

99- APLICABILIDADE DO MODELO WARM-GIS PARA A SIMULAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL QUANTITATIVO CONSIDERANDO A Q90% NAS SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA E PIRANGA - MG

Marllus Henrique Ribeiro de Paiva⁽¹⁾

Engenheiro Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal Fluminense (UFF). Mestre em Engenharia de Biossistemas (UFF). Doutorando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

Aníbal da Fonseca Santiago⁽²⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (USP). Doutor em Engenharia Civil (UFV). Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

Lívia Cristina Pinto Dias⁽³⁾

Engenheira Ambiental (UFV). Mestre em Agronomia (UFV). Doutora em Agronomia (UFV). Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Ambiental da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

Paula Cristine Silva Gomes⁽⁴⁾

Bacharela em Biologia (UFOP). Mestre em Ecologia de Biomas Tropicais (UFF). Doutoranda em Engenharia Ambiental (UFOP).

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Pós Graduação em Engenharia Ambiental - ProAmb - Universidade Federal de Ouro Preto - Campus Morro do Cruzeiro - Ouro Preto - MG - CEP 35400-000 - Brasil - Correio eletrônico: marllus.paiva@aluno.ufop.edu.br

Endereço⁽²⁾: Departamento de Engenharia Civil - Universidade Federal de Ouro Preto - Campus Morro do Cruzeiro - Ouro Preto - MG - CEP 35400-000 - Brasil - Correio eletrônico: anibal@ufop.edu.br

Endereço⁽³⁾: Departamento de Engenharia Ambiental - Universidade Federal de Ouro Preto - Campus Morro do Cruzeiro - Ouro Preto - MG - CEP 35400-000 - Brasil - Correio eletrônico: livia.dias@ufop.edu.br

Endereço⁽⁴⁾: Departamento de Pós Graduação em Engenharia Ambiental - ProAmb - Universidade Federal de Ouro Preto - Campus Morro do Cruzeiro - Ouro Preto - MG - CEP 35400-000 - Brasil - Correio eletrônico: paula.cristine@aluno.ufop.edu.br

RESUMO

A poluição dos corpos hídricos é um dos grandes desafios ambientais enfrentados pela sociedade, provocado, sobretudo, pelas mudanças das paisagens, ocupações desordenadas e despejos contínuos e permanentes de águas residuárias sem quaisquer tratamentos ou tratamentos incipientes. As bacias dos rios Piracicaba e Piranga, importantes sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Doce (BHRD) - MG, apresentam múltiplas atividades socioeconômicas que modificam a cobertura da terra, descaracterizam a paisagem natural e potencialmente alteram a qualidade das águas em virtude do aporte de nutrientes e matéria orgânica. A modelagem de qualidade de água possibilita simular condições para avaliar possíveis impactos decorrentes de lançamentos de efluentes, como também analisar cenários de intervenção e controle ambiental. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi realizar o balanço hídrico quantitativo das sub-bacias supracitadas com base nos dados de vazão de referência Q90% obtidos da prévia simulação hidrodinâmica proporcionada pelo MGB-IPH (dados 2011 a 2020) e simulação de disponibilidades e demandas pelo WARM-GIS. O Índice de Comprometimento de Disponibilidade Hídrica (ICDH) indicou que para os cenários avaliados, os valores se encontraram na faixa de condição favorável para maior parte dos trechos. Os trechos que obtiveram índices desfavoráveis podem ter sofrido influência pelo aporte de nutrientes e concentração de atividades poluidoras.

De modo geral, a acoplagem dos modelos apresentou bom desempenho na simulação, devendo ser aplicado para outras condições de contorno.

PALAVRAS-CHAVE: Recursos hídricos, Balanço Hídrico Quantitativo, modelagem ambiental, WARM-GIS.

INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e, conseqüentemente o aumento da demanda por alimentos, fibras e energia, somada às incertezas sobre os cenários das mudanças climáticas, resultaram em um aumento significativo tanto da demanda, quanto dos conflitos relacionados aos recursos hídricos, tornando-se necessário, a busca de um equilíbrio entre os usos múltiplos da água (GHORABA, 2015). Um fator decisivo para o desenvolvimento e planejamento socioeconômico se dá através da disponibilidade hídrica, que consiste em uma estimativa do volume de água disponível para o atendimento aos usos múltiplos de uma região. Tal fator norteia a escolha da melhor alternativa de aproveitamento hídrico para os diversos setores usuários presentes na bacia hidrográfica (BH) (GONÇALVES, 2020).

