

Diagnóstico da qualidade da água do Rio Piracicaba e sua correlação com a urbanização

A qualidade da água no rio Piracicaba foi avaliada usando o banco de dados de 2007 a 2017 do Instituto de Gerenciamento de Água de Minas Gerais (IGAM) nas cidades de Rio Piracicaba, João Monlevade e Nova Era. O levantamento das áreas dos respectivos municípios foi realizado no sistema IDE-Sisema com um mapeamento para 2005 do IBGE e outro para 2015 do IBAMA. A qualidade da água do rio está na classe média de acordo com o cálculo do Índice de Qualidade da Água, IQA. Turbidez, Coliformes e E. coli tiveram a maior influência no sistema. As concentrações de E. coli no trecho monitorado estiveram acima do limite recomendado em 80% das amostras. O ponto RD026 foi classificado como mesotrófico e os pontos RD025 e RD029 como oligotróficos. A partir do ano de 2013 houve um incremento no total de nutrientes N e P. Os mapas gerados indicaram um aumento na área de 898,67ha em João Monlevade, 475,1ha em Rio Piracicaba e 171ha em Nova Era e o resultado foi inversamente correlacionado com a qualidade da água.

Palavras-chave: IQA; IGAM; Geoprocessamento; Coliformes; E. coli.

Diagnosis of water quality in the Piracicaba River and its correlation with urbanization

Water quality in the Piracicaba River was assessed using the 2007 to 2017 database of the Water Management Institute of Minas Gerais (IGAM) in the cities of Rio Piracicaba, João Monlevade and Nova Era. The survey of the areas of the respective municipalities was carried out in the IDE-Sisema system with a mapping for 2005 from IBGE and another for 2015 from IBAMA. The water quality of the river is in the middle class according to the calculation of the Water Quality Index, IQA. Turbidity, Coliforms and E. coli had the greatest influence on the system. E. coli concentrations in the monitored stretch were above the recommended limit in 80% of the samples. The point RD026 was classified as mesotrophic and the points RD025 and RD029 as oligotrophic. From the year 2013 there was an increase in the total of N and P. The maps generated indicated an increase in the area of 898.67ha in João Monlevade, 475.1ha in Rio Piracicaba and 171ha in Nova Era and the result was inversely correlated with the quality of the water.

Keywords: AQI; IGAM; Geoprocessing; Coliforms; E. coli.

Topic: **Engenharia Ambiental**

Received: **01/12/2020**

Approved: **23/12/2020**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.


Ana Maria Moreira Batista 
Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9828460785699072>
<http://orcid.org/0000-0002-9836-267X>
ana.batista@uemg.br

Tiago Antonio Figueiredo 
Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3446654121582212>
<http://orcid.org/0000-0002-8080-5217>
tiagofigueiredo.eng.amb@gmail.com


Adriano José de Barros 
Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6564186032371709>
<http://orcid.org/0000-0003-4199-4999>
adrianojosedebarras@gmail.com

Thales Adriel Alves da Silva 
Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5307612645002155>
<http://orcid.org/0000-0003-4851-9998>
thalesadrielsilva@gmail.com

Victor Hugo Braga Pereira 
Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1673485021604678>
<http://orcid.org/0000-0003-3044-8837>
vhbragap@gmail.com

Alexandre Tulio Amaral Nascimento 
Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6602712110213846>
<http://orcid.org/0000-0002-4377-1513>
alexandre.nascimento@uemg.br

Giovanna Ribeiro Araujo 
Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1636825151411309>
<http://orcid.org/0000-0002-8546-3631>
giovannaribeiro102@gmail.com

Luciene Alves Batista Siniscalchi 
Universidade Federal de Lavras, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7511499030309427>
<http://orcid.org/0000-0001-7892-0112>
luciene.batista@ufla.br



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2020.007.0026

Referencing this:

BATISTA, A. M. M.; FIGUEIREDO, T. A.; BARROS, A. J.; SILVA, T. A. A.; PEREIRA, V. H. B.; NASCIMENTO, A. T. A.; ARAÚJO, G. R.; SINISCALCHI, L. A. B.. Diagnóstico da qualidade da água do Rio Piracicaba e sua correlação com a urbanização. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.11, n.7, p.305-320, 2020. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.007.0026>

INTRODUÇÃO

A necessidade de conservação dos recursos naturais é um dos temas mais recorrentes nas últimas décadas, principalmente dos recursos hídricos. Para isso faz-se necessário o investimento em saneamento, abrangendo desde a coleta até o tratamento de esgotos antes desses afluírem ao corpo d'água. Em países em desenvolvimento como o Brasil, o saneamento ainda está muito aquém do ideal (DANTAS, 2012), dados recentes do Instituto Trata Brasil e SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento), mostram que embora o saneamento tenha melhorado, metade dos brasileiros segue sem esgotos no país (50,3%), já a cobertura para o abastecimento de água é de 80,3% (SNIS, 2017). Quando lançados *in natura* os esgotos reduzem ou extinguem o Oxigênio Dissolvido (OD) presente no corpo hídrico, afetando a vida aquática aeróbia e potencializando o risco de doenças de veiculação hídrica (VON SPERLING, 2005).

A lacuna existente em infraestrutura e saneamento básico no Brasil sobrecarrega os cursos d'água com excesso de matéria orgânica, fato esse que altera substancialmente a capacidade que os rios possuem de se recompor. O processo pelo qual o meio aquático passa para se reestabelecer ao equilíbrio anterior a um despejo de efluente é conhecido como autodepuração, que é um processo natural em que os compostos orgânicos são convertidos em compostos inertes e não prejudiciais do ponto de vista ecológico (ESTEVES, 2011).

Na autodepuração as bactérias decompositoras presentes na água estabilizam a matéria orgânica consumindo o OD e utilizando-o como aceptor final de elétrons. Variáveis como o OD e DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) são indicadores essenciais para a determinação da autodepuração (VON SPERLING, 2005), outros parâmetros muito utilizados para avaliação da qualidade da água são os nutrientes Nitrogênio e Fósforo (N e P), que na ausência de oxigênio permanecem precipitados, podendo atuar na retroalimentação do ambiente aquático.

Dessa forma, o contínuo lançamento de efluentes sem tratamento leva ao processo de eutrofização, no qual o corpo d'água passa a apresentar elevadas quantidades de N e P que servem de substrato para surgimento de florações de cianobactérias, bactérias potencialmente tóxicas que apresentam risco à saúde de humanos e animais (NEWCOMBE et al., 2012). Em vista disso, surge a necessidade de se classificar os ambientes aquáticos quanto ao seu estado de trofia, que pode variar de oligo a hipereutrófico. Os Índices de Lamparelli (2004) e Carlson (1977) se apresentam como alternativas para o cálculo do índice de Estado Trófico (IET). O modelo proposto por Lamparelli (2004) é uma modificação do modelo de Carlson (1977) e busca adaptar as variáveis para condições tropicais. Ambos determinam o estado trófico utilizando como parâmetros a Clorofila- α e o Fósforo total presente nos corpos hídricos.

