEI Nº 10.179. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo – SIGERH/ES e dá outras providências. **Diário Oficial do Espírito Santo**, Vitória, ES, 10 mar. 2014. Disponível em: <http://www3.al.es.gov.br/Arquivo/Documents/legislacao/html/LO10179.html>. Acesso em: 5 set. 2020.

ESPÍRITO SANTO (ESTADO). LEI Nº 6.607 de 6 de fevereiro de 2001. Dispõe sobre o preparo do solo para fins agrícola, pecuário e florestal, e dá outras providências. **Diário Oficial do Espírito Santo**. Vitória, ES, 6 fev. 2001. Disponível em: <https://idaf.es.gov.br/Media/idaf/Documents/Legisla%C3%A7%C3%A3o/DRNRE/Lei%20estadual%20n%C2%BA%206607,%20de%202014%20de%20dezembro%20de%202001.pdf>. Acesso em: 4 set. 2020.

ESPÍRITO SANTO (ESTADO). LEI Nº 9.768. Dispõe sobre a definição das Microrregiões e Macrorregiões de Planejamento no Estado do Espírito Santo. **Diário Oficial do Espírito Santo**, Vitória, ES, 26 dez. 2011. Disponível em: <http://www3.al.es.gov.br/Arquivo/Documents/legislacao/html/LEI97682011.html>. Acesso em: 7 set. 2020.

ESPÍRITO SANTO (ESTADO). Secretaria Estadual de Meio Ambiente. **Atlas da Mata Atlântica do Estado do Espírito Santo: 2007-2008 / 2012-2015**. Cariacica-ES: IEMA, 2018. 252p.

FERNANDES, G.W.; GOULART, F.F.; RANIERI, B.D.; COELHO, M.S.; DALES, K.; BOESCHE, N.;

- BUSTAMANTE, M.; CARVALHO, F.A.; CARVALHO, D.C.; DIRZO, R.; FERNANDES, S.; GALETTI, P.M.; MILLAN, V.E.G.; MIELKE, C.; RAMIREZ, J.L.; NEVES, A.; ROGASS, C.; RIBEIRO, S.P.; SCARIOT, A.; SOARES-FILHO, B. Deep into the mud: ecological and socio-economic impacts of the dam breach in Mariana, Brazil. **Natureza & Conservação**, v. 14, n. 2, p. 35-45, 2016.
- FERNANDES, V.; RIBEIRO, W.; LOPES, R. Seca no ES: crimes aumentam na 'guerra' pela água. **G1**, 2016. Disponível em: <http://g1.globo.com/espírito-santo/noticia/2016/09/seca-no-es-crimes-aumentam-na-guerra-pela-agua.html>. Acesso em: 1 nov. 2020.
- FIORESE, C.H.U.; TORRES, H. Análise do uso de solo de áreas de preservação permanente e da qualidade hídrica dos rios Itapemirim, Jucu, Benenvente e Santa Maria da Vitória (ES). **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 3, p. 2030-2049, 2019.
- FUNDAÇÃO RENOVA. Programa de monitoramento quali-quantitativo sistemático de água e sedimentos. **Relatório Trimestral do PMQQS**, v. 1, n. 1, p. 1-204, 2019.
- FUNG, F; LOPES, A.; NEW, M. Water availability in +2°C and +4°C worlds. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v. 369, p.99-116, 2011.
- GONÇALVES, M. A. **Diagnóstico e Prognóstico das condições de uso da água na região hidrográfica Litoral Centro-Norte**: Relatório Técnico da Etapa A. Vitória: AGERH, 2020. 519p.
- GUANDIQUE, M. E. G.; MORAIS, L. C. Estudo de variáveis hidrológicas e de balanço hídrico em bacias hidrográficas. In: POMPÊO M.; MOSCHINI-CARLOS, V.; NISHIMURA, P. Y.; SILVA, S.C.; LÓPEZ-DOVAL, J. C (Org.). **Ecologia de reservatórios e interfaces**. São Paulo: Instituto de Biociências / Universidade de São Paulo, 2015. cap.4, p.434-447.
- HOFFMAN, T.C.P.; OLIVEIRA, F.A. Influência do uso da terra em áreas rurais e urbanas na produção e transporte de sedimentos em suspensão e turbidez na bacia do Rio Capivari, Lapa-PR. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 19, n. 4, P.821-836, 2018.
- HUMMELS, H.; ARGYROU, A. Planetary demands: Redefining sustainable development and sustainable entrepreneurship. **Journal of Cleaner Production**, v. 278, n. 1, 123804, 2021.
- INSTITUTO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS DO ESPÍRITO SANTO (IEMA). **Áreas prioritárias para conservação no Espírito Santo** – Mapas. Disponível em: https://iema.es.gov.br/Media/iema/Downloads/GEOMATICA/2016.12.14%20-%20Anexo_Areas_PRIORITARIAS_para_CONSERVACAO.pdf. Acesso em: 25 set. 2020.
- INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES (IJSN). **Mata Atlântica – ES**. Vitória: IJSN, 2020b. 26p. (Nota Técnica, n.11).
- INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES (IJSN). **Unidade de conservação no Espírito Santo**. Vitória: IJSN, 2020a. 26p. (Nota Técnica, n.10).
- INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM), **Encarte especial sobre a qualidade das águas do Rio Doce após 3 anos do rompimento da Barragem de Fundão: 2015-2018**. Belo Horizonte: IGAM, 2018. 64p.
- LICÍNIO, M.V.V.J. et al. Historical trends in sedimentation rates and trace elements accumulation in 'Doce' River, Espírito Santo State, Brazil. **Cadernos de Geociências**, v. 12, n. 1-2, p.13-24, 2015.

