









Avaliação hidroambiental das sub-bacias montanhosas do Rio Manhuaçu, MG

Rodolfo Alves Barbosa ^{1*} Aline Gonçalves Spletzer ¹ Lucas Jesus da Silveira ¹ João Batista Lúcio Corrêa ² Kelly Cristina Tonello ³ Julieta Bramorski ⁴ Alexandre Simões Lorenzon ¹ Herly Carlos Teixeira Dias ¹

¹Universidade Federal de Viçosa, Av. Peter Henry Rolfs, s/n -, 36570-900, Campus Universitário, Viçosa – MG

² Instituto Federal Sudeste MG, Av. Dr. José Sebastião da Paixão - Lindo Vale, CEP: 36180-000, Rio Pomba - MG,

³ Universidade Federal de São Carlos, Campus Sorocaba, Bairro do Itinga CEP 18052-780, Sorocaba – SP

⁴ Universidade Federal do Amapá, Rod. Juscelino Kubitschek, km 02, CEP 68903-419, Macapá - AP

Original Article

*Corresponding author:
rodolfo.ufv@gmail.com

Keywords:

Water Resources

Pesticide

Coffee growing

Palavras-chave:

Recursos hídricos

Agrotóxicos

Cafeicultura

Received in

2020/06/05

Accepted on

2021/11/08

Published in

2021/12/30



DOI:

<http://dx.doi.org/10.34062/af.s.v8i4.10574>



RESUMO: Mudanças na ocupação e uso da terra ocorrem de forma frequente e para minimizar os impactos negativos ao meio ambiente é fundamental o manejo de bacias hidrográficas. Esse manejo busca a produção de água em quantidade e qualidade aos usuários da bacia hidrográfica, assim como para seus processos ecológicos. O objetivo foi realizar uma avaliação hidroambiental das principais sub-bacias do Rio Manhuaçu por meio do uso e cobertura da terra, do Índice de Qualidade de Água (IQA) e da presença de outros parâmetros secundários. Seis sub-bacias do Rio Manhuaçu foram selecionadas. Os dados de qualidade foram coletados em fevereiro de 2019 e juntamente a esses os dados fornecidos pelo SAAE Manhuaçu foram utilizados. As análises foram avaliadas individualmente e através de um IQA para as sub-bacias. O Córrego Bom Jesus apresentou o menor valor de IQA (36,69), seguido do Rio Manhuaçu (44,92) e Rio São Luis (47,84), considerados ruins e que apresentaram cobertura florestal nativa abaixo de 30%. As sub-bacias com maior cobertura florestal nativa apresentaram IQA superior a 50%, sendo classificadas de qualidade regular. Os parâmetros que mais influenciaram na qualidade de água das sub-bacias foram a concentração de oxigênio dissolvido e a presença de coliformes termotolerantes. Não foram detectados níveis elevados de agrotóxicos nas águas superficiais, porém, o predomínio de cafezais próximos aos cursos d'água e a potencial contaminação dos cursos d'água são preocupantes, sendo necessário aumentar a área protegida na região da zona ripária.

Hydro-environmental assessment of mountainous sub-basins of the Manhuaçu River, MG

ABSTRACT: Changes in land use and occupation occur frequently and to minimize negative impacts on the environment, the management of watersheds is essential. This management seeks to produce water in quantity and quality for users of the basin, as well as for its ecological processes. The objective was to carry out a hydroenvironmental assessment of the main sub-basins of the Manhuaçu River through land use and land cover, the Water Quality Index (WQI) and the presence of other secondary parameters. Six sub-basins of the Rio Manhuaçu were selected. The quality data were collected in February 2019 and together with these the data provided by SAAE Manhuaçu were used. The analyzes were evaluated individually and through an WQI for the sub-basins. The Córrego Bom Jesus had the lowest WQI value (36.69), followed by the Rio Manhuaçu (44.92) and Rio São Luis (47.84), considered bad and that had native forest cover below 30%. The sub-basins with greater native forest cover had an WQI greater than 50%, being classified as having regular quality. The parameters that most influenced the water quality of the sub-basins were the dissolved oxygen concentration and the presence of thermotolerant coliforms. High levels of pesticides in surface waters were not detected, however, the predominance of coffee plantations close to water courses and the potential contamination of water courses are of concern, making it necessary to increase the protected area in the riparian zone region.

Introdução

A substituição da vegetação nativa por atividades antrópicas como agricultura e expansão urbana pode acarretar redução na quantidade e na qualidade de água disponível para a população (CALIJURI et al., 2015; NAMUGIZE et al., 2018). A interação de fatores naturais e antrópicos podem alterar a qualidade de água superficial em escala temporal e espacial (RODRIGUES et al., 2018).

A relação entre a qualidade de água e o uso da terra tem sido relatada por diversos estudos (MENESES et al., 2015; MARMONTEL et al., 2018; MELLO et al., 2018). A cobertura vegetal, as propriedades do solo e intensidade de exploração dos recursos naturais vão resultar no fluxo de vazão, transporte de sedimentos e nutrientes para os locais de captação de água (PONTES et al., 2012; FERNANDES et al., 2015; NETO et al., 2017). A relação de uso e cobertura da terra e qualidade de água também são demonstrados em análises hidroambientais como ferramenta de análises de bacias hidrográficas (CORRÊA et al., 2016).

Calijuri et al. (2015) verificaram grande influência do uso e cobertura da terra na alteração da qualidade de água e na vazão dos cursos d'água na bacia hidrográfica Alto Paraguaçu-Ba. Kändler et al. (2017) observaram baixos níveis de concentração de nutrientes e metais pesados na água em locais com predomínio de florestas (>70%) quando comparado com assentamentos e terras aráveis. Porém, áreas densamente povoadas reduzem a qualidade da água, mesmo quando apresentam 50% de proporção de florestas.

O crescimento dos centros urbanos tem causado impactos significativos na qualidade e quantidade de água, impermeabilização provocada pelas construções aumenta a condução da água por galerias pluviais (PAULE-MERCADO, et al., 2014; XU et al., 2017). Pontes et al., (2012) avaliaram a qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbanizada, onde constataram baixa qualidade na estação seca com redução no nível de oxigênio dissolvido e elevada concentração de matéria orgânica e nutriente, devido ao lançamento de efluentes por indústrias e esgoto doméstico, com melhora na qualidade na estação chuvosa.