Outra forma de se avaliar a qualidade da água é por meio do cálculo do Índice de Qualidade da Água (IQA), o qual considera nove parâmetros de qualidade de água coincidentes com alguns dos parâmetros estabelecidos na Portaria de Consolidação do Ministério da Saúde, 5/2017 (potabilidade), juntamente com o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), por meio da Resolução 357 de 2005, a norma diz que a classificação das águas é essencial à defesa de seus níveis de qualidade e devem ser avaliados por condições

e padrões específicos, de modo a assegurar os seus usos preponderantes. Completa ainda que, o enquadramento dos corpos d'água tem que ser baseado não necessariamente no seu estado atual, mas nos níveis de qualidade que deveria possuir para atender às necessidades da comunidade que margeia o rio, como preservação de ambientes aquáticos, abastecimento, irrigação, recreação dentre outros.

Um dos principais fatores de risco para a aceleração do processo de eutrofização dos ambientes aquáticos o crescimento urbano desordenado. Um estudo aponta que especialmente em países em desenvolvimento, a ocupação urbana da contemporaneidade é marcada pelo imprevisto e falta de estratégias previamente definidas para o uso e ocupação dos solos urbanos. Tal negligência favorece as condições de degradação no ambiente urbano, produzindo impactos ambientais e conseqüentemente comprometendo a qualidade da água.

Nesse sentido, uma ferramenta que tem se tornado indispensável na gestão espacial de ambientes urbanos é o geoprocessamento. Este pode ser entendido como a coleta, organização e processamento de dados de diversas fontes (cartográficas, geológicas, pedológicas, topográficas, geográficas, entre outras), gerando informações para diversos fins. As técnicas convencionais de planejamento urbano, quando aplicadas para monitoramento da expansão das cidades não mais conseguem acompanhar a velocidade com que este fenômeno tem acontecido. Desta forma, novas técnicas de geoprocessamento possibilitam a detecção quase que em tempo real das transformações urbanas e decorrentes alterações ambientais, contribuindo para maior eficiência da ação de órgãos de planejamento. Na gestão de recursos hídricos, o geoprocessamento possibilita a observação das redes de drenagem, hidrografia, área contribuinte e diferentes usos do solo na bacia hidrográfica, o que permite estudos de vulnerabilidade e fragilidade ambiental.

Por conseguinte, o presente estudo pretendeu avaliar os Índices de Qualidade da Água (IQA) e de Estado Trófico (IET), do rio Piracicaba na região das cidades estudadas, por meio de um banco de dados secundários de dez anos de monitoramento do IGAM, abrangendo assim um período significativo do ponto de vista limnológico, além de fazer justo uso dos recursos públicos destinados às coletas e monitoramento do rio Piracicaba pelo órgão gestor. Paralelamente, o trabalho visou observar o crescimento urbano dos municípios estudados, a partir de bases de dados geoespaciais disponibilizados por órgãos e entidades públicas, discutindo a possível correlação da expansão urbana e qualidade das águas em João Monlevade, Rio Piracicaba e Nova Era/MG.

O objetivo deste trabalho foi o de avaliar a variação temporal no trecho delimitado no Rio Piracicaba e classificar os pontos no trecho de amostragem segundo o Índice de Qualidade da Água. Correlacionar alterações de qualidade da água com a sazonalidade. Calcular o estado trófico nos pontos de amostragem dentro do trecho do Rio Piracicaba que passa pelos municípios de Rio Piracicaba, João Monlevade e Nova Era. Realizar o mapeamento da expansão urbana e correlacionar com a degradação da qualidade de água nos três municípios estudados.

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

O Rio Piracicaba pertence a uma bacia hidrográfica de 6.000 km² localizada no centro-leste de Minas Gerais entre os paralelos 20°61' e 19°47' S e meridianos 42°53' e 43°56' W, com 241 km de extensão, desde a sua nascente em Ouro Preto, até sua foz no Rio Doce entre os municípios de Ipatinga e Timóteo. O Rio Piracicaba é comprovadamente um local impactado pelo recebimento de esgoto doméstico e industrial sem tratamento, a cidade de João Monlevade, possui apenas uma ETE que entrou em operação apenas no final de 2018 e com atividades de siderurgia e agropecuárias próximas a degradação da qualidade da água vem se agravando.

Os dados utilizados na presente pesquisa foram obtidos no banco de dados do IGAM entre os anos de 2007 e 2017, caracterizando assim uma análise de 10 anos de dados gerados. A amostragem foi realizada pelo IGAM em três pontos, Rio Piracicaba (RD025), João Monlevade (RD026) e Nova Era (RD029). A localização dos pontos de coleta das amostras realizadas pelo IGAM está na Figura 1.

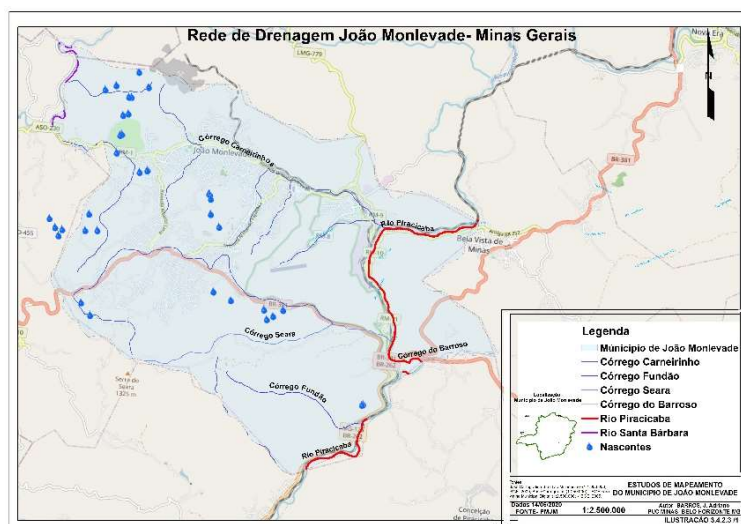


Figura 1: Localização dos pontos amostragem do IGAM.

Aplicação dos índices (IQA) e (IET)

Para o Índice de Qualidade da Água (IQA), foi realizado o tratamento dos dados com auxílio da calculadora disponibilizada pelo IGAM, que além dos nove parâmetros do IQA (Oxigênio Dissolvido-OD, Coliformes/*E. coli*, Demanda Bioquímica de Oxigênio-DBO, Nitrato, Fosfato total, Temperatura, Turbidez e Sólidos Totais). O IGAM utiliza também o Cloreto Total para determinar a qualidade da água.

Utilizou-se o IQA multiplicativo, que atribui a cada parâmetro um peso, e é calculado pela seguinte fórmula:

$$IQA = \prod_{n=1}^n qi^{wi}$$

Onde:

qi: Qualidade do parâmetro i obtido através da curva média
wi: peso atribuído ao parâmetro, em função da sua importância na qualidade, entre 0 e 1 conforme indicado na

Tabela 1: Pesos atribuídos aos parâmetros para o cálculo do IQA.

Parâmetros	Peso
Oxigênio Dissolvido (%ODSat)	0,17
Coliformes/ <i>E. coli</i> (NMP/100mL)	0,15
pH	0,12
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mgL ⁻¹)	0,1
Nitratos (mgL ⁻¹ NO ₃ ⁻)	0,1
Fosfato total (mgL ⁻¹ PO ₄ ⁻²)	0,1
Temperatura (°C)	0,1
Turbidez (UNT)	0,08
Sólidos totais (mgL ⁻¹)	0,08

Fonte: IGAM (2017).