- MAAVARA, T.; CHEN, Q.; VAN METER, K.; BROWN J.Z.; NI, J.; ZARFL, C. River dam impacts on biogeochemical cycling. **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 1, p. 103-116, 2020.
- MATOS, A.J.S.; DAVIS, E.G.; SILVA, A.J.; ALMEIDA, I.S.; CANDIDO, M.O. Assessment of a real-time flood forecasting at the Doce River Basin: Summer 2013 event. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON FLOOD MANAGEMENT, 6., São Paulo-SP, 2013. **Anais...** São Paulo-SP: ICFM, 2013. p.1-8.
- MELLO, K.; TANIWAKI, R.H.; PAULA, F.R.; VALENTE, R.A.; RANDHIR, T.O.; MACEDO, D.R.; LEAL, C.G.; RODRIGUES, C.B.; HUGHES, R.M. Multiscale land use impacts on water quality: Assessment, planning, and future perspectives in Brazil. **Journal of Environmental Management**, v. 270, n. 15, 110879, 2020.
- MELO, B. Transporte hidroviário morre em Minas. **O Tempo**, 2007. Disponível em: <https://www.otempo.com.br/economia/transporte-hidroviario-morre-em-minas-1.294024#>. Acesso em: 2 dez. 2020.
- NOVAIS, F. F.; MARINHO, B. T. S.; SILVA, M. A. R.; OLIVEIRA, F. C.; VIANA, R. D. S. Pollution by organic matter and autodepuration of water courses: impacts of this study in the production sector. **Research, Society and Development**, v. 8, n. 5, e3585750, 2019.
- PADILHA, A.C.M.; AZEVEDO, J.B.; FACCO, A.L.R. SOUZA, M. ALVES, D.O.; FAGUNDES, P.M. Exploitation of water resources for tourism and leisure activities in rural areas: the case of Palmeira das Missões, Brazil. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**. v. 16, n. 2, p. 1-10, 2018.
- ROMERO, S. Brazil: Floods and Landslides Kill 30. **The New York Times**, 2013. Disponível em: <https://www.nytimes.com/2013/12/25/world/americas/brazil-floods-and-landslides-kill-30.html?searchResultPosition=1>. Acesso em: 9 nov. 2020.
- SECRETARIA DO ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS (SEAMA). **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo**. Vitória: SEAMA/AGERH, 2018. 231p.
- SECRETARIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS (SEAMA). **Programa Reflorestar**. 2020. Disponível em: <https://seama.es.gov.br/programa-reflorestar>. Acesso em: 17 out. 2020.
- SEVERO, E.A.; GUIMARÃES, J.C.; DELLARMELIN, M.L. Impact of the COVID-19 pandemic on environmental awareness, sustainable consumption and social responsibility: Evidence from generations in Brazil and Portugal. **Journal of Cleaner Production**, v. 286, n. 1, 124947, 2021.
- SIMAN, R.R.; BALDAM, R.L. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Espírito Santo**. Vitória-ES: UFES/IFEST/LAGESA, 2019. 562p.
- SOUZA, G.S.; TAQUES, R.C.; SENRA, J.F.B.; LANI, J.A. Potencial de mecanização das lavouras cafeeiras no estado do Espírito Santo. In: SILVA, C.A.P. *et al.* **29 Semana Agrônômica do CCAE-UFES**. Alegre-ES: UFES, 2019. cap. 4, p. 55-67.
- STRASSBURG, B. B. N.; IRIBARREM, A.; BEYER, H.L.; CORDEIRO, C.L.; CROUZEILLES, R.; JAKOVAC, C.C.; JUNQUEIRA, A.B.; LACERDA, E.; LATAWIEC, A.E.; BALMFORD, A.; BROOKS, T.M.; BUTCHART, S.H.M.; CHAZDON, R.L.; ERB, K.; BRANCALION, P.; BUCHANAN, G.;

COOPER, D.; DÍAZ, S.; DONALD, P.F.; KAPOS, V.; LECLÈRE, D.; MILES, L.; OBERSTEINER, M.; PLUTZAR, C.; SCARAMUZZA, C.A.M.; SCARANO, F.R.; VISCONTI, P. Global priority areas for ecosystem restoration. **Nature**, v. 437, n. 1, p. 1-24, 2020.

TSVETKOVA, O., RANDHIR, T.O. Spatial and temporal uncertainty in climatic impacts on watershed systems. **Science of the Total Environment**, v. 687, n. 1, p. 618–633, 2019.