

UTILIZAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA PARA A PROTEÇÃO DA VIDA AQUÁTICA (IVA) COMO FERRAMENTA DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DE UM RIO DA REGIÃO SUDESTE DO BRASIL

Gabriel Feloni Martins do Rosário¹

Daiane Raimundo de Barros²

Nemésio Neves Batista Salvador³

Recursos Hídricos e Qualidade da Água

Resumo

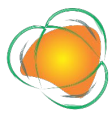
Analisar o histórico dos índices é uma abordagem viável para examinar as mudanças na qualidade da água ao longo do tempo, resultantes de influências humanas e naturais. O Índice de Qualidade da Água para Preservação da Vida Aquática (IVA) permite uma avaliação completa, considerando parâmetros físicos, químicos e biológicos. Neste estudo, o IVA foi usado como indicador para avaliar a qualidade da água em corpos hídricos, sendo uma ferramenta valiosa para monitorar a saúde dos ecossistemas aquáticos e guiar políticas de conservação. A Sub-Bacia do Rio Jacaré-Guaçu (JC-GC) faz parte da bacia do Tiete-Jacaré, situada na região sudeste do Brasil. Para analisar o comportamento do IVA ao longo do tempo, foram calculadas médias aritméticas e médias móveis anuais em três pontos de monitoramento: JCGU 03900 (Ibitinga) de 2002 a 2021, JCGU 03400 (Araraquara) de 2003 a 2021 e JCGU 03200 (São Carlos) de 2011 a 2021. Os resultados indicaram duas tendências gerais no IVA a longo prazo: melhora nos pontos JCGU 03900 e JCGU 03400 e piora no ponto JCGU 03200, localizado próximo a Araraquara e São Carlos. Os gráficos revelaram que os melhores valores médios de IVA ocorreram durante os períodos de menor precipitação. Embora este estudo tenha contribuído com uma análise histórica do monitoramento da CETESB, recomenda-se pesquisas mais aprofundadas para entender melhor as influências nos índices ao longo do tempo, especialmente com foco na análise detalhada dos indicadores que compõem o IVA. Essas análises mais abrangentes poderiam fornecer respostas mais precisas acerca das oscilações observadas nos índices.

Palavras-chave: Indicador ambiental, Rio Jacaré Guaçu, Recurso hídrico, Média móvel

¹Doutorando em Desenvolvimento Territorial e Meio Ambiente – PPGDTMA, Universidade de Araraquara, Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Territorial e Meio Ambiente, gafelloni@gmail.com

²Doutorando em Desenvolvimento Territorial e Meio Ambiente – PPGDTMA, Universidade de Araraquara, Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Territorial e Meio Ambiente, daianeornitho@gmail.com

³Prof. Dr. Nemésio Neves Batista Salvador – Universidade de Araraquara, nemesio.salvador@gmail.com



INTRODUÇÃO

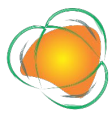
Analisar o histórico dos valores de índices emerge como uma alternativa viável que permite examinar as variações que a bacia hidrográfica tem experimentado ao longo do tempo em relação à qualidade da água, seja por ações antropogênicas ou naturais (DONADIO; GALBIATTI; PAULA, 2005; LOPES *et al.*, 2008). Para Von Sperling (2007), os índices de qualidade de água constituem um meio de comunicação aberto ao público, o que possibilita avaliar, de maneira geral, a situação da qualidade dos corpos hídricos. Além do fornecimento de informações, os índices têm por escopo direcionar a formulação de políticas públicas e monitorar suas aplicações (COUILLARD & LEFEBVRE, 1985; MARQUES *et al.*, 2008; CETESB, 2021; ROSÁRIO *et al.*, 2021). A importância dos índices de qualidade das águas transcende as fronteiras nacionais e é reconhecida em âmbito global. Organizações internacionais, como a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) e a Organização Mundial da Saúde (OMS), têm incentivado a implementação de sistemas de monitoramento e a utilização de índices de qualidade da água como ferramentas essenciais para a gestão sustentável dos recursos hídricos.