Para a implantação de programas de manejo de bacias, o monitoramento da qualidade de água é considerado uma das mais importantes ferramentas para diagnosticar a qualidade da bacia hidrográfica (TUNDISI; TUNDISI, 2016; MATTOS et al., 2018). A proposta de implantação do Índice de Qualidade de Água para o monitoramento de qualidade de água vem sendo adotado no Brasil, uma vez que envolve importantes características físicas e químicas da água em um índice de fácil interpretação (RODRIGUES et al., 2018). O atendimento as normas de qualidade de água exigidas pelo CONAMA 357/2005, que classifica os corpos d'água em cinco classes de qualidade, envolvendo

diversos parâmetros de qualidade vem sendo adotadas no Brasil para monitoramento ambiental em bacias hidrográficas (MORETTO et al., 2012; PEREIRA et al., 2016).

Na bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu, a expansão dos chacreamentos e a manutenção das lavouras cafeeiras com a utilização de agrotóxicos e fertilizantes podem acarretar perdas na qualidade de água disponível para a população. O objetivo deste trabalho foi realizar uma avaliação hidroambiental das principais sub-bacias do Rio Manhuaçu por meio do uso e cobertura da terra, do IQA e outros parâmetros secundários de qualidade de água.

Material e Métodos

Descrição da área de estudo

O estudo foi realizado na bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu, sub-bacia do Rio Doce. O local avaliado concentra-se à montante da sede do município de Manhuaçu-MG, região de cabeceira do Rio Manhuaçu.

A cafeicultura é a principal atividade agrícola da região, acompanhado da pecuária e da silvicultura (IBGE, 2016). A bacia hidrográfica possui as formações geológicas: Complexo Juiz de Fora, Complexo Mantiqueira e granitoides brasileiros com gnaisse tonalítico de Manhuaçu; estas formações geológicas estão sob o domínio morfoclimáticos mares de morro, que apresentam relevos fortemente acidentados (NOCE et al., 2007).

Existe a predominância do Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho, Cambissolo Húmico nas maiores elevações ao sul da bacia hidrográfica e Neossolo Litólico. A vegetação típica é floresta estacional semidecidual e campos rupestres em menor significância. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é classificado como Cwb, apresentando clima temperado húmido com inverno seco e verão temperado. A precipitação média é de 1.334 mm ano⁻¹ apresentando 80% do total precipitado no período chuvoso de outubro a abril (Alvares et al, 2013).

De acordo com as normais climatológicas de pluviômetros localizados em propriedades próximas ao local do estudo, a variação da precipitação foi entre 905 a 2.193 mm ano⁻¹. Os municípios de São João do Manhuaçu e Luisburgo estão com toda a área territorial inserida na bacia hidrográfica, e o município de Manhuaçu possui 41,61% de seu território inserido dentro da área considerada pelo estudo. A região apresenta relevo acidentado com elevações superiores a 1700 m (Figura 1c). As sub-bacias avaliadas são consideradas de maior importância no abastecimento da população (Figura 1d)

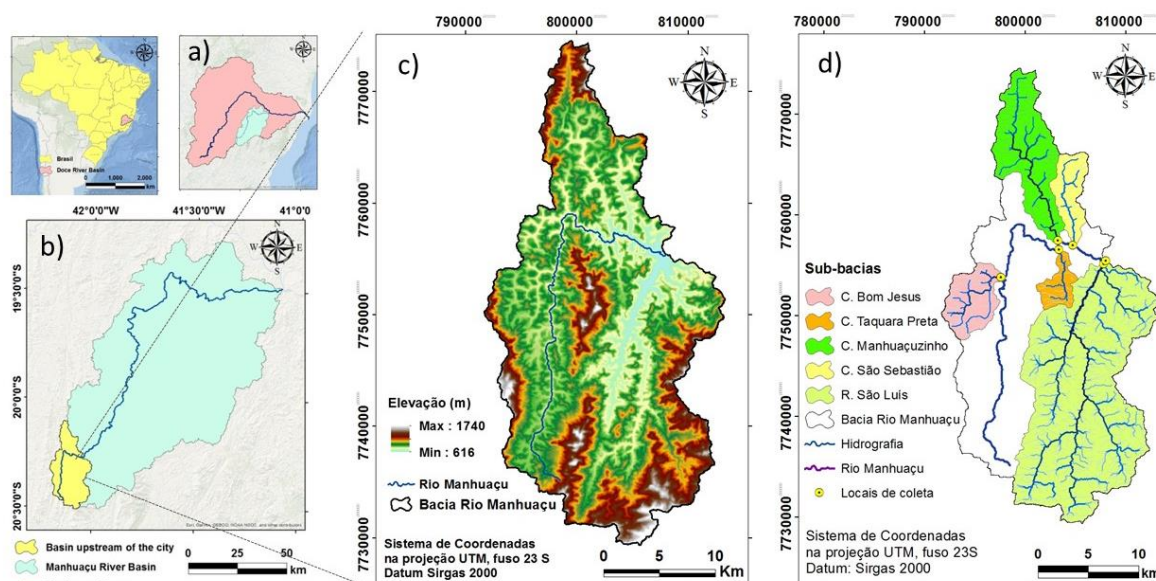


Figura 1. Bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu (Azul), sub-bacia do Rio Doce (rosa) (a); bacia de contribuição a montante da cidade de Manhuaçu (amarelo) (b); hipsometria da bacia de contribuição a montante da cidade de Manhuaçu (c), e sub-bacias avaliadas.

Processamento dos dados

A delimitação da bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu foi usando a base de dados de curvas de nível, pontos cotados (IEDE, 2021) e hidrografia mapeada (IBGE, 2021), ambos na escala 1:50.000. Os dados foram reprojatados e utilizados para a geração de um Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC). Um MDEHC caracteriza-se por possuir uma coincidência acentuada entre a hidrografia numérica (raster) com a hidrografia mapeada (vetorial).

Para a geração do MDEHC foi necessário conectar a hidrografia, orientar sentido a foz e unifilar, e corrigir erros das curvas de nível para posterior utilização do interpolador Topo to Raster, específico para a geração de um modelo que acompanha as mudanças bruscas no terreno, como os cursos d'água. Após a geração do modelo, possíveis anomalias são corrigidas para garantir que a água fluirá dos locais mais elevados para os locais mais baixos.

Para gerar a hidrografia, é necessário um método sistemático e organizado para obter resultados precisos, para isso e a direção do fluxo e o fluxo acumulado em cada célula indicam onde as áreas do canal foram estabelecidas. Portanto, o programa indica o local dos principais canais. A saída desse método é uma base para a criação de vetores de ordem de fluxo que correspondem à hierarquia de rios de acordo com os números de ordem de Strahler (1964). O processamento dos dados e as análises foram realizadas em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), software ArcGIS 10.2.2.