A Política Nacional dos Recursos Hídricos (BRASIL, 1997), Lei Federal nº 9.433/1997, conhecida como Lei das Águas, além de definir a BH como unidade básica de planejamento e gestão do território, proporciona, enquanto base referencial, a utilização de instrumentos e ferramentas para analisar, subsidiar e prognosticar os usos dos recursos hídricos. No entanto, para uma gestão efetiva dos recursos hídricos é imprescindível a utilização de bases de dados ambientais confiáveis, sendo estes, insuficientes ou inexistentes na realidade brasileira. Neste caso, uma alternativa é a aplicação de modelos matemáticos, baseados em sistemas de informações geográficas (SIG), que permitam estimar o comportamento hidrológico de uma BH, possibilitando assim, auxiliar na tomada de decisões e no apoio ao planejamento e gestão dos recursos hídricos de diferentes maneiras (SANTOS, 2022).

Frente à problemática da escassez hídrica, existem diversos modelos na literatura para a avaliação do balanço hídrico em uma BH. O Sistema de Apoio à Decisão (WARM-GIS), é uma atualização do modelo SAD-IPH, desenvolvido por Kayser (2011) para o ambiente SIG que tem por objetivo, a partir de uma base hidrográfica pré-definida e com dados referentes à disponibilidade hídrica e de usos de água da BH de interesse, simular cenários quali-quantitativos dos recursos hídricos, em regime permanente por meio de valores únicos de vazão de permanência por mini-bacia (KAYSER & COLLISCHONN, 2022).

A modelagem quantitativa do WARM-GIS permite a visualização de cenários ambientais quanto à capacidade de fornecimento do recurso hídrico mediante consideração dos usos existentes e da hidrologia local. Dessa forma, o modelo possibilita simulações e representações gráficas referentes à disponibilidade hídrica local e a diferentes cenários de demanda, que podem contribuir para tomadas de decisões no sentido da continuidade do atendimento das necessidades hídricas atuais e para a emissão de outorgas de captação de águas futuras (MEDEIROS, 2014).

Diante do contexto, o objetivo do estudo propõe promover a integração de duas ferramentas nacionais de modelagem matemática desenvolvidos pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) expressos no Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (MGB) (COLLISCHONN, 2001) e no WARM-GIS, (KAYSER, 2011; KAYSER & COLLISCHONN, 2022) dentro do ambiente SIG, para a simular o balanço hídrico quantitativo de oferta e demanda dos recursos hídricos, na vazão de referência anual Q90%, das sub-bacias dos rios Piracicaba e Piranga, em Minas Gerais, respectivamente, na situação hipotética em que todas as demandas estão sendo atendidas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A BHRD é uma das principais bacias brasileiras, sendo bastante estratégica para a região sudeste, com uma área de drenagem de 86.715 km², dos quais 86% estão localizadas na porção Leste do estado de Minas Gerais (MG) e 14% parte Nordeste do Espírito Santo (ES). Em termos econômicos, as atividades da bacia que mais se destacam são a agricultura, indústria, mineração, comércio e serviços, e geração de energia elétrica. Apesar dessas potencialidades, a área apresenta elevada heterogeneidade no tocante ao desenvolvimento econômico dos municípios que dela fazem parte (REIS et al. 2010), uma longa história de degradação ambiental e uso não planejado da terra e água (SANTOS, 2020).

Dentre as sub-bacias que compõem a BHRD, escolheu-se por trabalhar como unidade de estudo as sub-bacias do rio Piracicaba (5.465,38 km²) e do Rio Piranga (6.611,46 km²) situadas entre os paralelos -19,226 e -21,293 de latitude sul e os meridianos -43,896 e -42,407 de longitude oeste (Figura 1) por apresentarem áreas, tipos de solo - predominantemente solos latossolos e argissolos, condições de clima e uso e cobertura de solo semelhantes, bem como por oferecer, durante a fase de levantamento de séries históricas de precipitação, vazão e qualidade de água no Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) e no HIDROWEB da ANA, um maior número de postos com dados disponíveis.

