

**UNIVERSIDADE DE ARARAQUARA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO**  
**TERRITORIAL E MEIO AMBIENTE**

**A Variação do Índice de Qualidade das Águas e do Índice de Preservação da Vida Aquática no Rio Jacaré-Guaçu, SP ao Longo do Tempo e sua Relação com Eventos Relevantes Passíveis de Influenciar a Qualidade das Águas**

**Gabriel Feloni Martins do Rosário**

**Araraquara/SP**  
**2021**

**A Variação do Índice de Qualidade das Águas e do Índice de Preservação da Vida Aquática no Rio Jacaré-Guaçu, SP ao Longo do Tempo e sua Relação com Eventos Relevantes Passíveis de Influenciar a Qualidade das Águas**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Territorial e Meio Ambiente da Universidade de Araraquara, para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Territorial e Meio Ambiente.

Área de Concentração: Desenvolvimento Territorial e Alternativas de Sustentabilidade

**Gabriel Feloni Martins do Rosário**

Orientador: **Prof. Dr. Nemésio Neves Batista Salvador**

## FICHA CATALOGRÁFICA

R713v Rosário, Gabriel Feloni Martins

A variação do índice de qualidade das águas e do índice de preservação da vida aquática no Rio Jacaré-Guaçu, SP ao longo do tempo e sua relação com eventos relevantes passíveis de influenciar a qualidade das águas/Gabriel Feloni Martins Rosário. – Araraquara: Universidade de Araraquara, 2021.

137f.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Territorial e Meio Ambiente- Universidade de Araraquara-UNIARA

Orientador: Prof. Dr. Nemésio Neves Batista Salvador

1. Qualidade das águas.
2. Índice de qualidade das águas.
3. Rio Jacaré-Guaçu.
4. Araraquara/SP. I. Título.

CDU 577.4



## FOLHA DE APROVAÇÃO

NOME DO ALUNO: *Gabriel Feloni Martins do Rosário*

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Territorial e Meio Ambiente, curso de Mestrado, da Universidade de Araraquara – UNIARA – como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Territorial e Meio Ambiente.

Área de Concentração: Desenvolvimento Territorial e Alternativas de Sustentabilidade.

### BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Bernardo Arantes do Nascimento Teixeira  
UFSCAR – São Carlos

Prof. Dr. Leonardo Rios  
UNIARA – Araraquara

Prof. Dr. Nemésio Neves Batista Salvador  
UNIARA - Araraquara

Araraquara – SP, 13 de Abril de 2021

*“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu,  
mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre  
aquilo que todo mundo vê.” (Arthur Schopenhauer)*

## AGRADECIMENTOS

Inicialmente devo agradecer a Deus por me abençoar diariamente, me auxiliando nos momentos de luta, queda, dor, vitórias, tristezas e alegrias, permitindo que eu reforce minha fé, mesmo quando tudo parece estar abalado.

A minha família, na figura da minha mãe Gladys, por ser minha incentivadora incondicional, um dos meus pilares, por todos os esforços que fez para me auxiliar em minha formação como homem e filho, por me apoiar, compreender e por ser minha grande amiga. Agradeço também ao meu amado pai Roque (*in memoriam*), pelos exemplos que me deu, por acreditar em mim, me guiar na formação do meu caráter, por todo o amor que sempre me deu, os sacrifícios que, junto a minha mãe, fez para me auxiliar na jornada da vida. Agradeço aos meus avós Duple (*in memoriam*) e Maria (*in memoriam*), pois sei que mesmo ausentes “fisicamente”, sempre me acompanharam em espírito, em todos os desafios da minha vida.

Minha noiva Maria Clara, meu amor, confidente, conselheira e alicerce, por toda compreensão, apoio, incentivo e força, sem seu suporte, talvez, não conseguisse chegar aos meus objetivos. Sua parceria e seu amor me deram forças para suportar a distância entre cidades, te agradeço do fundo da alma por toda ajuda e compreensão, sei que não deve ter sido fácil, saiba que te amo muito.

Sou grato pelos docentes que me guiaram nessa formação, em especial ao meu orientador Prof. Dr. Nemésio Neves Batista Salvador, por toda ajuda, esclarecimentos, paciência, compreensão e pela orientação. As conversas, reuniões produtivas, discussões sobre política, futebol (Vai Corinthians), ideias, confiança depositada em mim, foram de suma importância para nortear essa dissertação e minha forma de pensar/pesquisar.

Não posso deixar de agradecer aos membros do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Territorial e Meio Ambiente – PPGDTM UNIARA pela valorosa contribuição na formação de meu conhecimento científico; agradeço também ao pessoal da secretaria, Silvinha, Ivani, Fernanda, dentre outros funcionários, por toda pronta ajuda, pelos cafés e momentos de convivência, por aguentarem os desabafos e por me mostrar que ainda existem pessoas maravilhosas nesse mundo.

Agradeço a ajuda fornecida pelo Prof. Dr. Edson Wendland (SHS-USP), Prof. Dr. Vladimir de Souza (USP), Prof. Dr. Jozrael Henriques Rezende (FATEC-Jaú), Prof. Dr. Juliano José Corbi (SHS-USP/UNIARA) entre outros pela disponibilização de material que me auxiliou no desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus amigos do PPGDTM – UNIARA, especialmente a aqueles cuja a formação de uma amizade se apresentou sólida, como uma amizade de “longa data”; agradeço a Daiane, espero de verdade que consiga alcançar seus sonhos e objetivos minha amiga, agradeço por sua ajuda no desenvolvimento da dissertação, os conselhos, as risadas, os momentos sérios, reuniões até tarde, memes, que foram muitos, parceria em artigos, as cervejas junto aos nossos amigos, Plínio, Eduardo, Maria Karoline, a Prof. Dra. Maria Lucia Ribeiro (querida Bilú), ao Prof. Dr. Guilherme Rossi Gorni, dentre tantos outros que permitiram que esse percurso fosse feito de forma mais leve. Aqui, por último, mas não menos importante, querida Aida, grande amiga da família, por ter me auxiliado no início dessa jornada, por toda a disposição em me apresentar o programa de pós; agradeço pela sua amizade e torcida, espero que possa brilhar em seu caminho e conquistar em dobro tudo aquilo que me desejou.

## RESUMO

Sendo a água de suma importância para os seres humanos, o monitoramento de sua qualidade se faz necessário, para tal, utilizam-se ferramentas de monitoramento da qualidade dos corpos hídricos. Em 1978 a então Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) emite seu primeiro Relatório de Qualidade de Águas Interiores, contendo parâmetros, índices e indicadores de qualidade das águas, como o IQA (Índice de Qualidade das Águas) e partir de 2002 ela passou a determinar e incluir em seus relatórios o IVA (Índice de Qualidade das Águas para preservação da Vida Aquática). Utilizando-se os relatórios da CETESB e os índices IQA e IVA, objetivou-se estudar o comportamento a longo prazo da qualidade da água na Sub-Bacia do Rio Jacaré-Guaçu entre os anos de 1978 e 2018, observando fatores que influenciaram este comportamento, tendências ao longo do tempo e relacionar o comportamento desses índices ao uso e ocupação do solo e outros eventos que tenham ocorrido nessa Sub-Bacia. A partir dos pontos da CETESB, ao longo do Rio Jacaré-Guaçu foram obtidas as médias mensais do IQA e IVA, média anual desses índices e a média móvel. O local de estudo é a Sub-Bacia do rio Jacaré-Guaçu, inserida na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 13 (UGRHI 13), região sudeste do Brasil. Os resultados observaram classificações para o IQA variando entre “razoável e ótima”; o IVA apresentou classificação entre “ruim” e “boa”; os valores e consequentemente a classificação do IQA apresentou ao longo do tempo uma tendência de queda; de forma geral, os melhores valores para IQA foram encontrados nos períodos de menor precipitação; o IVA apresentou, majoritariamente, melhores valores no período de maior precipitação. Conclui-se que o uso do solo pode ter influenciado nas variações desses índices, visto que coincidem com períodos de expansão agrícola, industrial e populacional nessa Sub-bacia; a precipitação não apresentou, de forma contundente, uma relação que pudesse afirmar as alterações dos índices, especialmente o IVA. Esse estudo buscou contribuir com uma análise histórica do monitoramento da CETESB, ressaltando a necessidade de outros estudos para uma análise mais profunda afim de se obter respostas mais contundentes acerca das influências sofridas pelos índices ao longo do tempo.

**Palavras-chave:** Qualidade das águas; índices de qualidade das águas; rio Jacaré-Guaçu.

## **ABSTRACT**

### **The Variation of the Water Quality Index and the Aquatic Life Preservation Index in the Jacaré-Guaçu River, SP over Time and its Relation to Relevant Events that Can Influence Water Quality**

The importance of water for human beings, with that the monitoring of its quality is necessary, for that, tools for monitoring the quality of water bodies are used. In 1978, the then Environmental Sanitation Technology Company (CETESB) issues its first Inland Water Quality Report, containing water quality parameters, indices and indicators, such as the IQA (Water Quality Index) and since 2002 it has passed to determine and include in its reports the IVA (Water Quality Index for the preservation of Aquatic Life). Using the CETESB reports and the IQA and IVA indices, the objective was to study the long-term behavior of water quality in the Jacaré-Guaçu River Sub-Basin between 1978 and 2018, observing factors that influenced this behavior, trends over time and relate the behavior of these indices to land use and occupation and other events that have occurred in this Sub-Basin. From the CETESB points, along the Jacaré-Guaçu River, the monthly averages of the IQA and IVA, the annual average of these indices, were obtained and the moving average was used. The study site is the Jacaré-Guaçu River Sub-Basin, inserted in the Water Resources Management Unit 13 (UGRHI 13), in the southeastern region of Brazil. The results observed classifications for the IQA varying between “reasonable and “excellent”; IVA was rated between “bad” and “good”; the values and, consequently, the IQA classification showed a downward trend over time; in general, the best values for IQA were found in periods of less precipitation; IVA showed, mostly, better values in the period of greater precipitation. It is concluded that the use of the soil may have influenced in the variations of these indexes, since they coincide with periods of agricultural, industrial and population expansion in this Sub-basin; precipitation did not present, in a striking way, a relationship that could affirm the changes in the indices, especially the IVA. This study sought to contribute to a historical analysis of the monitoring of CETESB, emphasizing the need for further studies for a deeper analysis in order to obtain more forceful answers about the influences suffered by the indexes over time.

**Keywords:** Water quality; water quality indexes; Jacaré-Guaçu river.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Pontos da Rede CETESB e da Rede Federal ANA em 2018. ....	23
Figura 2: Concentração de Oxigênio Dissolvido com relação a Biodiversidade. ....	26
Figura 3: Autodepuração em um corpo d'água. ....	29
Figura 4: Ilustrações Ilustração dos Ábacos dos Parâmetros de Qualidade de Água. ....	33
Figura 5: Mapa Sub-Bacia Jacaré-Guaçu e principais municípios. ....	44
Figura 6: Pontos de estudo na Sub-Bacia do Jacaré-Guaçu. ....	45
Figura 7: Postos pluviométricos DAEE e pontos de monitoramento da CETESB. ....	47
Figura 8: Localização da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Tietê-Jacaré e suas Sub-Bacias. ....	49
Figura 9: Municípios da Sub-Bacia do Rio Jacaré-Guaçu. ....	50
Figura 10: Vegetação predominante da Sub-Bacia do Rio Jacaré-Guaçu. ....	51
Figura 11: Sub-Bacia do Rio Jacaré-Guaçu e afluentes diretos do Rio Tietê: Unidades de Conservação. ....	53
Figura 12: Classificação de Koppen na Sub-Bacia do Jacaré-Guaçu. ....	54
Figura 13: Disposição das formações rochosas da Sub-Bacia do Rio Jacaré-Guaçu. ....	55
Figura 14: Classe de solos da Sub-Bacia do Rio Jacaré-Guaçu. ....	56
Figura 15: Altitude da Sub-Bacia do Rio Jacaré-Guaçu. ....	57
Figura 16: Declividade da Sub-bacia do Rio Jacaré-Guaçu. ....	57
Figura 17: Suscetibilidade a Erosão na Sub-Bacia do Rio Jacaré-Guaçu. ....	58
Figura 18: Classificação das UGRHI's do estado de São Paulo quanto ao uso do solo. ....	61
Figura 19: Representação gráfica das classes do uso da terra nas áreas da Sub-Bacia do Rio Jacaré-Guaçu. ....	63
Figura 20: Representação gráfica das subclasses do uso da terra nas áreas da Sub-Bacia do Jacaré-Guaçu. ....	64
Figura 21: Mapa geral de uso e ocupação do solo nas áreas da Sub-Bacia do Rio Jacaré-Guaçu. ....	65
Figura 22: Mapa da mudança de uso e cobertura da terra na região nordeste do estado de São Paulo em 1988. ....	67
Figura 23: Mapa da mudança de uso e cobertura da terra na região nordeste do estado de São Paulo em 2016. ....	68
Figura 24: Uso e ocupação do solo na Sub-Bacia do Rio Jacaré-Guaçu (1987). ....	69
Figura 25: Uso e ocupação do solo na Sub-Bacia do Rio Jacaré-Guaçu (2004). ....	70

Figura 26: Uso e ocupação do solo na Sub-Bacia do Rio Jacaré-Guaçu (2013).....	70
Figura 27: Evolução da produção média anual de etanol e da geração de vinhaça pela agroindústria canavieira no Brasil, de 1967 a 1997. ....	72
Figura 28: Evolução da área de cana de açúcar colhida no estado de São Paulo.....	73
Figura 29: Vazões médias do Rio Jacaré-Guaçu no posto DAEE 5C-013 (1978 a 2018)..	77
Figura 30: Cronologia dos eventos relevantes ocorridos ao longo do tempo.....	78
Figura 31: Localização da ETE-Araraquara.....	79
Figura 32: Localização da ETE São Carlos (Monjolinho). ....	81
Figura 33: Média e média móvel do IQA do ponto JCGU 03200 (2011 a 2018). ....	88
Figura 34: Média e média móvel do IVA do ponto JCGU 03200 (2013 a 2018). ....	89
Figura 35: Comportamento das médias de IQA e IVA no ponto JCGU 03200 ao longo do tempo (2011 a 2018).....	89
Figura 36: Pluviosidade acumulada anual no posto DAEE D4-106 (2011 a 2018).....	90
Figura 37: Média e média móvel do IQA do ponto JCGU 03400 (2001 a 2018).....	93
Figura 38: Média e média móvel IVA para o ponto JCGU 03400.....	94
Figura 39: Médias de IVA e IQA no ponto JCGU 03400 ao longo do tempo (2001 a 2018). ....	94
Figura 40: Pluviosidade acumulada anual no ponto C5-124 (2002 a 2018). ....	96
Figura 41: Valores médios de IQA nos períodos de maior e menor precipitação no ponto JCGU 03400 (2001 a 2018).....	97
Figura 42: Média e média móvel do IQA do ponto JCGU 03900 (1978 a 2018). ....	99
Figura 43: Figura: Área de plantio da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo (1980 a 2018).....	100
Figura 44: Média e média móvel do IQA do ponto JCGU 03900 (1978 a 2003).....	102
Figura 45: Média e média móvel do IQA do ponto JCGU 03900 (2003 a 2018). ....	103
Figura 46: Média e média móvel do IVA no ponto JCGU 03900 (2002 a 2018). ....	104
Figura 47: Médias do IQA e do IVA ao longo do tempo (1978 a 2018).....	105
Figura 48: Pluviosidade acumulada anual no posto DAEE C5-081 (1978 a 2018). ....	108
Figura 49: Médias do IQA nos períodos de maior e menor precipitação no ponto JCGU 03900 (1978 a 2018).....	109
Figura 50: Médias do IVA dos pontos JCGU 03900, 03400 e 03200 ao longo do tempo.110	
Figura 51: Médias do IQA dos pontos JCGU 03900, 03400 e 03200 ao longo do tempo.111	
Figura 52: Médias do IVA dos pontos JCGU 03900, 03400 e 03200 ao longo do tempo.112	

Figura 53: Médias do IVA dos pontos JCGU-03200, 03400 e 03900 ao longo do tempo no período de menor precipitação. ....	113
Figura 54: Médias do IVA dos pontos JCGU-03200, 03400 e 03900 ao longo do tempo no período de maior precipitação. ....	114

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação do IQA.....	32
Tabela 2: Parâmetros e pesos de $w_i$ .....	32
Tabela 3: Faixas de IQA utilizadas no Brasil.....	34
Tabela 4: Variáveis para o cálculo do IPMCA.....	38
Tabela 5: Classificação do IPMCA.....	39
Tabela 6: Classificação IET.....	39
Tabela 7: Cálculo IVA integrando IET com os valores de IPMCA.....	39
Tabela 8: Valores e classificação do IVA.....	40
Tabela 9: Precipitação média pontos DAEE.....	76
Tabela 10: Dados de Saneamento do município de Araraquara.....	80
Tabela 11: Dados de Saneamento do município de São Carlos.....	81
Tabela 12: Valor mensal e média anual para o IQA no ponto CETESB BROA 02800. ....	85
Tabela 13: Valor mensal e média anual para o IVA no ponto CETESB BROA 02800. ....	86
Tabela 14: Toxicidade e quantidade de resultados crônicos e não tóxicos no ponto JCGU 03200.....	90
Tabela 15: Toxicidade e quantidade de resultados crônicos e não tóxicos no ponto JCGU 03400.....	95
Tabela 16: Toxicidade e quantidade de resultados crônicos e não tóxicos no ponto JCGU 03900.....	107

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Percentual dos remanescentes de vegetação natural da Sub-Bacia do Rio Jacaré-Guaçu.....	52
Quadro 2: Crescimento populacional dos municípios de Araraquara e São Carlos (1960 a 2018).....	60
Quadro 3: Período de referências para a modelagem de mapas e gráficos de uso e ocupação do solo da Sub-Bacia do Rio Jacaré-Guaçu. ....	62
Quadro 4: Médias de IVA no ponto JCGU 03200 para os períodos de maior e menor precipitação (2013 a 2018). ....	92
Quadro 5: Médias de IVA para os períodos de maior e menor precipitação junto ao ponto JCGU 03400 (2002 a 2018).....	98

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
APA	Área de Proteção Ambiental
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CBH-TJ	Comitê de Bacias Hidrográficas do Tietê-Jacaré
CCME	Conselho Canadense de Ministros do Ambiente
DAE	Departamento de Águas e Esgoto de São Paulo
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ESEC	Estação Ecológica
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FES	Floresta Estacional Semidecidual
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia Estatística
IET	Índice de Estado Trófico
IPMCA	Índice de Parâmetros Mínimos para a Preservação da Vida Aquática
IQA	Índice de Qualidade das Águas
IVA	Índices de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e de Comunidades Aquáticas
JC-GC	Jacaré-Guaçu
NSF	National Sanitation Foundation
OD	Oxigênio Dissolvido
PND	Programa Nacional do Desenvolvimento
PROALCOOL	Programa Nacional do Alcool
pH	Potencial Hidrogeniônico
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
UGRHI	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos
UC	Unidade de Conservação

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>17</b>			
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>20</b>			
2.1 Objetivo Geral .....	20			
2.2 Objetivos Específicos.....	20			
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>21</b>			
3.1 Controle da poluição no Estado de São Paulo .....	21			
3.2 Programa de Monitoramento da CETESB .....	22			
3.3 Índices de Qualidade das Águas .....	24			
3.4 Índice de Qualidade das Águas (IQA) .....	25			
3.4.1 Parâmetros do IQA.....	26			
3.4.2. IQA e Suas Aplicações.....	32			
3.5 Índice de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e de Comunidades Aquáticas (IVA) .....	37			
3.5.1 Parâmetros utilizados para o IVA. ....	41			
<b>4. METODOLOGIA .....</b>	<b>44</b>			
<b>5. OBJETO DE ESTUDO.....</b>	<b>49</b>			
5.1 Localização da Área de estudo.....	49			
5.2 Vegetação .....	50			
5.3 Clima .....	53			
5.4 Geologia, Geomorfologia e Pedologia.....	54			
5.5 Economia e Uso do Solo .....	59			
5.6 Uso e ocupação do solo.....	61			
<b>6. EVENTOS RELEVANTES PARA A QUALIDADE DAS ÁGUAS NA SUB-BACIA DO RIO JACARÉ-GUAÇU .....</b>	<b>75</b>			
6.1 Precipitação .....	75			
6.2 Variação da Vazão .....	76			
6.3. Linha do Tempo de Alguns Eventos Relevantes .....	77			
6.3.1 Implantação de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE Araraquara e ETE São Carlos).....	79			
6.3.2 Crise Hídrica .....	82			
<b>7. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>84</b>			
•Ponto	BROA	02800	(Itirapina)	85
•Ponto	JCGU	03200	(São Carlos)	87
•Ponto	JCGU	03400	(Araraquara)	92

•Ponto	JCGU	03900	(Ibitinga)
.....			
			<b>98</b>
•Síntese		dos	Resultados
.....			
			<b>110</b>
<b>8. CONCLUSÕES</b>	.....		
			<b>115</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	.....		
			<b>117</b>

**ANEXO**

- Lista dos Índices de Qualidade de Água observados (1987-2014) juntamente com suas aplicações.....**128**

## 1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A relação homem natureza se faz presente e como consequência disso o uso dos recursos naturais foram aumentando cada vez mais e proporcionando ao ser humano avanços científicos e tecnológicos, porém alguns destes recursos sofreram e sofrem com a degradação oriunda das atividades humanas que se valem do meio ambiente como sendo seu escravo. Um dos recursos mais importantes e vitais para a sobrevivência do homem a água, encontrada em grande parte da superfície terrestre, porém, de acordo com a ANA (2018), cerca de 97,5% da água do planeta é oriunda dos mares (água salgada), por conseguinte, impróprias para consumo, os 2,5% restantes se dividem em águas de difícil acesso para captação, geleiras, aquíferos subterrâneos, ficando apenas 1% nos rios.

Como a quantidade de recursos com potencial de utilização, até certo ponto escassos, deve-se repensar a forma de utilização e monitoramento da qualidade das águas e os demais recursos naturais a fim de não ferir o que norteia a Constituição da Nova República; no Título VIII – Da Ordem Social, o Capítulo VI – Do Meio Ambiente, em seu artigo 225 quando diz:

“Todos tem direito ao meio ambiente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.” (BRASIL,1988).

Segundo Rebouças, Braga e Tundisi (2006), a água apresenta características em sua qualidade de forma variada, de acordo com seu ambiente originário, seu armazenamento e a forma que circulam. Na avaliação de Gallo (2007), sobre a utilização dos recursos hídricos, discorre que se dá de forma irregular e se observa uma piora em sua qualidade, tendo como responsável a poluição, oriunda de processos industriais, agrícolas e urbanos. Essa poluição afeta diretamente os corpos d'água e por consequência a sua utilização, pode afetar a fauna, flora, a saúde humana, através de patógenos nas águas e até mesmo modificação da paisagem local. Para Branco e Rocha (1977) os rios são as fontes naturais de escoamento de impurezas, de maneira lógica, sofrem modificações em suas características ecológicas, químicas e físicas.

Com o intuito de monitorar a poluição das águas, que se tornava cada vez mais evidente, é constituída em 1973, pela Lei Estadual-SP 118, a Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Básico e de Controle de Poluição das Águas (CETESB), responsável pelo controle da poluição das águas em todo o território estadual e o controle de qualidade das águas destinadas ao abastecimento público e a outros usos, assim como

das águas residuárias, dentre outras atribuições (SÃO PAULO, 1973). Isto significava, inclusive, a atribuição de monitorar a qualidade das águas do estado de São Paulo.

A CETESB passou a monitorar a qualidade das águas em 1974, sendo que emite o seu primeiro Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo em 1978, que continha dados de qualidade dos anos anteriores, de 1974 a 1977, obtidos por meio de sua rede de monitoramento (CETESB, 2019).

Os relatórios surgiram com o objetivo de diagnosticar a qualidade das águas através de pontos de amostragem, sendo que inicialmente a rede de monitoramento contava com 47 pontos em 1974; já em 2017 passou a monitorar 471 pontos (CETESB, 2019) distribuídos pelo estado. Os pontos permitiram efetuar um diagnóstico mais abrangente dos recursos hídricos e isto se deu de forma sistemática a partir de 1978 e, a partir de então, foram publicados relatórios anuais de maneira ininterrupta, até o presente ano, o que possibilita uma análise coesa a longo prazo do comportamento da qualidade das águas.

Os relatórios contêm parâmetros, índices e indicadores de qualidade das águas, dentre os quais o IQA (Índice de Qualidade da Água) e o IVA (Índice de qualidade da água para preservação da Vida Aquática) (CETESB, 2019), utilizados na presente pesquisa, por serem considerados bastante representativos da qualidade geral das águas monitoradas. O IQA é composto de nove parâmetros: coliformes fecais, pH, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio total, fósforo Total, temperatura, turbidez, resíduo total e oxigênio dissolvido.

O outro indicador, IVA, é composto por sub-índices, Índice de Parâmetros Mínimos para a Preservação da Vida Aquática (IPMCA) e Índice do Estado Trófico (IET), possui parâmetros com maior representatividade ambiental, como eutrofização, toxicidade, concentração de substâncias que causam efeito tóxico sobre os organismos aquáticos, além de pH e do oxigênio dissolvido.

Analisar o histórico dos valores dos índices é uma alternativa que permite verificar as alterações que a bacia vem sofrendo em termos de qualidade da água através do tempo, por ações antrópicas ou naturais (DONADIO; GALBIATTI; PAULA, 2005; LOPES et al., 2008).

O monitoramento das águas interiores é realizado nas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGHRI). O estado de São Paulo possui 22 UGHRI's (CBH-TJ, 2020), dentre as quais destaca-se a bacia do Tietê-Jacaré, a qual faz parte da UGRHI 13, e que é objeto da presente pesquisa. Essa bacia já vem sendo objeto de pesquisas pelo Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Territorial da UNIARA (CORBI *et. al.*,

2005; CORBI & STRIXINO, 2008; CORBI et al., 2018; FRIGO, SALVADOR, GORNI, 2019).

Nesta pesquisa, foi estudado, especificamente, o rio Jacaré-Guaçu (JG-GC), escolhido por ser um dos principais rios contidos integralmente na UGRHI 13. Além disso, nesta unidade se encontram duas das suas principais cidades, São Carlos e Araraquara, que drenam seus efluentes para a bacia do rio Jacaré-Guaçu, o que também motivou o estudo desse rio.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O objetivo deste trabalho é estudar o comportamento a longo prazo da qualidade da água na Sub-Bacia do Rio Jacaré-Guaçu, analisando os fatores que influenciaram este comportamento.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- a) Avaliar tendências de longo prazo da qualidade da água do Rio Jacaré-Guaçu, através dos índices IQA e IVA, utilizados pela CETESB;
- b) Relacionar o comportamento dos indicadores IQA e IVA com os processos de uso e ocupação do solo e eventos de significativa relevância que tenham ocorrido na bacia do rio Jacaré-Guaçu, e que possam ter influência na qualidade da água e nos referidos índices.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Controle da Poluição no Estado de São Paulo

O surgimento da CETESB se deu principalmente devido ao processo de expansão urbana no estado de São Paulo, principalmente na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Até a década de 50 o rio Tietê, trecho localizado na cidade de São Paulo, não possuía uma carga poluidora tão elevada, sendo ainda propício à atividades esportivas e lazer. A RMSP passou a contar com uma grande quantidade de empresas, principalmente montadoras e peças, na região do ABC, no interior do estado se observava um crescente na indústria sucroalcooleira e têxtil, operando de forma voraz, concedendo ao estado de São Paulo o status de “locomotiva do Brasil” (CETESB, 2018).