Coleta das amostras de água

A coleta para avaliação da qualidade da água foi realizada em seis locais distintos no dia 14 de fevereiro de 2019 durante o tempo nublado seguindo o protocolo de coleta do IGAM. A definição da data de coleta durante o período de chuvas foi baseada na maior atividade agrícola da região. Foram analisados dez parâmetros de qualidade de água: oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio total, fósforo total, temperatura, turbidez, sólidos totais e condutividade.

A coleta de água superficial foi realizada com o uso de bolsas coletoras de 100 ml para as amostras, seguindo as instruções de uso e com as mãos higienizadas com álcool 70% evitar contaminação do material, armazenadas e refrigeradas em caixas térmicas e levadas para análise laboratorial dos parâmetros: coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo total, nitrogênio total e sólidos totais. Os parâmetros de Oxigênio dissolvido, pH, turbidez e condutividade foram analisados *in situ* com equipamentos da marca Digimed®, a temperatura da água também foi medida no local.

Após a coleta da água, foi realizado ensaios de acordo com metodologias preconizadas em Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 23ª edição (APHA, 2017), Water Analysis Handbook e EPA (Environmental Protection Agency), além de metodologias nacionais como ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e Farmacopéia Brasileira.

Classificação de imagens

Foi adquirido cenas LandSat 8 OLI de 20 de janeiro de 2018, data da passagem do sensor, com 30 metros de resolução espacial e posterior processamento e coleta de amostras para treinamento para a realização da classificação supervisionada. Para isso, foi utilizado o algoritmo da Máxima Verossimilhança (maxver) implementado através da interface do software ArcGis 10.5.1. De acordo com Liu (2006), o algoritmo da Máxima Verossimilhança é um método de classificação supervisionada amplamente utilizado no processo de identificação de classes temáticas. O algoritmo utiliza a média e a covariância das amostras de treinamento, para computar a probabilidade estatística de um *pixel* desconhecido pertencer a uma determinada classe. Depois da avaliação probabilística, o *pixel* é assinalado à categoria de maior probabilidade.

A seleção das classes de cobertura da terra foi baseada em observações em campo dos usos predominantes na bacia hidrográfica, sendo consideradas cinco classes principais, sendo: mata nativa, cafeicultura, pastagem, eucalipto e ocupação urbana. Foram realizadas seis visitas a campo para validação dos locais a avaliação de aspectos ambientais das sub-bacias. Para avaliar a qualidade da classificação, a validação foi realizada através do índice de exatidão global e o índice kappa.

Índice de qualidade de água

O Índice de Qualidade das Águas (IQA) trata-se de um indicador que permite aferir a qualidade das águas em um determinado percurso do corpo d'água, especialmente a contaminação causada pelo lançamento de esgoto doméstico.

O cálculo do IQA é feito por meio do produtório ponderado dos nove parâmetros, sendo atribuídos pesos para cada um desses parâmetros de acordo com sua relevância:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

Onde:

IQA = Índice de Qualidade das Águas. Um número entre 0 e 100; q_i = qualidade do i -ésimo parâmetro. Um número entre 0 e 100, obtido do respectivo gráfico de qualidade, em função de sua concentração ou medida (resultado da análise); w_i = peso correspondente ao i -ésimo parâmetro fixado em função da sua importância para a conformação global da qualidade, isto é, um número entre 0 e 1, de forma que:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Onde n o número de parâmetros que entram no cálculo do IQA.

Os parâmetros e os seguintes pesos: Oxigênio dissolvido (0,17); coliformes termotolerantes (0,15); potencial hidrogeniônico (pH) (0,12); Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO_{5,20} (0,10); Temperatura da água (0,10); fósforo total (0,10); turbidez (0,08); sólidos total (0,08) conforme (IGAM, 2019).

Os valores adotados seguem o padrão pelo estado de Minas Gerais. O resultado dessa expressão permite fazer a classificação dos trechos de rio em faixas de qualidade ótima (91-100), boa (71-90), razoável (51-70), ruim (26-50) e péssima (0-25). A avaliação da qualidade da água obtida pelo IQA apresenta limitações, já que este índice não analisa vários parâmetros importantes para o abastecimento público, tais como substâncias tóxicas (ex: metais pesados, pesticidas, compostos orgânicos), protozoários patogênicos e substâncias que interferem nas propriedades organolépticas da água.

As amostras também foram analisadas padrões ambientais mínimos de qualidade de água foram seguidas a recomendações da Resolução CONAMA 357/2005. A mesma resolução classifica as águas doces segundo seu uso.

Classe especial: Águas destinadas ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção. Essa classe não está presente na área de estudo. (azul)

Classe 1 - Abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado, proteção das comunidades aquáticas, recreação, irrigação de hortaliças e frutas consumidas cruas. (amarelo)

Classe 2 - Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional, proteção das comunidades aquáticas, recreação, irrigação, aquicultura e a atividade de pesca. (roxo)

Classe 3 - Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado, irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras, pesca amadora, recreação de contato secundário, dessedentação de animais. (vermelho).

Os parâmetros secundários de qualidade de água foram obtidos através dos dados do Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE). A presença de Endrin, 2,4D, Glifosato e Atrazina foi analisada. As coletas de água foram realizadas nos meses de agosto de 2017 e 2019. Os locais de coleta das análises coincidiram com a coleta dos demais parâmetros do IQA, apenas Manhuaçu foi coletado um pouco distante do local. Essas análises são importantes por conter parâmetros de agrotóxicos utilizados na região da bacia hidrográfica e permitem relacionar o uso do solo com a qualidade de água.

Resultados e Discussão

A bacia hidrográfica a montante da cidade de Manhuaçu possui área de 550,03 km², a área de contribuição das sub-bacias avaliadas corresponde a 65,69 % deste. A maior sub-bacia avaliada é a do Ribeirão São Luiz, com 242,94 km² de área e com predomínio da cafeicultura, correspondendo a 30,70% da área da sub-bacia. As sub-bacias dos Córregos Bom Jesus, Taquara-Preta, Manhuaçuzinho e São Sebastião possuem área de 29,42; 12,73; 64,63 e 21,82 km² de área respectivamente. Essas sub-bacias são importantes para captação de água para o município, sendo as sub-bacias do Córrego Manhuaçuzinho e Córrego São Sebastião são as principais para captação de água para 21738 domicílios (CBH-Manhuaçu, 2017).

A bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu possui 31,06% de ocupação com cafeicultura, 21,94% pastagens, 17,87% de uso com eucalipto, 2,10% ocupação urbana e 27,03% florestas nativas. A sub-bacia do córrego Bom Jesus foi a que apresentou menor cobertura com floresta nativa com 20,55% (Figura 2).