As sub-bacias estão inseridas na BHRD, bacia estratégica para a região sudeste do Brasil. De acordo com Reis et al. (2018), toda extensão territorial das BH apresenta elevadas heterogeneidades no tocante ao desenvolvimento econômico dos municípios que delas fazem parte e uma longa história de degradação ambiental e uso não planejado do solo, além de um crescimento contínuo de demandas de água com índices pluviométricos abaixo da média (COMÈRIO & RIBEIRO, 2019). Adicionado aos motivos supracitados, as duas sub-bacias apresentam um maior conjunto de estações de monitoramento de dados ambientais em comparação com as outras sub-bacias que compõem a BHRD, justificando a escolha das unidades de estudo (Fig. 1).

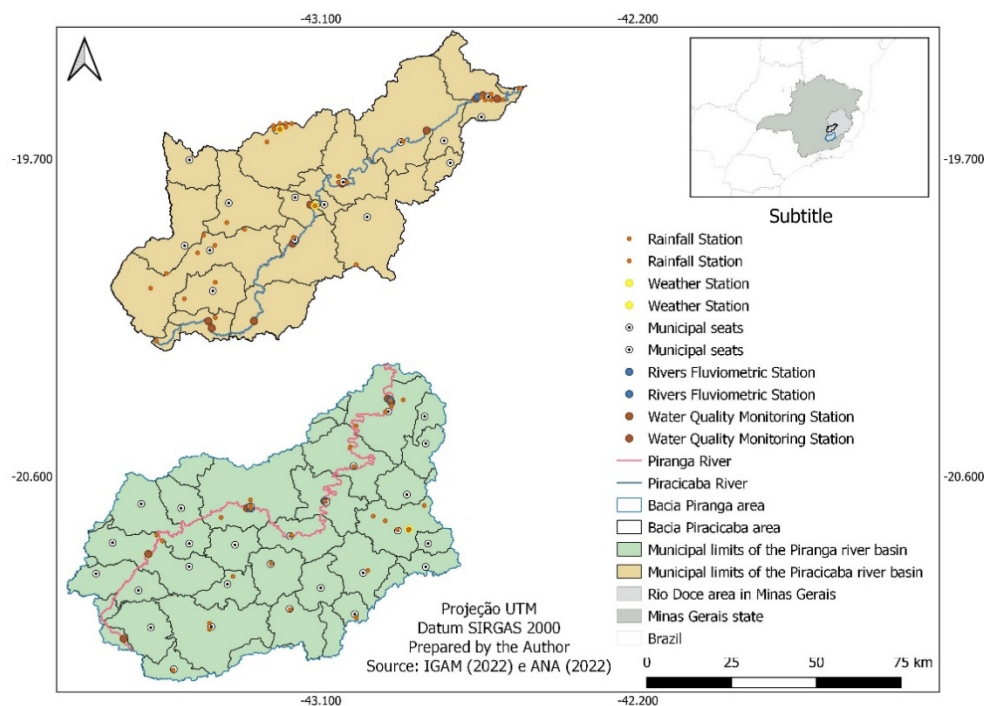


Fig.1. Mapa de localização das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba e Piranga – MG e das estações de monitoramento de dados ambientais

Etapas

A aplicação do WARM-GIS envolve as seguintes etapas: Pré-processamento ou discretização da bacia; Definição dos atributos de disponibilidade de água para cada trecho de rio; Definição de parâmetros gerais de simulação; Introdução de procuras por consumo e de lançamentos de efluentes; Cálculo das condições de quantidade de água em cada trecho de rio e; Análise e visualização dos resultados (KAYSER & COLLISCHONN, 2022). Os dados de vazão são obtidos por meio das simulações hidrológicas do MGB através do processamento das séries temporais fluviométricas, pluviométricas e climáticas (2015 a 2021 das estações da ANA e HIDROWEB) e de dados de cobertura (Coleção 06 do MapBiomass, 2021) e tipologia do solo (UFV, 2010).

O cálculo das demandas consultivas dos usuários e lançamentos de efluentes para as duas sub-bacias considerou as retiradas de águas de forma pontual para o consumo humano, industrial e agropecuário com base na vazão anual de referência fixada na Q90%. A estimativa das demandas hídricas e das cargas pontuais domésticas e industriais e difusas foram baseadas respectivamente nos dados censitários da população (IBGE, 2010) inserida nas sub-bacias estudadas, nas concentrações médias dos poluentes e na carga per capita (NOVOTNY, 2003). De acordo com Von Sperling (2005), a vazão per capita do esgoto gerado é considerada igual a 80% (taxa de retorno) do volume de água consumida.