Conforme os valores do índice, que variam entre 0 e 100, é atribuída a situação de qualidade da água conforme especificado na Tabela 2.

Tabela 2: Classes de qualidade da água de acordo com os valores do IQA

Classe	Valor
Excelente	90 < IQA ≤ 100
Bom	70 IQA ≤ 90
Médio	50 < IQA ≤ 70
Ruim	25 < IQA ≤ 50
Muito Ruim	0 < IQA ≤ 25

Fonte: IGAM (2017).

Para a avaliação do grau de trofia do corpo hídrico a aplicação do Índice de Lamparelli (2004) foi realizada com base nos dados de Fósforo e de clorofila-a, responsáveis pelo aumento da eutrofização e da atividade fotossintética, respectivamente. A determinação do IET pelo método modificado por Lamparelli (2004) é calculada por meio das equações:

$$(1) IET (CL) = 10 * (6 - ((-0,7 - 0,6 * (\ln CL)) / \ln 2)) - 20$$

$$(2) IET (PT) = 10 * (6 - ((0,42 - 0,36 * (\ln PT)) / \ln 2)) - 20$$

$$(3) IET = [IET (PT) + IET (CL)] / 2$$

Onde:

PT: Concentração de Fósforo total medida à superfície da água, em µgL⁻¹;

CL: Concentração de Clorofila-a medida à superfície da água em µgL⁻¹;

ln: Logaritmo natural.

A partir dos resultados obtidos pelas equações da concentração de Fósforo e de clorofila-a torna-se possível calcular a média aritmética simples, por meio da equação (3). A seguir a Tabela 3 com a classificação do ambiente aquático quanto ao estado trófico em rios.

Tabela 3: Classificação dos ambientes aquáticos lóticos quanto ao Grau de trofia.

Classes	Valor do IET
Ultraoligotrófica	IET ≤ 47
Oligotrófica	47 < IET ≤ 52
Mesotrófica	52 < IET ≤ 59
Eutrófica	59 < IET ≤ 63
Supereutrófica	IET > 67
Hipereutrófica	64 < IET ≤ 67

Adicionalmente, os resultados disponibilizados pelo IGAM entre 2007 a 2017 foram analisados por meio da comparação com os padrões de qualidade de água das legislações Portaria de Consolidação do

Ministério da Saúde 5/2017 e CONAMA 357/2005.

Análises estatísticas

Para determinar a correlação entre os dados, utilizou-se o Teste de correlação de Pearson, que mede o grau de relação linear entre duas variáveis contínuas, com os coeficientes variando entre 1 (valor que indica relação linear perfeita), e -1 (valor que indica uma relação linear perfeita, porém inversa). Para avaliar a existência de variação sazonal o Teste t de Student, software Excel® foi a ferramenta utilizada, e finalmente a Análise de Componentes Principais (PCA) com o auxílio do programa PAST® permitiu extrair as principais tendências entre as variáveis ambientais.

Expansão urbana

Para a análise de expansão urbana foram utilizados o IDE-Sisema (Infraestrutura de Dados Espaciais, do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos) e o software Google Earth Pro (GEP), ambos são ferramentas gratuitas e de fácil acesso. O IDE reúne diversas informações sobre o uso e ocupação dos solos mineiros e, entre elas, foram coletados dois mapeamentos de manchas urbanas das cidades de João Monlevade, Rio Piracicaba e Nova Era. A primeira foi disponibilizada pelo IBGE e refere-se ao ano de 2005. A segunda foi disponibilizada pela EMBRAPA e refere-se ao ano de 2015. Estes mapeamentos foram descarregados em arquivos com extensão .kml para sua leitura pelo Google Earth Pro.

As camadas descarregadas foram sobrepostas em imagens de satélite no Google Earth Pro e, a partir da delimitação das manchas urbanas foi realizado o cálculo das áreas de expansão urbana em cada um dos municípios. Este cálculo é realizado pelo próprio Google Earth. A partir da construção de uma poligonal, o software calcula automaticamente sua área que pode ser acessada em suas propriedades.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Qualidade da água: IQA e IET

Para os pontos analisados RD025 (Rio Piracicaba), RD26 (João Monlevade) e RD029 (Nova Era), foram observadas as seguintes médias do IQA 59,9; 58,5 e 62,5, respectivamente. Dessa forma, os índices médios encontrados para os pontos monitorados se inserem na classe Média o que representa que a água ainda se encontra apropriada para o tratamento convencional visando o abastecimento público (IGAM, 2014), Figura 2.

Contudo, o ponto RD026 obteve o percentual de IQA ruim, 18,6%, Figura 2A, e apesar de estar dentro da tendência observada nos pontos de amostragem, o IQA do ponto RD029 em Nova Era apresentou os melhores resultados e sendo classificado como excelente de acordo com o índice. Os valores de IQA seguiram uma tendência de declínio – Figura 2A, a partir do ano de 2013 com uma inversão de valores em relação à média, visto que não foram obtidos valores inseridos na classe considerada Boa, esse resultado pode ser atribuído ao incremento da ocupação urbana no local, conforme dados obtidos no presente estudo pela

expansão urbana e apresentados a seguir.

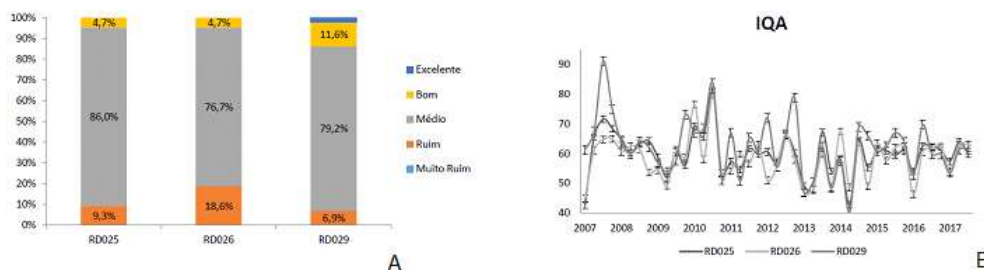


Figura 2: Percentual dos resultados do IQA (A) e variação espaço-temporal do IQA para os pontos analisados (B).

Cabe ressaltar que o IQA possui limitações por utilizar como base para o seu cálculo nove variáveis apenas, deixando de fora parâmetros de relevância na caracterização da qualidade da água como, por exemplo, cianobactérias e cianotoxinas que estão inseridas na Portaria do Ministério da Saúde desde o ano de 1996 devido ao surto ocorrido na cidade de Caruaru, PE, que ficou conhecido como “Síndrome de Caruaru” na qual 119 dos 131 pacientes de uma clínica de hemodiálise apresentaram sintomas de hepatointoxicação, e posteriormente 52 pacientes vieram a óbito (AZEVEDO et al., 2020). A toxina foi detectada na água de um caminhão pipa que abasteceu a clínica de hemodiálise no momento de uma interrupção do abastecimento pela companhia local. Desde então, tais parâmetros são obrigatórios para potabilidade, que atualmente encontra-se em Portaria de Consolidação 5/2017, que dispõe sobre o controle e da vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, antiga Portaria 2914/2011 (BRASIL, 2011).