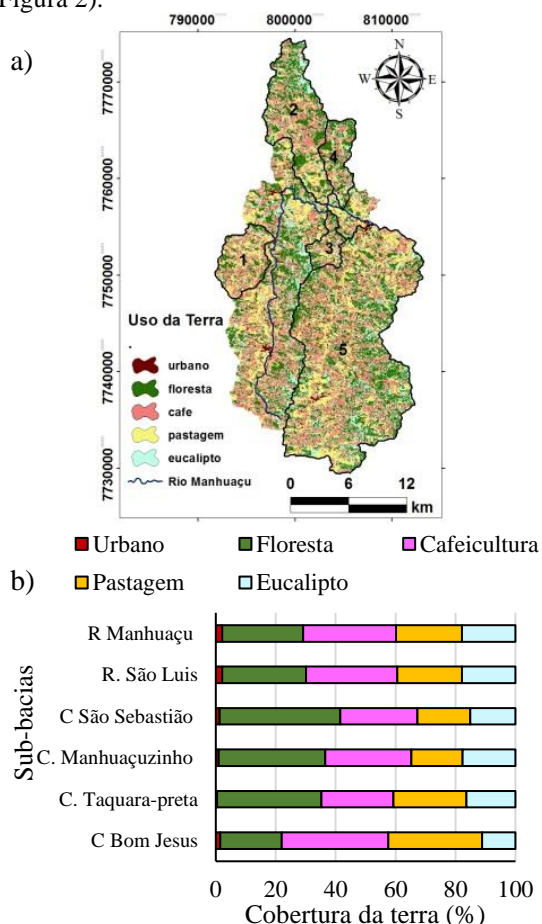


Figura 2: Mapa de classificação de uso da terra da bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu-MG (a) e percentual de distribuição por sub-bacia (b).

O uso da terra e o manejo utilizado é determinante na qualidade da água dos cursos

d'água. O Córrego Bom Jesus não apresentou oxigênio dissolvido na água no local de coleta (Figura 3), a presença de um local mais plano provoca a redução da velocidade da água, reduzindo a troca gasosa com a atmosfera, a sub-bacia possui residências que não destinam adequadamente o esgoto doméstico e foi verificado lixo dentro do córrego durante as expedições a campo. O Oxigênio Dissolvido é de grande importância para a sobrevivência de vários organismos aquáticos, e baixos valores indicam locais eutrofizados. Silva, (2017) observou baixa quantidade de oxigênio dissolvido, 1,90 mg l⁻¹ no mesmo local de coleta do presente estudo durante o período chuvoso em novembro de 2016.

A presença de coliformes termotolerantes foi menor no Rio Manhuaçu 480 NMT 100⁻¹ no local de coleta da amostra (Figura 3), local distinto da captação de água pelo SAAE, que fica a jusante, onde o lançamento de esgoto doméstico é maior recebendo lançamento de esgoto doméstico. Os coliformes termotolerantes são indicadores de poluição por esgoto doméstico e também um indicativo que animais estejam fazendo a dessedentação animal nos cursos d'água (BORTOLI et al., 2017; MELLO et al., 2018).

Em época de estiagem durante os meses de maio e setembro ocorre apenas 20% do total precipitado na região (Alvares et al., 2013), ocorrendo uma redução significativa da vazão do rio Manhuaçu, que ao atravessar a cidade recebe uma grande carga de esgoto doméstico, elevando a concentração de coliformes, consumindo o oxigênio da água e levando a mortandade de peixes. (PORTAL CAPARAÓ, 2015).

O pH afeta o metabolismo de organismos aquáticos. A sub-bacia do Córrego São Sebastião teve o menor pH entre os locais amostrados, 5,8, abaixo do que estabelece a resolução do Conama 357/2005 que para a proteção da vida aquática deve estar entre 6 e 7 (Figura 3). Andrietti et al (2016) observaram baixo valor de pH para a bacia hidrográfica do Rio Caibi, MT, sendo atribuído à condição natural da bacia, que possui solos antigos com bases lixiviadas.

O parâmetro de DBO_{5,20} foi de 5 mg l⁻¹ para todos os locais amostrados, enquadrados na classe 2 CONAMA 357/2005; este parâmetro indica a quantidade de oxigênio consumido durante 5 dias a 20°C de temperatura (Figura 3). O parâmetro indica a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica existente na água. Amorim et al., (2017) observaram uma maior concentração DBO_{5,20} no período chuvoso, 8,3 mg l⁻¹, em maio, classificada na Classe III, CONAMA 357/2005 e no período de estiagem, em agosto de 2011, 2,1 mg l⁻¹ no Igarapé Precuá, Maranhão. Comportamento semelhante também foi observado no Ribeirão Paraíso, GO, onde os locais de coleta apresentaram

maior DBO durante o período chuvoso, com média de $4,05 \text{ mg l}^{-1}$ (BATISTA et al., 2017).

A temperatura da água afeta a atividade dos organismos aquáticos, alterando as características físicas e a taxa de reações químicas e biológicas. A temperatura da água foi maior no Rio São Luís, $25,4^\circ\text{C}$ e a mais baixa para os córregos Taquara Preta e São Sebastião, com 19°C e $19,9^\circ\text{C}$ respectivamente (Figura 3), sendo estes locais mais propícios para a criação de peixes, devido a menor solubilidade da água, permitindo maior oxigenação.

As atividades agrícolas necessitam de insumos para a produção, a adubação química é amplamente utilizada nas sub-bacias, o que altera a concentração de fósforo e nitrogênio na água. A concentração de nitrogênio total foi 2 mg l^{-1} para todos os pontos de coleta na bacia hidrográfica e $0,1 \text{ mg l}^{-1}$ para fósforo total em todos os locais de coleta (Figura 3). Simedo et al., (2018) observou mudança significativa na concentração de nitrogênio total nas sub-bacias entre o período chuvoso, $0,72 \text{ mg l}^{-1}$ e o período seco $0,57 \text{ mg l}^{-1}$, o mesmo não foi observado para fósforo total, que não apresentou mudanças significativas, com $0,03 \text{ mg l}^{-1}$ sendo atribuída a interferência antrópica o aumento desses eventos.

O Rio São Luís apresentou maior turbidez, $32,4 \text{ NTU}$, e maior concentração de sólidos totais na água, $65,5 \text{ mg l}^{-1}$ entre os locais amostrados (Figura 3). O crescimento urbano e concentrado as margens do rio acarretam o aumento da concentração, pois com a preparação do terreno para loteamentos e criação de condomínios expõem o solo desestruturado ao salpicamento das partículas do solo e o transporte dos sedimentos para o leito dos cursos d'água. A concentração de sólidos totais aumenta na estação chuvosa, com maior carregamento de sedimentos para os cursos d'água (Andrietti et al., 2016), principalmente quando ocorrem eventos extremos de precipitação (OLIVEIRA e QUARESMA, 2017).