As cargas poluidoras de origem industrial foram estimadas com base nos valores da vazão do efluente e nas concentrações dos poluentes, de acordo com Declaração de Carga Poluidora (DCP) de MG e as cargas difusas foram estimadas por meio de relações empíricas, dos Coeficientes de Exportação de Cargas (CE) estabelecidas por Dillon e Kirchner (1975) e pelo uso do solo (CECCHI et al. 2007). Informa-se que os usos não consuntivos como pesca, turismo e lazer, foram descartados pois não interferem na simulação quantitativa da água.

RESULTADOS

Em posse dos dados de entrada, realizou-se a simulação do balanço hídrico para os trechos da rede de drenagem com base anual, considerando uma situação hipotética de atendimento das demandas de consumo hídrico com vazões de retorno decorrentes dos sistemas de esgotamento sanitário. O cenário de demanda simulado, (Fig. 2), considera o somatório dos usos consultivos prospectados para a situação de abastecimento humano, industrial e agropecuário com base na vazão anual de referência fixada na Q90%, os classificando em sete faixas de comprometimento - Índice de Comprometimento de Disponibilidade Hídrica (ICDH), no qual o WARM-GIS atribui uma cor e um peso (PEREIRA PESSOA, 2010).

O ICDH estabelece relações entre as demandas hídricas, quantidade de água disponível e a quantidade de água remanescente em cada trecho de rio, no qual quanto maior a % do índice, maior a demanda de água, indicando a necessidade de uma gestão específica para o atendimento (ARSEGO et al. 2020).

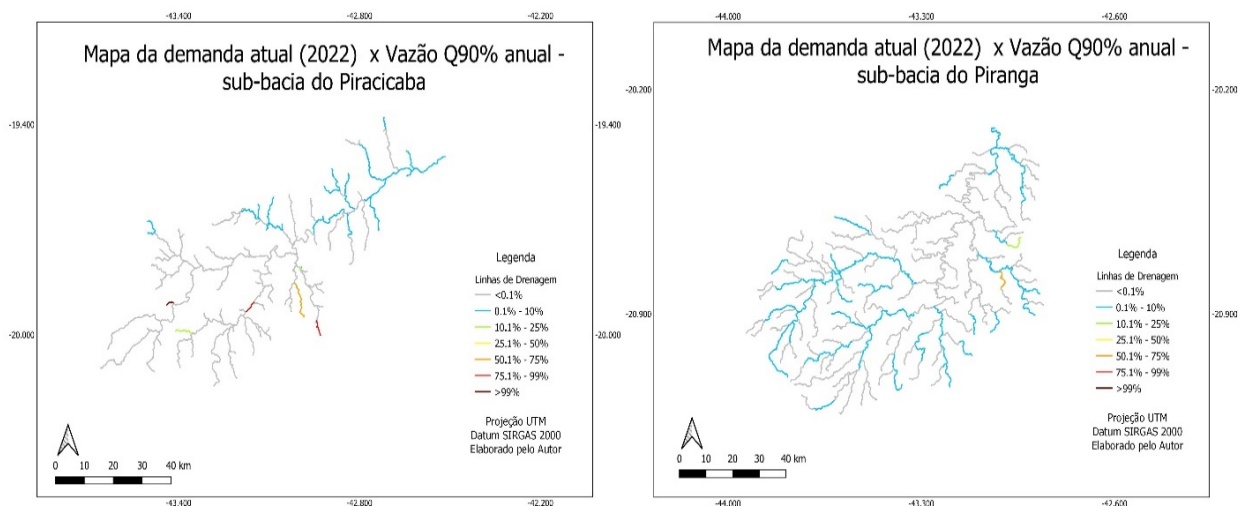


Fig.2. Balanço hídrico quantitativo das sub-bacias do rio Piracicaba e Piranga: relação das demandas atuais estimadas e vazão de referência fixada em Q90%.