Tal portaria define normas padrões de potabilidade de água para consumo humano no Brasil, incluindo a obrigatoriedade do monitoramento da ocorrência de cianobactérias potencialmente nocivas, tanto em água bruta quanto em água tratada e define planos de amostragem de acordo com a concentração de células na água. Contudo, como o IQA não é utilizado como base para padrões de potabilidade, sua utilização é aceita e útil por ser um índice de interpretação dos dados, disponível ao público e por abranger uma média de diversas variáveis em um único número, combinado de unidades de medidas diferentes (CETESB, 2009). Além disso, encontram-se disponíveis IQA's que consideram a especificidade de cada manancial CETESB (IQA_{CETESB}) permitindo que cada parâmetro considerado no índice receba um peso segundo seu grau de importância (SUN et al., 2016; MORETTO et al., 2012).

Em estudo realizado por Santos et al. (2018) os pesquisadores também utilizaram o IQA e o IET como ferramenta de avaliação da qualidade de água da Bacia Costeira do Sapucaia, Sergipe, e concluíram que os pontos amostrados estão sofrendo degradação intensa da qualidade de água. Além disso, os locais que apresentaram água de boa qualidade ao longo do monitoramento, sofrerão uma aceleração da eutrofização devido a intervenção antrópica incipiente.

O processo de eutrofização é o resultado do aumento excessivo da concentração de nutrientes N e P, que por sua vez proporciona a proliferação incontrolável na ocorrência de cianobactérias. A Figura 3A apresenta a concentração de Nitrato e Fósforo Total nos pontos analisados. Observa-se que a concentração de Nitrato está em processo de crescimento no trecho de amostragem. Contudo, em nenhuma coleta os

valores ultrapassaram o limite estabelecido pelo CONAMA (10 mgL^{-1}). Os valores médios da concentração de Nitrato aumentaram a partir do ponto RD026, na cidade de João Monlevade, possivelmente devido ao despejo de efluente industriais utilizados na atividade siderúrgica, assim como de esgoto doméstico bruto. No primeiro ponto (RD025) a média é de $0,41 \text{ mgL}^{-1}$, enquanto no segundo e terceiro pontos as médias são $0,48 \text{ mgL}^{-1}$ e $0,56 \text{ mgL}^{-1}$ respectivamente. Constatou-se uma variação sazonal da concentração de Nitrato com aumento no período chuvoso possivelmente devido ao carreamento de fertilizantes agrícolas da área de entorno.

As concentrações médias de Fósforo Total se mantiveram dentro do estabelecido pela Resolução nº 357/2005 do CONAMA - 1 mgL^{-1} para rio de classe 2. No entanto, foram observados em todos os pontos, valores máximos superiores a esse limite, a maior concentração média foi observada no ponto RD026 $0,07 \text{ mgL}^{-1}$, enquanto os outros pontos apresentaram média de $0,05 \text{ mgL}^{-1}$. Portanto, a concentração desse nutriente está aumentando gradualmente, e nos últimos anos tem ultrapassado o limite estabelecido pela legislação vigente, visto que os efluentes domésticos das cidades de Rio Piracicaba, João Monlevade e Nova Era são lançados sem tratamento nesse rio.

De acordo com os resultados do cálculo do IET Lamparelli (2004) considerando os valores de Fósforo Total, o ponto RD026 foi classificado como mesotrófico, e os pontos RD025 e RD029 como oligotróficos, os resultados das médias estão apresentados na Tabela - 4.

Tabela 4: Estatística descritiva e estado trófico nos pontos monitorados entre os anos de 2007 e 2017 com base nos valores de Fósforo Total.

Ponto	Min.	Máx.	Ampli.	Média	Desvlp	Mediana	*IET
RD025	25,9	60,2	34,3	48,2	8,5	50,1	Oligotrófico
RD026	30,9	63,1	32,2	52,6	8,2	53,4	Mesotrófico
RD029	27,7	62,8	35,1	51,5	8,7	54,2	Oligotrófico

*IET Lamparelli (2004).

A consequência direta do aumento da concentração de fósforo em ambientes aquáticos é o aumento da atividade fotossintética, que pode ser medida pela concentração da biomassa algal pela extração da clorofila-a, pigmento comum a todos os seres fotossintetizantes. O Fósforo pode ser um fator de influência maior do que o Nitrogênio para comunidade fitoplanctônica. Assim como o Fósforo a maior concentração média de Clorofila-a também foi observada no ponto RD029, João Monlevade ($2,7253 \mu\text{gL}^{-1}$), para os demais pontos os seguintes valores foram detectados; RD026 $2,332 \mu\text{gL}^{-1}$, e RD025 $1,279 \mu\text{gL}^{-1}$. O valor máximo, também foi observado no ponto RD029 $24,7 \mu\text{gL}^{-1}$, todavia, ainda abaixo do limite estabelecido pela Resolução nº357/2005 do CONAMA $30 \mu\text{gL}^{-1}$ – Tabela 5.

Tabela 5: Estatística descritiva da concentração de Clorofila-a (μg) nos pontos monitorados entre os anos de 2007 e 2017.

Ponto coleta	Valor Mínimo	Valor Máximo	Amplitude	Média	Desvio Padrão	Mediana
RD025	0,0060	5,6100	5,6040	1,2791	1,3004	1,0046
RD026	0,0060	14,1500	14,1440	2,3332	2,7309	1,3350
RD029	0,0060	24,7000	24,6940	2,7253	4,0075	2,0025
		Período Chuvoso				
RD025	0,0060	5,6100	5,6040	1,4532	1,2975	1,0690
RD026	0,0060	8,8100	8,8040	2,2848	2,2447	1,4018

RD029	0,0060	24,7000	24,6940	3,5879	5,2827	2,3565
		Período de Seca				
RD025	0,0060	5,0063	5,0003	1,0875	1,3094	0,5340
RD026	0,0060	14,1500	14,1440	2,3839	3,2195	1,0700
RD029	0,0060	5,8700	5,8640	1,8216	1,6575	1,6020

Na bacia hidrográfica do Rio Piracicaba, apenas 39,9% da população urbana possui tratamento de esgoto doméstico, os outros 60,1% da população tem seus esgotos lançados *in natura* no rio Piracicaba (IGAM, 2014). Despejos de esgotos domésticos, industriais e agrícolas nos cursos d'água, são considerados os principais causadores do fenômeno de eutrofização, que conseqüentemente leva as florações ou "blooms" de cianobactérias (NEWCOMBE et al., 2012) em conseqüência do aumento da atividade fotossintética que resultada em elevadas concentrações de clorofila, conforme observado.