A condutividade elétrica foi mais elevada para o Rio São Luís, $40,40 \text{ }\mu\text{S/cm}$, seguido do Rio Manhuaçu com $37,96 \text{ }\mu\text{S/cm}$ (Figura 3). A condutividade elétrica é um parâmetro que mede a concentração de sais dissolvidos na água. Silva et al., (2017) verificou condutividade de $40,03$; $27,07$; $49,83$ e $47,32$ para o Córrego Bom Jesus, Córrego Manhuaçuzinho, Rio São Luís e Rio Manhuaçu respectivamente para o período chuvoso em novembro de 2016.

A apresentação de diversos parâmetros de qualidade da água avaliados individualmente é de compreensão mais complexa, dessa forma o IQA apresenta como uma ferramenta utilizada por diferentes órgãos governamentais por ser de fácil percepção (IGAM, 2021).

Menezes et al., (2016) avaliaram a qualidade de água temporal e espacial sob diferentes padrões de uso do solo e observaram redução no IQA para todos os locais amostrados no período seco

comparados com o período chuvoso, atribuindo ao lançamento de esgoto doméstico a redução na qualidade. O mesmo padrão foi observado por Ramos et al. (2016) com piora da qualidade da água em períodos de estiagem com menores valores de IQA comparado ao período chuvoso para os rios Atibaia e Jaguarai.

Os valores de IQA foram ruins para o Córrego Bom Jesus, Rio Manhuaçu e Rio São Luís e regulares para os córregos Manhuaçuzinho, Taquara Preta e São Sebastião (Figura 4).

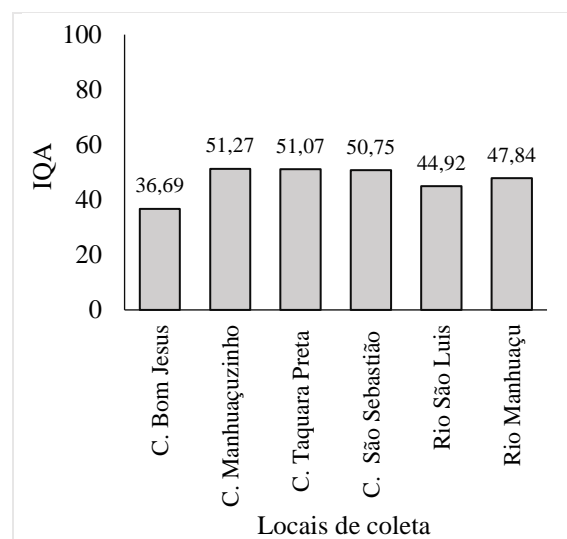


Figura 4: Índice de Qualidade e da Água (IQA) de seis locais na bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu, MG. Fonte: Rodolfo Alves Barbosa, IGAM.

As sub-bacias do Córrego São Sebastião e córrego Manhuaçuzinho são as principais usadas para abastecimento de domicílios da cidade de Manhuaçu e apresentaram os melhores valores de IQA. Porém, os valores estão próximos do limiar para a classificação ruim, sendo necessário melhorar as condições ambientais destas sub-bacias, principalmente as áreas próximas aos cursos d'água que estão sem cobertura vegetal adequada e crescimento de chacreamentos de acordo com o observado nas expedições a campo.

As sub-bacias avaliadas possuem grande amplitude altimétrica, ou seja, a diferença de elevação do ponto mais alto até a foz, o que agrava o risco de contaminação dos cursos d'água com agrotóxicos utilizados nas lavouras cafeeiras. Dessa forma, os resultados de qualidade da água para agrotóxicos são importantes para os locais avaliados.