O programa de monitoramento de qualidade das águas interiores da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) teve início em 1974, com a implantação de uma rede de monitoramento que contava na época com 47 pontos de amostragem. Com isso, foi possível se conhecer a real situação dos corpos d'água do estado de São Paulo.

Atualmente o monitoramento é realizado nas 22 UGRHI's do estado de São Paulo. Segundo a CETESB (2019) os pontos são dispostos em: Rede Básica, 471 pontos de amostragem de água; Monitoramento Automático, 14 pontos de amostragem de água; Balneabilidade de Reservatórios e Rios, 35 pontos de amostragem de água; Rede de Sedimento, 25 pontos de amostragem.

A CETESB desempenha um papel primordial na preservação dos recursos hídricos e na gestão da qualidade da água. Como órgão regulador e fiscalizador, a CETESB tem como uma de suas funções a garantia da qualidade dos recursos hídricos em todo o estado de São Paulo. Para alcançar esse objetivo, a instituição introduziu o Índice de Qualidade da

Realização



Água para Preservação da Vida Aquática (IVA), o qual se destaca como uma ferramenta crucial para aferir a qualidade da água e identificar eventuais fontes de poluição.

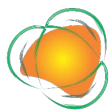
No estado de São Paulo, o Índice de Qualidade da Água (IQA) e o IVA figuram como os principais indicadores empregados, visando facilitar a compreensão e o diálogo entre o público e as autoridades responsáveis pelas tomadas de decisões. Os indicadores e índices de qualidade das águas foram concebidos a partir de uma abordagem renovada dos aspectos ambientais, tornando-se imprescindível a obtenção de um conjunto mais amplo de informações e uma maior complexidade na análise para alcançar resultados eficazes (CETESB, 2012). Conforme Toledo e Nicolella (2002) a utilização desses índices possibilitam, de forma resumida, a verificação dos impactos nos recursos de uma bacia. Ao longo do tempo foram criados e adaptados diversos índices e indicadores, específicos para a avaliação da qualidade dos corpos d'água de acordo com sua utilização e, dentre eles, os índices de Walski e Parker (1974), O'Connor (1972), Deininger e Landwehr (1971).

A gestão eficiente dos recursos hídricos desempenha um papel essencial na preservação da biodiversidade aquática e na sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos. Globalmente, a preocupação com a qualidade da água tem se intensificado devido aos impactos negativos provocados pela poluição e atividades humanas nos corpos d'água.

O IVA consiste em um índice que viabiliza a avaliação integrada da qualidade da água, considerando diversos parâmetros físicos, químicos e biológicos. Este indicador compreende dois sub-índices: o Índice de Variáveis Mínimas para a Preservação da Vida Aquática (IPMCA) e o Índice do Estado Trófico de Carlson modificado por Toledo (IET) (CETESB, 2003). Esse índice é empregado para classificar a qualidade da água em diferentes categorias, seguindo padrões estabelecidos pela CETESB, busca, portanto, estabelecer uma base sólida para a tomada de decisões e a adoção de medidas apropriadas em prol da proteção dos ecossistemas aquáticos refletindo na preservação da flora e fauna aquática (ZAGATTO *et al.*, 1999).

Nesse sentido, este trabalho buscou a adoção do IVA como um indicador de qualidade da água com o objetivo de averiguar a qualidade dos corpos hídricos, pois representa uma valiosa ferramenta para a avaliação e monitoramento da saúde dos ecossistemas aquáticos, assim como para orientar ações e políticas de conservação.

Realização



METODOLOGIA

A Sub-Bacia do Rio Jacaré-Guaçu (JC-GC) (21°37' 22°22' latitude sul e 47°43'48°57' longitude oeste) se encontra inserida na bacia do Tietê-Jacaré, região sudeste do Brasil, conforme Figura 1. Está disposta na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 13 (UGRHI 13), conforme a Lei Estadual 9.034 de 1994, a qual instituiu a divisão do estado de São Paulo em 22 UGRHI's (SÃO PAULO, 1994).