Em se tratando de parâmetros que inferem sobre a carga de matéria orgânica e o oxigênio necessário para sua depuração, segundo a Resolução nº 357/2005 do CONAMA, para os rios de classe 2 a DBO não poderia atingir valores superiores a 5 mgL⁻¹. Observou-se nos três pontos uma média de 2 mgL⁻¹. Porém, no ponto RD026 foi detectado um valor pontual de 6,6 mgL⁻¹ que excedeu o limite estabelecido. A concentração de OD que por sua vez é utilizada para depuração da carga orgânica (VON SPERLING, 2005) se manteve em todas as amostragens acima do mínimo requerido pela Resolução CONAMA nº 357/2005, qual exige concentração superior a 5 mgL⁻¹ para rios de classe 2, Figura 3B.

O resultado da DBO para os trechos analisados no Rio Piracicaba, portanto, representa que a demanda de oxigênio dissolvido necessária para estabilização da matéria de origem orgânica pelos microrganismos aeróbios, cuja as fontes podem ser internas (autóctones) ou externas (alóctones) ao ecossistema aquático, está sendo depurada, uma vez que a fração de OD existente é suficiente para tal (ESTEVES, 2011). Nesse caso, a elevada taxa de oxigenação se deve, principalmente, as características hidrodinâmicas de ambientes lóticos, rios, que possuem um baixo tempo de residência da água, e a introdução de OD pela atividade fotossintética é menos representativa do que para ambientes lóticos como lagoas, lagos e reservatórios (VON SPERLING, 2005; ESTEVES, 2011).

Resultado similar foi detectado por Santos et al. (2018) ao analisarem a água da Bacia Costeira do Sapucaia que está situada no litoral norte do estado de Sergipe, entre as bacias hidrográficas do Rio São Francisco e Rio Japarutuba. Os valores detectados pelos pesquisadores estiveram abaixo de 5 mg.L⁻¹ em todos os meses de coletas, à exceção de fevereiro de 2015. Amâncio et al. (2018) monitoraram a sub-bacia hidrográfica dos Rios Capivari e Mortes, Minas Gerais e também observaram que a DBO não excedeu o limite estabelecido durante todo o monitoramento.

Outra importante variável utilizada na caracterização da qualidade de água é a turbidez, que em um rio de classe 2 não pode ultrapassar o valor de 100 uT, CONAMA nº 357/2005. Percebeu-se grande variação nos dados para esse parâmetro e no ponto RD029, constatou-se o valor mínimo de 2,3 uT e o valor máximo de 455 uT - Figura 3C.

No ponto RD025 durante os meses de janeiro de 2007, abril de 2009, janeiro e abril de 2013, abril de 2014 os valores desse parâmetro ultrapassaram o limite. No ponto RD026 a Turbidez se manteve acima do

limite nos meses de janeiro de 2007, janeiro, abril e outubro de 2013 e janeiro de 2016, finalmente no RD029 o limite foi ultrapassado nos meses de janeiro, abril e outubro de 2013 e abril de 2014, Figura 3C. A variação sazonal da turbidez nos trechos analisados é consequência das chuvas comuns nessa época que transportam sedimentos e partículas retidas no solo. Na região do estudo as estações podem ser divididas em chuvosa que vai de outubro a março e seca a partir de abril até setembro. Na época chuvosa as atividades de uso e ocupação do solo que o tornam erosivo pelas intervenções antrópicas como agricultura, pastagem e urbanização contribuem para o aumento do assoreamento e consequente perda do volume útil.

A média de Sólidos totais se manteve abaixo do estabelecido que é de 500 mgL^{-1} em todas as classes de águas doces. A exceção de duas amostragens em que o limite foi ultrapassado, janeiro de 2007 no ponto RD025, e em abril de 2014 no ponto RD029. Constatou-se que no ponto RD029 a média foi superior às demais, 90 mgL^{-1} , Figura 3C.

O pH deve se manteve entre 6 e 9, conforme esperado em todas as classes de água doce e se manteve sempre próximo à neutralidade. A exceção de uma amostragem em janeiro de 2009 no ponto RD025. Nos trechos analisados, a Temperatura da água apresentou maior média no ponto RD026, $25,5 \text{ }^\circ\text{C}$, com o valor mínimo no ponto RD025 $17,8 \text{ }^\circ\text{C}$ e máximo no ponto RD029 $32,2 \text{ }^\circ\text{C}$ – Figura 3D.

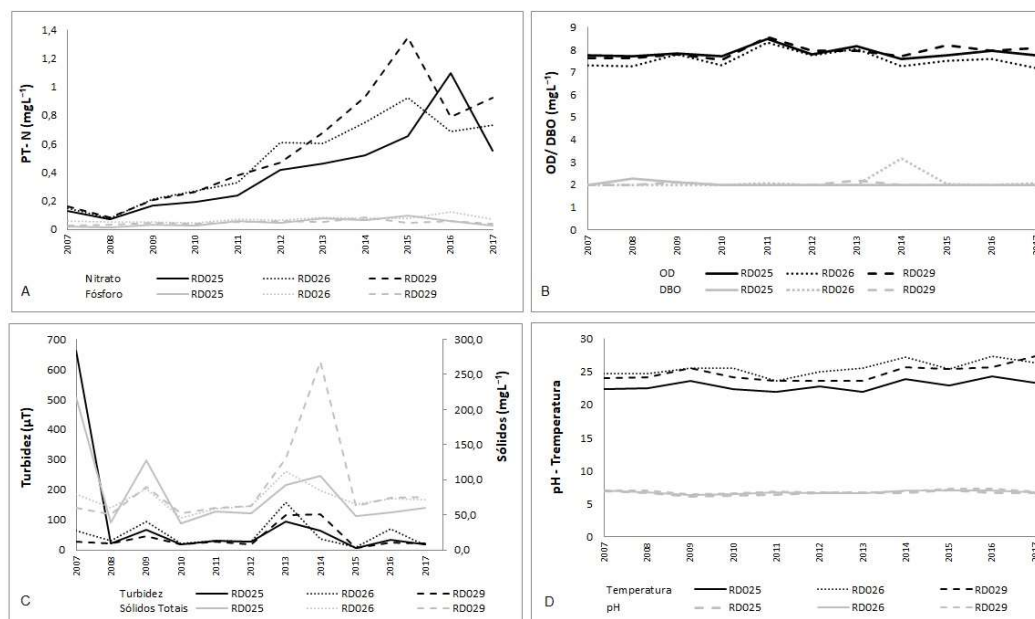


Figura 3: Concentrações de (A) Nitrito (N) e Fósforo Total (PT); (B) DBO e OD; (C) Turbidez e Sólidos Totais; (D) pH e Temperatura nos pontos RD025, 026 e 029 de 2007 a 2017.

Para cloretos (dados não apresentados) os valores das concentrações constatados nesse estudo, apresentaram-se abaixo do limite determinado pela Resolução nº 357/2005 do CONAMA qual estabelece o valor máximo de 250 mgL^{-1} . O maior valor encontrado foi no ponto RD026 $2,4 \text{ mgL}^{-1}$, ponto esse que apresentou concentrações superiores aos demais pontos conforme a variação temporal. A adição do cloreto como parâmetro integrante do IQA se justifica pela relação com esgotos sanitários, já que os cloretos representam fração significativa dos excretos humanos (CETESB, 2009).