O estado de São Paulo passou a ser altamente industrializado, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE), em seu censo demográfico, na década de 1950, o estado contava com uma população de 9.134.423 habitantes, já na década subsequente, 1960, aproximadamente 12.974.699 habitantes. Somente a cidade de São Paulo contava com uma população de 2.198.096 habitantes, na década seguinte, 5.371.119 habitantes (IBGE, 1954, 1960). Compreende-se que esse crescimento populacional acabaria por influenciar o meio ambiente, através de processos migratórios para as regiões mais industrializadas e surgimento de espaços urbanos sem quaisquer infraestruturas de saneamento, a partir desse cenário se fez necessário a criação de um órgão que possibilitasse um controle relacionado aos recursos naturais.

Criada em 24 de julho de 1968, pelo Decreto 50.079 a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), inicialmente com o nome de Centro Tecnológico e Saneamento Básico. A CETESB era vinculada ao Fundo Estadual de Saneamento Básico (FESB) e tinha por finalidade ‘...realizar análises de laboratório e efetuar estudos, ensaios, pesquisas e treinamento de pessoal no campo da engenharia sanitária’ (CETESB, 2018).

Com a criação desse órgão, inicialmente houve a implementação de uma estação de tratamento de água em localidade pertencente ao Departamento de Águas e Esgoto de São Paulo (DAE), tendo um corpo técnico de 15 colaboradores. Posteriormente incorpora:

Departamento de Obras Sanitárias, Serviço do Vale do Paraíba, do Departamento de Águas e Energia Elétrica, e Serviço de Água de Santos e Cubatão (CETESB, 2018).

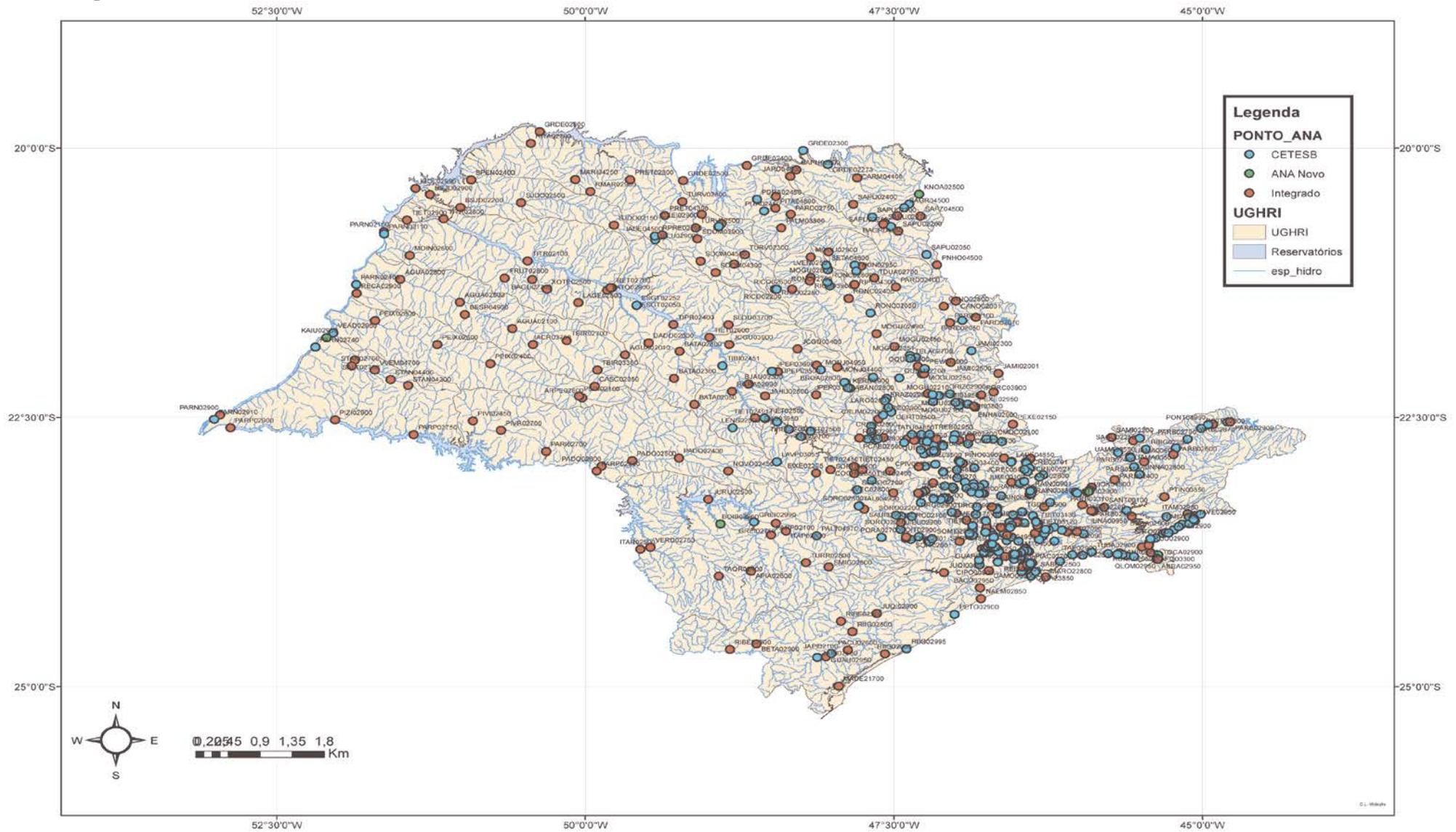
A partir dessas incorporações passou a efetuar o controle de qualidade dos corpos d'água, que forneciam água as estações de tratamento e rede de distribuição, cuja destinação final seria o usuário (CETESB, 2018).

### **3.2 Programa de Monitoramento da CETESB**

O programa de monitoramento de qualidade das águas interiores da 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 (Figura 1); 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.

Figura 1: Pontos da Rede CETESB e da Rede Federal ANA em 2018.



Fonte: CETESB (2019).

A UGRHI 13 é dividida em 6 sub-bacias, dentre elas destaca-se a do rio Jacaré-Guaçu, que por sua vez apresenta 6 pontos de monitoramento. Essa rede de monitoramento visa avaliar a qualidade dos corpos d'água; efetuar o levantamento de áreas para o controle da poluição das águas; identificar os corpos d'água degradados; propor ações de prevenção como, por exemplo, construção de Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) e ser base para Relatórios de Situação dos Recursos Hídricos, de responsabilidade dos Comitês de Bacias Hidrográficas (CETESB, 2019). Segundo a CETESB (2018a) A rede de monitoramento é também, utilizada como ferramenta para informar a população geral das condições dos corpos d'água e essa informação se dá através de informativos semanais em endereço eletrônico da CETESB e suas publicações anuais.

### **3.3 Índices de Qualidade das Águas**

Uma bacia hidrográfica e os rios contidos nela sofrem influências pela forma de utilização do solo, relevo e clima. Por serem sistemas complexos, os rios e bacias devem possuir uma ferramenta que permita exprimir de forma fácil o comportamento das águas, para tanto utilizam-se índices de qualidade da água.

Segundo Toledo e Nicolella (2002) a utilização desses índices se dá através de variáveis que se relacionam com as alterações ocorridas nesses recursos hídricos; além disso, esses 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, especificamente quanto a 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).

O trabalho de Sutadian, Muttill, Yilmaz *et al* (2016), o qual abordou um comparativo entre 31 índices de qualidade de água utilizados no monitoramento de rios, apresentou uma gama de variações do IQA ao redor do mundo e ao longo do tempo, observou bem o desenvolvimento de índices de qualidade de água e sua importância, pois agregaria os parâmetros de qualidade em informações úteis. Verificou as formas de construção, como a seleção dos parâmetros, geração de sub-índices, os pesos estabelecidos, agregação do índice, valor final e aplicação de índices de qualidade ao redor do mundo. Esses índices foram levantados seguindo algumas etapas, dentre elas, considerou-se a popularidade do índice nos países, bem como o suporte governamental para sua utilização, exemplificando que o IQA do Conselho Canadense de Ministros do Ambiente (CCME) e o Índice de Qualidade de Oregon são exemplos do incentivo governamental pois, foram amplamente utilizados no Canadá, e em dois estados dos Estados Unidos (Idaho e Oregon). A listagem de índices de qualidade

levantados pelos autores foi aplicada nos seguintes países: Estados Unidos, Canadá, Brasil, Argentina, Índia, Reino Unido, Escócia, Portugal, Albânia, Chile, Egito, Irã, Espanha, Turquia, Polónia, Malásia, França, Servia, Nova Zelândia, Vietnam, Taiwan e Itália (Anexo 1).

Para Von Sperling (2007) os índices de qualidade de água, permitem uma comunicação com o público, de maneira geral, possibilitando um dimensionamento de como se encontra a qualidade dos corpos hídricos. Índices possuem outros objetivos, além da informação, objetivam nortear decisões de políticas públicas e acompanhar essas aplicações (COUILLARD & LEFEBVRE, 1985; MARQUES et al., 2008; CETESB, 2018a)

O IQA e IVA, um dos principais índices utilizado no estado de São Paulo, visam facilitar a comunicação com o público e as autoridades tomadoras de decisões. Os indicadores e Índices de Qualidade das Águas surgiram a partir de um novo olhar para os aspectos ambientais, com isso se fez cada vez mais necessário um número maior de informações e grau de complexidade para se obter resultados (CETESB, 2012).

### **3.4 Índice de Qualidade das Águas (IQA)**

Buscando sintetizar informações sobre a qualidade das águas é desenvolvido o IQA pela CETESB (1978), que utiliza este índice como uma adaptação dos estudos da National Sanitation Foundation (NSF) dos Estados Unidos da América. De acordo com a CETESB (2003) esse índice foi desenvolvido, principalmente, para a avaliação da qualidade da água com foco no abastecimento público.

O IQA utilizado pela NSF surgiu na Alemanha, sendo seu criador Horton em 1965 (CETESB, 1979). Posteriormente, a NSF desenvolveu um índice de qualidade que lhe possibilitou efetuar comparações dos corpos d'água por meio de um monitoramento de alterações ao longo do tempo e espaço. Esse monitoramento visava observar os reflexos das contaminações antrópicas, oriundas da agropecuária, esgoto e indústria (ANDRADE et al., 2005; SÁNCHEZ et al., 2007). O IQA permite ainda, além da classificação dos corpos d'água, verificar a tendência de qualidade da água ao longo do tempo. Isso só reforça a importância deste índice para mensurar o comportamento dos rios, lagos, represas e etc.

Segundo Libânio (2010) o IQA não somente permite efetuar a comparação dos corpos d'água, possibilita também compreender o impacto das ações que buscam preservar os ecossistemas aquáticos. A CETESB (1979) passa a determinar o IQA em função de processo multiplicativo contendo nove parâmetros: Temperatura, pH, Oxigênio Dissolvido, Demanda

Bioquímica de Oxigênio, Coliformes Termotolerantes, Nitrogênio Total, Fósforo Total, Resíduos Totais e Turbidez.

### 3.4.1 Parâmetros do IQA

Os parâmetros do IQA adotado pela CETESB possuem grande importância sanitária e ecológica, sendo descritos pela literatura como:

- **Oxigênio Dissolvido (OD)**

Segundo Derisio (1992) o Oxigênio é um gás pouco solúvel em água e a sua solubilidade depende da pressão (altitude), temperatura e sais dissolvidos, normalmente a concentração de saturação está em torno de  $8 \text{ mg L}^{-1}$  a  $25^\circ\text{C}$  entre 0 e 1.000 m de altitude). Entretanto, de acordo com a Fujita (2018), um corpo d'água com um grande crescimento de algas pode apresentar, no período diurno, concentrações bem superiores a  $10 \text{ mg/L}$ , mesmo acima dos  $20^\circ\text{C}$ , podendo ser caracterizado como uma supersaturação, principalmente em corpos hídricos de baixa velocidade. Um adequado abastecimento de oxigênio dissolvido é essencial para a manutenção de processos de autodepuração em sistemas aquáticos naturais e em estações de tratamento de esgotos (FUJITA, 2018).

Os níveis de oxigênio dissolvido também indicam a capacidade de um corpo d'água natural em manter a vida aquática (Figura 2). A resolução CONAMA 357/05 diz que, rios de classe 2 não apresentem concentrações inferiores a  $5 \text{ mg/L}$  e para os de classe 3 não apresentem valores inferiores a  $4 \text{ mg/L}$ .

**Figura 2: Concentração de Oxigênio Dissolvido com relação a Biodiversidade.**



Fonte: Fujita (2018).

De acordo com Libânio (2010) o OD é um parâmetro de supra importância, já que representa 17% do valor do IQA, sendo para o autor o parâmetro mais relevante, dentre os nove utilizados.

- **Coliformes Termotolerantes**

Os Coliformes Termotolerantes são micro-organismos com capacidade de fermentar a lactose a 44/45°C, possuindo como seu representante maior a *Escherichia coli* (*E. coli*), entretanto, cabe ressaltar que a *E. coli* é exclusivamente de origem fecal, sendo possível conter micro-organismos patogênicos, é válida sua utilização para a verificação da qualidade dos corpos d'água (CETESB, 2016).

De acordo com Moragas (2005) os Coliformes Termotolerantes são considerados parâmetros que tendem a diminuir o IQA. Suas fontes se originam na agropecuária, matadouros e esgotos sanitários (COSTA & FERREIRA, 2015).

Segundo a Resolução CONAMA nº 357 de 2005, quando se refere as águas doces, classe 2 e 3:

**Classe 2:** [...] II - coliformes termotolerantes: para uso de recreação de contato primário deverá ser obedecida a Resolução CONAMA nº 274, de 2000. Para os demais usos, não deverá ser excedido um limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 (seis) amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. A *E. coli* poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente; [...] **Classe 3:** coliformes termotolerantes: para o uso de recreação de contato secundário não deverá ser excedido um limite de 2500 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras, coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. Para dessedentação de animais criados confinados não deverá ser excedido o limite de 1000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras, coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. Para os demais usos, não deverá ser excedido um limite de 4000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras coletadas durante o período de um ano, com periodicidade bimestral. A *E. Coli* poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente; [...] (BRASIL, 2005).

- **Potencial Hidrogeniônico (pH)**

Segundo Fujita (2018) o pH é um parâmetro químico, sua influência em ecossistemas aquáticos pode ser observada nas alterações fisiológicas de diversas espécies, na precipitação de metais pesados e solubilidade de nutrientes. A variação do pH nos corpos d'água podem ocorrer naturalmente ou de forma antrópicas, através, da descarga industrial ou residencial (VON SPERLING, 2005). Os altos valores do pH podem estar associados com a proliferação de vegetais, onde, aumentando a fotossíntese, ocorre o consumo de gás carbônico e diminuição de ácido carbônico da água (VON SPERLING, 1995).

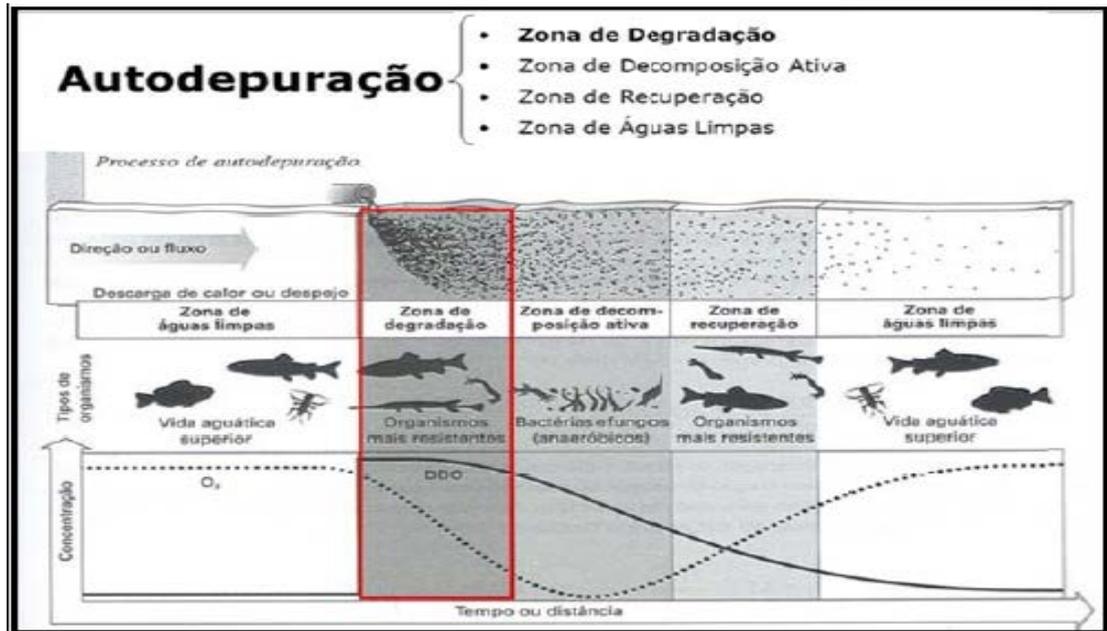
O valor adotado para a proteção a vida aquática é estabelecido entre as faixas de pH de 6 e 9 (FUJITA, 2018). Águas alcalinas afetam negativamente os peixes causando problemas em nível da homeostasia, entretanto, há pouca informação pertinente acerca dos efeitos da variação em macroinvertebrados, onde a maioria dos trabalhos se centra especialmente em pH ácido (CASCÃO, 2015).

- **Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)**

A DBO é o parâmetro que mensura a poluição dos corpos d'água, indiretamente, representa a quantidade de matéria orgânica biodegradável, indica potencialmente o consumo do OD (LIBÂNIO, 2010; VON SPERLING, 2005; VALENTE, PADILHA, SILVA, 1997). A mensuração da DBO se dá de maneira padronizada, através do período de 5 dias e temperatura de 20°C.

O aumento da DBO num corpo d'água é provocado por despejos predominantemente de origem orgânica. Uma alta carga orgânica pode ocasionar a perda de oxigênio no corpo hídrico, uma zona de degradação, ocasionando assim, impacto na vida aquática (Figura 3), como, por exemplo, os peixes (FUJITA, 2018).

Figura 3: Autodepuração em um corpo d'água.



Fonte: FUJITA (2018).

Outro aspecto, ocasionado pelo alto valor de DBO, se dá no sabor e odor produzidos pelos corpos d'água. FUJITA (2018) aponta que para o tratamento de esgotos, a DBO é um parâmetro fundamental para o controle da eficiência das estações, mesmo em tratamentos biológicos aeróbios e anaeróbios, assim como físico-químicos, embora ressalta que, a demanda de oxigênio ocorra apenas nos processos aeróbios.

### • Temperatura

Segundo FUJITA (2018) a variação da temperatura faz parte do regime climático natural, desta forma, as oscilações de temperatura que um corpo d'água sofre são decorrentes da latitude, longitude, elevação, estação do ano, período do dia e profundidade. Os corpos d'água podem sofrer variações oriundas de fatores antrópicos, através de despejos domésticos ou industriais; ou naturais, por transferência de calor irradiado, convecção e condução (SPÍNDOLA et al., 2000; VON SPERLING, 2005).

A Temperatura é um parâmetro físico de grande importância, uma vez que afeta a saturação de oxigênio dissolvido nos corpos d'água (JORDÃO, PESSOA, 2011, p.22).

Segundo Costa & Ferreira (2015) o aumento da Temperatura nos corpos d'água podem proporcionar um aumento em reações (químicas, físicas e biológicas), permitindo assim, uma diminuição na solubilidade dos gases. De acordo com Libânio (2010) não existem limites para uma temperatura máxima quando se refere ao consumo.

Para o meio aquático Fujita (2018) afirma que a temperatura:

*[...]desempenha um papel crucial no meio aquático, condicionando as influências de uma série de variáveis físico-químicas. Em geral, à medida que a temperatura aumenta, de 0 a 30°C, a viscosidade, tensão superficial, compressibilidade, calor específico, constante de ionização e calor latente de vaporização diminuem, enquanto a condutividade térmica e a pressão de vapor aumentam [...]* (FUJITA, 2018).

Influi também nos organismos aquáticos, pois possuem limites de tolerância térmica superior e inferior, temperaturas ótimas para crescimento, temperatura preferida em gradientes térmicos e limitações de temperatura para migração, desova e incubação do ovo (FUJITA, 2018).

- **Nitrogênio Total**

Segundo a ANA (2020) nos corpos d'água o Nitrogênio pode ocorrer nas formas de Nitrogênio Orgânico, Amoniacal, Nitrito e Nitrato, sendo na forma de Nitrato altamente tóxico aos seres humanos. O Nitrato pode ocasionar problemas de saúde, desta forma se adotou limites de 10 mg/L, esses limites estão contidos na Portaria Federal 2.914/2011, a qual 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 (BRASIL,2011).

As fontes de nitrogênio nos corpos d'água variam de efluentes da indústria e esgoto sanitário, porém, o escoamento superficial nas áreas de agricultura possibilita sua inserção no meio aquático (FUGITA, 2018; ANA, 2020).

- **Fósforo Total**

De acordo com a CETESB a presença de Fósforo em corpos d'água se dá, principalmente, ao esgoto sanitário, porém, apresenta que, os efluentes industriais, como as de fertilizantes, pesticidas, químicas em geral, abatedouros, frigoríficos e laticínios, apresentam fósforo em quantidades excessivas (CETESB, 2016).

Segundo a CETESB (2016) o Fosforo é considerado um dos principais nutrientes para os processos biológicos, assim como o nitrogênio, fazendo parte dos macro-nutrientes, pois é exigido em grandes quantidades pelas células.

Uma grande quantidade de Fósforo nos corpos d'água possibilitaria a eutrofização deste corpo. Esse Fósforo é transportado para os corpos d'água através do escoamento superficial. Segundo Von Sperling (2007, p.471), quando reforça o transporte, nos diz que:

*[...] várias atividades humanas conduzem ao aporte de fósforo nas águas naturais. A drenagem pluvial de áreas agricultáveis (fertilizantes) e principalmente de áreas urbanas (produtos químicos contendo fósforo) e, sobretudo as cargas vinculadas pelos esgotos (atividades fisiológicas e detergentes) podem contribuir para uma elevação dos teores de fósforo no meio aquático.*

- **Turbidez**

Turbidez se origina pela presença de matéria em suspensão (JORDÃO, PESSOA, 2011). Trata-se de um dos principais parâmetros de qualidade da água, demonstrando alterações na dinâmica hidrosedimentar em uma bacia, possibilita a associação do uso e ocupação do solo, objetivando a detecção de danos aos corpos hídricos que estejam relacionados as atividades humanas (RAPOSO, BARROS, MAGALHÃES JUNIOR, 2009). Um dos exemplos de processos que podem ocasionar a Turbidez ocorrem através de processos erosivos, esses processos são ocasionados em períodos chuvosos e atenuados pela mau uso e ocupação do solo.

Uma elevada Turbidez possibilita a redução da fotossíntese de vegetação submersa, sendo afetado o desenvolvimento dessa vegetação, pode ocorrer a supressão de peixes nesse corpo d'água, reforçando que a Turbidez influencia a vida aquática (FUJITA, 2018).

De acordo com Libânio (2010) os corpos hídricos no Brasil possuem uma Turbidez elevada, por conta da susceptibilidade de suas bacias a erosões. Ainda, de acordo com o autor, as características geológicas, pluviosidade e uso do solo, especialmente, praticas agrícola, acabam por influenciar essa Turbidez.

- **Resíduo Total**

De acordo com a ANA (2019), Resíduo Total é a matéria que permanece após a evaporação, secagem ou aquecimento da amostra de água durante um determinado tempo e temperatura. Quando os resíduos sólidos se depositam nos leitos dos corpos d'água podem causar seu assoreamento, que gera problemas para a navegação e pode aumentar o risco de enchentes. Além disso podem causar danos à vida aquática pois ao se depositarem no leito eles afetam os organismos que vivem nos sedimentos e servem de alimento para outros organismos, além de danificar os locais de desova de peixes.

### 3.4.2. IQA e Suas Aplicações

De acordo com a CETESB (2007), o IQA varia de 0 (pior qualidade) a 100 (melhor qualidade) conforme a Tabela 1.

**Tabela 1: Classificação do IQA.**

<b>Categoria</b>	<b>Ponderação</b>
<b>ÓTIMA</b>	$79 < IQA \leq 100$
<b>BOA</b>	$51 < IQA \leq 79$
<b>REGULAR</b>	$36 < IQA \leq 51$
<b>RUIM</b>	$19 < IQA \leq 36$
<b>PÉSSIMA</b>	$IQA \leq 19$

Fonte: CETESB (2007).