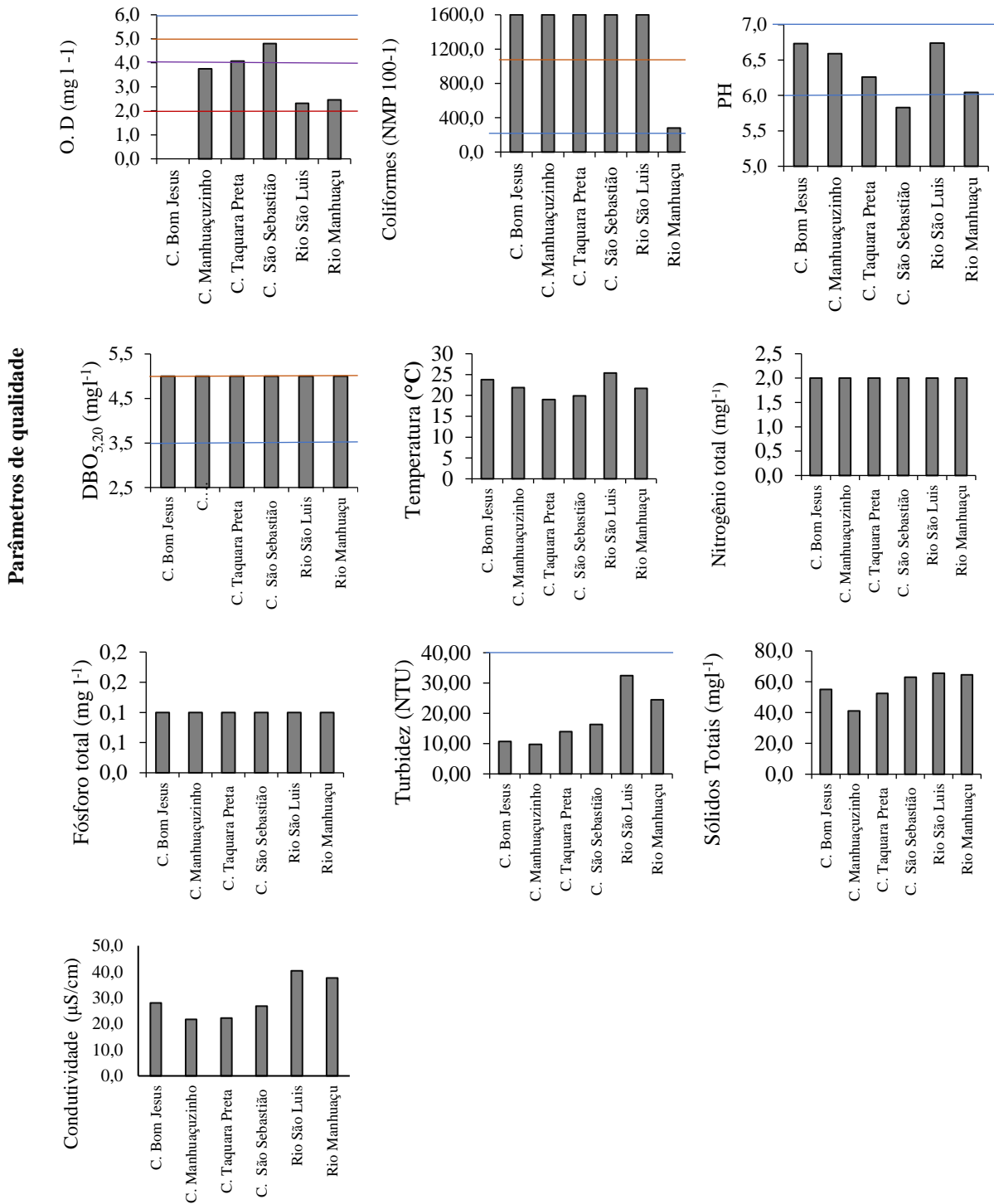


Figura 3: Parâmetros de qualidade de água avaliados em diferentes locais na bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu, MG. As linhas representam a classe de água doce segundo o CONAMA 357/2005, a linha azul representa o limite para a classe especial, linha amarela representa o limite para a classe I, linha roxa representa o limite para a classe II, linha vermelha representa o limite para a classe III.

Não foi verificada presença significativa atrazina, endrin, glifosato e 2,4D nos locais coletados pelo SAAE-Manhuaçu em agosto de 2017 e agosto de 2019 para o córrego Manhuaçu, São Sebastião e para o Rio Manhuaçu (Quadro 1). As coletas de amostras de água apenas no período de estiagem na região podem ser consideradas insuficientes para avaliação de agrotóxicos aplicados a cultura cafeeira, pois no período chuvoso que ocorre maior aplicação de agrotóxicos na região. Soares et al., (2013) verificaram maior vulnerabilidade de contaminação do solo no ambiente no período chuvoso com agrotóxicos utilizados na cultura cafeeira no período entre 2007 e 2010 em uma sub-bacia do município de Manhuaçu. A presença de agrotóxicos carbamatos organofosforados, piretróides, organoflorados e triazóis foram observados em amostras de água de uma sub-bacia próxima ao local de estudo (SOARES et al., 2017).

O glifosato é um herbicida amplamente utilizado no Brasil e no local de estudo segundo vendedores de casas agrícolas locais. Fernandes et al., (2019) observaram grande variação na concentração de glifosato no período chuvoso para uma sub-bacia do Rio Capingui com concentração variando de 10 a 309 $\mu\text{g kg}^{-1}$ na água. Sendo mais crítico próximo ao perímetro urbano, indicando uso indiscriminado do herbicida.

Quadro 1: Análise de qualidade da água para três diferentes locais de coleta em agosto de 2017 e agosto de 2019 na bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu-MG.

Análise		Período	Pontos de Coleta			
			Manhuaçuzinho	S. Sebastião	Manhuaçu	Conama 357/2005 (Valor máximo)
Atrazina	Herbicida	2018	<0,1	<0,1	<0,1	2
		2019	<0,1	<0,1	<0,1	
Endrin	Inseticida	2018	<0,001	<0,001	<0,001	0,004
		2019	<0,001	<0,001	<0,001	
2,4 D	Herbicida	2018	<0,1	<0,1	<0,1	4
		2019	<0,1	<0,1	<0,1	
Glifosato	Herbicida	2018	<0,1	<0,1	<0,1	65
		2019	<0,1	<0,1	<0,1	

Fonte: SAAE- Manhuaçu

A preservação e a recuperação da mata nativa em zonas ripárias são fundamentais para a retenção de resíduos e evitar a aproximação de animais de criação. A zona ripária encontrada nas áreas de preservação permanente (APPs) desempenha importante papel na quantidade e qualidade dos recursos hídricos, possuindo estreita ligação com o curso d'água e o lençol freático (ANDRADE, DIAS, 2014; ATTANASIO et al., 2012). O Córrego São Sebastião possui o maior

percentual de vegetação nativa entre as sub-bacias avaliadas, com 40,20% da área total, porém parte dos cursos d'água estão sem vegetação ripária e o crescimento de novos lotes para construção tem acarretado em IQA regular para o curso d'água.

As zonas ripárias em nascentes são os locais sob influência da umidade proveniente do curso d'água e são fundamentais para a preservação da bacia hidrográfica e a manutenção da floresta nativa (Dias et al., 2012), pois as sub-bacia que apresentaram maior

A atrazina é um herbicida usado para o controle de ervas daninhas em plantações de milho e sorgo, culturas usadas para alimentação de bovinos, usado por pecuaristas para a época de estiagem, quando a pastagem está pouco produtiva. A presença de níveis elevados de atrazina foram observados em outros trabalhos (CALDAS et al., 2019; De SOUZA et al., 2019).

O herbicida 2,4D é utilizado para controle de ervas daninhas na cultura do café e em pastagens não foi observado valores superiores ao máximo preconizado pelo Conama 357/2005 (Quadro 1). O inseticida Endrin não foi observado em concentração acima do permitido durante a análise de água.

área de cobertura florestal nativa foram classificadas com maior IQA.

A melhor qualidade de água das bacias hidrográficas com maior cobertura florestal nativa apresenta condições favoráveis à vida aquática, uma vez que são ambientes sensíveis a mudanças de uso do solo (MARMONTEL et al., 2019). Corrêa et al. (2016) avaliaram a qualidade hidroambiental de nascentes para aplicação do Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), na microbacia do Pirajibu-Mirim

observando que 30,7% estão sem vegetação nativa nas áreas de APP. Paule-Mercado et al. (2017) verificaram um aumento no volume escoado, nitrogênio total, fósforo total e sólidos suspensos totais com a expansão da terra nua e da cobertura impermeável, os locais onde apresentaram um programa de desenvolvimento sustentável reduziram os impactos negativos de uso da terra.

As sub-bacias do Rio Manhuaçu necessitam de uma gestão integrada de bacias hidrográficas, onde contemple as práticas de manejo como formas de gerenciamento dos recursos hídricos favorecendo a recarga de águas subterrâneas e qualidade da água (MISRA, PACHOURI, 2015). A restauração florestal pode reduzir os sólidos suspensos, nitrogênio total e fósforo total em cursos hídricos (MELLO et al., 2017).

Conclusões

As sub-bacias com maior cobertura florestal nativa apresentaram IQA superior a 50%, sendo classificadas de qualidade regular.