Qualidade Microbiológica da Água

O número de patógenos que podem estar presentes em águas como resultado da contaminação com fezes humanas ou animais é muito grande, não sendo possível analisar amostras de água para cada espécie de patógeno. Um exemplo disso é a ocorrência de mais de 100 tipos de vírus entéricos que têm sido isolados de fezes humanas e de esgotos. Mais recentemente, até o novo coronavírus que não é considerado entérico foi detectado em fezes de pacientes e no esgoto (MEDEMA et al., 2020).

A quantificação direta desses contaminantes microbiológicos pode ser mais difícil de padronizar do que os contaminantes químicos, isto porque eles são quantificados por técnicas de contagem muitas vezes susceptíveis a grandes perdas, variando assim a taxa de recuperação.

Portanto, o uso de bactérias indicadoras de contaminação fecal é uma prática comum na grande maioria dos guias e padrões de qualidade de água internacionais que inclui indicadores bacteriológicos para avaliação da qualidade microbiológica da água. A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA), e a União Europeia (EU), incluem *Escherichia coli* como um indicador microbiológico obrigatório.

No Brasil, a Resolução nº357/2005 do CONAMA estabelece que para Rios de classe 2 o limite de concentração para Coliformes/*E. coli* deve ser de no máximo 1.000 NMP/100 mL em pelo menos 80% das coletas com amostragens realizadas bimestralmente. No presente estudo, foram observados valores médios de Coliformes, acima do limite estabelecido pela Resolução, o ponto RD026 teve a maior média (13.676 Coliformes -NMP/100mL), e o ponto RD029 o valor máximo de coliformes em uma amostragem 9.000 Coliformes (NMP/100mL). As médias desse parâmetro nos três pontos observados foram maiores no período chuvoso, RD025 10.177 NMP/100mL, RD026 16.036 NMP/100mL e RD029 19.067 NMP/100mL, Figura 4.

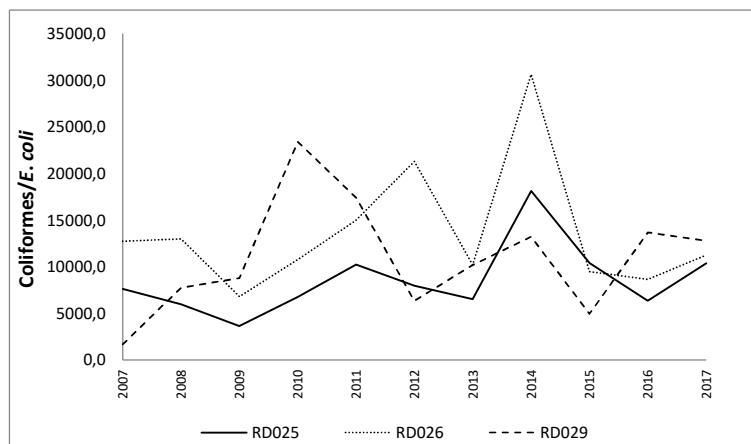


Figura 4: Ocorrência de Coliformes/*E. coli*.

Apenas em 11 amostragens foram observados valores de bactérias do grupo Coliformes dentro do estabelecido pela Resolução, sendo duas no ponto RD026 em janeiro e julho de 2010, três no ponto RD026 em outubro de 2009, janeiro e julho de 2010 e seis no ponto RD029 em julho e outubro de 2007, outubro de 2009, julho de 2010, janeiro e outubro de 2012.

O monitoramento de indicadores de qualidade microbiológica serve como medida de proteção para o risco associado a contaminação por outros microrganismos patogênicos não monitorados, como

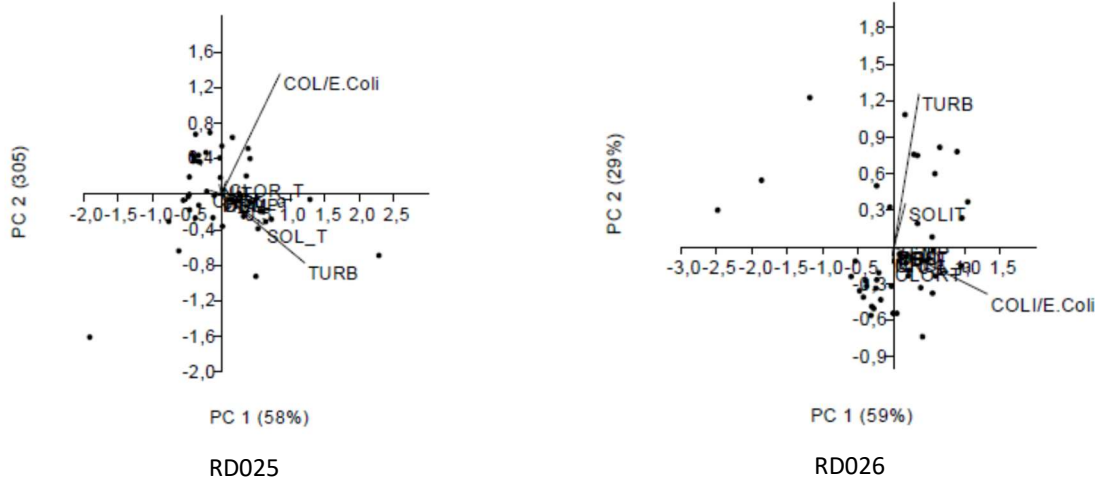
protozoários emergentes, *Giardia*, *Cryptosporidium* e vírus entéricos. Em um estudo onde foram analisadas 139 amostras pertencentes a 22 corpos d'água distintos, pesquisadores finlandeses avaliaram a adequação do uso de coliformes termotolerantes como indicadores fecais – *E. coli*, *Clostridium perfringens* e bacteriófagos ácido nucléico F-específicos (F-RNA) –, para servirem como substitutos na detecção de patógenos específicos – *Campylobacter* spp., *Giardia* spp., *Cryptosporidium* spp. e norovírus. O estudo concluiu que a presença de coliformes termotolerantes e *E. coli* têm significado valores preditivos para a presença dos enteropatógenos estudados. A ausência de indicadores mostrou ser preditiva da ausência dos patógenos. Entretanto, há autores que discordam em relação ao uso de *E. coli* como indicadores substitutos de protozoários patogênicos, como o *Cryptosporidium*.

Dessa forma, há consenso de que quando detectados em valores acima do recomendado, conforme observado na maioria das amostragens no Rio Piracicaba para o trecho analisado, há maior risco de contaminação pela presença de patógenos. Mesmo que durante atividades de recreação de contato primário e secundário. O despejo de efluentes domésticos nesse caso é o principal contribuinte da carga de bactérias entéricas. A elevada concentração de bactérias do grupo Coliformes e de *E. coli* reforçam os dados de que esse ambiente está em deterioração e perda da qualidade de água, conforme já observado para os parâmetros P, N e matéria orgânica.

Variáveis ambientais determinantes

A PCA (Fig. 7) foi feita com todas as variáveis ambientais utilizadas para o cálculo do IQA. Para cada eixo, os maiores valores indicam as variáveis mais representativas. As principais variáveis que influenciaram o sistema no período de estudo foram *E. coli*, Coliformes representadas pelo componente 1, seguidas pelas turbidez e Sólidos totais representadas pelo componente 2. Juntos, os dois eixos por explicam 88%, 68% e 91% para os pontos, RD025, 026 e 029, respectivamente - Figura 7.