O IQA é determinado pelo produtório ponderado das qualidades de água correspondentes aos seus parâmetros e respectivos pesos ( $w_i$ ) (CASTRO JUNIOR, SOBREIRA, BORTOLOTTI, 2007), apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2: Parâmetros e pesos de  $w_i$ .**

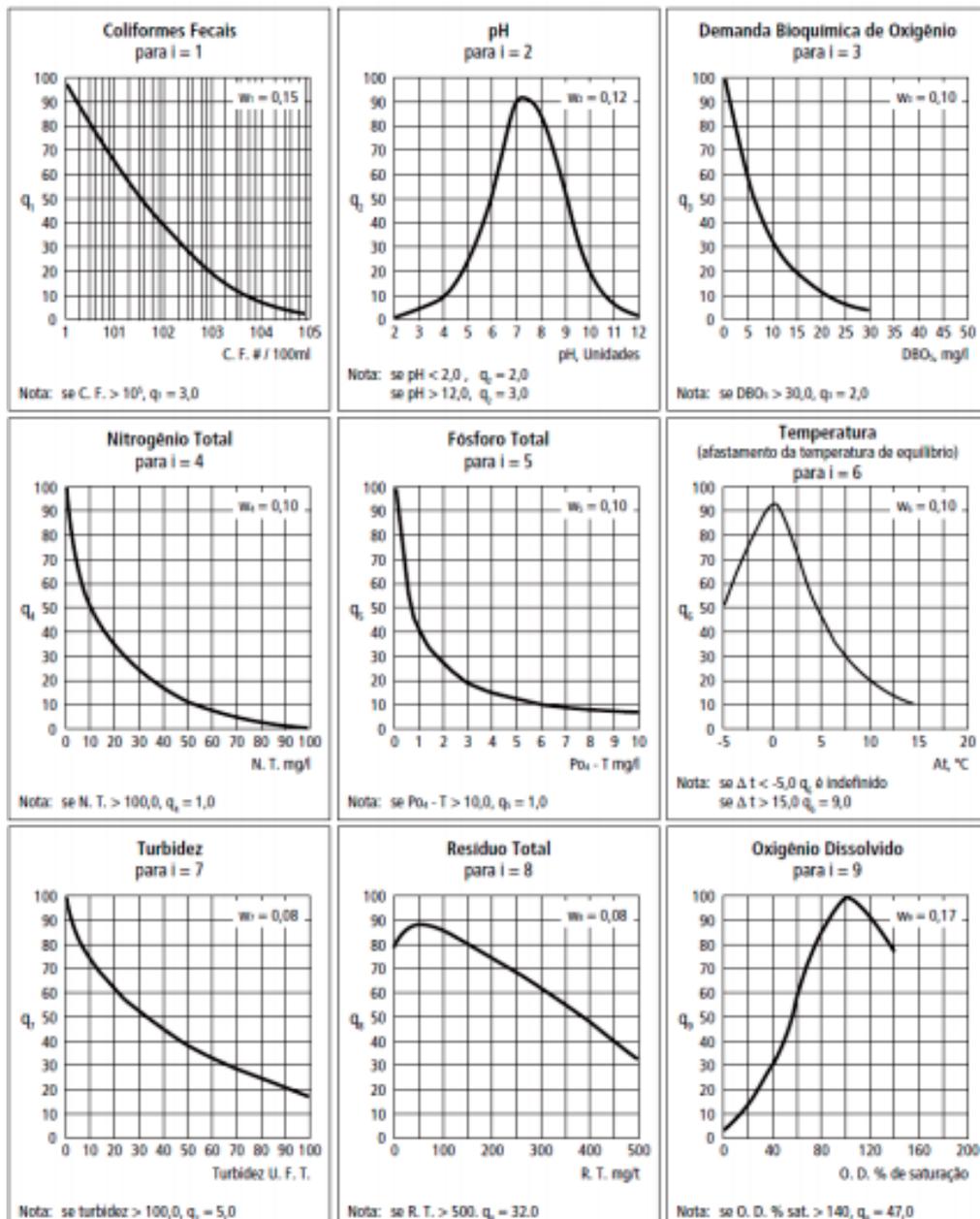
<b>Parâmetro de qualidade da água</b>	<b>Peso (<math>w</math>)</b>
Oxigênio dissolvido	0,17
Coliformes termotolerantes	0,15
Potencial hidrogeniônico - pH	0,12
Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO <sub>5,20</sub>	0,10
Temperatura da água	0,10
Nitrogênio total	0,10
Fósforo total	0,10
Turbidez	0,08
Resíduo total	0,08

Fonte: CETESB (2015).

Para Ferreira et. al. (2015) os pesos dos atributos sofrem variação de acordo com os fatores climáticos, geológicos e usos da terra, sendo claro a variação sofrida de acordo com a região em que se aplica.

Subsequentemente, após atribuído os respectivos pesos, foram determinadas curvas padrão de qualidade da água, gerando ábacos para cada um desses parâmetros (Figura 4).

Figura 4: Ilustrações Ilustração dos Ábacos dos Parâmetros de Qualidade de Água.



Fonte: CETESB (1999).

Para se chegar até os valores e posteriormente a classificação adotada pela CETESB, deve-se efetuar o cálculo do IQA. Este cálculo, segundo a CETESB (1999), é realizado através fórmula expressa a seguir:

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

Onde:

IQA: Índice de Qualidade das Águas, um número entre 0 e 100;

**qi**: qualidade do i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida;

**n**: número de variáveis que entram no cálculo do IQA;

**wi**: peso correspondente ao i-ésimo parâmetro fixado em função da sua importância para a conformação global da qualidade, isto é, um número entre 0 e 1, de forma que:

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

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

Segundo a ANA o IQA sofre uma variação em sua faixa de avaliação de acordo com cada estado da federação. Essa falta de padronização acaba gerando avaliações, menos ou mais rígidas, de acordo com as políticas adotadas pelos órgãos responsáveis dessas unidades federativas. Os estados que utilizam uma faixa mais rigorosas para o IQA são: Alagoas, Minas Gerais, Mato Grosso, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Norte e Rio Grande do Sul (ANA, 2020). O próprio valor de IQA-NSF, que serviu de base para a CETESB, utiliza faixa de classificação similar aos estados citados acima.

A Tabela 3 apresenta as faixas de IQA adotadas por outros estados, valores diferentes dos utilizados no estado de São Paulo.

**Tabela 3: Faixas de IQA utilizadas no Brasil.**

Faixas de IQA (outros estados)	Faixas de IQA (CETESB)	Classificação dos corpos d'água
<b>91-100</b>	80-100	<b>Ótima</b>
<b>71-90</b>	52-79	<b>Boa</b>
<b>51-70</b>	37-51	<b>Razoável</b>
<b>26-50</b>	20-36	<b>Ruim</b>
<b>0-25</b>	0-19	<b>Péssima</b>

Fonte: Adaptado de Agencia Nacional de Águas (ANA, 2020).

De acordo com Boso, Gabriel e Gabriel Filho (2015) o IQA é limitado, especialmente, quando utilizado para determinação da utilização da água para consumo humano; entretanto, se trata de um índice válido e de baixo custo.

Além disso, o IQA não leva em conta parâmetros tóxicos e, anteriormente, a CETESB utilizava complementarmente o Índice de Toxicidade (IT) combinado com o IQA. O IT utiliza alguns parâmetros tóxicos significativos monitorados pela CETESB (Ba, Cd, Cr<sub>total</sub>, Cu, Fenol, Hg, Ni, Pb, Zn), sendo considerado igual a 1,0 (um) se todos os tóxicos estiverem dentro dos limites legais para a classe do corpo d'água estudado, e igual a 0,0 (zero), se um ou mais desses parâmetros apresentar desconformidade legal. No caso, a CETESB considerava também o produto desses dois índices – IQA x IT (CETESB, 1991).

Reconhecidas as limitações do IQA, em 2002 a CETESB adotou outros índices para complementá-lo e determinar de maneira mais abrangente a qualidade da água, como o Índice de Qualidade para Proteção da Vida Aquática e de Comunidades Aquáticas (IVA), que inclui parâmetros tóxicos (CETESB, 2003).

No Brasil alguns estudos também adotaram o IQA para avaliação e monitoramento dos corpos d'água. No Ribeirão Morangueira no Paraná, Petruf, Sacco e Lucio (2011) utilizaram parâmetros do IQA para avaliação da evolução da qualidade das águas desse corpo hídrico.

Já o trabalho de Menezes et al. (2015) utilizou o IQA para relacionar o uso e ocupação do solo com a qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio Ribeirão Vermelho, localizado em Lavras, Minas Gerais.

Pontes (2016) teve como objetivo verificar a eficácia do IQA no monitoramento de um corpo d'água, obtendo resultados indicando ser uma ferramenta eficaz no monitoramento da qualidade da água.

Santini (2017) utilizou o IQA para o monitoramento de corpos hídricos durante a fase de construção de um empreendimento rodoviário, localizado no estado do Rio de Janeiro, concluindo que uma calibração coesa do IQA proporciona resultados mais assertivos e próximos as reais condições dos corpos d'água.

Souza e Tundidi (2000) avaliaram os Rios Jacaré-Guaçu e Rio Jaú, o trabalho comparou o resultado de algumas variáveis desses rios, dentre essas, utilizaram temperatura, pH e Oxigênio Dissolvido, variáveis encontradas no cálculo do IQA. Os resultados para o Rio Jacaré-Guaçu demonstraram que esse corpo d'água obteve águas mais oxigenadas e com concentrações iônicas mais baixas e maior proteção por matas ciliares.

Outros trabalhos (PARESCHI, 2009; FRIGO, 2018) também utilizaram o IQA ou adaptações para avaliação e monitoramento do Rio Jacaré-Guaçu. Pareschi (2009) utilizou macroinvertebrados bentônicos como indicadores de qualidade de água, entretanto, utilizou também o IQA na determinação de qualidade de sistemas lênticos e lóticos, os resultados

obtidos, para o IQA, apontaram que a maioria dos pontos de estudo para a Sub-Bacia JC-GC foi classificada como “ótima” para a qualidade da água, entretanto, alguns pontos no Rio Jacaré-Guaçu, como o ponto a jusante de São Carlos, apresentaram valores menores que outros pontos de coleta.

Toledo e Nicollela (2002) utilizaram o IQA para avaliar os impactos oriundos em uma microbacia sob uso urbano e agrícola, constaram haver uma diferença significativa neste índice quando se comparam as duas disposições de uso do solo, tendo o corpo d’água mais próximo ao solo agrícola sofrendo variações significativas em seus parâmetros, como por exemplo o Oxigênio Dissolvido (OD).

Centeno et al. (2016) estudaram a qualidade da água de Arroio, no estado do Rio Grande Sul entre 2005 e 2013, nesse estudo obtiveram faixa de classificação do IQA-CETESB como ruim. O ano de 2013, ano que a bacia teve uma alta precipitação, foi observada uma melhor classificação para o IQA.

Outros estudos consideram que a lixiviação do solo e proximidade com a cultura de cana de açúcar é prejudicial aos corpos d’água, entretanto, divergem quanto a utilidade do IQA para se avaliar de maneira pontual a qualidade dos corpos d’água próximos a essa cultura.

Carvalho et al. (2000) em estudo feito no Ribeirão do Feijão e Ribeirão da Onça, avaliando a qualidade desses corpos hídricos pelo IQA, menciona que este índice não considera contaminantes químicos, o que reforça sua limitação.

Em estudo sobre a presença de glifosato nas águas na bacia do rio São João, Tocantins, Balduino et al. (2019) também avaliaram que o IQA-NSF não demonstra satisfatoriamente as concentrações de agroquímicos.

Wills e Irvine (1996), na aplicação do IQA no Cazenovia Creek, afluente do rio Buffalo, nos Estados Unidos, a limitação do IQA se dá na possível perda de dados dos parâmetros, com valores baixos ou altos sendo induzidos pelo valor dos outros parâmetros, por exemplo, o pH, poderia ter uma nota baixa, entretanto classificando o corpo d’água como sendo de boa qualidade, não representando a realidade, pois muitos organismos aquáticos não poderiam suportar viver neste meio, podendo também ser considerada uma água imprópria para consumo e lazer.

Apesar de suas limitações, o IQA é utilizado em estudos ao redor do mundo: EUA (PETERS e KANDELL, 1999), Índia (KANDEL, LEE, LEE et al., 2007), Irã (NEMATIFARNOSFADERANY et al., 2009; SHARIFINIA et al., 2013), Iraque (ALBAIDY, ABID, MAULOOD, 2010), Bangladesh (ISLAM et al., 2011), Turquia (VAROL, DAVRAZ, 2015),

Indonésia (EFFENDI, ROMANTO e WARDIATNO, 2015), México (DE LA MORA-OROZCO et al., 2017), entre outros, contudo, os estudos citados não utilizam o mesmo padrão para se calcular o IQA, para Kachroud (2019), cujo estudo revisou a evolução do IQA-NSF, concluí que o IQA-NSF sofreu modificações ao longo do tempo, no entanto, ressalta-se que a ponderação dos parâmetros dificilmente é levada em conta, necessitando assim definir o tipo de uso da água. O trabalho destaca ser possível notar que os estudos recentes ao calcular o IQA-NSF têm por base a utilização da lógica difusa, forma de lógica com muitos valores cuja expressão retorna uma verdade parcial com falso ou verdadeiro. Nota-se que ao longo do tempo houve um aprimoramento dos índices de qualidade da água, entretanto, desde a década de 70 o IQA-CETESB se mantem inalterado.

O IQA é um índice vantajoso pois, resume a qualidade da água em um único valor, além de ser replicável e rápido, a escala numérica variável é uma facilidade, pois possibilita a observação de eventuais alterações da qualidade nos corpos hídricos; a utilização do IQA associado a classificação do corpo d'água pode proporcionar a identificação das águas superficiais prioritárias; o IQA como facilitador na comunicação com o público leigo, proporcionando assim uma melhor compreensão quanto aos seu valores (HOUSE, 1990).

Conforme Poonam, Tanushree, Sukalyan (2013) , a qualidade da água varia conforme seu tipo de uso, bem como o critério para um classificação “aceitável” variar de acordo com a região. Os autores destacam ser necessária a conversão do conjunto dos dados em um unico valor. Os valores finais dos índices são influenciados, de maneira significativa, pelo tempo de amostragem dos parametros utilizados. O trabalho destaca a dificuldade para a elaboração de um índice geral que possa classificar a qualidade da água, contudo, o desenvolvimento de índices locais seriam mais fáceis, embora, os autores afirmem que o índice mais amplo seria ideal, ressaltam que para isso ocorrer deva ocorrer uma seleção cuidadosa dos parametros a serem utilizados.

### **3.5 Índice de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e de Comunidades Aquáticas (IVA)**

O IVA é composto por 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). Seu objetivo é avaliar a qualidade dos corpos d'água e a proteção da flora e fauna aquática (ZAGATTO et al., 1999).

Segundo Zagatto *et. al.* (1999) o IVA abrange uma diversidade maior de parâmetros físico-químicos, incluindo teste de toxicidade e, possibilitando desta forma, a detecção de substâncias tóxicas e seus efeitos que possam afetar os organismos aquáticos.

De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, a proteção das comunidades aquáticas prevê o enquadramento para corpos d'água em Classes 1, 2 e 3; desta forma, é válida a utilização do IVA somente para esses ambientes, excluindo-se os corpos d'água de Classe 4, que, são corpos d'água cuja destinação se dá: a navegação e harmonia paisagística.

O IPMCA considera concentrações de substâncias tóxicas que possam afetar comunidades aquáticas. A resolução CONAMA 357/2005 estabelece os limites dos parâmetros destinados a preservar os organismos aquáticos (CETESB, 2016).

A CETESB realiza o cálculo do IPMCA de acordo com as ponderações (Tabela 4) e com as variáveis de uma amostra de água, conforme valores a seguir:

$$\text{IPMCA} = \text{VE} \times \text{ST}$$

onde: **VE:** Valor da maior ponderação do grupo de variáveis essenciais;

**ST:** Valor médio das três maiores ponderações do grupo de substâncias tóxicas.

**Tabela 4: Variáveis para o cálculo do IPMCA.**

Grupos	Variáveis	Níveis	Faixa de variação	Ponderação
Variáveis Essenciais (VE)	OD (mg/L)	A	$\geq 5,0$	1
		B	$3,0 \leq < 5,0$	2
		C	$< 3,0$	3
	pH (Sörensen)	A	$6,0 \leq 9,0$	1
		B	$5,0 \leq < 6,0 \leq > 9,0 \leq 9,5$	2
		C	$< 5,0 \leq > 9,5$	3
	Toxicidade	A	Não Tóxico	1
		B	Efeito Crônico	2
		C	Efeito Agudo	3
Substâncias Tóxicas (ST)	Cádmio (mg/L)	A	$\leq 0,001$	1
		B	$> 0,001 \leq 0,005$	2
		C	$> 0,005$	3
	Cromo (mg/L)	A	$\leq 0,05$	1
		B	$> 0,05 \leq 1,00$	2
		C	$> 1,00$	3
	Cobre dissolvido (mg/L)	A	$\leq 0,009$	1
		B	$> 0,009 \leq 0,05$	2
C		$> 0,05$	3	
Chumbo Total (mg/L)	A	$\leq 0,01$	1	
	B	$> 0,01 \leq 0,08$	2	
	C	$> 0,08$	3	
Mercúrio (mg/L)	A	$\leq 0,0002$	1	
	B	$> 0,0002 \leq 0,001$	2	
	C	$> 0,001$	3	
Níquel (mg/L)	A	$\leq 0,025$	1	
	B	$> 0,025 \leq 0,160$	2	
	C	$> 0,160$	3	
Surfactantes* (mg/L)	A	$\leq 0,5$	1	
	B	$> 0,5 \leq 1,0$	2	
	C	$> 1,0$	3	
Zinco (mg/L)	A	$\leq 0,18$	1	
	B	$> 0,18 \leq 1,00$	2	
	C	$> 1,00$	3	

\* Substâncias tensoativas que reagem com azul de metileno

Fonte: CETESB (2018a).

Para a CETESB (2016) a variação do IPMCA (1 a 9) e IET (0 a 5) se divide em níveis de qualidade, classificando as águas para proteção da vida aquática (Tabela 5 e 6).

**Tabela 5: Classificação do IPMCA.**

Categoria	Ponderação
BOA	1
REGULAR	2
RUIM	3 e 4
PÉSSIMA	≥6

Fonte: CETESB (2018a).

**Tabela 6: Classificação IET.**

Categoria (Estado Trófico)	Ponderação
Ultraoligotrófico	0,5
Oligotrófico	1
Mesotrófico	2
Eutrófico	3
Supereutrófico	4
Hipereutrófico	5

Fonte: CETESB (2018a).

O cálculo do IVA se dá através da seguinte equação:

$$\text{IVA} = (\text{IPMCA} \times 1,2) + \text{IET}.$$

A Tabela 7 apresenta possíveis valores do IVA, partindo dos valores do IET que se integram ao IPMCA.

**Tabela 7: Cálculo IVA integrando IET com os valores de IPMCA**

		IPMCA				
		Ponderação	1	2	3	4
IET	0,5	1,7	2,9	4,1	5,3	7,7 – 11,3
	1	2,2	3,4	4,6	5,8	8,2 – 11,8
	2	3,2	4,4	5,6	6,8	9,2 – 12,8
	3	4,2	5,4	6,6	7,8	10,2 – 13,8
	4	5,2	6,4	7,6	8,8	11,2 – 14,8
	5	6,2	7,4	8,6	9,8	12,2 – 15,8

Categoria: ■ Ótima ■ Boa ■ Regular ■ Ruim ■ Péssima

Fonte: CETESB (2018a).

O resultado deste índice nos apresenta as 5 classificações de qualidade conforme a Tabela 8.

**Tabela 8: Valores e classificação do IVA.**

<b>Valor do IVA</b>	<b>Classificação</b>
$\leq 2,5$	<b>Ótima</b>
$2,6 \leq IVA \leq 3,3$	<b>Boa</b>
$3,4 \leq IVA \leq 4,5$	<b>Regular</b>
$4,6 \leq IVA \leq 6,7$	<b>Ruim</b>
$IVA > 6,8$	<b>Péssima</b>

Fonte: Adaptado de Agência Nacional de Águas (ANA,2019).

Segundo o PNMA II (2006), o IVA é definido como uma medida instantânea da contaminação e do grau de trófia das águas. Os índices de comunidades (fitoplâncton, perifíton, zooplâncton, bentos e peixes) devem ser apresentados separadamente do IVA, mostrando classes de qualidade que indicarão o estado do ecossistema avaliado.

Para a complementação do IQA se adotou a utilização do IVA, que de acordo com Peláez-Rodríguez et al. (2001) é uma ferramenta de grande utilidade, pois exprime de maneira objetiva as diferentes informações acerca da qualidade das águas nas bacias hidrográficas.

O IVA, utilizado pela CETESB no Rio Jacaré-Guaçu, tem como ponto de partida o ano de 2002 nos pontos JCGU 03900 e JCGU 03400; apenas em 2013 é adotado no ponto JCGU 03200, apesar de sua curta implementação nesses pontos, é possível considera-lo de grande valia para uma melhor avaliação do corpo d'água. O IVA é um indicador adequado para a proteção da vida aquática, incorpora a presença e concentração de contaminantes, as pressões exercidas sobre os organismos aquáticos e sobre o pH e Oxigênio Dissolvido, dois parâmetros essenciais a biota (SILVEIRA et al., 2013).

Silveira et al. (2013) em seu trabalho utilizando micro-crustáceos *Ceriodaphnia dubia* no cálculo do IVA, concluíram que esse índice deve ser revisto pois não leva em consideração as características naturais da região de estudo, que podem se tornar um fator limitante a sobrevivência de alguns organismos aquáticos. Novelli (2005), em estudo com *Ceriodaphnia dubia* no Rio Monjolinho, localizado na Sub-Bacia JC-GC obteve em sua maioria, resultados considerados crônicos.

Silva e Jardim (2006) avaliaram a qualidade da água do rio Atibaia e propuseram a criação de um novo índice, esse seria a junção do IQA com o IVA, concluindo que o novo índice se mostrou melhor na comunicação da qualidade do rio frente aos índices utilizados pela CETESB. Os resultados do IVA podem ser influenciados negativamente, pelo grau de

trofia, pela presença de substâncias tóxicas e pela alteração de parâmetros essenciais à vida aquática (pH, Oxigênio Dissolvido e Toxicidade) (CETESB, 2017).

### **3.5.1 Parâmetros Utilizados no IVA**

#### **▪ Ensaio Ecotoxicológico**

São utilizados para a determinação dos efeitos tóxicos de agentes químicos nos corpos d'água, esses efeitos podem ser detectados através de respostas fisiológicas dos organismos aquáticos. O monitoramento desses ensaios se dá através dos efeitos tóxicos agudos, crônicos e não tóxicos. Os efeitos agudos possuem uma alta letalidade, isso ocorre, pois, esse resultado apresenta altas concentrações de agentes químicos em curta exposição sob os organismos aquáticos. Para os efeitos crônicos é possível observar uma menor concentração química dissolvida no corpo d'água para um período de exposição maior, esse efeito possui como característica efeitos fisiológicos adversos no crescimento e na reprodução dos organismos aquáticos (CETESB, 2017).

A realização dos ensaios ecotoxicológicos utiliza a *Ceriodaphnia dubia*, sendo realizado a partir de amostras de água bruta, visando uma avaliação da ocorrência dos efeitos nos ambientes aquáticos (CETESB, 2017).

Os resultados expressos como agudo, apresentam efeitos bem significativos a sobrevivência dos organismos aquáticos, dentro de seu período inicial de 48 horas; crônico, quando a reprodução ou sobrevivência dos organismos é afetada de maneira significativa dentro do período de 7 dias; não tóxica, quando não ocorre qualquer detecção de efeitos tóxicos nos organismos (CETESB, 2017).

#### **▪ Cobre**

A CETESB (2017) expõe a vasta utilização do cobre pelo homem, podendo ser utilizado desde a confecção de tubos e acessórios, até como algicida, na forma de sulfato ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ). O cobre é inserido no meio ambiente através de várias fontes, essas podem ser originárias das próprias minas de cobre, os efluentes da ETE's, o escoamento superficial e contaminações, oriundas do uso agrícola.

Teores elevados de cobre podem afetar a saúde humana, concentrações de 20 mg/L de cobre ou 100 mg/L por dia na água pode ocasionar lesões ao fígado do ser humano. Complementa ainda que, valores acima dos 2,5 mg/L deixam a água amarga; acima de 1 mg/L alteram a coloração em louças (CETESB, 2017).

É possível compreender que, a saúde do homem sendo afetada por essas concentrações, os corpos aquáticos, como os peixes sofrem de maneira muito mais extrema, pois são organismos bem mais sensíveis, isso fica evidente para as concentrações superiores a 1,0 mg/L, sendo letais aos microorganismos (CETESB, 2017).

- **Chumbo**

A CETESB (2017) apresenta uma gama das utilizações do chumbo, podendo ser encontrado no ar, água, produtos industrializados e alimentos. Sua presença nos corpos d'água se dá pela lixiviação e deposição atmosférica. Para saúde humana, quando ingerido, pode afetar os órgãos do corpo na fase aguda e prolongada.

As comunidades aquáticas também sofrem com seus efeitos adversos, especialmente os peixes, cujas doses letais variam de 0,1 a 0,4 mg/L, entretanto, alguns experimentos apresentem resistências de alguns peixes para até 10 mg/L (CETESB,2017).

- **Cromo**

O cromo é amplamente utilizado na construção de estruturas da construção civil, ligas metálicas, produção de tintas, pigmentos e fertilizantes, ainda apresenta uma concentração de 1 a 10 µg/L de cromo nos corpos d'água superficiais (CETESB, 2012). Apresenta forma trivalente, necessária ao ser humano, e hexavalente, tóxico e cancerígeno, desta forma, sua limitação se baseia na forma hexavalente (CETESB, 2012). Segundo o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 05 de 2017 do Ministério da Saúde, estabelece um valor máximo permitido de 0,05 mg/L de cromo na água potável (BRASIL, 2017)

- **Merúrio**

Sua presença nos corpos d'água se dá na forma inorgânica, apresentando concentrações abaixo de 0,5 µg/L, podendo sofrer um aumento pela presença de depósitos de minérios. Possui alto valor tóxico para o ser humano, cuja absorção, normalmente, se dá pela ingestão de alimentos contaminados, especialmente, os peixes. Sendo um metal cumulativo, doses de 3 a 30g são letais ao ser humano, podendo apresentar lesões cerebrais (CETESB, 2012).

- **Níquel**

O níquel é utilizado na fabricação de aço inoxidável, baterias, pigmentos e outros usos. As concentrações de níquel nos corpos d'água podem chegar a 0,1 mg/L, valorem mais elevados podem ser encontrados em locais de mineração. A concentração desse metal em

águas potáveis usualmente é encontrada com valores menores que 0,02 mg/L. O Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 05 de 2017 do Ministério da Saúde não estabelece um valor máximo permitido de níquel na água potável, já a Organização Mundial da Saúde recomenda o valor de 0,07 mg/L (CETESB, 2019).

- **Cádmio**

O cádmio é encontrado no meio ambiente através de efluentes industriais oriundos de galvanoplastias, produção de pigmentos, soldas, equipamentos eletrônicos, lubrificantes e acessórios fotográficos, bem como por poluição difusa causada por fertilizantes e poluição do ar local. Se trata de um metal que afeta os organismos aquáticos, ele se acumula, entrando na cadeia alimentar (CETESB, 2017). O anexo XX da Portaria de Consolidação nº 05 de 2017 do Ministério da Saúde fixa padrão de potabilidade fixado em 0,005 mg/L (BRASIL, 2017).

Segundo a CETESB (2017) as concentrações de cádmio nos corpos d'água sem poluição não ultrapassa 1 µg/L e para a água potável fica entre 0,01 e 1 µg/L, embora possa ocorrer contaminação através das tubulações galvanizadas e soldas.

- **Surfactantes**

Os surfactantes ou detergentes são amplamente encontrados no esgoto sanitário, com volumes variando entre 3 e 6 mg/L, entretanto, o maior valor é injetado pela indústria, cerca de 2000 mg/L (CETESB, 2012). Segundo a CETESB (2016) esses detergentes impactam os corpos d'água com efeitos tóxicos, comprometendo esse ecossistema, acelerando processos de eutrofização, ainda possuem Fósforo como um de seus componentes, afetando o zooplâncton, predador das algas.