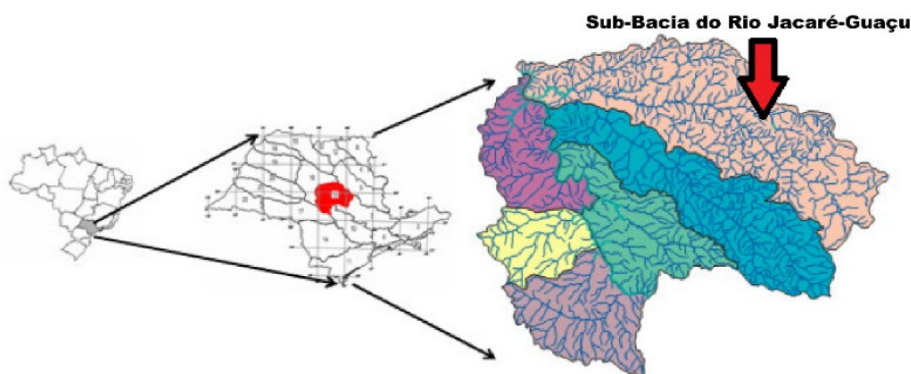
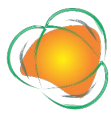


Figura 1. Localização da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Tietê-Jacaré e suas Sub-Bacias. Fonte: Retirado de Plano Diretor de Restauração Florestal Visando a Produção de Água e a Preservação da Biodiversidade da UGRHI – Tietê-Jacaré (2015), adaptado de IPT (2000).

Essa Sub-Bacia é a que possui maior área dentre as sub-bacias da UGRHI 13, sendo uma área em industrialização, porém, com forte vocação agrícola. O uso dos recursos hídricos e o uso do solo impulsionam seu crescimento; entretanto, esse crescimento tem ocasionado deterioração nos corpos d'água ao longo do tempo.

O JC-GC conforme o Comitê de Bacias Hidrográficas do Tietê-Jacaré – CBH-TJ (ARARAQUARA, 2019) corresponde a 35% da totalidade da UGRHI 13, abriga dois importantes municípios dessa UGRHI, Araraquara/SP e São Carlos/SP, localizados respectivamente na porção superior e médio superior dessa Sub-Bacia (Figura 2). Essa Sub-bacia apresenta municípios inseridos de forma integral e parcial, sendo respectivamente, os municípios de Nova Europa e Gavião Peixoto e, parcialmente, os municípios de Araraquara, São Carlos, Ibitinga, Boa Esperança do Sul, Brotas, Analândia, Ibaté,

Realização



Matão, Ribeirão Bonito, Dourado, Tabatinga, Itirapina e Trabiju.