Por estar associado com a carga de despejo de matéria orgânica, o eixo 1 sugere uma relação com a sazonalidade. De fato, o período chuvoso, coincide com o aumento de Coliformes e *E. coli*, e esta relação foi confirmada na PCA. É possível que o eixo 2 seja mais explicado por pequenas variações observadas entre os pontos de coleta, com relação a parâmetros físicos.



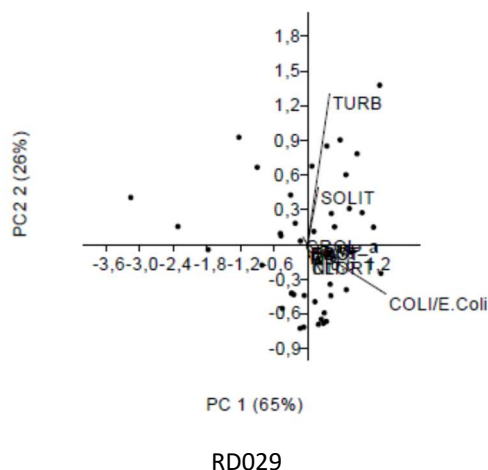


Figura 5: PCA com os dados das nove variáveis ambientais obtidas no banco de dados do IGAM entre 2007 a 2017 em três pontos do Rio Piracicaba.

Os dados das correlações de Pearson seguiram a mesma tendência e no ponto RD025 os Sólidos totais e a Turbidez (0,8573), seguidos pelo Oxigênio Dissolvido e Temperatura (-0,7576) – Tabela 5 - tiveram a maior correlação. No ponto RD026 as maiores correlações foram observadas entre pH e Oxigênio Dissolvido (0,7936) bem como os Sólidos totais e a Turbidez (0,7925). Para o ponto RD029 as correlações estatisticamente significativas eram observadas entre Sólidos totais e a Turbidez (0,7617) e entre Sólidos totais e o Fósforo total (0,7363).

A Tabela 6 apresenta os resultados referentes à aplicação do Teste t Student para o ponto RD025, observa-se que apenas três parâmetros apresentaram valores estatisticamente significativos (<0,05) em todos os pontos. O que evidencia uma variação sazonal durante os últimos 10 anos para o Oxigênio Dissolvido, Temperatura e Cloretos totais. Os pontos RD026 e RD029 também apresentaram variação sazonal em relação ao Oxigênio Dissolvido, Temperatura e o Fósforo total.

Tabela 5: Correlação de Pearson nos pontos analisados entre 2007 a 2017. Dados IGAM.

RD025							RD026							RD029										
Ec	pH	DBON	PT	TE	TUR	SOL	Ec	pH	DBON	PT	TE	TUR	SOL	CLO	Ec	pH	DBON	PT	TE	TUR	SOL	CLO		
OD	-	0.04	-	0.25	-	-	-	0.79	0.09	0.33	0.32	0.08	-	0.09	0.23	-	0.22	-	0.19	-	-	-	0.05	
E.	0.15	-	0.12	0.19	0.27	0.28	0.29	0.42	0.09	0.21	-	0.14	0.07	0.17	0.29	-	-	0.08	0.24	0.39	0.38	0.27	0.30	0.16
pH	-	0.32	0.20	-	-	-	0.07	0.10	0.18	0.18	0.14	-	0.17	0.11	-	-	0.40	-	-	-	-	-	0.23	
DB	-	-	-	0.08	0.09	-	-	0.23	0.33	0.12	0.02	0.10	0.29	-	-	-	-	0.07	0.13	0.30	0.19	-	-	
N	-	-	0.23	0.18	-	-	0.26	-	0.53	0.18	-	-	0.46	-	-	-	-	0.14	0.14	-	0.09	0.49	-	
PT	-	-	0.12	0.21	0.37	0.27	-	0.18	0.16	0.39	0.34	-	-	-	-	-	-	0.19	0.48	0.76	0.06	-	-	
TE	-	-	-	0.45	0.36	0.11	-	-	0.32	0.32	-	-	-	-	-	-	-	-	0.41	0.39	0.00	-	-	
TU	-	-	-	-	0.85	0.05	-	-	-	0.79	-	0.79	-	-	-	-	-	-	-	-	0.76	-	-	
SOL	-	-	-	-	-	0.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.03	-	

Tabela 6: Test T com os valores estatisticamente significativos (<0,005) para seca e chuva nos pontos analisados entre 2007 a 2017. Dados IGAM.

Variável	RD025			RD026			RD029		
	Média chuva	na seca	Valores de p	Média chuva	na seca	Valores de p	Média chuva	na seca	Valores de p
Oxigênio Dissolvido	7,5	8,2	0,0000015	7,2	8,0	0,0000232	7,5	8,3	0,0002622
Coliformes Term.	10117	6773	0,1090222	16035	11210	0,2726107	11960	9771	0,6814999
pH	6,7	6,7	0,7990749	6,8	6,8	0,9640395	6,9	6,9	0,7159797

DBO	2,0	2,0	0,6657033	2,2	2,0	0,2984672	2,0	2,1	0,168387
Nitrato	0,46	0,34	0,3926277	0,49	0,47	0,9234096	0,58	0,54	0,8551049
Fósforo Total	0,04	0,05	0,6637226	0,09	0,05	0,0131826	0,05	0,05	0,8069004
Temperatura	24,2	21,5	0,0002239	26,9	24,0	0,0000384	26,2	23,2	0,000027
Turbidez	154,2	37,1	0,3230352	59,7	43,0	0,3733591	37,3	44,1	0,8271752
Sólidos Totais	91,4	70,7	0,5507847	79,2	66,1	0,2271688	79,1	101,8	0,6224019
Clorofila a	1,45	1,08	0,3662183	2,28	2,38	0,9479221	3,58	1,82	0,1113969
Cloretos Totais	1,3	0,9	0,0369226	2,58	2,32	0,6730782	2,10	1,70	0,0151752
IQA	58,5	61,4	0,1686609	57,1	60,1	0,1838193	61,8	63,1	0,6344533

Urbanização x degradação da qualidade de água

Por meio do IDE foi possível distinguir uma mancha urbana de 2005 mapeada pelo IBGE e outra de 2015 pela EMBRAPA. Os mapeamentos foram sobrepostos como camadas no software Google Earth Pro para distinção da expansão em cada município, Figuras 6 a 8.

Figura10: mapeamentos IBGE 2005 e EMBRAPA 2015 de João Monlevade sobrepostos no Google Earth Pro. Expansão total entre 2005 e 2015 de 898,67ha.



Figura 6: Mapeamento IBGE 2005 e EMBRAPA 2015 de Nova Era sobrepostos no Google Earth Pro. Expansão total de 171ha.



Figura 7: Mapeamento IBGE 2005 e EMBRAPA 2015 de Rio Piracicaba sobrepostos no Google Earth Pro. Expansão total de 475,1ha.