- **Clorofila A**

A clorofila é um dos pigmentos, além dos carotenóides e ficobilinas, responsáveis pelo processo fotossintético, trata-se de um indicador da biomassa algal, com isso possibilita mensurar o nível de estado trófico dos corpos d'água (FUJITA, 2018).

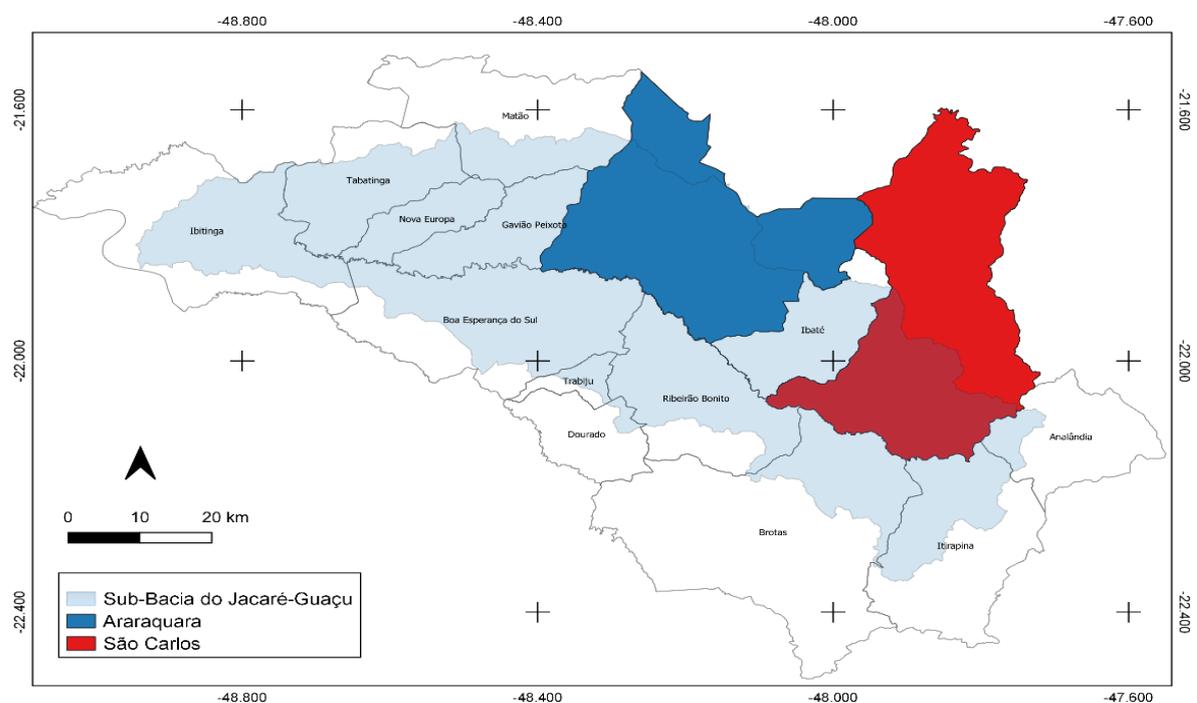
#### 4. METODOLOGIA

Para a elaboração e desenvolvimento desse trabalho, foram utilizados os Relatórios de Qualidade das Águas Interiores no estado de São Paulo da CETESB (CETESB, 2018), trabalhos com a temática nos índices de qualidade das águas (IQA e IVA), teses, dissertações, artigos, periódicos e livros. Inicialmente fez-se o levantamento bibliográfico acerca do tema, a bibliografia foi obtida junto aos bancos de pesquisa, como, portal da CAPES, Scopus e Scielo.

Com base nas informações dos relatórios da CETESB, utilizando os indicadores IQA e IVA no período de 1978 a 2018 (CETESB, 2018), estudou-se o comportamento da qualidade da água da bacia do Tietê-Jacaré, UHGRI 13, mais especificamente a Sub-Bacia do rio Jacaré-Guaçu.

Através da média mensal dos índices IQA e IVA, foram feitas avaliações dos dados obtidos nos pontos do Rio Jacaré-Guaçu a jusante e a montante dos dois principais municípios da Sub-Bacia JC-GC, Araraquara/SP e São Carlos/SP, localizados respectivamente na porção superior e médio superior dessa Sub-Bacia (Figura 5). Foram selecionados esses municípios pois, caracterizam-se como os mais expressivos contribuintes de efluentes domésticos e industriais neste corpo hídrico, pois possuem as maiores populações da Sub-Bacia e maior atividade econômica.

**Figura 5: Mapa Sub-Bacia Jacaré-Guaçu e principais municípios.**

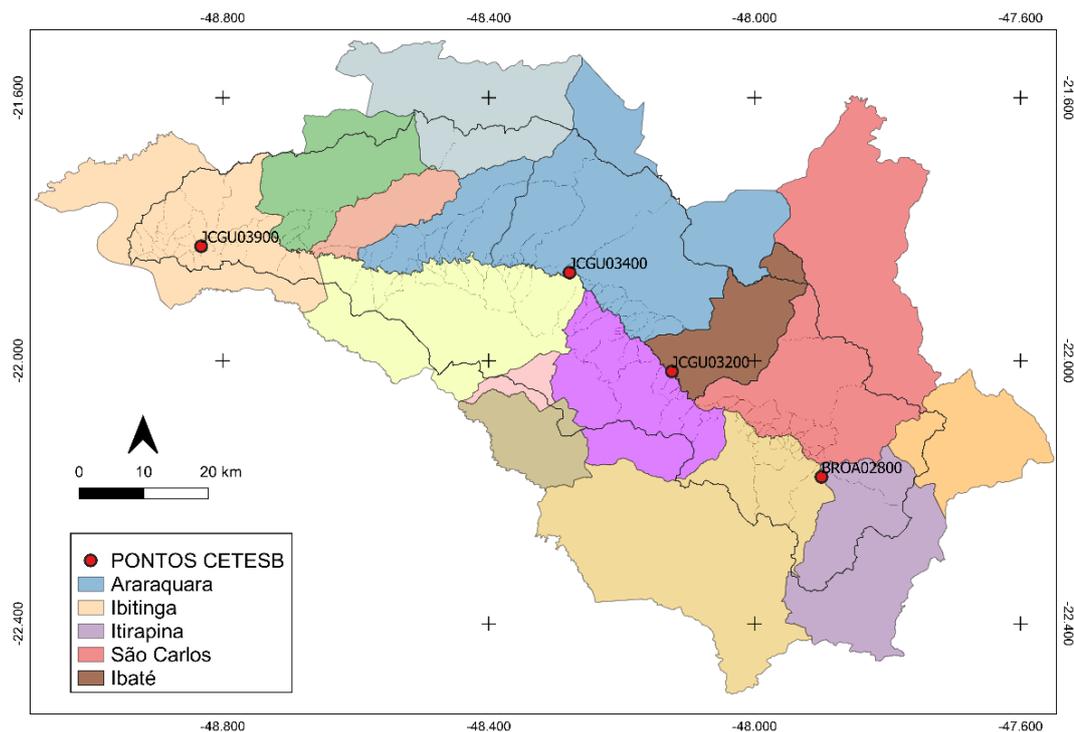


Fonte: Autor (2020) com base em IBGE (2019) e SIMA (2020a).

Foram utilizados os dados em 4 pontos de monitoramento de águas superficiais da CETESB, sendo três pontos em ambientes lóticos e um em ambiente lêntico, sendo os lóticos identificados como: JCGU-03200; JCGU-03400; JCGU-3900 e lêntico, BROA 02800. Esses pontos localizam-se, respectivamente, na ponte da estrada de terra do Bairro Malvinas, a jusante do Córrego Santa Rufina, com latitude (S) 22° 00' 58" e longitude (O) 48° 07' 28"; Ponte na rodovia SP-255, no trecho que liga Boa Esperança do Sul a Araraquara, junto a régua DAEE 5C-013, com latitude (S) 21° 51' 57" e longitude (O) 48° 16' 42"; rodovia Itaju-Ibitinga (SP-304), latitude (S) 21° 49' 33" e longitude (O) 48° 49' 57"; e no corpo central da represa do Broa, a 1 km do final do condomínio Santo Antônio, com latitude (S) 22° 10' 36" e longitude (O) 47° 53' 24".

A Figura 6 ilustra a Sub-Bacia do Jacaré-Guaçu, com sua hidrografia e os pontos de monitoramento da CETESB considerados neste estudo, realçados em vermelho.

**Figura 6: Pontos de estudo na Sub-Bacia do Jacaré-Guaçu.**



Fonte: Autor (2020), a partir de CETESB (2018a) e SIMA (2020a).

Foi estabelecida a média aritmética e média móvel anual do IQA, a partir do ano de 1978, para o IQA no ponto mais antigo (JCGU 03900) e do IVA a partir de 2003, para o mesmo ponto, se estendendo aos demais pontos de amostragem. A média móvel é um parâmetro calculado tendo como início uma série de médias de resultados de diferentes

amostras, neste caso, pela média dos IQA e IVA anuais de três anos. Segundo Ehlers (2005) a representação gráfica de dados ao longo do tempo possibilita revelar padrões de comportamento. As médias de IQA foram obtidas a partir da implementação de cada ponto. Os dados foram obtidos conforme se expõe: 1978 a 2018, ponto JCGU 03900; 2001 a 2018, ponto JCGU 03400; 2011 a 2018, ponto JCGU 03200; 2017 a 2018, ponto BROA 02800.

A determinação das médias do IVA considerou os anos iniciais de implementação de cada ponto; 2002 a 2018 para o ponto JCGU 03900; 2003 a 2018, ponto JCGU 03400; 2011 a 2018, ponto JCGU 03200; 2017 a 2018, ponto BROA 02800.

Para o ponto BROA 02800, que passou a operar somente em 2017, foram observados somente seus índices de qualidade e parâmetros para a comparação com os demais. Esse ponto foi o único dentro os utilizados a não possuir modelagem gráfica, já que não possui dados de longo prazo, impossibilitando uma avaliação temporal de sua qualidade e possíveis impactos sofridos ao longo do tempo.

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 pelo ano subsequente, e assim por diante, até o 40º do ponto mais antigo e 13º valor respectivamente, que corresponde ao ano de 2018, utilizando-se a equação 1 para o IQA:

$$MM_{IQA} = \frac{\sum_i^2(p_{i-1} + p_i) + \sum_3^{40}(p_{i-2} + p_{i-1} + p_i)}{\sum_1^{41} p_i}$$

Onde **MM** = média móvel de 41 anos e **P<sub>i</sub>** = médias anuais do i-ésimo ano

**Para o IVA se utilizou a equação 2:**

$$MM_{IVA} = \frac{\sum_i^2(p_{i-1} + p_i) + \sum_3^{16}(p_{i-2} + p_{i-1} + p_i)}{\sum_1^{16} p_i}$$

Onde **MM** = média móvel de 16 anos e **P<sub>i</sub>** = médias anuais do i-ésimo ano

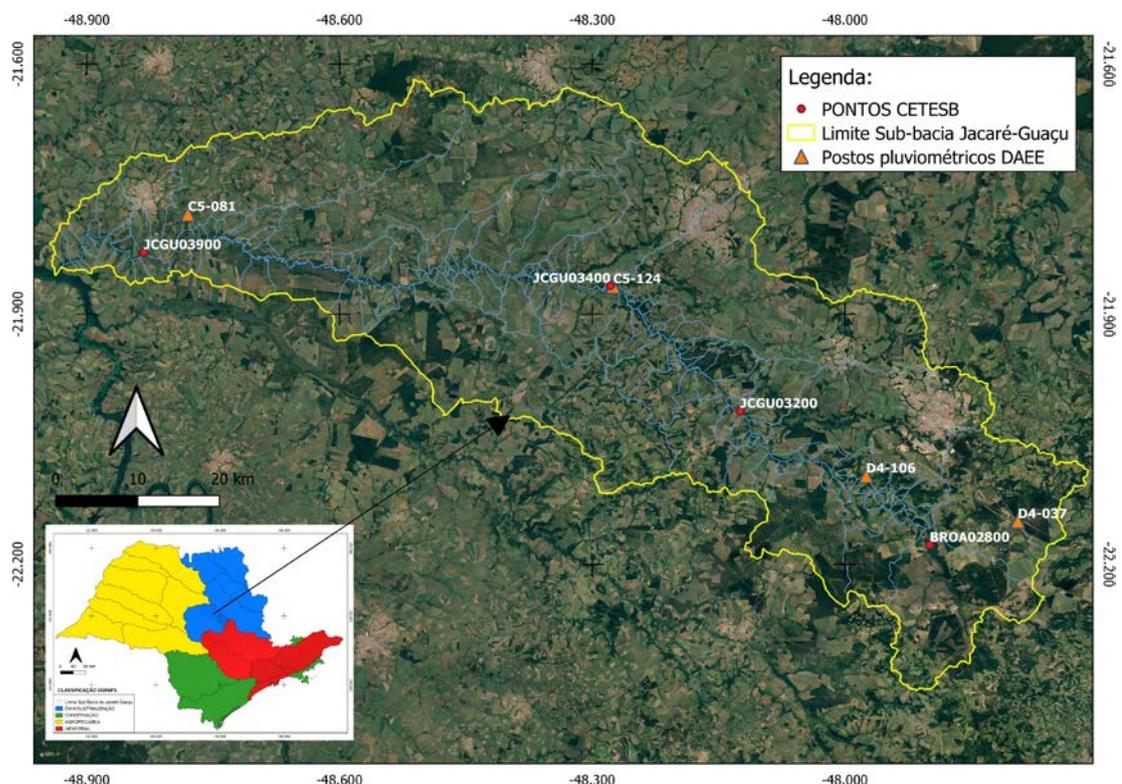
A variação das médias do IQA e IVA levou em consideração a vazão dos rios e regime hidrológico. Com base nos dados, foram traçadas linhas de tendências permitindo uma análise de comportamento ao longo do tempo e projeção futura.

Foram utilizados também, dados de pluviosidade e vazão junto ao sistema do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE). A Sub-Bacia JC-GC conta com 16 postos

pluviométricos e 5 fluviométricos; entretanto, para o desenvolvimento deste trabalho, foram utilizados 1 posto fluviométrico localizado no Rio Jacaré-Guaçu e 4 postos pluviométricos, selecionados de acordo com a maior proximidade dos pontos de amostragem da CETESB, disponibilidade de dados mais recentes e em atividade. O posto fluviométrico utilizado, possui como classificação a sigla DAEE 5C-013 e os postos pluviométricos utilizados possuem como classificação, de acordo com a régua do DAEE, os seguintes códigos: C5-081, C5-124, D4-037 e D4-106.

Estes postos localizam-se, respectivamente, Chácara Santo Expedito, no município de Ibitinga/SP, latitude (S) 21° 47' 07" e longitude (O) 48° 46' 48"; no município de Araraquara/SP, na rodovia SP-255, latitude (S) 21° 52' 00" e longitude (O) 48° 16' 31"; no município de Itirapina/SP, Visconde de Rio Claro, Latitude 22° 08' 54" (S) e longitude (O) 47° 47' 42"; São Carlos/SP, Fazenda Santa Barbara, latitude (S) 22° 05' 38" e longitude (O) 47° 58' 30". Na Figura 7 pode ser visualizada a distribuição dos postos pluviométricos, juntamente com os pontos de monitoramento da CETESB, objeto deste estudo.

**Figura 7: Postos pluviométricos DAEE e pontos de monitoramento da CETESB.**



Fonte: Autor (2020), com base em FEHIDRO (2016); CETESB (2017); Souza e Galvani (2017); DAEE (2018); Marcuzzo, Manzione e Wendland (2018).

Os dados pluviométricos foram obtidos junto ao sistema e relatórios do DAEE, Serviço Geológico do Brasil – CPRM, artigos e trabalhos relacionados a área de estudo. Os dados dos parâmetros de IQA e IVA, bem como os valores pluviométricos e fluviométricos foram executados no *software* Microsoft Excel 2016, os dados obtidos foram utilizados para a elaboração de diversos gráficos para se observar tendências e o comportamento histórico de cada ponto CETESB.

As informações sobre as ETES de Araraquara e São Carlos foram extraídas dos Relatórios de situação do Comitê da Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré (CBH-TJ, 2018) e relatórios da CETESB (CETESB, 2019). As informações acerca da distribuição populacional, percentual de industrialização e economia foram obtidas junto aos sites do IBGE, SEADE e IPEA.

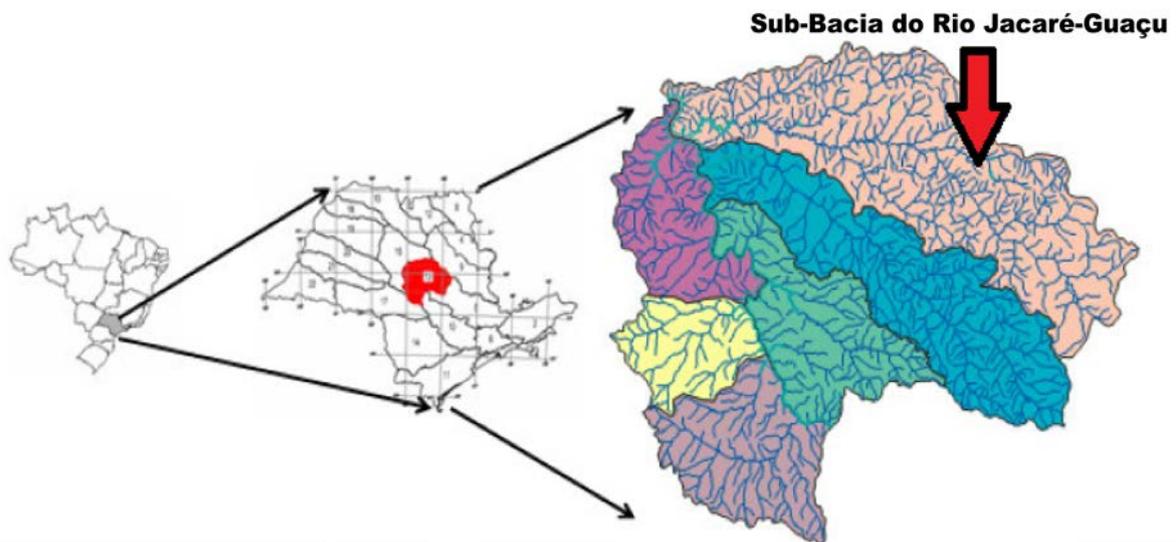
Os mapas da localização da Sub-Bacia JC-GC, municípios, hidrografia, distribuição dos pontos de amostragem da CETESB e postos pluviométricos do DAEE, foram confeccionadas a partir de arquivos obtidos nos bancos de dados do IBGE, Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SIMA), Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR), CETESB e posteriormente modelados no software livre QGIS®. Este é um software multiplataforma de sistema de informação geográfica que permite a visualização, edição e análise de dados georreferenciados.

## 5. OBJETO DE ESTUDO

### 5.1 Localização da Área de Estudo

A Sub-Bacia do Rio Jacaré-Guaçu ( $21^{\circ}37' 22''$  latitude sul e  $47^{\circ}43'48''57'$  longitude oeste) se encontra inserida na bacia do Tietê-Jacaré, região sudeste do Brasil, conforme Figura 8. 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).

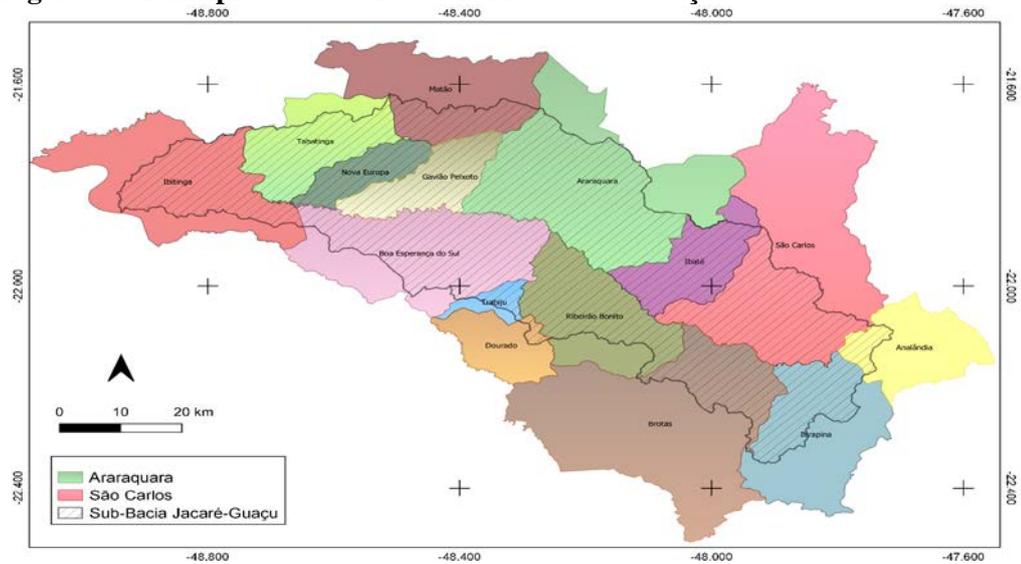
**Figura 8: Localização da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Tietê-Jacaré e suas Sub-Bacias.**



Fonte: Adaptado de Instituto Pró-terra (2013).

Segundo o CBH-TJ (2015) a Sub-Bacia JC-GC possui uma área de aproximadamente 4.183,47 km<sup>2</sup>, representando 35% do total da área da UGRHI 13 (CBH-TJ, 2018). Abrange integralmente os municípios de Nova Europa e Gavião Peixoto e parcialmente os municípios de Araraquara, São Carlos, Ibatinga, Boa Esperança do Sul, Brotas, Analândia, Ibaté, Matão, Ribeirão Bonito, Dourado, Tabatinga, Itirapina e Trabiçu (Figura 9) e, de acordo com dados do IBGE (2019), possui uma população aproximada de 785.127 habitantes.

**Figura 9: Municípios da Sub-Bacia do Rio Jacaré-Guaçu.**



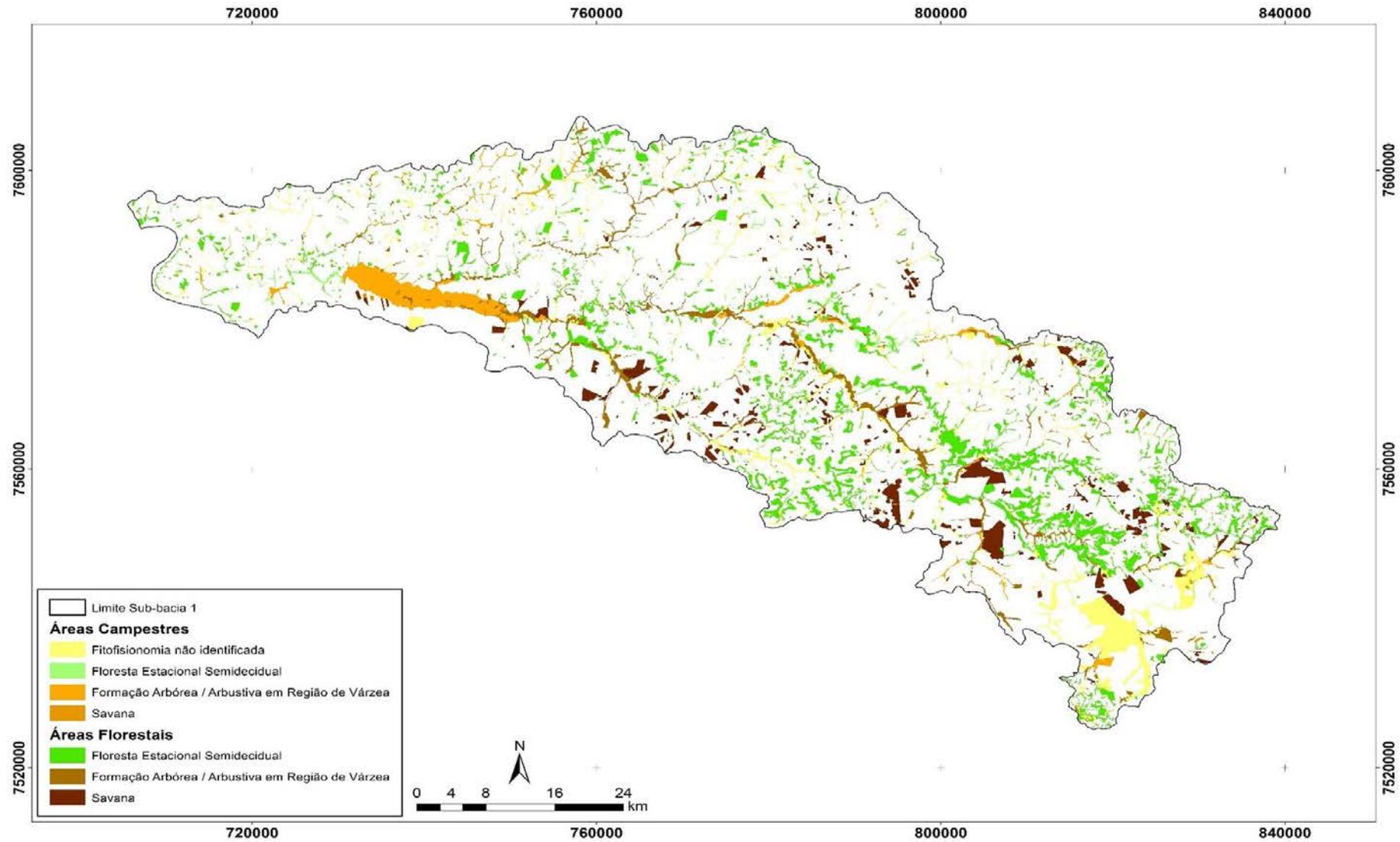
Fonte: Autor (2020), com base em SIMA (2020a).

## 5.2 Vegetação

O remanescente de vegetação natural da Sub-Bacia JC-GC (Figura 10) é composta pela formação de Floresta Estacional Semidecidual e Savana (Cerrado). Veloso et al. (1991) classifica a Floresta Estacional Semidecidual (FES) em uma formação com as representações de florestas variáveis, com elementos arbóreos e arbustivos. Os autores ainda definem, este tipo de vegetação é condicionado pela dupla estacionalidade climática, sendo, verão chuvoso, seguido de estiagens acentuadas e período seco, de acordo com as condições ambientais, ocasionando queda e aumento na temperatura.

O conceito de Savana (Cerrado), de acordo com o Manual Técnico da Vegetação brasileira é:

[...]uma vegetação xeromorfa, que ocorre sob distintos tipos de clima. Reveste solos lixiviados aluminizados, apresentando sinúsias de hemicriptófitos, geófitos, caméfitos e fanerófitos oligotróficos de pequeno porte, com ocorrência em toda a Zona Neotropical e, prioritariamente, no Brasil Central. Em outras partes do País, recebe nomes locais, como: “Tabuleiro”, “Agreste” e “Chapada”, na Região Nordeste; “Campina” ou “Gerais” no norte dos Estados de Minas Gerais, Tocantins e Bahia; e “Lavrado” no Estado de Roraima, entre outras denominações. [...] (IBGE, 2012).