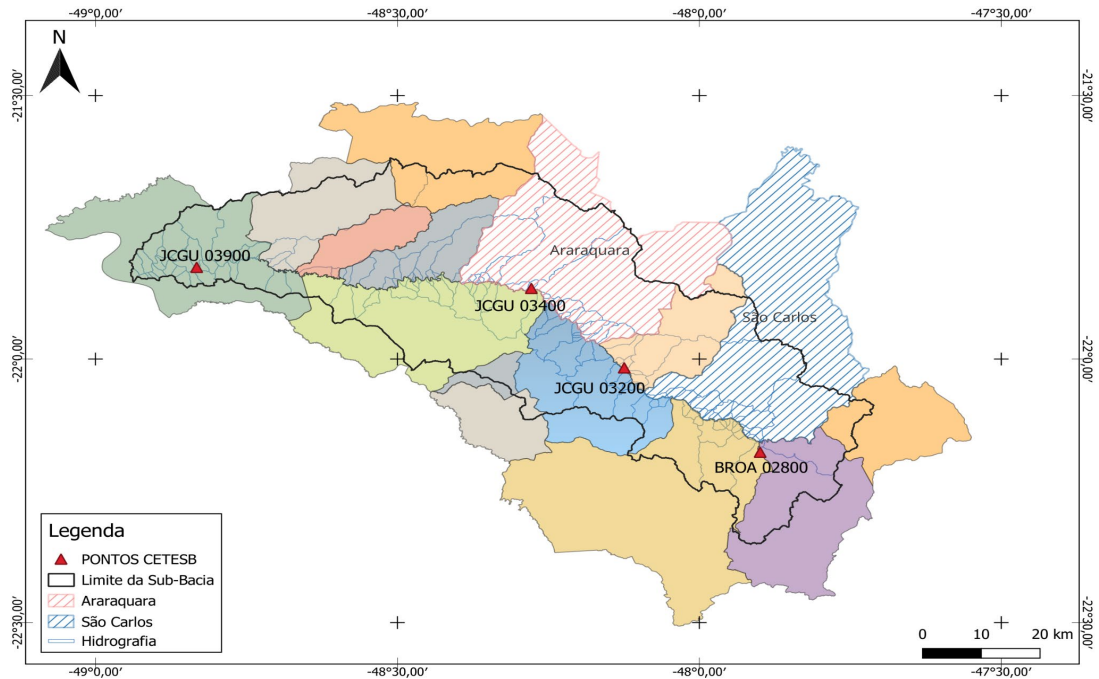


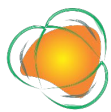
Figura 2. Pontos da CETESB e Municípios da Sub-Bacia do Rio Jacaré-Guaçu.

Fonte: Autores (2023).

Para observar o comportamento do índice ao longo do tempo foi estabelecida a média aritmética e média móvel anual do IVA. A média móvel é um parâmetro calculado tendo como início uma série de médias de resultados de diferentes amostras, neste caso, pela média dos IVA anuais de três anos. Segundo Ehlers (2005) a representação gráfica de dados ao longo do tempo possibilita revelar padrões de comportamento. A determinação das médias do IVA considerou os anos iniciais de implementação de cada ponto; 2002 a 2021 para o ponto JCGU 03900 (Ibitinga); 2003 a 2021, ponto JCGU 03400 (Araraquara); 2011 a 2021, ponto JCGU 03200 (São Carlos). O ponto BROA 02800 não foi utilizado pois trata-se de um ponto de monitoramento relativamente novo, não sendo possível observar um comportamento de longo prazo.

Inicialmente a média móvel anual considerou os dois primeiros anos de cada ponto, posteriormente, seu cálculo foi feito para um período de 3 anos, substituindo o último ano

Realização



pelo ano subsequente, e assim por diante, até o ponto mais antigo e valor respectivamente, que corresponde ao ano de 2021, utilizando-se a equação para o IVA:

$$MM_{IVA} = \frac{\sum_i^2 (p_{i-1} + p_i) + \sum_3^{19} (p_{i-2} + p_{i-1} + p_i)}{\sum_1^{19} p_i}$$

Onde **MM** = média móvel de 19 anos e **P_i** = médias anuais do i-ésimo ano

A variação das médias do IVA levou em consideração a vazão dos rios e o regime hidrológico. Com base nos dados, foram traçadas linhas de tendências permitindo uma análise de comportamento ao longo do tempo e projeção futura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos valores obtidos nos relatórios da CETESB, foram modelados gráficos, onde é possível observar as variações do índice IVA. Além destes, foram utilizados dados do DAEE sobre a pluviosidade da Sub-Bacia JC-GC nas réguas selecionadas para este estudo.

Através desta pesquisa, foi observado o comportamento da qualidade das águas superficiais do Rio Jacaré-Guaçu em seus pontos de monitoramento nos últimos 19 anos, em busca das possíveis respostas para as eventuais oscilações sofridas. As oscilações podem estar relacionadas ao uso e ocupação do solo da Sub-Bacia JC-GC, a eventos antrópicos ou naturais.

Para o IVA, observou-se que os pontos, JCGU 03900 e JCGU 03400, não obtiveram dados contínuos, houve uma interrupção no ano de 2011, posteriormente, para o ano de 2012 foi restabelecido os dados nesses pontos. Os dados de pluviosidade e vazão obtidos junto ao DAEE apresentaram em algum momento a falta de dados em pelo menos um mês.

Após a junção dos dados, os resultados gerais do comportamento do IVA a longo prazo apontaram duas tendências, observando uma melhora nos pontos JCGU 03900 e JCGU 03400, o ponto JCGU 03200 apontou uma tendência de piora (Figura 3).