A sub-bacia do córrego Bom Jesus, que possui 79,45% da área ocupada pelos usos: área urbana, pastagem e eucalipto, apresentou menor valor de IQA.

As sub-bacias que apresentaram cobertura florestal nativa abaixo de 30% (Córrego Bom Jesus e Rio São Luís) apresentaram IQA considerado ruim. Assim como a qualidade da água que chega à sede do município de Manhuaçu pelo Rio Manhuaçu é considerada ruim.

Dentre os parâmetros avaliados, o oxigênio dissolvido e a presença de coliformes termotolerantes foram os parâmetros que mais influenciaram na qualidade de água das sub-bacias.

A ocupação urbana e a presença de animais domésticos na zona ripária dos cursos d'água contribuem com a piora da qualidade da água nas sub-bacias.

Os níveis detectados de agrotóxicos foram abaixo do máximo permitido. Porém, análises durante o período chuvoso são necessárias.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Universidade Federal de Viçosa, FAPEMIG, Capes, CNPq e Comitê de Águas Hidrográficas do Rio Manhuaçu.

Referências

Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JLM, Sparover G (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22 (6): 711–728. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507

Amorim DG, Cavalcante PRS, Soares LS, Amorim, PEC (2017). Enquadramento e avaliação do índice de qualidade da água dos igarapés Rabo de Porco e Precuá, localizados na área da Refinaria Premium I,

município de Bacabeira (MA). *Engenharia Sanitária e Ambiental*. v.22 (2) 251-259. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016131212>

Andrade TM, Dias HCT (2010). Water table monitoring in a mined riparian zone. *Ambiente & Água*. 5 (1):29-42.

Andrietti G, Freire R, Amaral A, Almeida FT, Bongiovani MC, Schneider RM. Índices de qualidade da água e de estado trófico do rio Caiabi, MT. *Revista Ambiente & Água*. 11 (1), 2016. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1769>

APHA, American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater, 23 ed. Washington, 2017.

Attanazio CM, Gandolfi S, Zakia MJB, Junior JCTV (2012). A importância das áreas ripárias para a sustentabilidade hidrológica do uso da terra em microbacias hidrográficas. *Bragantia*. 71(4): 493-501. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052013005000001>

Barros A, Guimarães V, Santana WSC (2018). Water quality index application in two stretches (urban and rural) of Guanandy stream basin, Aquidauana – MS. *Caderno de Geografia*. 28(54). <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2018v28n54p630-649>

Batista DF, Cabral JBP, Franco DFS, Lopes SMF (2017). Avaliação e enquadramento das águas do Ribeirão Paraíso. *Boletim Gaúcho de Geografia*. 44 (2): 63-83.

Bortoli J, Rempel C, Maciel MJ, Tavares VEQ (2017). A qualidade da água de dessedentação animal e a preservação das áreas de preservação permanente. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*. 8 (3): 170-179. <https://doi.org/10.6008/SPC2179-6858.2017.003.0016>

Bourgeois B, Vanasse A, Poulin M (2016). Effects of competition, shade and soil conditions on the recolonization of the three forest in the planted riparian zones. *Applied Vegetation Science*. 19 (4):679-688. DOI: 10.1111/avsc.12246

Caldas SS, Arias JLO, Rombaldi C, Mello, LL, Cerqueira MB, Martins AF, Prime EGG (2019). Occurrence of Pesticides and PPCPs in Surface and Drinking Water in Southern Brazil: Data on 4-Year Monitoring. *Journal of the Brazilian Chemical Society*. 30 (1): 71-80. <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20180154>

- Calijuri MC, Bubel APM. Conceituação de Microbacias. In: As Florestas Plantadas e a água-implementado o conceito e microbacias hidrográficas como unidade de planejamento, 2006, São Carlos, RiMa, 226p.
- CBH-Manhuaçu. Plano municipal de saneamento básico Manhuaçu – MG. Relatório Final, 491.p, 2017.
- Corrêa CJP, Tonello KC, Franco FS (2016). Análise hidroambiental da microbacia do Pirajibu-Mirim, Sorocaba, SP, Brasil. *Revista Ambiente e Água*. 11(4). DOI: 10.4136/ambi-agua.1969
- De Barros A, Guimarães W, Santana WSC (2018). Water quality index application in two stretches (urban and rural) of Guanandy stream basin, Aquidauana – MS. *Caderno de Geografia*. 28 (54): 630-649. DOI: 10.5752/P.2318-2962.2018v28n54p630-649
- De Queiroz VT, Azevedo MM, Quadros IPS, Costa AV, Amaral AA, Dos Santos GMADA, Juvanhol, RS, Telles, LAA, Dos Santos AR (2018). Environment risk assessment for sustainable pesticides use in coffee production. *Journal of Contaminant Hydrology*. 219: 18-27. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2018.08.008>
- De Souza LFCB, Montagner CC, Almeida MB, Kurida EK, Freire RL (2019). Determination of pesticides in the source and drinking waters in Londrina, Paraná, Brazil. *Semina: Ciências Agrárias*. 40 (3):1153-1164. DOI: 10.5433/1679-0359.2019v40n3p1153
- Dias RM, Salvador NB, Branco MBC (2014). Identificação do Nível de Degradação de Matas Ripárias com uso de SIG. *Floresta & Ambiente*. 21 (2) 150-161. <https://doi.org/10.4322/loram.2014.032>
- Fernandes G, Aparicio VC, Bastos MC, De Gerónimo E, Labanowski J, Prestes OD, Zanella R, Dos Santos DR (2019). Indiscriminate use of glyphosate impregnates river epilithic biofilms in southern Brazil. *Science of the Total Environment*. 651: 1377–1387. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.292>
- Gloria LP, Horn BC, Hilgemann M (2017). Avaliação da qualidade da água de bacias hidrográficas através da ferramenta do Índice de Qualidade da Água – IQA. *Revista Caderno Pedagógico*. 14 (1).
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. A geografia do café, 156p. 2016.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Loja IBGE. Carta Manhuaçu, 2021. <https://loja.ibge.gov.br/>.
- IEDE, Infraestrutura Estadual de Dados Espaciais de Minas Gerais, 2021. <http://iede.fjp.mg.gov.br/>.
- IGAM, Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Portal InfoHidro. Índice de Qualidade Das Águas – IQA. <http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/sem-categoria/319-indice-de-qualidade-das-aguas-iqa>.
- Kändler M, Blechinger K, Seidler C, Pavlů V, Šanda M, Dostal T, Krása J, Vitvar T, Stich M (2017). Impact of land use on water quality in the upper Nisa catchment in the Czech Republic and in Germany. *Science of the Total Environment*. 586:1316-1325. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.221>
- Leal MS, Tonello KC, Dias HCT.; Mingoti, R (2017). Caracterização hidroambiental de nascentes. *Ambiente & Água*. 1 (1): 146-155. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1909>
- Liu WTH. Aplicações de sensoriamento remoto. 908p. Campo Grande, 2006.
- Marmontel CVF, Lucas-Borja ME. Rodrigues VA, Zema DA (2018). Effects of land use and sampling distance on water quality in tropical headwater springs (Pimenta creek, São Paulo State, Brazil). *Science of the Total Environment*. 622:690-701. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.12.011
- Mattos JB, Santos DA, Filho CAF, Santos TJ, Santos MG, De Paula (2018). Water production in Brazilian montane rainforest: Implications for water resources management. *Environmental Science and Policy*. 84: 52-59. DOI: 10.1016/j.envsci.2018.03.004
- Mello K, Randhir, TO, Valente RA.; Vettorazzi, C. A (2017). Riparian restoration for protecting water quality in tropical agricultural watersheds. *Ecological Engineering*. 108: 514-524. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.06.049>
- Mello K, Valente RA, Randhir TO, Vettorazzi C. A (2018). Impacts of tropical forest cover on water quality in agricultural watersheds in southeastern Brazil. *Ecological Indicators*. 93: 1293-1301. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.06.030>
- Meneses BM, Reis R, Vale MJ, Saraiva R (2015). Land use and land cover change in Zêzere watershed (Portugal)—Water quality implications. *Science of the Total Environment*. 528: 439-447. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.04.092>
- Misra AK, Pachouri, A (2015). Watershed Management Structures and Decision Making