**Figura 10: Vegetação predominante da Sub-Bacia do Rio Jacaré-Guaçu.**

Fonte: CBH-TJ (2016).

O Relatório de Situação de Recursos Hídricos da UGRHI 13 apresentou o percentual de cobertura vegetal da bacia em 8% (CBH-TJ, 2015). Contudo o Plano Diretor de Restauração Florestal do CBH-TJ, apresentou a Sub-Bacia JC-GC como possuindo apenas 10,9% de vegetação nativa remanescente ou aproximadamente 45.500 há (INSTITUTO PRÓ-TERRA, 2013).

O percentual de 2015 é superior ao obtido no Plano de Bacia da UGRHI 13 (2016) onde obteve um valor de 18,98% de vegetação nativa para o total da área da Sub-Bacia JC-GC (CBH-TJ, 2016). Esse percentual (18,98%) é dividido em duas áreas: Áreas Florestais e Áreas Campestres (Quadro 1).

**Quadro 1: Percentual dos remanescentes de vegetação natural da Sub-Bacia do Rio Jacaré-Guaçu.**

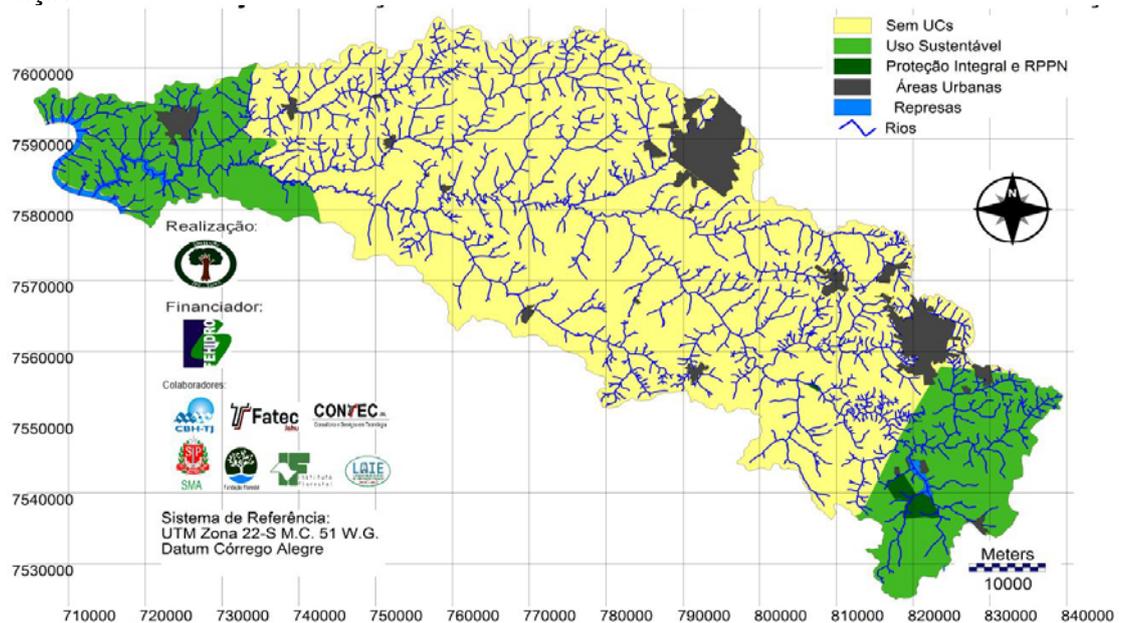
Nível II	Remanescente de Vegetação Nativa	Área (Km <sup>2</sup> )	%	Número de remanescentes por classe de superfície					
				< 1 Km <sup>2</sup>	1 - 2 Km <sup>2</sup>	2 - 10 Km <sup>2</sup>	10 - 20 Km <sup>2</sup>	> 20 Km <sup>2</sup>	Total
Área Campestre	Fitofisionomia não identificada	158,7670	3,81	657	13	6	0	1	677
	Floresta Estacional Semidecidual	16,6008	0,40	141	0	1	0	0	142
	Formação Arbórea / Arbustiva em Região de Várzea	80,3751	1,93	103	7	2	0	2	114
	Savana	2,6256	0,06	25	0	0	0	0	25
	<b>Total de Área Campestre</b>	<b>258,3685</b>	<b>6,20</b>	<b>926</b>	<b>20</b>	<b>9</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>958</b>
Área Florestal	Floresta Estacional Semidecidual	319,1981	7,66	1251	25	17	2	3	1298
	Formação Arbórea / Arbustiva em Região de Várzea	101,1016	2,43	310	9	13	0	0	332
	Savana	112,4653	2,70	263	14	10	0	0	287
	<b>Total de Área Florestal</b>	<b>532,7650</b>	<b>12,78</b>	<b>1824</b>	<b>48</b>	<b>40</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1917</b>
<b>Área dos Remanescentes de Vegetação Nativa na Sub-bacia 1</b>		<b>791,1335</b>	<b>18,98</b>	<b>2750</b>	<b>68</b>	<b>49</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>2875</b>
<b>Área da Sub-bacia 1</b>		<b>4.168,0200</b>	<b>100,00</b>	-	-	-	-	-	-

Fonte: CBH-TJ (2016).

A Sub-Bacia JC-GC apresenta 4 Unidades de Conservação (UC), como a Estação Ecológica (EEC) de Itirapina e Mata do Jacaré (Brotas e São Carlos), área de uso sustentável como as áreas de proteção ambiental (APA) de Ibitinga e Corumbataí-Botucatu-Tejupá (Figura 11).

As APA's Corumbataí, Botucatu e Tejupá possuem grande parte de sua área de proteção na UGRHI 13. Essa área foi criada pelo Decreto Estadual nº. 20.960, de 8 de junho de 1983, a qual visa à proteção das Cuestas Basálticas, Morros Testemunhos das formações geomorfológicas locais, Aquífero Guarani e o patrimônio arqueológico, além da vegetação natural e fauna. A APA Ibitinga foi criada pela Lei Estadual nº 5.536, de 20 de janeiro de 1987, com o intuito de proteção as várzeas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira (SÃO PAULO, 2011).

**Figura 11: Sub-Bacia do Rio Jacaré-Guaçu e afluentes diretos do Rio Tietê: Unidades de Conservação.**



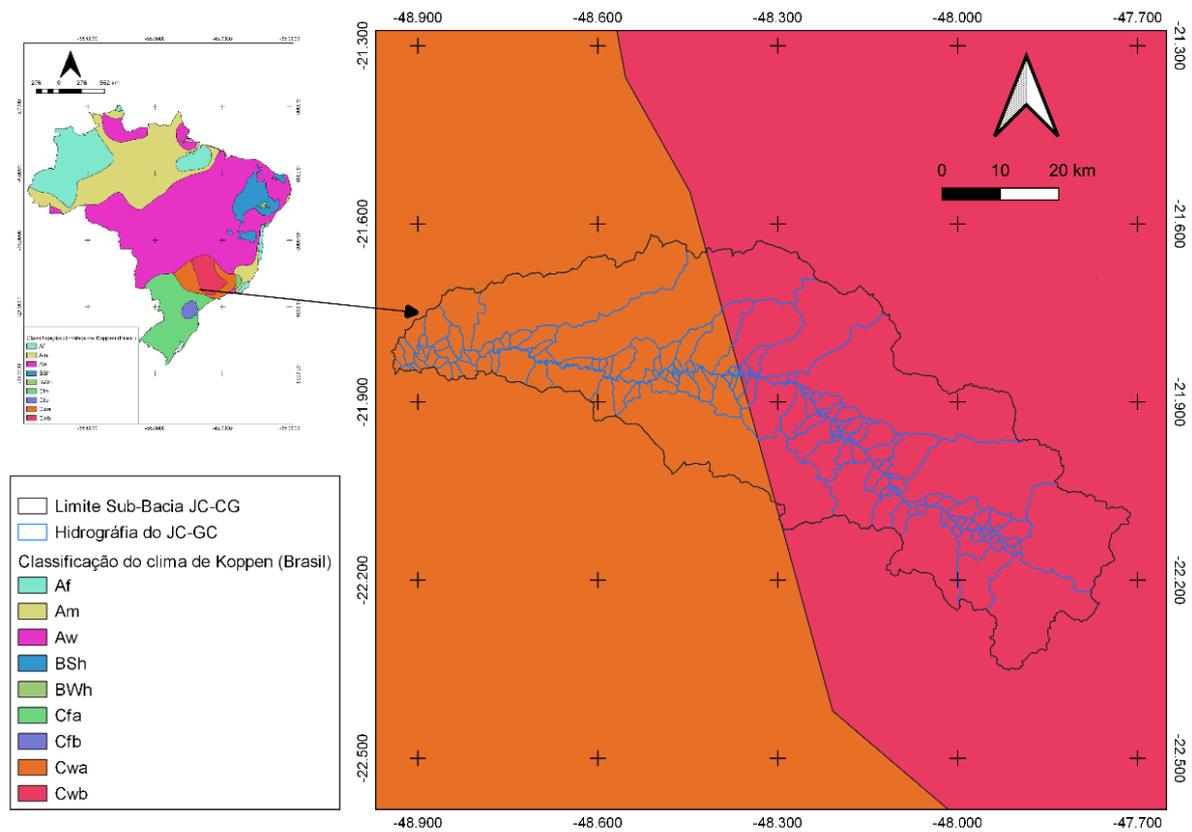
Fonte: Instituto Pró-Terra (2013).

A Sub-Bacia JC-GC apresentou 78,33% de sua área como áreas sem UC's, restando apenas 0,55% com Proteção Integral e 21,12% com uso sustentável (CBH-TJ, 2013). O Plano Diretor de Restauração Florestal da UGRHI 13 (VERTIVER, 2016) apontou que cerca de 66,4% das Áreas de Proteção Permanente encontram-se em processo de degradação, reforçado pela deliberação do CBH-TJ, sendo classificadas como áreas críticas ou muito críticas (CBH-TJ, 2015; CBH-TJ, 2020).

### 5.3 Clima

O clima, pela classificação de Köppen (Figura 12), está entre subtropical úmido (Cwa), outubro a março, e inverno seco (Cwb), abril a setembro. A média anual de precipitação da Sub-Bacia JC-GC varia entre 1.313 e 1.680 mm (SOUZA & GALVANI, 2017). A temperatura média anual oscila entre 15°C e 22°C IBGE (2002).

**Figura 12: Classificação de Koppen na Sub-Bacia do Jacaré-Guaçu.**

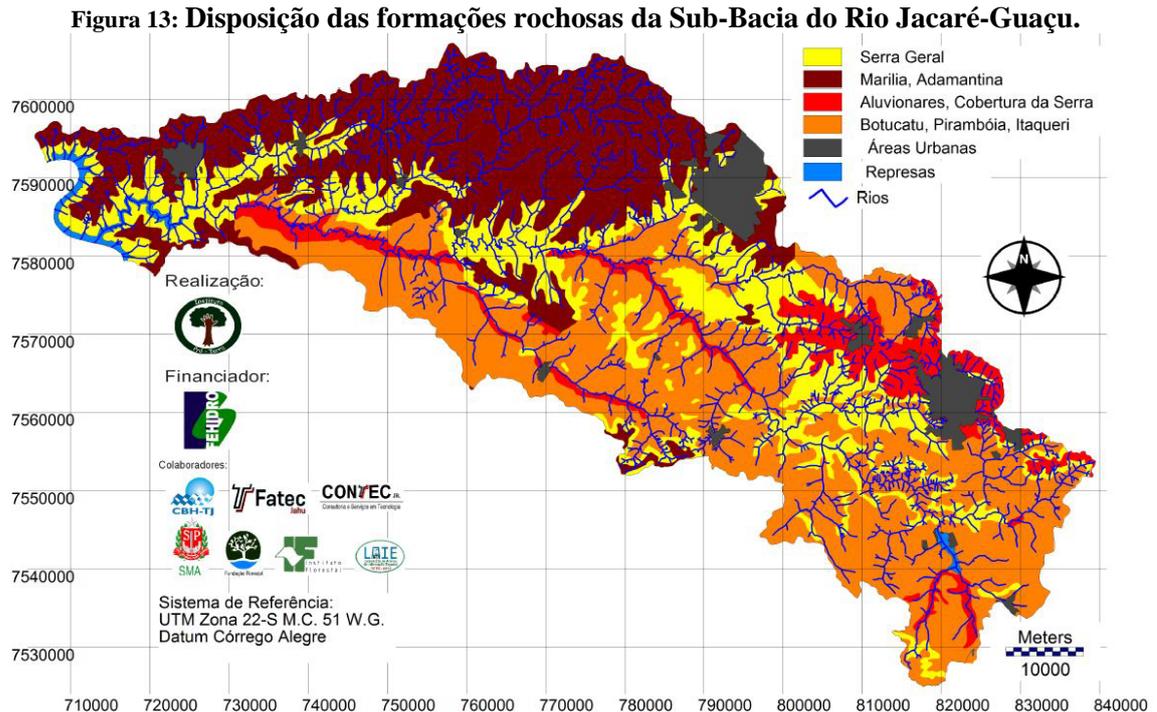


Fonte: Autor (2020) com base em Alvares et al. (2013) / Koppen.

#### 5.4 Geologia, Geomorfologia e Pedologia

A Sub-Bacia JC-GC, de acordo com Perrota et al. (2005), se encontra sobre as formações rochosas Serra Geral, Botucatu, Vale do Rio do Peixe, Pirambóia, Itaqueri e Corumbataí. Depósitos aluvionares e colúvio alúvionares também são encontrados, sobretudo no alto curso da bacia e próximo às redes de drenagem (Figura 13).

Na Sub-Bacia, a distribuição percentual é de 38,02% para a formação Botucatu, Pirambóia, Itaqueri; 30,04% para Marília, Adamantina; 22,91% Serra Geral; e 9,04% para Aluvionares, Cobertura da Serra (INSTITUTO PRÓ-TERRA, 2013).



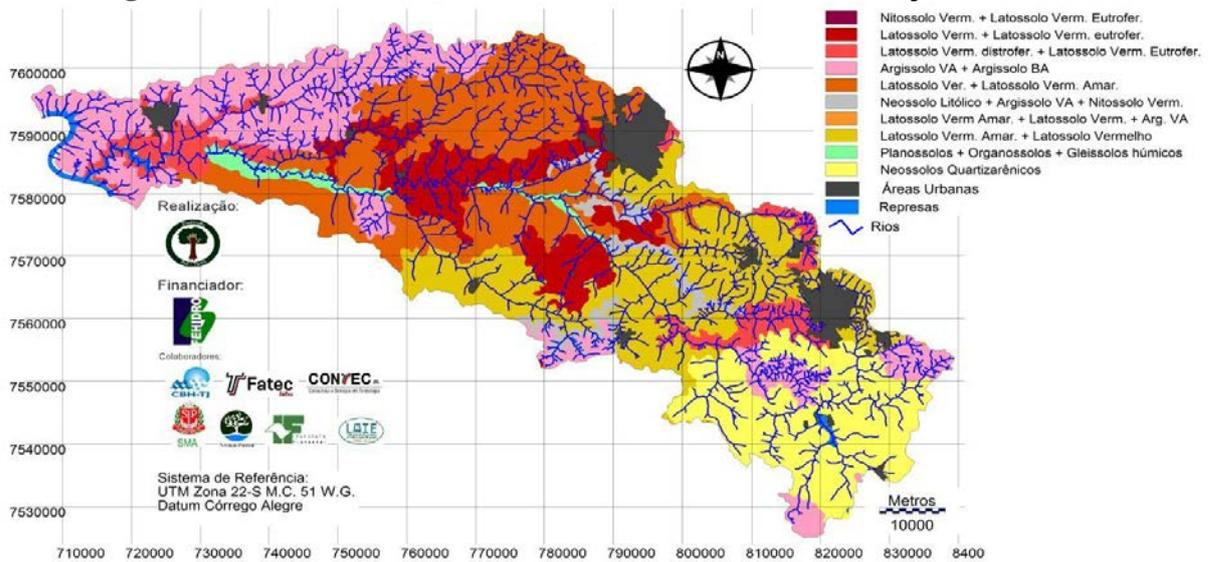
Fonte: Instituto Pró-Terra (2013).

A Sub-Bacia JC-GC localiza-se na Bacia Fanerozoica, com a denominação de Planalto Ocidental Paulista (SOUZA, GALVANI, 2017). Predominam os solos, de acordo com o mapa pedológico de São Paulo, Latossolos (Vermelho e Vermelho Amarelo), Argissolo Vermelho Amarelo, Neossolos (Litólico e Quartzarênico), Gleissolo Háplico, Planossolo Háplico e Organossolo Háplico.

A distribuição percentual desses solos (vide Figura 14) se dá, segundo o Instituto Pró-Terra (2013), da seguinte forma:

- 23,67% para os Latossolos vermelho e amarelo / Latossolo vermelho.
- 20,44% para Latossolo V / Latossolo VA.
- 19,78% Latossolos Verm. distrof. e eutrof.
- 14,10% Neossolo Quartzarênicos / LVA.
- 10,24% Planossolos, Organossolos, Gleissolos húmicos.
- 7,03 % Latossolos VA / Latossolos V / Argissolo VA.
- 2,91% Latossolos Verm / Latossolo Verm. eutrof.
- 1,82% Argissolos VA / Argissolos BA.
- 0,01% Neossolos Litólicos / Arg VA / Nit Verm.

**Figura 14: Classe de solos da Sub-Bacia do Rio Jacaré-Guaçu.**



Fonte: Instituto Pró-Terra (2013).

As características dos solos afetam a forma como os corpos d'água podem sofrer influência. O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, define o Latossolo como, poroso, profundo, com boa drenagem e com boa permeabilidade, são passíveis de utilização com culturas anuais, perenes, pastagens e reflorestamento (EMBRAPA, 2018). Este solo deve ter uma atenção especial, principalmente ao pisoteio animal, possibilitando a exposição deste solo e seu ressecamento (CBH-TJ, 2016).

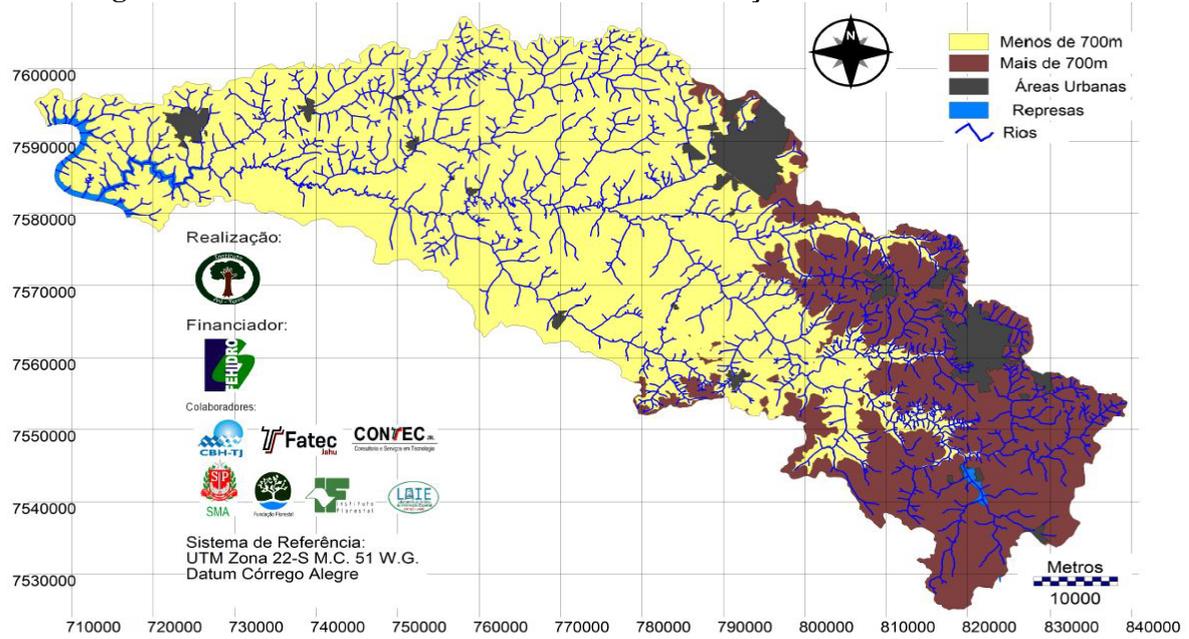
Os Neossolos Quartzarênicos são, de acordo com o Instituto Agrônomo (IAC) solos associados a vegetação de cerrado e floresta estacional, são solos de elevada permeabilidade, baixa retenção de água e nutrientes, e alta suscetibilidade a erosão (IAC, 2020).

Os argissolos apresentam elevada suscetibilidade à erosão devido à sua natureza pouco coesa em superfície, combinada a menor permeabilidade nos horizontes subsuperficiais (IAC, 2020).

### Altitude

De acordo com o Plano Diretor de Restauração Florestal da UGHRI Tietê-Jacaré (2013), a altitude da Sub-Bacia JC-GC está, predominantemente, abaixo dos 700 m, representando 71,38% da área da Sub-Bacia e áreas com altitudes superiores a 700 m, representam 28,62% do total da sua área (Figura 15).

**Figura 15: Altitude da Sub-Bacia do Rio Jacaré-Guaçu.**

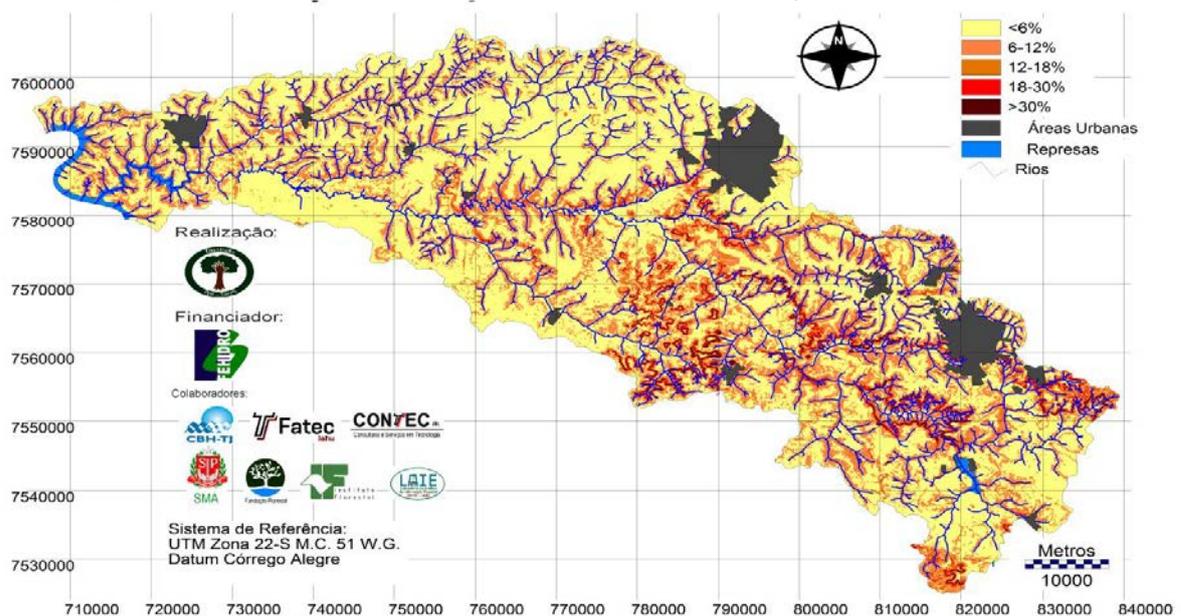


Fonte: Instituto Pró-Terra (2013).

### Declividade e Erosão

A declividade da Sub-Bacia JC-GC (Figura 16) é majoritariamente menor que 6%, ocupando uma área (ha) de 265.169 ou 63,56% do JC-GC. A má utilização dos solos aliadas à sua baixa declividade podem proporcionar processos erosivos (VETIVER et al., 2016).

**Figura 16: Declividade da Sub-bacia do Rio Jacaré-Guaçu.**



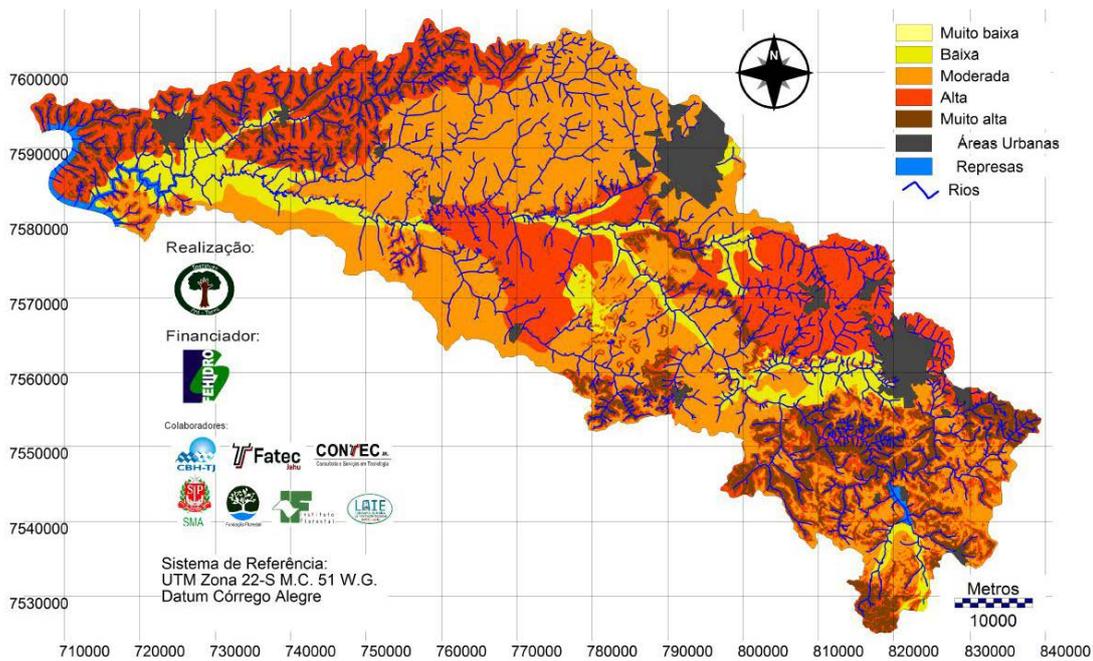
Fonte: Instituto Pró-terra (2013).

Erosão é o nome dado aos processos de remoção, degradação do solo ou fragmentação da rocha por ações físicas, químicas e/ou biológicas, isso se dá, através do vento, água, organismos e plantas (IPT, 1986).

O controle de processos erosivos é parte integrante da gestão dos recursos hídricos e possui especial relevância no Estado de São Paulo, onde a maior parte do território apresenta elevada suscetibilidade natural à erosão devido às suas características geológicas e pedológicas (Figura 17).