Realização

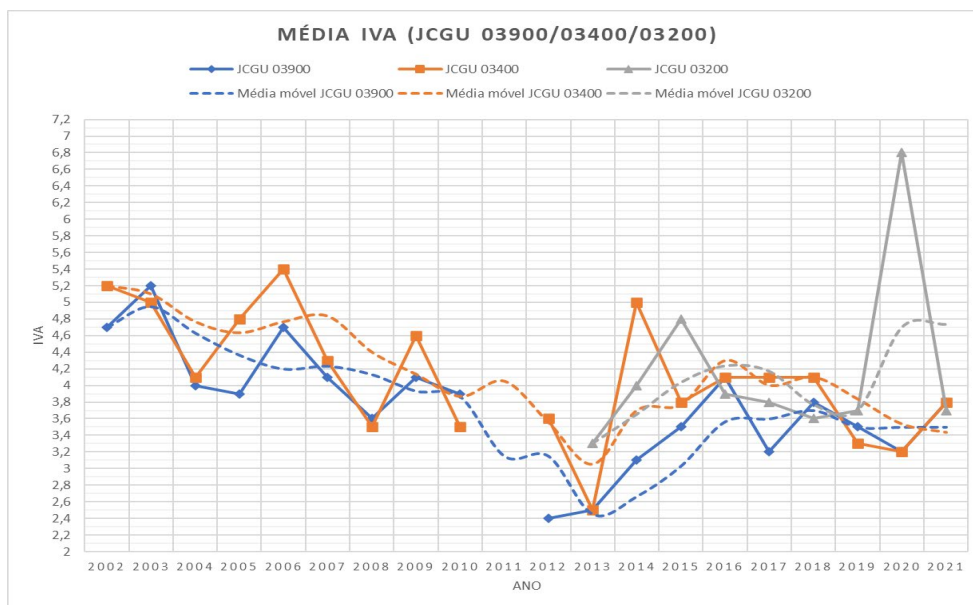
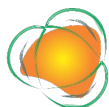


Figura 3. Médias anuais do IVA para os pontos do rio Jacaré-Guaçu JCGU 03900, JCGU 03400 e JCGU 03200. Fonte: Autores (2023).

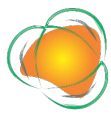
Com base na Agência Nacional de Águas (ANA,2019), a classificação geral para o IVA CETESB ao longo do tempo, foi de “ruim” (vermelho) e “razoável” (amarelo); entretanto, houve períodos classificados como “boa” (verde) e “ótima” (azul), a exceção de um único ponto, apresentando classificação “péssima” (roxo), contudo, evidencia-se que no longo prazo houve uma tendência de melhora.

Tabela 1. Valores e classificação do IVA CETESB

Valor do IVA	Classificação do corpo d'água
$\leq 2,5$	Ótima
$2,6 \leq IVA \leq 3,3$	Boa
$3,4 \leq IVA \leq 4,5$	Regular
$4,6 \leq IVA \leq 6,7$	Ruim
$IVA > 6,8$	Péssima

O IVA apresenta três situações de comportamento, especialmente no ano de 2014, com característica de baixa precipitação e consequente redução na vazão, sendo que o ponto

Realização



JCGU 03900 possui classificação “boa”; o JCGU 03400, “ruim”; e o JCGU 03200, “razoável”. Nota-se que os pontos de pior classificação são aqueles que se encontram mais próximos aos municípios de Araraquara e São Carlos. A baixa disponibilidade hídrica possivelmente reduziria o carregamento de compostos químicos aos corpos d’água; entretanto, uma melhor eficiência das ETE’s potencializaria a remoção de matéria orgânica, influenciando nos valores dos parâmetros desses índices.

O agravamento da classificação do JCGU 03400 pode estar relacionado a eficiência das ETE’s e explicaria essas diferenças para o ano de 2014, pois, a ETE Araraquara apresentou uma taxa de 44% de eficiência, enquanto a ETE de São Carlos apresentou 83% de eficiência. O ponto JCGU 03900 estaria menos sujeito a grandes impactos pois se encontra distante do JCGU 03400 e localizado em uma área com uma menor descarga de matéria orgânica no corpo d’água, além do processo de autodepuração.