- Frameworks. *Water Resources Management*. 29: 4849-4861. DOI: 10.1007/s11269-015-1094-8
- Moretto DL, Panta RE, Costa AB, Lobo EA (2012). Calibration of water quality index (WQI) based on Resolution n° 357/2005 of the Environment National Council (CONAMA). *Acta Limnologica Brasiliensia*. 24 (1). <https://doi.org/10.1590/S2179-975X2012005000024>
- Namugize JN, Jewitt G, Graham M (2018). Effects of land use and land cover changes on water quality in the uMngeni river catchment, South Africa. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. 105: 247-264. DOI: 10.1016/j.pce.2018.03.013
- Neto JRA, Andrade EM, Palácio HAQ, Sales MM, Maia ARS (2017). Influence of land use/occupation on water quality in the Trussu river valley, Ceará, Brazil. *Revista Ciência Agronômica*. 48 (1): 59-69.
- Noce CM, Costa AG, Piuzana D, Vieira VS, Carvalho CM. Nota explicativa da folha Manhuaçu. Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais. 2007.
- Oliveira SS, Quaresma VS (2017). Temporal variability in the suspended sediment load and streamflow of the Doce River. *Journal of South American Earth Sciences*. 78:101-115. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2017.06.009>
- Paule-Mercado MA, Lee BY, Memon SA, Umer S R, Salim I, Lee CH (2017). Influence of land development on stormwater runoff from a mixed land use and land cover catchment. *Science of the Total Environment*. 599-600: 2142-2155.
- Pereira BWF, Maciel MNM, Oliveira FA, Alves MAS, Ribeiro AM, Ferreira BM, Ribeiro EGP (2016). Uso da terra e degradação na qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, PA, Brasil. *Ambiente & Água*. 11 (2).
- Piratoba AR, Ribeiro HMC, Morales GP, Gonçalves WG (2017). Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil. *Revista Ambiente & Água*. (12):3. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1910>
- Pontes, P. P.; Marques, A. R.; Marques, G. F (2012). Effect of land use and occupation in water quality in the micro-basin of Banguelo Creek – Contagem. *Ambiente e Água*. 7 (3). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.962>
- Portal Caparaó. Site de notícias de Manhuaçu e região. Mau cheiro, peixes mortos: o rio Manhuaçu agoniza. Disponível em: <https://www.portalcaparao.com.br/noticias/visualiz>
[ar/15332/mau-cheiro-peixes-mortos-o-rio-manhuaçu-agoniza](https://www.portalcaparao.com.br/noticias/visualiz). Acesso em 07 de setembro de 2019.
- Ramos MAG, Oliveira ESB, Pião ACS, Leite ANO, Angelis DF (2016). Water Quality Index (WQI) of Jaguarai and Atibaia Rivers in the region of Paulínia, São Paulo, Brazil. *Environment Monitoring and Assessment*,188:263, 2016. DOI 10.1007/s10661-016-5261-z
- Rodrigues IR, Geraldes MC, Ferreira AA, Salomão MS, Anversa SV (2018). Analysis of the water quality index of the Negro and Rezende Rivers in Duas Barras District, Rio de Janeiro (Brazil). *Journal of Sedimentary Environments*. 3 (2):121-130. DOI: 10.12957/jse.2018.35715
- Serpa D, Nunes JP, Abrantes N (2017). Impacts of climate and land use changes on the water quality of a small Mediterranean catchment with intensive viticulture. *Environmental Pollution*. 224: 454-465. DOI: 10.1016/j.envpol.2017.02.026
- Silva, GFP (2017). *Contribuições para diagnóstico ambiental da bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu*. 122 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Mg.
- Simedo MBL, Martins ALM, Pissarra TCT, Lopes MC, Costa RCA, Valle-Junior RF, Campaneli LC, Rojas NET, Finoto EL (2018). Effect of watershed land use on water quality: a case study in Córrego da Olaria Basin, São Paulo State, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*. 78 (4): 625-635. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.168423>
- Soares AFS, Leão MMD, Faria VHF, Costa MCM, Moura ACM, Ramos VDV, Vianna Neto, MR, Costa EP (2013). Occurrence of pesticides from coffee crops in surface water. *Ambiente & Água*. 8 (1)62-72. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1053>
- Soares, A. F. S.; Leão, M. D.; Neto, M. R. V (2017). Environmental fate of pesticide applied on coffee crops in southeast of Brazil. *African Journal of Environmental Science and Technology*. 11: 103-112. DOI: 10.5897/AJEST2016.2187
- Tundisi, JG, Tundisi TM (2016). Integrating ecohydrology, water management, and watershed economy: case studies from Brazil. *Ecohydrology & Hydrobiology*. 6(2): 83-92. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2016.03.006>
- Xu P, Gao F, Ren X, Xi W (2017). Modelling and optimization of land use/land cover change in a developing urban catchment. *Water Science &*

Technology 75 (11): 2527-2537. DOI:
10.2166/wst.2017.121