De acordo com o Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH) 2020-2023, a vegetação inibe, minimiza ou adia a erosão do solo, por facilitar a infiltração das águas pluviais e auxiliar na retenção das partículas superficiais do solo durante o escoamento. Áreas rurais, que apresentem remoção da vegetação nativa, solo exposto, compactado e empobrecimento, decorrentes, principalmente por monoculturas, aumentam a ocorrência de processos erosivos (SIMA, 2020b).

**Figura 17: Suscetibilidade a Erosão na Sub-Bacia do Rio Jacaré-Guaçu.**



Fonte: Instituto Pró-Terra (2013).

Todos os municípios que se encontram na Sub-Bacia JC-GC apresentaram ocorrências de processos erosivos, sejam urbanos ou rurais, acendendo o alerta e atenção especial a essa Sub-Bacia (IPT, 2012).

O Plano de Bacias da UGHRI 13 destaca ainda, com relação a aptidão dos solos, que existem três tipos de condições do solo, sendo que, quanto melhor for a qualidade do solo,

menor seria sua limitação para uso de uma atividade a ser desenvolvida. Seguindo essa divisão proposta, o relatório classifica a aptidão dos solos da Sub-Bacia JC-GC como sendo regular e restrita. Os dois principais municípios da Sub-Bacia, se encontram na faixa de aptidão dos solos, como restrita para São Carlos e regular/restrita para Araraquara. O município de Ibitinga, local de um dos pontos da CETESB, se encontra na faixa de aptidão regular (CBH-TJ, 2016).

### **5.5 Economia e Demografia**

De acordo com a CETESB (2010) o Rio Jacaré-Guaçu está inserido em uma área em industrialização e do setor agropecuário. Segundo a Cooperativa de Pesquisas Tecnológicas e Industriais (CPTI) em seu Relatório Técnico de 2008, a economia da Sub-Bacia JC-GC se distribuía em bebidas, papel, tecidos, metal mecânica, entretanto, tem como destaque indústrias sucro-alcooleiras e citricultura. O escoamento dessa indústria ocorria, especialmente, pela Rodovia Washington Luiz (SP-310), entre outras, que cortam a Sub-Bacia. Segundo a Secretária de Infraestrutura e Meio Ambiente (SIMA) em seu Relatório de Qualidade Ambiental (RQA) no ano de 2019, esta Sub-Bacia possui arranjos produtivos locais, como, por exemplo, os bordados na cidade de Ibitinga (SÃO PAULO, 2019)

A Sub-Bacia do Rio Jacaré-Guaçu é cortada pelo gasoduto Bolívia-Brasil, atravessando os municípios de: Gavião Peixoto, Ribeirão Bonito, Ibaté, Itirapina, Ibitinga, Boa Esperança do Sul, Araraquara e São Carlos (INSTITUTO PRÓ-TERRA, 2013).

Costa (2016) relata que a Sub-Bacia conta ainda com extensas áreas de pastagens para a criação de gado e áreas de reflorestamento com a cultura de *Pinus spp.* e *Eucalyptus spp.*, destinados à produção de celulose. O desenvolvimento da agricultura possibilitou a vinda de indústrias, especificamente, para o processamento da cana de açúcar e produtos oriundos da citricultura.

Os principais municípios da Sub-Bacia JC-GC, Araraquara e São Carlos, possuem um grau de urbanização, respectivamente, em 97,16% e 96% (SEADE, 2020), esses valores seguem o percentual de industrialização da UGHRI 13, sendo de 96,39% (SEADE, 2019). O percentual de participação da indústria e da agropecuária na economia desses municípios é de 18,87% e 2,5% para Araraquara e de 32,88% e 1,61% para São Carlos (SEADE, 2017). O percentual do total de empregos formais, para a indústria, representa 19,83% e 23,65%; já para o setor agropecuário 1,46% e 3,18% (SEADE, 2018). Outro ponto se dá no crescimento populacional (Quadro 2) desses municípios, a partir da década de 70, através dos incentivos a

industrialização, apresentaram valores populacionais expressivos, frente à década anterior e mais que o dobro na década de 90.

**Quadro 2: Crescimento populacional dos municípios de Araraquara e São Carlos (1960 a 2018)**

<b>Censo (Araraquara / São Carlos)</b>	<b>População (Habitantes) Araraquara / São Carlos</b>
<b>1960</b>	81.600 / 61.287
<b>1970</b>	100.438 / 85.425
<b>1980</b>	127.573 / 119.012
<b>1990</b>	162.355 / 153.762
<b>2000</b>	182.238 / 192.923
<b>2010</b>	208.429 / 221.692
<b>2018</b>	224.389 / 238.834

Fonte: Fundação SEADE (2020) / IBGE – Censos Demográficos.

O PIB paulista nos anos 70, com um crescimento de 7,5% ao ano corroborou a expansão da indústria no estado de São Paulo, pois a produção agropecuária alcançava certo espaço no mercado internacional pelo dinamismo agroindustrial, dentre eles, pela expansão da produção energética pelo Programa Nacional do Alcool - PROÁLCOOL (NEGRI, 1991).

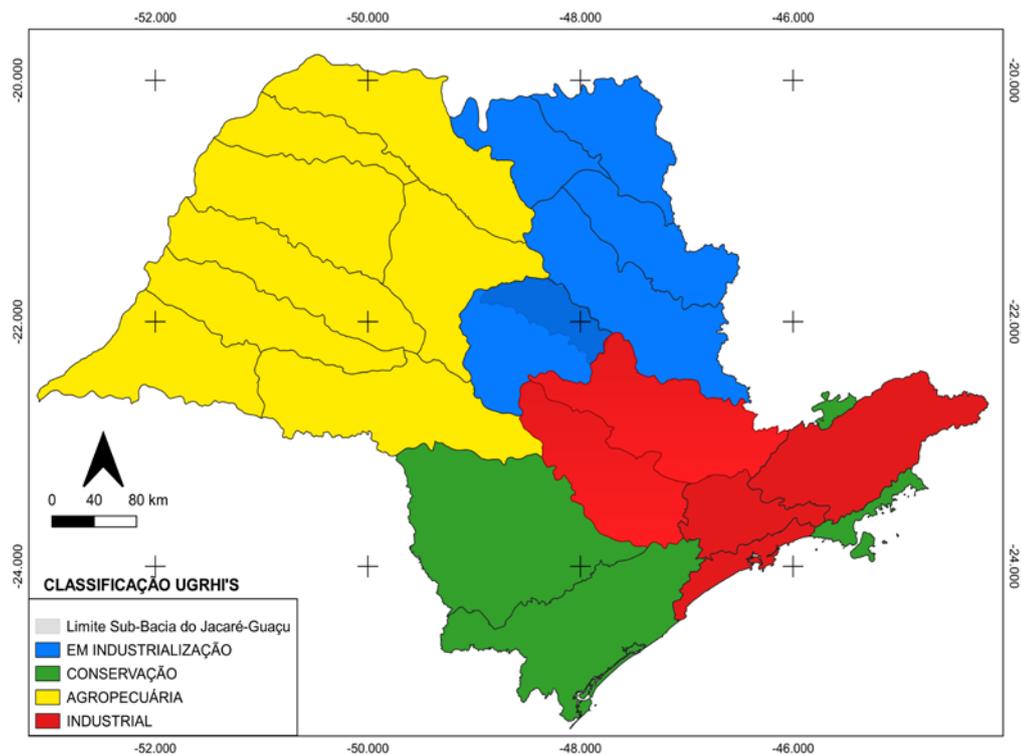
Para se compreender potenciais variações sofridas pelos índices utilizados, considerando o crescimento populacional e mudança econômica, deve-se entender a disposição de uso e ocupação do espaço na Sub-Bacia JC-GC. O uso e ocupação do solo constitui a representação da distribuição das paisagens das formações naturais e de áreas com influências antrópicas, influenciando os meios físicos e bióticos existentes, expressando uma dinâmica temporal, espacial e de interação de inúmeros fatores.

A identificação das alterações ocorridas ao longo do tempo, quanto a ocupação da terra nas bacias hidrográficas, são primordiais para uma boa gestão, planejamento territorial e utilização dos recursos naturais dessa bacia (SOUZA, GALVANI, 2017; WALLING, 2005). O uso e ocupação do solo de uma bacia pode impactar diretamente na qualidade ambiental desta, especialmente nos corpos d'água. Influenciam a qualidade da água de uma bacia hidrográfica, mesmo com suas condições naturais preservadas, pois a composição da água pode ser afetada pela declividade superficial e infiltração no solo de defensivos agrícolas (SANTOS et al., 2018).

## 5.6 Uso e Ocupação do Solo

A vegetação natural da Sub-bacia do Jacaré-Guaçu, segundo Tundisi et al. (2018), vem sofrendo uma redução e fragmentação, resultando em impactos ambientais negativos na Sub-bacia e influenciando serviços ecossistêmicos desta área. Essa redução pode estar relacionada a vocação da Sub-Bacia JC-GC que, segundo a CETESB, é categorizada como uma área em industrialização (Figura 18). Entretanto, esta bacia possui historicamente vocação de uso agrícola, principalmente a citricultura, posteriormente substituída em grande parte pela cana de açúcar.

**Figura 18: Classificação das UGRHI's do estado de São Paulo quanto ao uso do solo.**



Fonte: Adaptado de CETESB (2015)

A Sub-Bacia JC-GC pode ser melhor compreendida através das divisões de classes do uso da terra, que foram propostas em 2016 na Elaboração do Plano de Bacias da UGRHI 13, pelo Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO) junto ao CBH-TJ. Esse plano obteve as informações para a modelagem dos dados, tanto de forma gráfica, quanto representação cartográfica pelos seguintes períodos (Quadro 3):

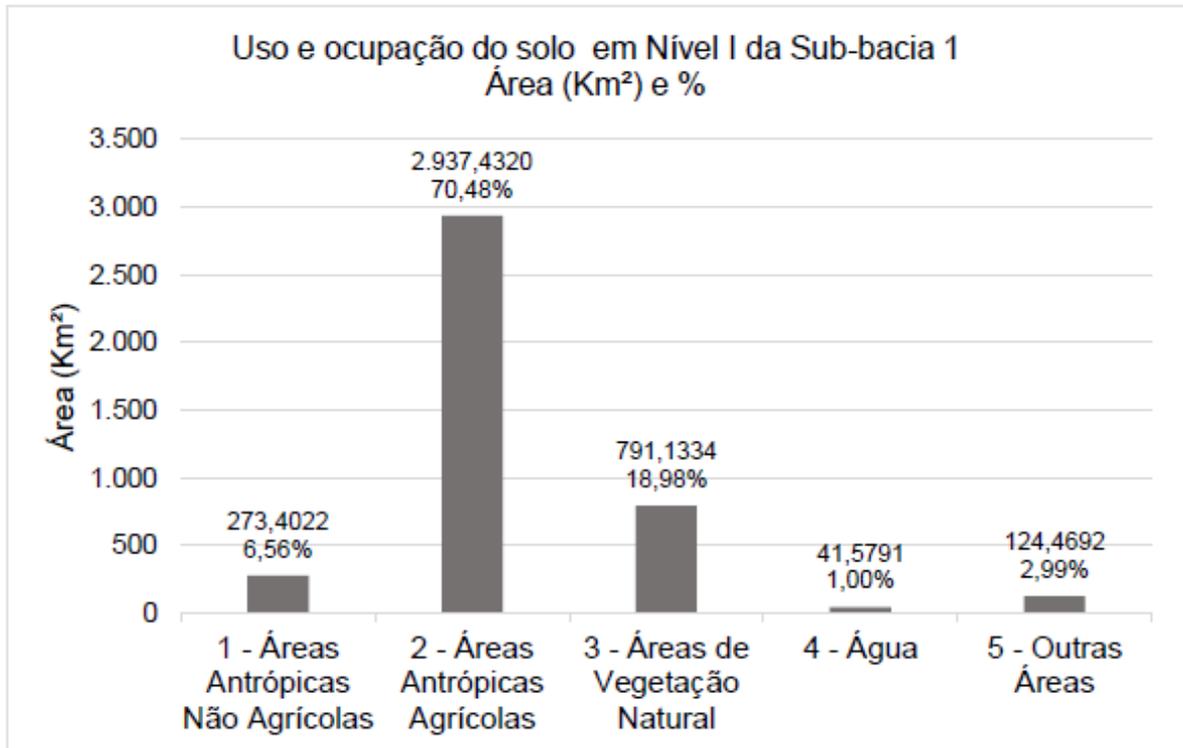
**Quadro 3: Período de referências para a modelagem de mapas e gráficos de uso e ocupação do solo da Sub-Bacia do Rio Jacaré-Guaçu.**

Base topográfica referente as áreas urbanas e limites municipais: Estudos e Pesquisas Estruturais e Especiais - Perfil dos Municípios Brasileiros do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE,2015).
Rede hidrográfica (drenagens): Plano Diretor de Restauração Florestal para fins de Conservação de Biodiversidade e Recursos Hídricos da UGRHI Tietê-Jacaré (PDRF-TJ) - Processo FEHIDRO TJ 175/2009.
Área de cana-de-açúcar no estado de São Paulo por município (2003 a 2010): junto ao Projeto CANASAT-INPE (2011) / áreas de café - projeto CAFESAT.
Áreas de Reflorestamento Comercial ( <i>Pinus</i> , <i>Eucalyptus</i> e outros), no Estado de São Paulo: base topográfica (Zoneamento Econômico Florestal do Estado de São Paulo, 1975), Inventário Florestal do Estado de São Paulo – Instituto Florestal (1993) e Inventário Florestal das áreas reflorestadas do Estado de São Paulo (2002) e Inventario Florestal do Estado de São Paulo (2010).
Base topográfica de áreas de vegetação natural: Inventario Florestal da Vegetação Natural o Estado de São Paulo (2010), base para o mapeamento de uso e ocupação do solo da UGRHI-13.
Unidades de Conservação: extraídas da base topográfica disponibilizada pelo Instituto Florestal e a Fundação Florestal da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, e classificadas de acordo com Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC - LEI 9.985/2000) e United Nations Environment Programme (UNEP).
Sistema Integrado de Gestão Ambiental – SIGAM: Secretaria de Meio Ambiental do Estado de São Paulo em parceria com a CETESB forneceu a base topográfica dos dados referentes as outras áreas protegidas cadastradas no Cadastro Ambiental Rural até a data de Agosto/2016 no que diz respeito a Reserva Legal.

Fonte: Autor (2021), com base em CBH-TJ (2016).

No Plano de Bacia considera-se a Sub-Bacia 1 como sendo a Sub-Bacia do Rio Jacaré-Guaçu. De acordo com a divisão de classes (5 áreas), é possível observar de forma macro que, áreas antrópicas, especialmente agrícolas, representam nessa Sub-Bacia, aproximadamente 70% do seu território, as demais classes são distribuídas, respectivamente, em: Áreas de vegetação natural (18,98%), Áreas antrópicas não agrícolas (6,56%), outras áreas (2,99) e Água (1%) (Figura 19).

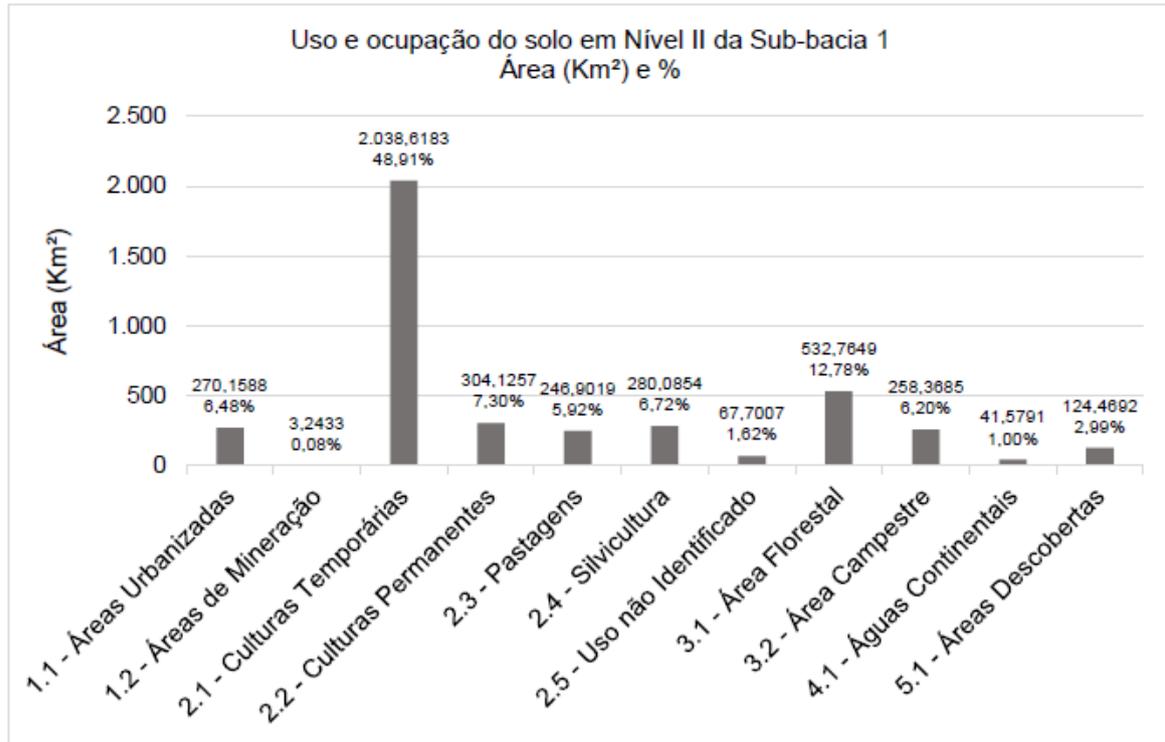
**Figura 19: Representação gráfica das classes do uso da terra nas áreas da Sub-Bacia do Rio Jacaré-Guaçu.**



Fonte: VETIVER et al. (2016).

Segundo o Plano Diretor de Restauração Florestal da UGRHI Tietê-Jacaré (INSTITUTO PRÓ-TERRA, 2013), a Sub-Bacia JC-GC apresenta, a partir das classes do uso da terra, sub-classes, dentre essas, destaca-se, aproximadamente, 49% de sua área voltada a produção de culturas temporárias, sendo seu grande representante, a monocultura da cana de açúcar, 12,78% para áreas florestais e menos que 7% para áreas urbanizadas (Figura 20). As demais subclasses estão distribuídas, percentualmente em: Áreas de mineração (0,08%), culturas permanentes (7,30%), pastagens (5,92%), silvicultura (6,72%), uso não identificado (1,62%), área campestre (6,20%), águas continentais (1%) e áreas descobertas (2,99%) (INSTITUTO PRÓ-TERRA, 2013).

**Figura 20: Representação gráfica das subclasses do uso da terra nas áreas da Sub-Bacia do Jacaré-Guaçu.**

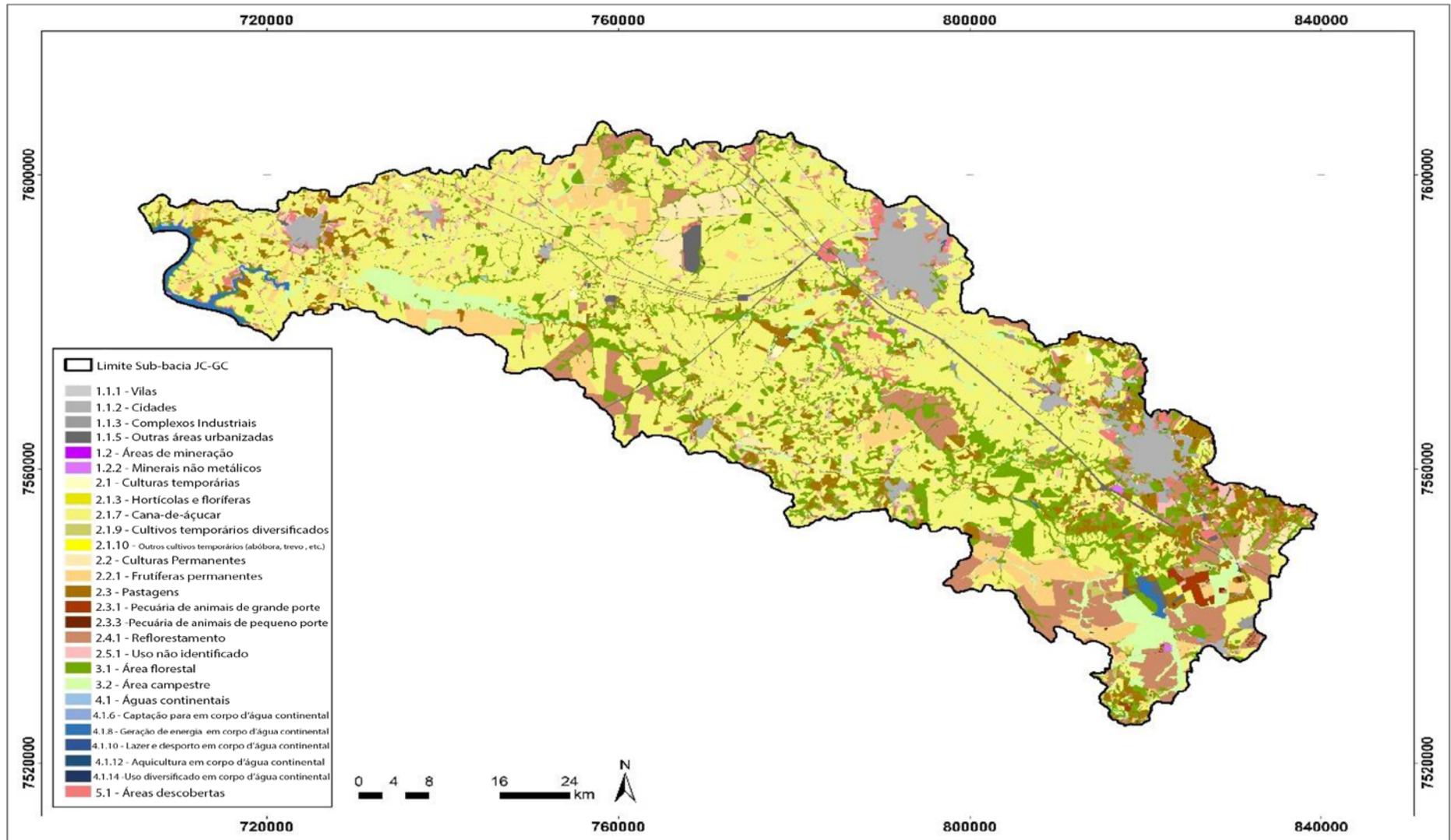


Fonte: VETIVER et al. (2016).

A Figura 21 apresenta o mapa de uso do solo na Sub-Bacia JC-GC, que consta do Plano de Bacia da UGRHI 13 (VETIVER et al., 2016).

Pode-se observar pelas Figuras 19, 20 e 21 a vocação agrícola da Sub-Bacia JC-GC, mesmo estando inserida em uma UGRHI classificada como “em industrialização”, quando se adota a concepção geral dessa palavra, pois, conforme os dados apresentados, nota-se que, aproximadamente, metade da Sub-Bacia é destinada para atividades de cultivo.

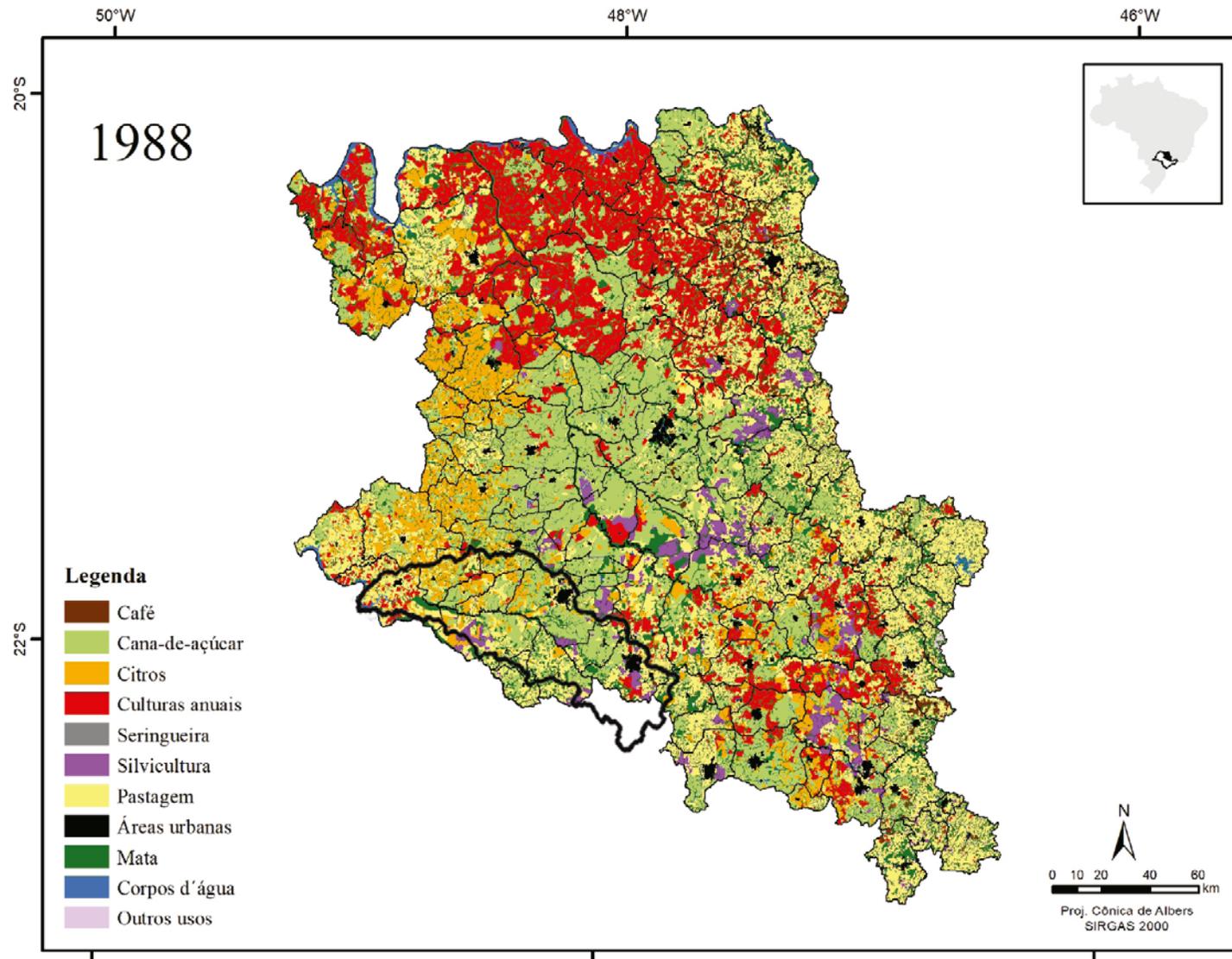
Figura 21: Mapa geral de uso e ocupação do solo nas áreas da Sub-Bacia do Rio Jacaré-Guaçu.