Figura 8: Mapeamento IBGE 2005 e EMBRAPA 2015 de Rio Piracicaba sobrepostos no Google Earth Pro. Expansão total de 475,1ha.

Os mapeamentos disponibilizados pelo IBGE e EMBRAPA no IDE – Sisema possibilitaram a observação do crescimento dos municípios entre os anos de 2005 e 2015. Entretanto, conferindo o mapeamento de 2005 com imagens de satélites do mesmo ano através do Google Earth Pro constataram-se divergências em relação às áreas urbanas, sobretudo em RP, apresentando um valor menor que o visualizado no software. Portanto, o crescimento urbano antecede a deterioração da qualidade da água que foi percebida a partir de 2013. Tal expansão, aliada à falta de tratamento de esgotos sanitários, apresenta-se como o principal

responsável pelo declínio da qualidade de água. O Google Earth Pro e o IDE-Sisema, mostraram-se ferramentas simples, intuitivas e de grande auxílio para análises espaciais gerais. Entretanto, devido às divergências observadas entre os mapeamentos, especialmente o do IBGE de 2005 e o Google Earth Pro, futuras pesquisas podem ser realizadas no intuito de promover maior acurácia dos resultados a partir de novo processamento de imagens de satélite.

CONCLUSÕES

O Rio Piracicaba é um dos afluentes mais degradados do Rio Doce, sua ocupação urbana começou no final do século XVII as margens do rio para extração de minério, que levou ao surgimento das atuais cidades de Ouro Preto e Mariana. No século XX a urbanização se consolidou com a construção da Estrada de Ferro Vitória Minas que propiciou o surgimento de núcleos urbanos. A biodiversidade local com a presença de vegetação e a possibilidade de captação de água do Rio encorajaram a instalação de empresas siderúrgicas em João Monlevade e Vale do Aço, incrementando o crescimento demográfico. O Rio Piracicaba é responsável por abastecer plantas industriais e de usinas hidrelétricas. Concomitante, o Rio sofre com a perda de volume útil pelo assoreamento do solo altamente impactado por tais usos, a fragmentação de área pelo desmatamento, a monocultura de eucalipto e o recebimento de esgoto sem tratamento prévio.

Os resultados obtidos permitiram caracterizar a evolução das condições físico-químicas e biológicas da qualidade das águas do rio Piracicaba na região de João Monlevade, bem como as variações sazonais que influenciam o comportamento desse curso d'água. Por meio dos resultados do IQA, conclui-se que a qualidade do rio é média nos três pontos estudados. Contudo, ao observar os dados do monitoramento, nota-se que o rio vem sofrendo com as interferências antrópicas na região e passa por um processo de deterioração. Com o aumento da concentração de nutrientes, o estado trófico foi afetado, principalmente no município de João Monlevade – cidade com a maior concentração urbana. Essa cidade apresentou o pior índice trófico, apontando características mesotróficas perante resultados oligotróficos das cidades de Rio Piracicaba e Nova Era. Salienta-se a necessidade de ações mitigadoras para o controle dos impactos causados, visto que o aumento de nutrientes pode resultar na eutrofização gerando um ambiente com condições anaeróbias e florações de cianobactérias potencialmente tóxicas. Um ponto importante seria o início do funcionamento da estação de tratamento de esgotos da cidade de João Monlevade que já se encontra pronta há seis anos, mas ainda não está operando. Essa ETE seria responsável pelo tratamento de 25% dos esgotos gerados, o que atenuaria a degradação do ambiente aquático provocado pelo despejo dos efluentes domésticos.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, S. M.; CARMICHAEL, W. W.; JOCHIMSEN, E. M.; RINEHART, K. L.; LAU, S.; SHAW, G. R.; EAGLESHAM, G. K.. Human intoxication by microcystins during renal dialysis treatment in Caruaru - Brazil. *Toxicology*, n.181, p.441-446, 2002. DOI: [http://doi.org/10.1016/S0300-483X\(02\)00491-2](http://doi.org/10.1016/S0300-483X(02)00491-2)

BRASIL. **Portaria n. 2914 de 12 de dezembro de 2011.** Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Brasília: DOU, 2011.

BRASIL. **Portaria de consolidação n. 5 de 28 de setembro de 2017**. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Brasília: DOU, 2017.

CARLSON, R. E.. A trophic state index for lakes. **Limnology and Oceanography**, n.22, p.361-369, 1977.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2009.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem**. Apêndice A. Série Relatórios. 29 p., 2009.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n. 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. Brasília: CONAMA, 2005.

CORRÊA, R. S.; SILVA, R. V. B.. Ocupação urbana e degradação ambiental: ocupação, simbolismo e cidadania ambiental no bairro do Paraíso, Mosqueiro-PA. **Revista Perspectivas do Desenvolvimento**, v.3, n.04, 2015.

DANTAS, F. V. A.; LEONETI, A. B.; OLIVEIRA, S. V. W. B.; OLIVEIRA, M. M. B.. Uma análise da situação do saneamento no Brasil. **FACEF Pesquisa: Desenvolvimento e Gestão**, v.15, n.3, p.272-284, 2012.

ESTEVES, F.. **Fundamentos de Limnologia**. 3 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

IGAM. Instituto Mineiro de Gestão da Água. **Portal dos Comitês de Bacias Hidrográficas**. 2017.

IGAM. Instituto Mineiro de Gestão da Água. **Identificação de municípios com condição crítica para a qualidade de água na sub-bacia do rio Piracicaba**. Belo Horizonte: IGAM, 2014.

LAMPARELLI, M. C.. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo**: avaliação dos métodos de monitoramento. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MEDEMA, G.; HEIJNEN, L.; ELSINGA, G.; ITALIAANDER, R.; BROUWER, A.. Presence of SARS-Coronavirus-2 in sewage. **medRxiv**, p.1-9, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1101/2020.03.29.20045880>

MORETTO, D. L.; PANTA, R. E.; COSTA, A. B.; LOBO, E. A.. Calibration of water quality index (WQI) based on Resolution nº 357/2005 of the Environment National Council (CONAMA). **Acta Limnológica Brasiliensia**, Rio Claro, v.24, n.1, p.29-42, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S2179-975X2012005000024>

NEWCOMBE, G.; CHORUS, I.; FALCONER, I.; LIN, T. F. NEWCOMBE, G.. Cyanobacteria: impacts of climate change on occurrence, toxicity and water quality management. **Water Research**, v.46, n.5, p.1347-1584, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.12.047>

SANTOS, R. C. L.; LIMA, Á. S.; CAVALCANTI, E. B.; MELO, C. M. D.; MARQUES, M. N.. Aplicação de índices para avaliação da qualidade da água da Bacia Costeira do Sapucaia em Sergipe. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.23, n.1, p.33-46, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1413-41522017159832>

SNIS. Sistema Nacional de Informações de Saneamento. **Glossário**. M. cidades-SNSA. Brasília: SNIS, 2017.

SUN, W.; XIA, C.; XU, M.; GUO, J.; SUN, G.. Application of modified water quality indices as indicators to assess the spatial and temporal trends of water quality in the Dongjiang River. **Ecological Indicators**, v.66, p.306-312, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.01.054>

VON SPERLING, M.. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005.

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da Sustenere Publishing, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.