O Ponto JCGU 03200 apresentou, após 2013, tendência de piora na classificação, onde encontramos seu pior resultado em 2020; após 2020 apresentou uma melhor classificação. Os reflexos dessa tendência podem estar relacionados à baixa precipitação, observada no posto pluviométrico mais próximo (D4-106) no mesmo ano que a crise hídrica afetou o estado de São Paulo.

Para o IVA do JCGU 03400 os primeiros anos, 2002 e 2003, apresentaram um dos piores valores para o ponto, acompanhados dos anos de 2006 e 2014. Através da linha de tendência, de maneira geral, o ponto apresentou uma melhora ao longo do tempo. No período observado chamou a atenção os anos de 2013 e 2014, onde obtiveram a melhor (2,5) e umas das piores (5) médias do IVA.

O IVA do JCGU 03900 obteve uma tendência de melhora; entretanto, a partir de 2013 o índice teve uma mudança em sua qualidade e apontou de maneira crescente uma piora até 2016, seguido de uma leve melhora em 2017 e posterior queda no índice no ano de 2018. Os melhores valores foram nos anos de 2012 e 2013, com um IVA de 2,4 e 2,5 respectivamente. O maior valor do IVA, e consequentemente a pior qualidade (Ruim) foi alcançado em 2003 (5,2). A síntese dos pontos pode ser observada na Figura 4.

Realização

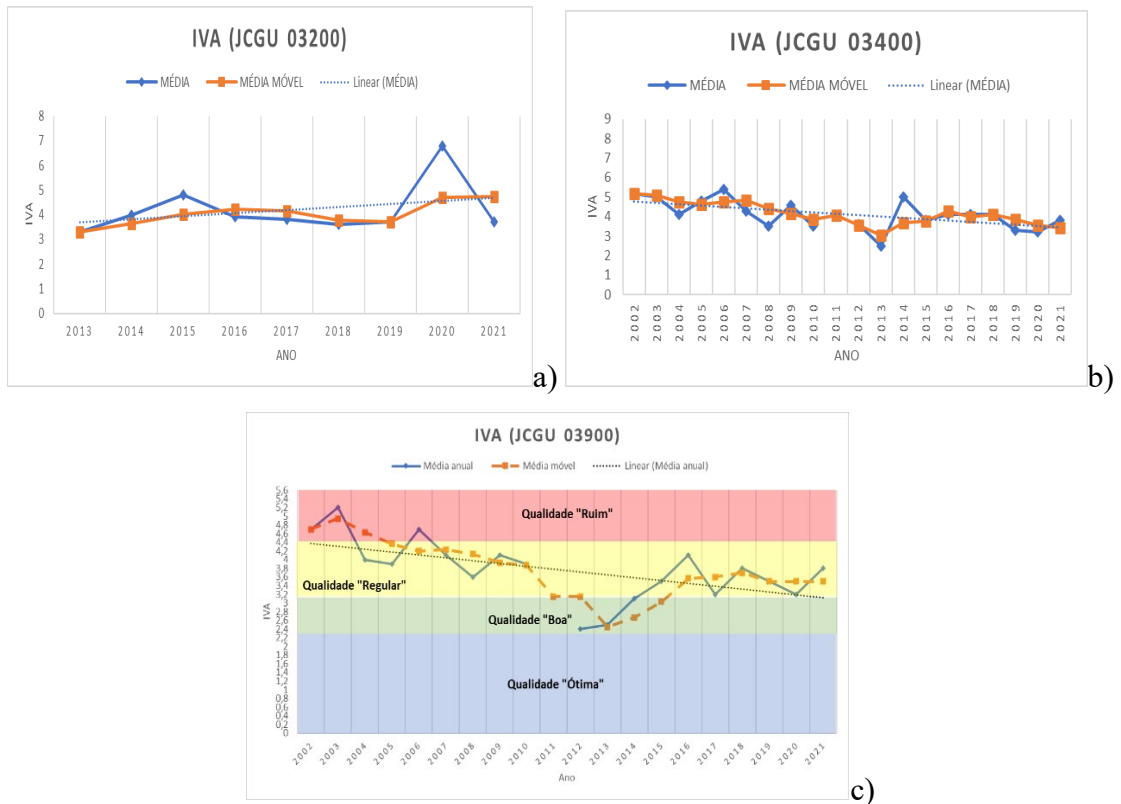
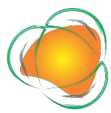


Figura 4. Gráfico dos resultados das médias anuais e móveis para o IVA e suas linhas de tendência. a) JCGU 03200, b) JCGU 03400, c) JCGU 03900. Fonte: Autores (2023).