De acordo com o cenário simulado, observa-se que a maioria dos corpos hídricos para as duas sub-bacias, rio Piracicaba e Piranga, encontram-se, segundo o ICDH, em condições favoráveis na média anual, no qual o valor máximo de vazões por trecho tem representatividade de < 0.1% da Q90%. No entanto, observa-se que na sub-bacia do rio Piranga há mais trechos expressivos de faixa de 0.1% a 10% e apenas um trecho, Ribeirão Teixeiras, com o limite de 10.1% a 25%. Tais condições podem estar atreladas a vocação agrária da sub-bacia do rio Piranga, uma vez que as atividades agropecuárias são mais presentes quando comparadas com as atividades industriais, segundo mapa de usos do solo, coleção 06, 2021 do MapBiomias.

O trecho mais crítico do Piranga, encontra-se no município de Viçosa no Ribeirão São Bartolomeu com 25,1% a 50% da vazão de referência utilizada. Resultado esse que pode ser reflexo do barramento de água usado para captação pelo Serviço Autônomo de Água e Esgotos (SAAE) e pela UFV e das intensas atividades agropecuária, expansão urbana, implantação de condomínios e loteamentos que potencialmente interferem na quantidade e na qualidade de água no trecho (MUNIZ, 2019).

No município de São Domingos do Prata, pertencente à sub-bacia do Piracicaba, o balanço hídrico quantitativo indicou alguns trechos comprometidos com limites de 50,1% a 75% (córrego Batieiro) e 75.1% a 99% (rio do Prata/Córrego do Areão). Um trecho do rio Piracicaba no município do Rio Piracicaba apresentou uma faixa de comprometimento da vazão de referência de 75.1% a 99%. Já um pequeno trecho (córrego Benê Ventura/córrego da Represa) entre a região limítrofe de Barões dos Cocais e Santa Bárbara apresentou um comprometimento total da disponibilidade hídrica (> 99%). Tais condições de acordo com Gomes et al. 2017 podem apontar captações irregulares da água tanto para a produção agropecuária quanto industrial, sendo a mineração uma das principais atividades econômicas nessas regiões e também a influência do uso inadequado e ocupação desordenada dos solos, ocasionando no futuro, potenciais conflitos de usos do recurso hídrico e risco da sustentabilidade ambiental.

Ao considerar a disponibilidade hídrica total, as simulações para as duas sub-bacias com a vazão fixada na Q90%, mostraram que as captações de água não afetaram a oferta de água em função dos usos consultivos empregados, embora alguns trechos evidenciem certo grau de criticidade hídrica. No entanto, apesar da vazão de água, indicar boa relação de oferta e demanda, é importante avaliar outros cenários de vazão, reavaliar a exatidão das demandas de acordo com um levantamento mais preciso dos usuários e acompanhar constantemente as mudanças de captações superficiais da água para entender o comportamento da disponibilidade hídrica na região em função do tempo, espaço e mudança dos usos do solo.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

A aplicação do modelo WARM-GIS para as sub-bacias do Piracicaba e Piranga demonstrou-se que apesar dos resultados da Q90% anual apresentar informações sobre a criticidade da disponibilidade hídrica em função dos usos consultivos domésticos, industriais e agropecuários, não consegue refletir a sazonalidades climáticas da bacia. Dessa forma, entende-se que a utilização das vazões de referências de forma mensal pode se mostrar mais adequada, em comparação com a anual, para uma gestão e planejamento de recursos hídricos mais eficiente.

Comparando as duas sub-bacias, percebeu-se que a Piracicaba apresenta trechos mais comprometidos de demanda consultiva de água, o que pode estar atrelado às concentrações industriais nessas regiões, indicando a necessidade de planos de gestão hídrica mais robustos para o monitoramento e planejamento dos usos das águas superficiais.

Além disso, observou-se que os modelos MGB e WARM-GIS demonstraram grande valia para a geração de informações e cenários, principalmente em regiões com poucos dados ambientais, sendo, portanto, importantes ferramentas para suporte e auxílio às tomadas de decisões.