Fonte: Adaptado de VETIVER et al. (2016).

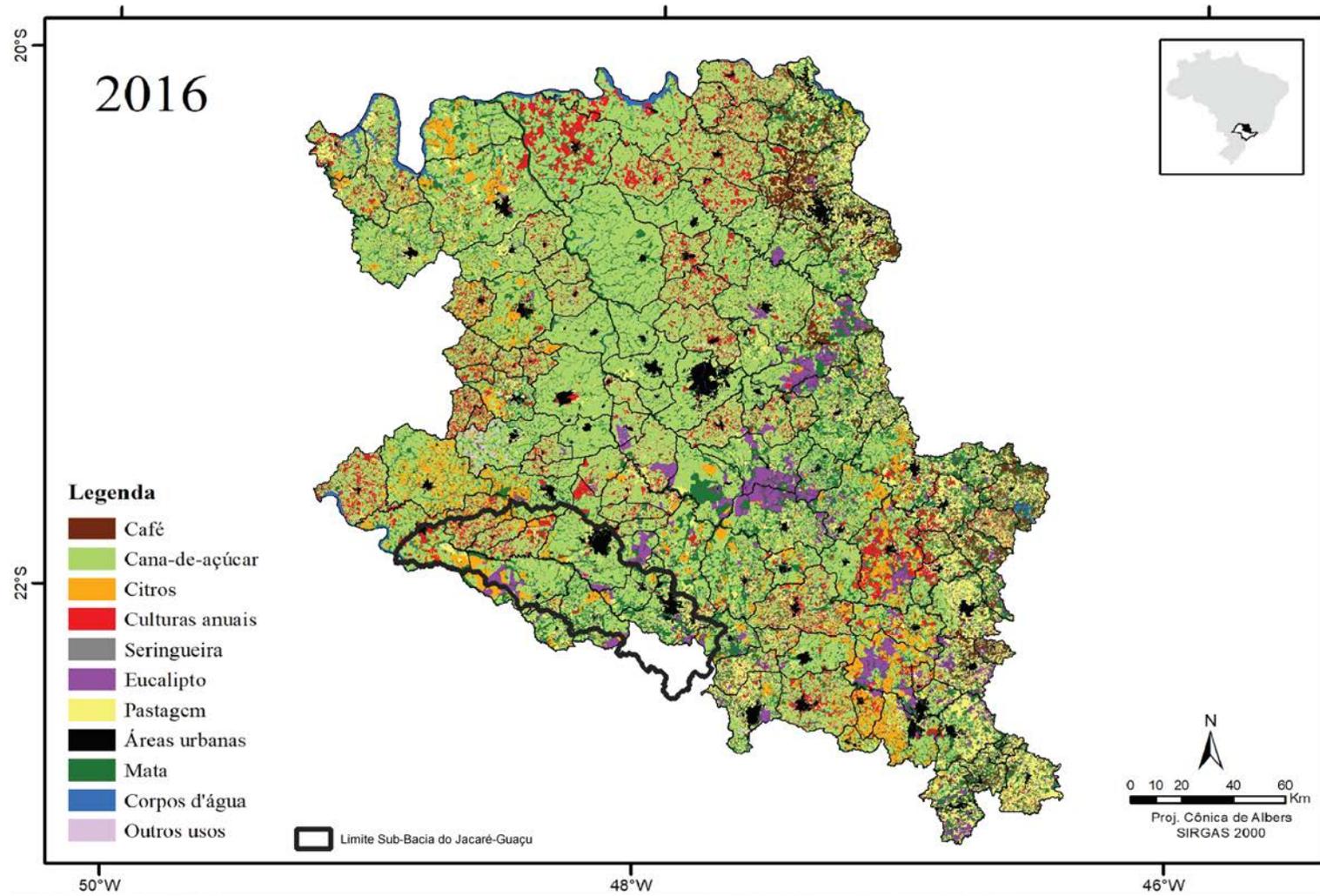
A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) apresentou em 2018 um comparativo de uso da terra na região noroeste do Estado de São Paulo, onde é possível observar também a Sub-Bacia do Rio Jacaré-Guaçu. A comparação do uso e ocupação do solo foi realizada para os anos de 1988 e 2016 (Figuras 22 e 23), sendo possível observar a retração da citricultura e expansão da cana de açúcar, sendo reflexo do PROÁLCOOL (EMBRAPA, 2018).

Figura 22: Mapa da mudança de uso e cobertura da terra na região nordeste do estado de São Paulo em 1988.



Fonte: Adaptado de EMBRAPA (RONQUIM, 2018).

Figura 23: Mapa da mudança de uso e cobertura da terra na região nordeste do estado de São Paulo em 2016.

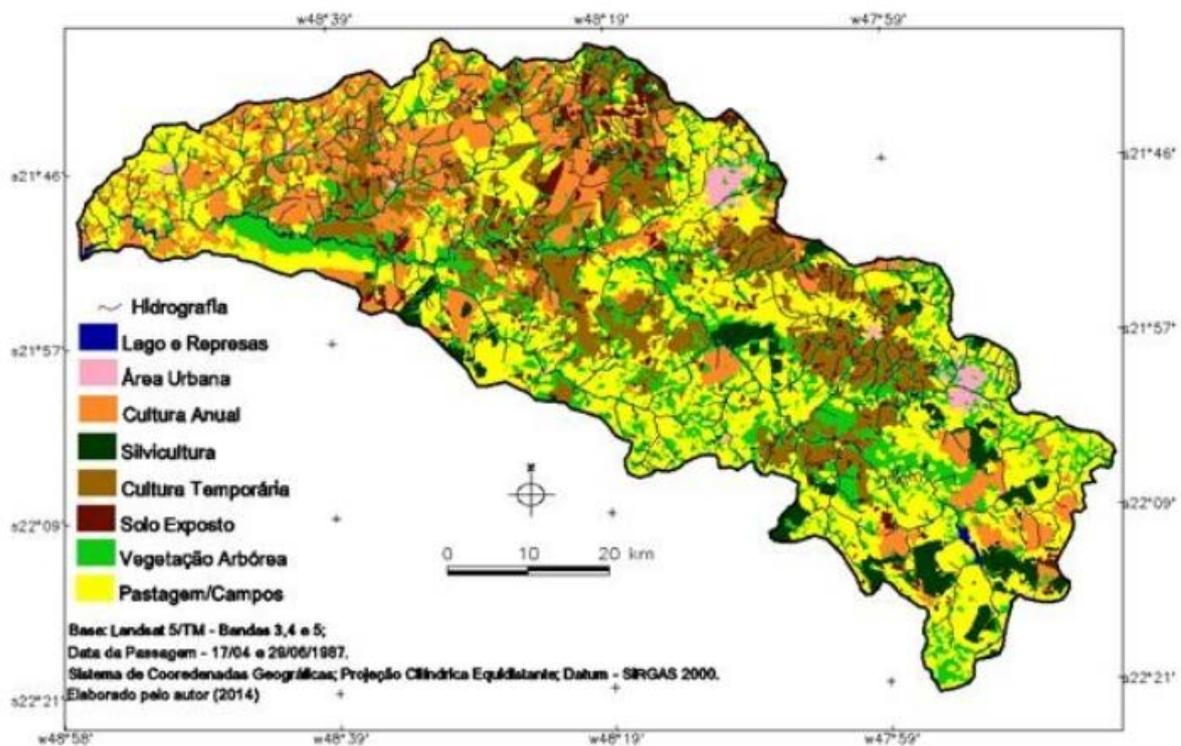


Fonte: Adaptado de EMBRAPA (RONQUIM, 2018).

Outros trabalhos (RUDORFF et al., 2010; CAMARA, CALDARELLI, 2016) corroboram a retração de outras culturas frente a expansão da cana de açúcar. O trabalho de Souza (2016) sobre a Análise do uso e ocupação da Terra na Bacia do Rio Jacaré-Guaçu entre 1987, 2004 e 2013, concluiu que a ocupação do solo pela cultura agrícola temporária obteve um crescimento expressivo. O autor obteve resultados apontando uma diminuição da cultura temporária do ano de 1987 (16,9%) para o ano de 2004 (12,4%), entretanto, a partir de 2004, ocorreu um crescimento até o ano de 2013, alcançando 32,3%. O estudo ainda discorre que, os solos expostos também são utilizados para o plantio da cana de açúcar, as áreas de pastagens também obtiveram uma mudança para a cultura temporária, outras áreas, como, de vegetação e cultura anual perderam espaço para a monocultura (Figuras 24, 25 e 26).

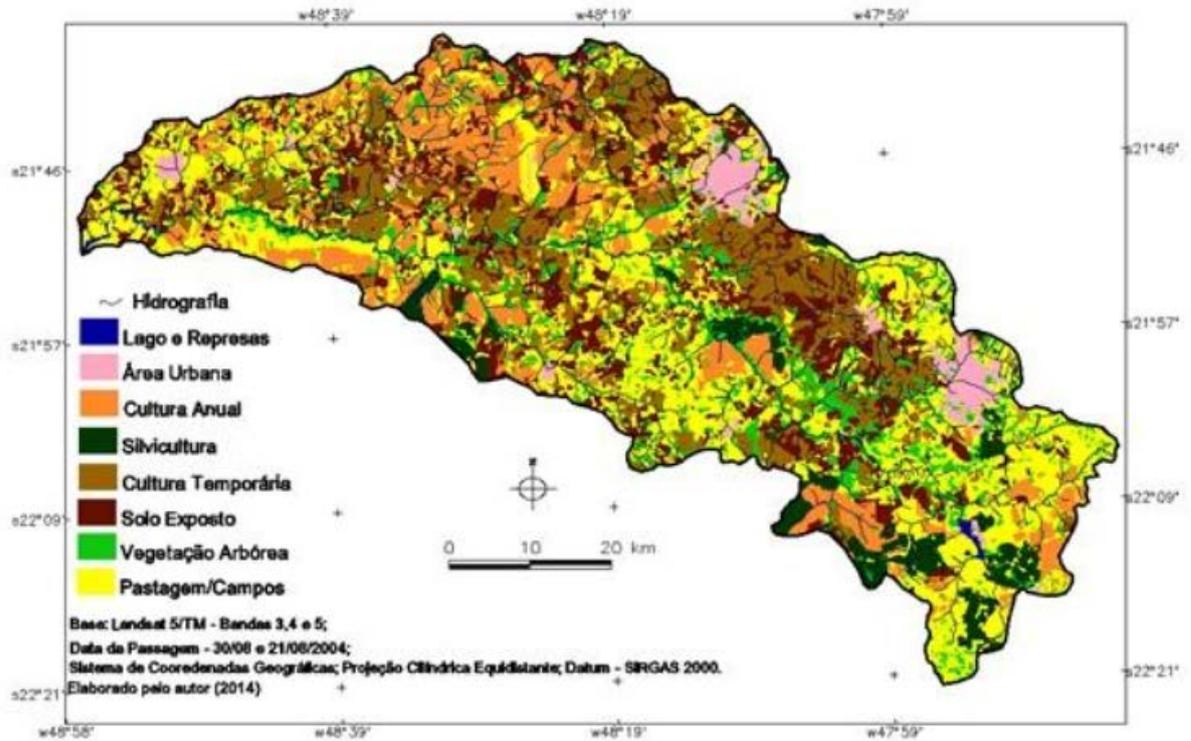
Para a União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA) a estabilização da produção canieira ocorreu entre 1985 e 1995, após esse período houve uma nova expansão do setor, onde se observou que em 1990 a safra foi de 1,2 Mt, chegando a 19,6 Mt em 2006 (UNICA, 2005).

**Figura 24: Uso e ocupação do solo na Sub-Bacia do Rio Jacaré-Guaçu (1987).**



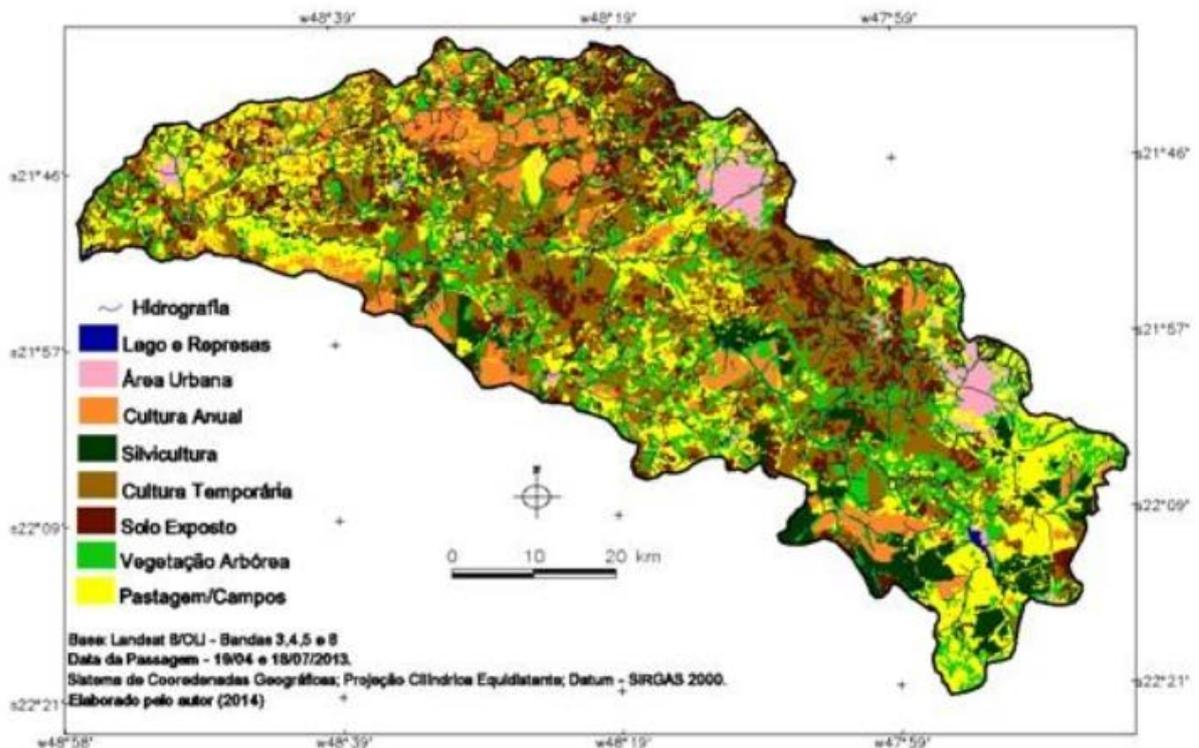
Fonte: Souza (2016).

Figura 25: Uso e ocupação do solo na Sub-Bacia do Rio Jacaré-Guaçu (2004).



Fonte: Souza (2016).

Figura 26: Uso e ocupação do solo na Sub-Bacia do Rio Jacaré-Guaçu (2013).



Fonte: Souza (2016).

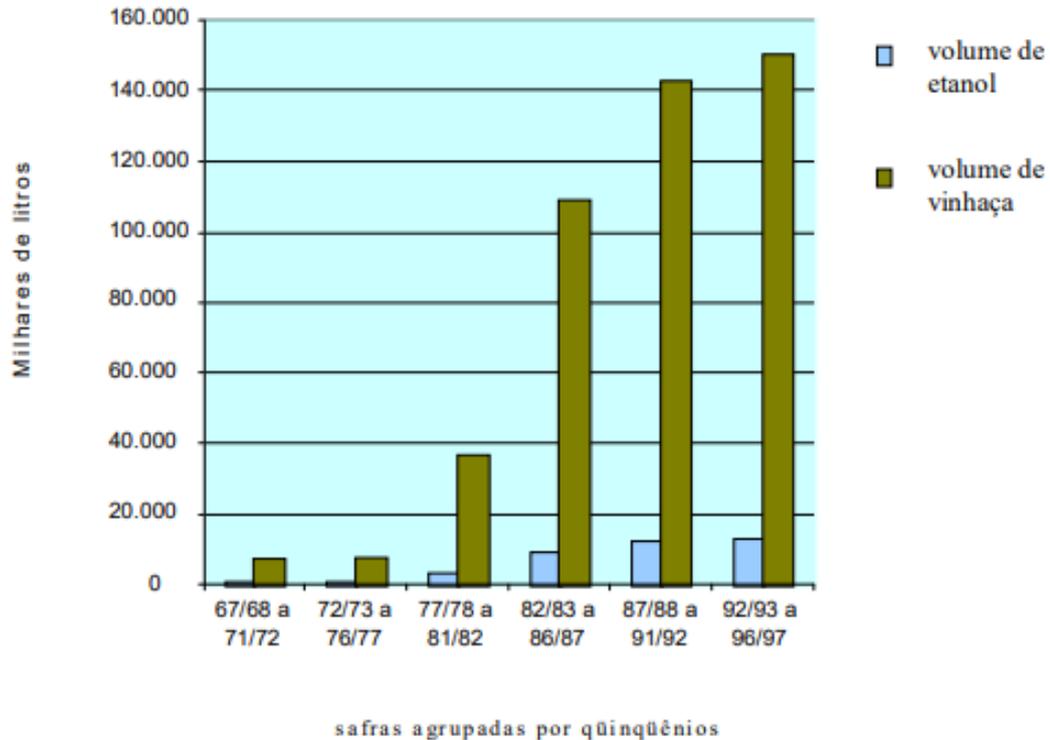
O PROÁLCOOL foi criado em 1975, por meio do Decreto Federal nº. 76.593, visando atender a demanda interna e externa de combustíveis para veículos automotivos (BRASIL, 1975). Este programa objetivava incentivar à produção nacional de álcool devido a necessidade de uma nova alternativa de combustível, influenciada pela alta demanda de derivados do petróleo (CORTEZ et al., 2016). Segundo Leão (2002) a ampliação expressiva da cana ocorreu entre 1977 a 1987, saltando de 500 milhões de litros de álcool produzido para 12 bilhões de litros.

A partir desse incentivo surgiriam novas técnicas para uma forma de produção mais eficiente da cana de açúcar, como a fertirrigação, buscando uma forma mais viável e racional para a utilização de fertilizantes através da irrigação pela vinhaça. O Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K) são os principais compostos aplicados pela fertirrigação (COELHO et al., 2010).

A vinhaça é um subproduto líquido, derivado da destilação do vinho que é resultante da fermentação do caldo da cana de açúcar ou melaço (CETESB, 2005), possuindo elevada concentração de matéria orgânica e DBO. Até meados da década de 1970, a vinhaça era destinada a mananciais de superfície (áreas de sacrifício), com o crescimento desse resíduo (Figura 27) e proibição legal do lançamento nos cursos d'água, no final dos anos 70, buscaram outras formas para sua destinação, sendo a fertirrigação, nos anos 80, a alternativa mais difundida (CORAZZA, 2006).

Na Figura 27, as médias da produção anual de etanol e da geração de vinhaça se encontram determinadas em milhares de litros para safras agrupadas em quinquênios.

**Figura 27: Evolução da produção média anual de etanol e da geração de vinhaça pela agroindústria canaveira no Brasil, de 1967 a 1997.**



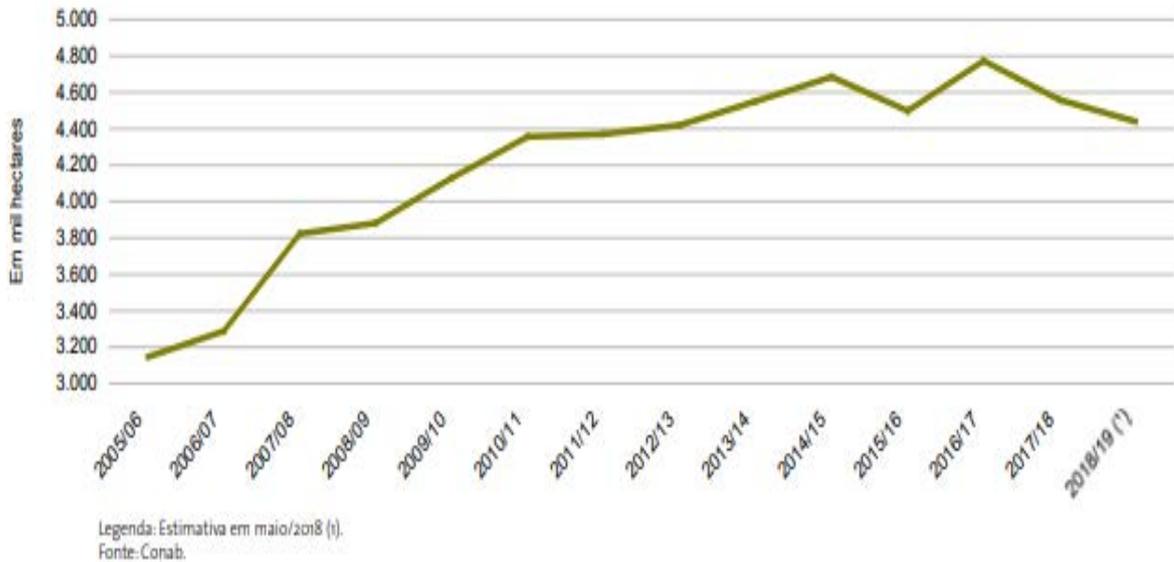
Fonte: Corazza (2006).

De acordo com a EMBRAPA (2018), o incentivo ao cultivo de cana de açúcar, por conta do PROÁLCOOL permitiu um aumento dessa cultura. A forte expansão dessa monocultura já havia sido projetada por Szmrecsányi (1979). Essa expansão não ocorreu sobre vegetação nativa e sim sobre áreas já consolidadas, substituindo fortemente áreas de pastagens, porém, ressalta que o aumento pela demanda de combustível pode impactar de maneira indireta à ocupação sobre o uso da terra (RONQUIM, 2018).

A expansão do setor sucroalcooleiro atrelada a fertirrigação poderia ocasionar um crescente impacto ambiental. Este impacto seria ocasionado em todas as fases de produção desta monocultura, principalmente, em poluição do ar, degradação, erosão, impacto nos recursos hídricos e alteração da paisagem (GALLARDO & BOND, 2011; VILLELA, 2015).

A Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) em seu relatório de acompanhamento da safra brasileira, apresentou a evolução da safra de cana de açúcar no estado de São Paulo (Figura 28), sendo possível observar um crescente quase constante (CONAB, 2019).

**Figura 28: Evolução da área de cana de açúcar colhida no estado de São Paulo.**



Fonte: CONAB (2019).

Quando se analisa os impactos nos corpos d'água, esses são atribuídos a grande demanda hídrica na fase de processamento da cana (VILLELA, 2015). A ocorrência de chuvas em dias subsequentes a aplicação da vinhaça pode promover o carreamento de parte desta para os corpos d'água pelo escoamento superficial, resultando na sua poluição pelo aumento da DBO, além de infiltrar no solo e contaminar o lençol freático.

Pelaez-Rodrigues et al. (2000), em estudo no Rio Tietê-Jacaré, avaliaram organoclorados nos recursos hídricos, onde se verificou uma presença ampla do Aldrin, classe toxicológica I (altamente tóxico), dentro outros (Dieldrin, Endosulfan, Endrin), em localidades com proximidade ao cultivo de banana, cana de açúcar e reflorestamento, enfatizando que as duas últimas representam grande parte da área da bacia.

Corbi et al. (2006) também avaliaram organoclorados em corpos d'água em áreas de cultivo de cana, onde se constatou a presença de alguns compostos tóxicos, entre eles Endrin, considerado altamente tóxico e utilizado no cultivo da cana de açúcar. Os compostos organoclorados apresentam baixa toxicidade aguda, entretanto, apresentam toxicidade crônica através da capacidade de acumulação ao longo da cadeia alimentar (CETESB, 2018a).

Acayba (2017), em estudo sobre a presença de agrotóxicos usados na cana de açúcar em corpos d'água no estado de São Paulo, avaliou 8 rios, dentre eles o Rio Jacaré-Guaçu. Nesse estudo foi detectado 9 agrotóxicos, sendo, 7 herbicidas (ametrina, atrazina, clomazona, diuron, simazina, hexazinona e tebutiuron) e 2 inseticidas (carbofurano e imidacloprido), o

autor concluiu que a detecção desses compostos foi frequente, indicando um cenário preocupante para a biota aquática.

Corbi (2020) em seu trabalho com “Invertebrados aquáticos como ferramenta para avaliação do impacto de metais em córregos adjacentes ao cultivo de cana de açúcar”, esses córregos utilizados pelo autor localizam-se nas bacias hidrográficas do Rio Jacaré-Guaçu e Rio Mogi-Guaçu. Nesse estudo o autor avaliou áreas com cultivo de cana de açúcar e áreas de mata. Os resultados obtidos pelo trabalho apresentaram, em áreas com cultivo de cana, concentrações de metais mais elevadas.

As contaminações por defensivos agrícolas ocorrem através da bioconcentração, especialmente nos corpos d’água, ameaçando as espécies aquáticas, especialmente os peixes, deficientes em mecanismos de destoxificação, podendo afetar outros seres que os tenham em sua alimentação (CETESB, 2019).

## **6. EVENTOS RELEVANTES PARA A QUALIDADE DAS ÁGUAS NA SUB-BACIA DO RIO JACARÉ-GUAÇU**

Foram considerados ainda para este estudo, eventos relevantes ou significativos que tenham ocorrido ou possibilitem indicar possíveis alterações na qualidade das águas da Sub-Bacia JC-GC, destacando-se: fertirrigação, podendo ser relacionada com a expansão da monocultura de cana de açúcar; implantação de ETEs; pluviosidade; crises hídricas, como por exemplo, a crise de 2014 no estado de São Paulo e vazão do rio, sendo possível observar a alteração da qualidade das águas quando esta sofre uma variação.

### **6.1 Precipitação**

Para os resultados de precipitação da Sub-Bacia JC-GC, foram utilizados os dados dos postos pluviométricos do DAEE, já mostrados na Figura 7, no Item 4. Esses postos possuem dados significativos, com abrangência ao longo do tempo e isso possibilitou a modelagem de gráficos do comportamento pluviométrico desta Sub-Bacia.

O trabalho utilizado por Souza e Galvani (2017) apresentou dados pluviométricos da Sub-Bacia JC-GC entre os anos de, 1968 a 1998, a partir desses dados obtiveram a distribuição pluviométrica de acordo com o período hidrológico, sendo considerado seco (abril a setembro) e chuvoso (outubro a março). Através das médias obtidas é possível acrescenta-las as possíveis variações do IQA e IVA nos pontos CETESB utilizados.

A Tabela 9 apresenta as precipitações (mm) do período hidrológico no JC-GC, nos pontos DAEE utilizados. Observa-se que dentre os postos com maior quantidade de dados ao longo do tempo, o ponto C5-081 (Ibitinga) apresenta a maior média para o período chuvoso. Para o período considerado seco, a menor média é encontrada no posto D4-106 a montante do município de São Carlos e ponto CETESB JCGU 03200, seguido do posto C5-124, localizado próximo ao ponto CETESB JCGU 03400 (Araraquara).