Período seco x Período chuvoso

Através dos gráficos é possível observar que o comportamento dos valores médios de IVA para os períodos de menor e maior precipitação (Figura 5), indicam que, de forma geral, os melhores valores médios foram alcançados no período de menor precipitação. As variações sofridas durante a época considerada “seca” podem indicar potenciais fontes de poluição pontual, oriundas de indústrias ou outras atividades. Contudo o ponto JCGU 03200 apresentou resultado contrário, obtendo os melhores valores no período de maior precipitação, sugerindo uma maior diluição de possíveis compostos no corpo d’água a montante do ponto.

Realização

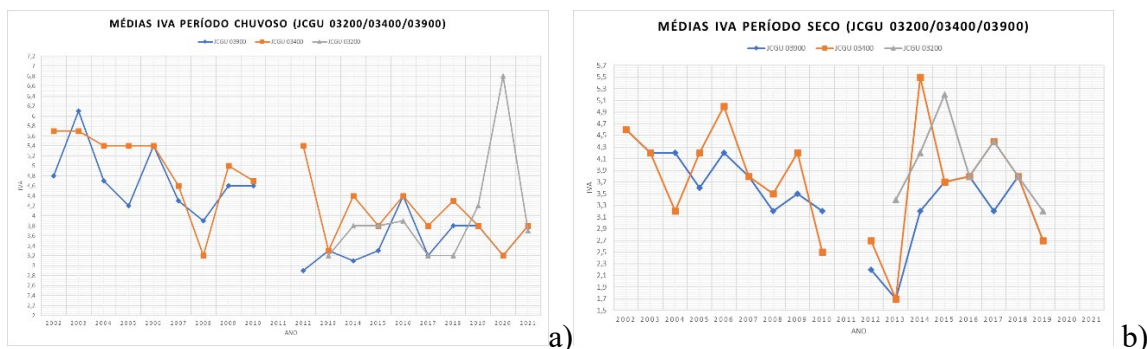
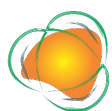


Figura 5. Médias anuais do IVA considerando o período de maior e menor precipitação.

a) Período chuvoso, b) Período seco. Fonte: Autores (2023).

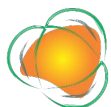
Os resultados obtidos exprimem que para o ponto JCGU 03200 os melhores valores de IVA foram alcançados no período de maior precipitação, a exceção o ano de 2016. Contudo, os valores apresentados nesse ano, 2016, para os dois períodos, podem ser considerados como tecnicamente “empatados”. As médias obtidas para o JCGU 03400 indicam que, no geral, o período seco apresentou os melhores valores médios para o IVA. O ano de 2014, onde houve a crise hídrica no estado de São Paulo, apresentou o pior valor médio para o período seco no período total. Para o período de maior precipitação, os piores valores foram obtidos nos dois primeiros anos de coleta, 2002 e 2003.

Os resultados do IVA segundo a CETESB (2019) podem sofrer influências negativas pelo grau de trofia, substâncias tóxicas e alteração de parâmetros essenciais à vida aquática (pH, Oxigênio Dissolvido e Toxicidade), reforçando a importância de se observar o índice e parâmetro por parâmetro a fim de compreender a variação do índice.

CONCLUSÕES

Os resultados possibilitaram observar o comportamento do IVA junto ao Rio Jacaré-Guaçu, bem como as possíveis interferências antrópicas ou naturais que a qualidade das águas desse corpo d'água pode ter sofrido. Apesar de apresentarem uma melhora nos valores, o ano de 2014, onde houve uma grande crise hídrica no estado de São Paulo, afetando as classificações do IVA, contudo, posteriormente esses valores voltaram a se

Realização



estabilizar.