De acordo com os resultados obtidos, recomenda-se que as análises de balanço hídrico para as duas sub-bacias considerem dados de vazão mensal da Q90% para entender como as variações das estações do ano podem afetar ou proporcionar um estresse hídrico maior e também para identificar os meses, para as demandas estimadas, que se encontrariam em situação mais crítica. Além disso, sugere-se realizar simulações com cenários futuros de aumento de demanda hídrica relacionados com a introdução de novas atividades econômicas e aumento da população.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, e da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARSEGO, D. A. et al. Índices Climáticos Associados a Variabilidade Interanual da Produtividade de Arroz no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 35, n. 2, p. 209-218, 2020.
2. CECCHI, G. et al. Estimating river pollution from diffuse sources in the Viterbo province using the potential non-point pollution index. *Annali dell' Istituto Superiore di Sanità, Roma*, v. 43, n. 3, p. 295 a 301 – 2007.
3. COLLISCHONN, N. Simulação hidrológica de grandes bacias. Tese de Doutorado. UFRGS, Porto Alegre, 2001.
4. COMÉRIO, A.; RIBEIRO, C. Mobilização social para a produção de água e conservação de solo na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria do Rio Doce no Estado do Espírito Santo. XVIII SBRH, 2019.
5. DILLON, J.; KIRCHNER, B. The effects of geology and land use on the export of phosphorus from watershed. *Water Research*, v. 9, p. 135-148, 1975.
6. GHORABA, S. M. Hydrological modeling of the simly dam watershed (Pakistan) using GIS and SWAT model. *Alex. Eng. Journal*. n. 54, p. 583–594, 2015.
7. GOMES, J. et al. Uso do geoprocessamento para análise de parâmetros da qualidade da água: estudo de caso na bacia hidrográfica do Rio Piracicaba-MG. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 10(3), 812-825, 2017.
8. 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, 519p, 2020.
9. KAYSER, R. Sistema de suporte à decisão para gerenciamento de recursos hídricos integrado a um SIG: desenvolvimento e aplicação na Bacia do Rio dos Sinos. 2011. 123 f. UFRGS, Porto Alegre, 2011.
10. KAYSER, R. COLLISHONN, W. Manual teórico-prático da ferramenta WARM-GIS Tools. Exemplo de aplicação na Bacia do Rio das Almas. Porto Alegre, RS: IPH, UFRGS, 2022.
11. MEDEIROS, W. Manual de Aplicação do modelo SAD-IPH na bacia do rio Capim no Estado do Pará. Diretoria de Recursos Hídricos, SEMA. 2014.
12. MUNIZ, G. L. Qualidade da água do ribeirão São Bartolomeu avaliada pelo índice de qualidade da água em ponto de captação para abastecimento no período seco. *HOLOS*, v. 7, p. 1-19, 2019.
13. NOVOTNY, V. *Water Quality: Diffuse Pollution and Watershed Management*. 2. Ed. New York: John Wiley & Sons, 888p, 2003.
14. PEREIRÁ PESSOA, E. Integração de Modelos Hidrológicos e Sistemas de Informação Geográfica na análise de processos de Outorga Quantitativa de uso da água: Aplicação na Bacia do Rio dos Sinos – RS. 2010. 91f. Dissertação de Mestrado – IPH, UFRGS, Porto Alegre, 2010.
15. REIS, P. R. C.; SILVEIRA, S. F. R.; COSTA, I. S.; (2010) “Caracterização Socioeconômica da Bacia do Rio Doce: Identificação de Grupos Estratégicos por meio de Análise Multivariada”. In: II ENCONTRO MINEIRO DE ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA, ECONOMIA SOLIDÁRIA E GESTÃO SOCIAL, 2010, Viçosa-MG. II Encontro Mineiro de Administração Pública, Economia Solidária e Gestão Social.
16. REIS, C.; et al. Caracterização Socioeconômica da Bacia do Rio Doce: Identificação de Grupos Estratégicos por meio de Análise Multivariada., Viçosa-MG. II, EMAPEGS, 2018.
17. SANTOS, S.; M.; SOUZA, M. M. P.; BIRCOL; GUILHERME, A. C.; UENO, H. M. (2020). “Planos de gestão da bacia do rio e seus desafios: o caso da bacia do rio alto-tietê – estado de São Paulo, Brasil.” *Ambiente & Sociedade*. Vol. 23.
18. SANTOS, B. Balanço hídrico quantitativo das águas superficiais na bacia hidrográfica do Rio Jaguarão. 2022. Dissertação de Mestrado, UFPEL.
19. VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 588 p. 2005.