Para os períodos considerados como de menor precipitação foi possível observar as melhores classificações do IVA a exceção do ponto JCGU 03200 onde obteve melhores classificações em períodos de maior precipitação, possivelmente uma maior diluição de possíveis compostos no corpo d'água a montante do ponto.

Os anos de 2020 e 2021, mesmo apresentando bons resultados, podem ter sofrido influência da pandemia, pois apresentaram menores coletas ao longo do ano. Esse estudo buscou contribuir com uma análise histórica do monitoramento da CETESB, e ressalta que outros estudos devem ser realizados para uma análise mais profunda a fim de se obter respostas mais contundentes acerca das influências sofridas pelos índices ao longo do tempo. Uma análise pormenorizada dos indicadores que compõem os índices poderia proporcionar uma melhor compreensão das oscilações dos índices ao longo do tempo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a CAPES e ao PPG-DTMA da Universidade de Araraquara.

REFERÊNCIAS

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Portal da qualidade das águas: água no mundo**, 2018. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/textos-das-paginas-do-portal/agua-no-mundo/agua-no-mundo> , acesso em: 16 out. 2022.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo - 2002**. São Paulo, CETESB, 2003. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>. Acesso em: 09.Mai.2022

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo - 2011**. São Paulo, CETESB, 2012. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/> . Acesso em: 26.Jun.2022

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo: Relatórios 1978 a 2021**. São Paulo, CETESB, 2019. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/> . Acesso em: 15.Fev.2023

Realização





CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo - 2019**. São Paulo, CETESB, 2020. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>. Acesso em: 10.Out.2022

CBH-TJ – Comitê da Bacia Hidrográfica Tietê-Jacaré. **Relatório de situação dos recursos hídricos 2020** - Ano Base 2019. Araraquara, CBH-TJ, 2020. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents//CBH-TJ/19536/relatorio-situacao-final.pdf>. Acesso em: 27.Jun.2022

COUILLARD, D.; LEFEBVRE, Y. Analysis of Water Quality Indices. **Journal of Environmental Management**. Volume 21, pp. 161-179, 1985.

DONADIO, N. M. M.; GALBIATTI, J. A.; PAULA, R. C. 2005. Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do Córrego Rico. **Engenharia Agrícola**, 25(1):115-125

EHLERS, R. S. **Análise de Séries Temporais**. Departamento de Estatística, UFPR, 2005. Disponível em: <http://leg.est.ufpr.br/~ehlers/notas>

LOPES, F. B., DOS SANTOS TEIXEIRA, A., DE ANDRADE, E. M., DO NASCIMENTO AQUINO, D., & ARAÚJO, L. D. F. P. Mapa da qualidade das águas do rio Acaraú, pelo emprego do IQA e Geoprocessamento. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 39, n. 3, p. 392-402, 2008.

MARQUES, M. N.; DAUDE, L. F.; SOUZA, R. M. G. L.; COTRIM, M. E. B.; PIRES, M. A. F. Avaliação de um índice dinâmico de qualidade de água para abastecimento: um estudo de caso. **Exacta**, v. 5, n. 1, p. 47-55, 2007.

ROSÁRIO, G. F. M.; SALVADOR, N. N. B.; BARROS, D. R.. Variação da qualidade das águas em um rio na região Sudeste do Brasil no longo prazo (1978-2018) segundo os índices IQA e IVA. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.7, p.475-486, 2021.

TOLEDO, L.G.; NICOLELLA, G. Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. **Scientia Agrícola**, Piracicaba v.59, n.1, p.181-6, 2002.

VON SPERLING, M. **Estudos e Modelagem da Qualidade da Água de Rios**. Belo Horizonte. UFMG, 2007.

ZAGATTO, P. A.; LORENZETTI, M. L.; LAMPARELLI, M. C.; SALVADOR, M.E. P.; MENEGON JR., N.; BERTOLETTI, E. Aperfeiçoamento de um índice de qualidade de águas. **Acta Limnologica Brasiliensia**, 11(2): 111-126. 1999.

Realização