Os valores pluviométricos do ponto D4-037 são referentes aos anos de 2017 e 2018, desta forma, apesar de apresentarem os melhores valores, para os períodos chuvoso e seco, não foram considerados como sendo o mais relevante pelo curto período.

**Tabela 9: Precipitação média pontos DAEE**

Prefixo	DAEE	PMPC (mm)	PMPS (mm)	PMA (mm)
	<b>D4-037</b>	1092,9	373,6	1466,5
	<b>D4-106</b>	191,6	59,1	1453,5
	<b>C5-124</b>	875,8	244,7	1120,5
	<b>C5-081</b>	1031,6	323,2	1354,8

**PMPC** – Precipitação Média Período Chuvoso / **PMPS** – Precipitação Média Período Seco / **PMA** – Precipitação Média Anual.

Fonte: Adaptado de Souza e Galvani (2017), com base no Banco de dados Hidrológicos-DAEE (2020).

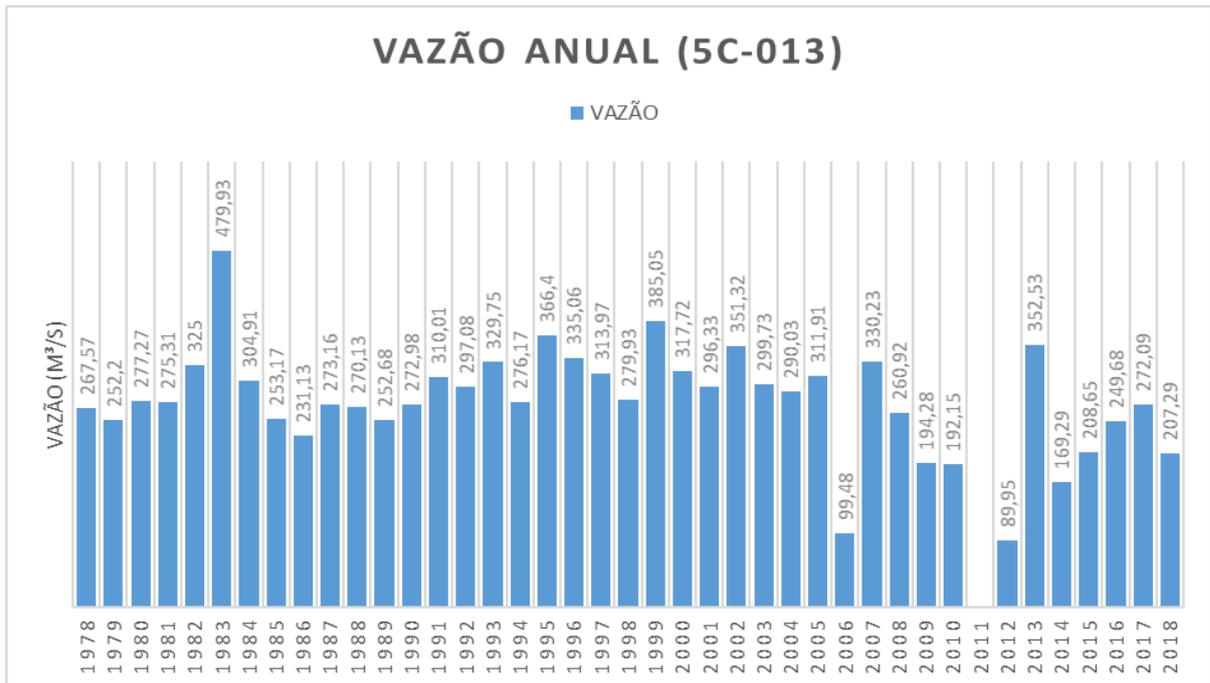
A variação pluviométrica em uma bacia interfere diretamente na qualidade dos índices, isso em decorrência de um maior arraste superficial de compostos (ALMEIDA, SCHWARZBOLD, 2003). Outros autores (MOLINA et al., 2006; SALES et al., 2007) divergem quanto a melhora dos índices em períodos de maior precipitação e menor precipitação. No trabalho de Nuñez et al. (2017) o rio estudado apresentou a melhor qualidade de suas águas no período seco e os resultados apresentados demonstraram a variação percentual de uma estação para outra, obtendo um aumento de 28,76% para a estação seca frente ao período chuvoso.

## 6.2 Variação da Vazão

O manual técnico da ANA (2009) aponta que, o conhecimento da vazão dos corpos hídricos é de extrema importância, possibilita o controle de cheias, dimensionamento de barragens, outorgas e resolução de possíveis conflitos hídricos entre a agricultura, dessedentação de animais e o próprio consumo humano. Esses conflitos podem nortear a tomada de decisões pois, podem influenciar na qualidade dos corpos d'água, como, por exemplo, a agricultura e o consumo humano. De acordo com Barreto et al. (2014) constataram uma correlação positiva entre a vazão e a Turbidez, uma vazão elevada aumentaria a turbidez do corpo hídrico, pois em períodos de cheia as partículas do solo seriam carregadas aos corpos d'água.

Para os valores de vazão o posto DAEE 5C-013 (Figura 29), próximo ao município de Araraquara, exibiu valores para o período total do estudo, entretanto, o banco de dados do DAEE apresentou falta de dados para alguns períodos, especialmente para o ano de 2011.

**Figura 29: Vazões médias do Rio Jacaré-Guaçu no posto DAEE 5C-013 (1978 a 2018).**



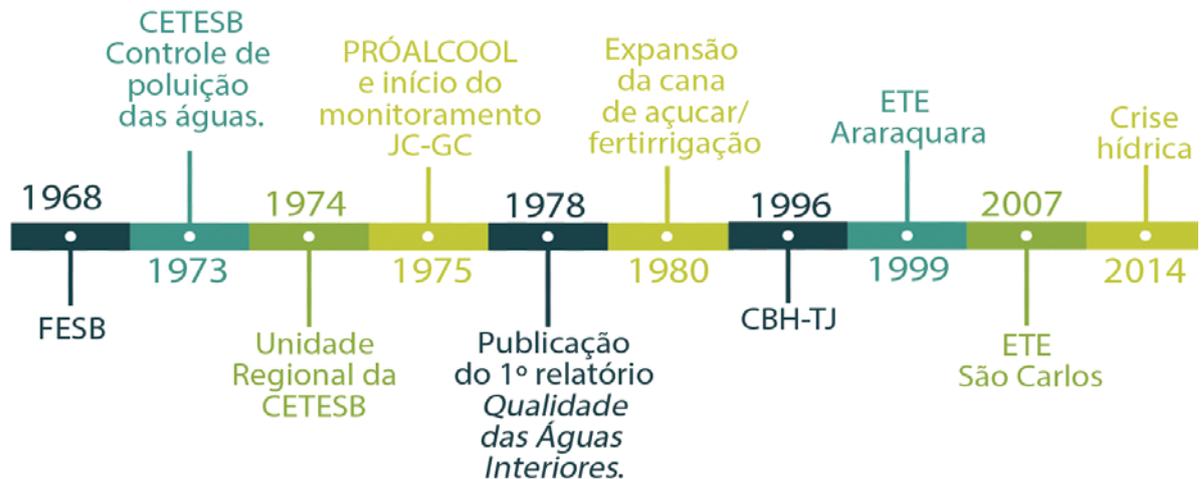
Fonte: Autor (2020), com base em Dados Fluviométricos DAEE.

A vazão mais alta, obtida ao longo do tempo, foi observada em 1983 com 479,33 m<sup>3</sup>/s. Os valores de máxima intensidade ocorrerem em novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março, já as menores, ocorrem entre junho e setembro. O posto fluviométrico apresentou em seu entorno, como área de abrangência, majoritariamente, pastagens e campos, cultura temporária e vegetação arbórea, com destaque para a cultura temporária, na forma de cana-de-açúcar (SOUZA, 2016).

### 6.3. Linha do Tempo de Alguns Eventos Relevantes

Este item apresenta uma breve trajetória dos eventos, considerados relevantes, através de uma linha temporal, de modo a facilitar a compreensão cronológica dos eventos ocorridos antes e/ ou em paralelo a aqueles utilizados neste trabalho (Figura 30).

**Figura 30: Cronologia dos eventos relevantes ocorridos ao longo do tempo.**



Fonte: Autor (2020).

A partir da década de 60 surgem políticas ambientais e instituições voltadas a gestão ambiental no Brasil. Na década seguinte órgãos estaduais de meio ambiente, dentre eles, a CETESB, antiga FESB (1968).

Entre 1968 e 1979 o Brasil apresentou o Plano Nacional de Desenvolvimento (PND), com isso possibilitou o avanço da indústria brasileira, no mesmo período o mundo observou o primeiro choque do petróleo, em 1973 (LAMONICA, FEIJO, 2011). O I PND conforme Magalhães (2002), quando considera as questões ambientais, concluiu ser um verdadeiro desastre, já a segunda fase trouxe questões ambientais, modificando a forma desenvolvimentista sem limites e responsabilidades. Durante a década de 70 houve crescimento populacional, e conforme Camarano e Abramovay (1999) foi a década da “aceleração do declínio caipira” atingindo uma desruralização.

Esta nova perspectiva sobre as questões ambientais, principalmente, a partir da década de 70, após o choque do petróleo e alguns relatórios como, o do clube de Roma e o relatório não oficial das Nações Unidas em 1972 fortaleceram um pensamento verde (ZECA, 2020). Essa nova forma de pensar nortearia a tomada de decisões frente as questões ambientais, considerando os impactos causados pelo modelo de desenvolvimento da época.

A partir dos anos 80, o houve promulgação de leis relevantes as questões ambientais, como a Lei nº 6.938/81, que estabelece a Política Nacional para o Meio Ambiente, marco inicial da proteção jurídica nacional às questões ambientais (BRASIL, 1981). Contudo, essa década apresentou a forte expansão canavieira, principalmente no estado de São Paulo. Os anos 90, seguidos da turbulência da década anterior, reforçando um olhar mais ambiental, cria em 10 de novembro de 1995, no estado de São Paulo o Comitê da Bacia Hidrográfica do

Tietê-Jacaré, contudo, foi de fato instalado em 1996 conforme o Art. 4º das disposições transitórias da Lei nº 7663/91.

### 6.3.1 Implantação de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE Araraquara e ETE São Carlos)

Os dois maiores municípios da Sub-Bacia JC-GC possuem estações de tratamento de esgoto, a implementação dessas estações iniciou-se no ano de, 1999 no município de Araraquara e 2008 em São Carlos. Os resultados da qualidade do esgoto dessas estações só foram observados a partir do ano 2000, para a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Araraquara, e para a ETE São Carlos, somente em 2009.

O gerenciamento da ETE Araraquara é de responsabilidade do Departamento Autônomo de Água e Esgoto (DAAE), Autarquia municipal criada por meio da Lei Municipal 1.697 de 2 de junho de 1969 (ARARAQUARA, 1969).

A ETE Araraquara (Figura 31) está localizada na SP-255, latitude (S) – 21.823 e longitude (O) -48.240, as margens do Ribeirão das Cruzes, um rio de classe 4 (CONAMA 20/86). O tratamento da ETE Araraquara ocorre por meio de lagoas aeradas, de sedimentação e lodos. O município coleta 99% do esgoto, tratando 100%, entretanto, possui uma eficiência de 67,1%, sua carga poluidora potencial pode alcançar os 12.264 kg DBO/dia, tendo como remanescente 4.124 kg DBO/dia, liberando no ribeirão das cruzes (CETESB, 2018).

**Figura 31: Localização da ETE-Araraquara.**



Fonte: Autor (2020).

As cargas de poluição, lançadas no Ribeirão das Cruzes, com base nos relatórios de qualidade das águas superficiais da CETESB, foram apresentadas com os percentuais de tratamento e eficiência dessa ETE (Tabela 10).

**Tabela 10: Dados de Saneamento do município de Araraquara.**

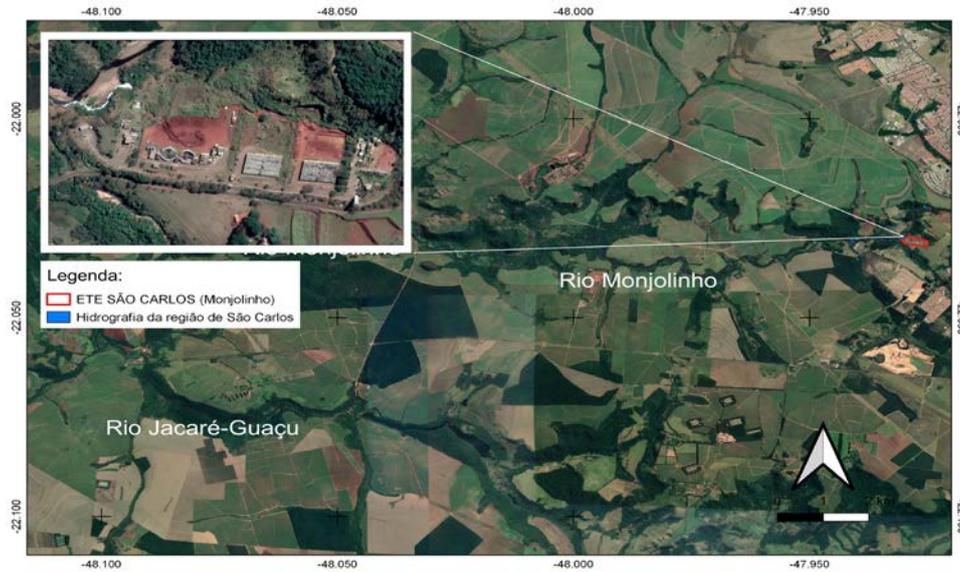
<i>ETE ARARAQUARA (ANO)</i>	<i>COLETA/ TRATAMENTO (%)</i>	<i>EFICIÊNCIA (%)</i>	<i>CARGA POLUIDORA KG DBO/ D (POTENCIAL/ REMANESCENTE)</i>
2000	97 / 100	78	9.347 / 2.094
2001	97 / 100	78	9.347 / 2.094
2002	97 / 100	78	9.347 / 2.094
2003	97 / 100	78	9.347 / 2.094
2004	97 / 100	78	9.347 / 2.094
2005	97 / 100	78	10.019 / 2.244
2006	97 / 100	78	10.134 / 2.270
2007	97 / 100	84	10.271 / 1.902
2008	97 / 100	75	10.229 / 2.787
2009	98 / 100	65	10.307 / 3.742
2010	98 / 100	65	10.951 / 3.966
2011	98 / 100	65	11.053 / 4.012
2012	99 / 100	72	11.156 / 3.204
2013	99 / 100	72	11.649 / 3.346
2014	99 / 100	44	11.769 / 6.625
2015	99 / 100	66	11.884 / 4.110
2016	99 / 100	52	11.997 / 5.807
2017	99 / 100	56	12.108 / 5.382
2018	99 / 100	67	12.264 / 4.124

Fonte: Autor (2020), com base em Relatórios de Qualidade das Águas Superficiais – CETESB (2000 a 2018).

A ETE Monjolinho, de São Carlos, é de responsabilidade do Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE), autarquia criada em 26 de junho de 1969 a partir da Lei municipal 6.199 (SÃO CARLOS, 1969).

A ETE-São Carlos localiza-se na estrada vicinal Cônego Washington José Pêra, s/n, com latitude (S) – 22.031 e Longitude (O) -47.927 (Figura 32).

**Figura 32: Localização da ETE São Carlos (Monjolinho).**



Fonte: Autor (2020).

Segundo o SAAE, em seu portal eletrônico, a ETE-São Carlos conta com o tratamento preliminar (remoção de sólidos grosseiros, areia e gordura); tratamento biológico/ reatores UASB (remoção de DBO, DQO e sólidos) e tratamento físico-químico: coagulação/floculação/flotação por ar dissolvido (remoção de DBO, DQO, sólidos, fósforo, etc). Após os processos de tratamento, a ETE libera a água no Ribeirão Monjolinho, rio de classe 3.

A ETE São Carlos apresenta uma coleta de 100% do seu esgoto, tratando 91%, possui ainda uma eficiência de 79%, a carga poluidora potencial encontrada é de 12.930 kg DBO/dia com um remanescente de 2.665 kg DBO/dia (CETESB, 2019).

Os dados da qualidade do esgoto para a ETE São Carlos (Monjolinho) são apresentados nos relatórios da CETESB de 2009 a 2014, após esse período a CETESB passou a computar informações de outras estações de tratamento de esgoto desse município (ETE Santa Eudóxia e ETE Água Vermelha) (Tabela 11).

**Tabela 11: Dados de Saneamento do município de São Carlos.**

ETE SÃO CARLOS (MONJOLINHO) (ANO)	COLETA / TRATAMENTO (%)	EFICIÊNCIA (%)	CARGA POLUIDORA POTENCIAL/ REMANESCENTE (Kg DBO/ d)
---	-------------------------------	----------------	---

<b>2009</b>	100 / 85	64	11.315 / 5.184
<b>2010</b>	100 / 85	64	11.506 / 5.272
<b>2011</b>	100 / 85	64	11.622 / 5.325
<b>2012</b>	99,6 / 85	78	11.733 / 2.595
<b>2013</b>	100 / 85	61	12.257 / 5.902
<b>2014</b>	100 / 91	83	12.388 / 3.038
<b>2015*</b>	100 / 90	82	12.514 / 2.265
<b>2016*</b>	100 / 91	82	12.637 / 2.231
<b>2017*</b>	100 / 91	79	12.758 / 2.642
<b>2018*</b>	100 / 91	79	12.930 / 2.665

\*O valor da carga poluidora considera a ETE de Água Vermelha e ETE Santa Eudóxia.

Fonte: Autor (2020), com base em Relatórios de Qualidade das Águas Superficiais – CETESB (2010 a 2019).

Embora as ETE's não apresentem, de modo geral, eficiência superior aos 90%, ainda assim se encontram acima da eficiência encontrada na UGHRI 13, valores na faixa de 49% a 55%, entre os anos de 2013 a 2017, entretanto, a situação de Araraquara apresenta uma redução ano a ano na remoção de sua carga orgânica (CBH-TJ, 2018). Embora, a deliberação do CBH-TJ (2020), tenha apresentado o saneamento e esgotamento sanitário classificado como “atenção”, já para a demanda, disponibilidade e balanço hídrico - águas superficiais em “atenção” para Araraquara e “crítica” para São Carlos.

Com relação a outros municípios, como, por exemplo, Ibitinga, local do ponto CETESB JCGU-03900, apresentou dados informando a proporção de efluente doméstico coletado em relação ao efluente doméstico total gerado, obtendo um valor regular, variando de 50% a 90%, e a proporção de efluente doméstico tratado em relação ao efluente doméstico total gerado, obtendo uma classificação ruim, inferior a 50% (CBH-TJ, 2018). Embora, esse percentual se enquadre nessas faixas, observa-se que futuramente possam ser melhores, pois no ano de 2019 houve a inauguração da ETE Ibitinga, pela SIMA, através do Programa Água Limpa, criado em 2005.

### 6.3.2 Crise Hídrica

Os processos naturais ou antrópicos podem ocasionar o desabastecimento de água a uma determinada região, como, por exemplo, precipitações abaixo da média ou uso irracional pelo homem, tanto na indústria, agricultura, como para o próprio consumo.

As secas produzem impactos econômicos severos com uma lenta recuperação, afetando a produção industrial e conseqüente problemas econômicos adicionais. Na Espanha, entre os anos de 2007 e 2008, houve uma seca na cidade de Barcelona, gerando prejuízos econômicos próximos a 1 bilhão de euros e reduzindo o Produto Interno Bruto (PIB) da Catalunha em 1%, sendo essa uma região economicamente avançada para o país (TUNDISI, MATSUMARA-TUNDISI, 2015).

A crise hídrica no Brasil iniciou-se em 2012, onde observou uma queda nos índices pluviométricos em algumas regiões do país, principalmente em regiões metropolitanas, onde a demanda é maior. A seca histórica ocorrida no Estado de São Paulo iniciou-se em outubro de 2013, estendendo-se até os anos de 2014 e 2015, esse prolongamento aliado a falta de planejamento na distribuição da água resultou em uma crise e severa redução nos corpos d'água, especialmente reservatórios (ANA, 2015; SORIANO et al., 2016).

Ocorrendo a diminuição do volume de reservatórios, lagos e rios, e conseqüente aumento das concentrações de fósforo, nitrogênio e de substâncias tóxicas, como pesticidas, herbicidas e compostos orgânicos, ocorre no corpo d'água um aumento da toxicidade, acentuando os riscos à saúde humana ((TUNDISI, MATSUMARA-TUNDISI, 2015).

Soriano *et al.* (2016) observando o cenário nacional, registraram entre os anos de 2006 e 2010, um aumento de 29% na retirada de água nas nascentes de rios, sendo um dos maiores responsáveis o setor agrícola, especificamente na irrigação. Essa retirada possivelmente afeta os corpos d'água e comunidades aquáticas.

## 7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos valores obtidos nos relatórios da CETESB, foram modelados gráficos, onde é possível observar as variações dos índices IQA e IVA. Além destes, foram utilizados dados do DAEE sobre a pluviosidade da Sub-Bacia JC-GC nas réguas selecionadas para este estudo. Através dos dados obtidos foi possível observar o comportamento do monitoramento do Rio Jacaré-Guaçu, bem como as possíveis interferências antrópicas ou naturais que a qualidade das águas desse corpo d'água pode ter sofrido.

A Sub-Bacia do Rio Jacaré-Guaçu 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.

Outro ponto que reflete a importância da Sub-Bacia JC-GC está relacionado também a ela possuir em seu território, de forma total ou parcial, áreas de proteção ambiental, como a EEC de Itirapina e Mata do Jacaré (Brotas e São Carlos), APA de Ibitinga e área de proteção ambiental Corumbataí-Botucatu-Tejupá.

Através desta pesquisa, foi observado o comportamento da qualidade das águas superficiais do Rio Jacaré-Guaçu em seus pontos de monitoramento nos últimos 40 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.

Foi possível observar que os pontos de monitoramento da CETESB, particularmente o JCGU 03900, apresentou nos anos iniciais coletas por 12 meses, posteriormente, a partir de 1985, foram substituídas por coletas bimestrais, obtendo um total de 6 coletas por ano. 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. Os postos afetados pela falta de dados foram os seguintes: C5-081; C5-124; D4-037; D4-106. Esses postos são apresentados nos relatórios do DAEE como ativos, entretanto, o banco de dados no portal eletrônico <http://www.hidrologia.dae.sp.gov.br> apresentou falta de dados em alguns períodos. Essa desatualização nos dados afetou a modelagem gráfica para esses postos.

A seguir são apresentados e discutidos os resultados relativos ao uso e ocupação do solo e aos pontos de monitoramento da CETESB, de montante para jusante, onde se busca

relacionar a influência dos fatores e eventos descritos nos itens anteriores 5, 6 e 7.1, sobre os índices de qualidade das águas, considerando-se essa relação/influência como hipóteses.

- **Ponto BROA 02800 (Itirapina)**

O ponto BROA 02800 é o localizado mais a montante no Rio Jacaré-Guaçu, mais próximo de suas nascentes, sendo um ambiente lântico. Em comparação aos demais pontos, apresentou os melhores valores para o IQA, obtendo médias de 85 e 84 para os anos de, 2017 e 2018, respectivamente.

Era esperado um melhor valor para esse ponto, pois não apresenta em seu entorno majoritariamente áreas de cultivos como, por exemplo, cana de açúcar, embora alguns autores (SOUZA et al., 2015; SOUZA, 2016) tenham apresentado uma sobreutilização no entorno do ponto, áreas de pastagens, onde se considera que essa monocultura teria ocupado a paisagem. Essa alteração é corroborada por VETIVER et al. (2016). Contudo, ao se observar as Figuras 7 e 11 é possível notar a proximidade do ponto BROA 02800 com a ESEC de Itirapina, contendo uma grande área de reflorestamento em seu entorno.

Como observado no tópico sobre a vegetação Sub-Bacia JC-GC, esse ponto se encontra, segundo o Instituto Pró-Terra (ATTANASIO, 2014) em uma área de uso sustentável, o que indicaria uma área mais bem preservada.

A classificação mensal do IQA para esse ponto variou entre “boa” e “ótima”, já sua média foi classificada como “ótima” para os dois anos de dados disponíveis. Para o ponto foram apresentadas seis coletas anuais, não sendo realizadas coletas e consequente geração de dados para os meses de fevereiro, abril, junho, agosto, outubro e dezembro, para os anos de 2017 e 2018 (Tabela 12).

**Tabela 12: Valor mensal e média anual para o IQA no ponto CETESB BROA 02800.**

<i>ANO</i>	<i>JAN</i>	<i>MAR</i>	<i>MAI</i>	<i>JUL</i>	<i>SET</i>	<i>NOV</i>	<i>MÉDIA</i>
<b>2017</b>	79	83	90	89	85	82	85
<b>2018</b>	82	75	84	85	86	90	84

Fonte: Autor (2020), com base em CETESB (2018); CETESB (2019).

Com base na Tabela 12, determinou-se a média anual do IQA para o período chuvoso, 82 e para o período seco, 87.

Os resultados para o IVA (Tabela 13), com os mesmos anos e meses das determinações do IQA, apresentaram um comportamento diferente do encontrado nos pontos a jusante, pois foi observado que nestes uma melhor classificação do IQA corresponde a melhores valores para o IVA. Ressalta-se que o IVA é inversamente proporcional ao IQA, sendo sua melhor classificação (Ótima) alcançada pelos menores valores e pior classificação (Péssima), apresentada pelos maiores valores; para o IQA, sua melhor classificação (Ótima) é alcançada com os maiores valores. O ponto BROA 02800, apesar de apresentar as melhores classificações e valores para o IQA, não apresenta as menores médias de IVA em relação aos referidos pontos. O ponto JCGU 3900 apresentou nos anos de 2012 e 2013 as menores médias de IVA, 2,4 e 2,5 (Ótima); o ponto JCGU 03400, em 2013 obteve 2,5 (Ótima); o JCGU 03200, apresentou 3,3 (Boa) em 2013; e o ponto BROA 02800 apresentou seu melhor valor no ano de 2018, com 3,3 classificada como “Boa”.

**Tabela 13: Valor mensal e média anual para o IVA no ponto CETESB BROA 02800.**

<i>ANO</i>	<i>JAN</i>	<i>MAR</i>	<i>MAI</i>	<i>JUL</i>	<i>SET</i>	<i>NOV</i>	<i>MÉDIA</i>
<b>2017</b>	5,6	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,6
<b>2018</b>	3,4	3,2	3,2	2,2	3,4	4,4	3,3

Fonte: Autor (2020), com base em CETESB (2018 a 2019).

A partir da Tabela 19, determinou-se a média anual do IVA para o período chuvoso, que foi 4,2 e para o período seco, 3,7. Analisando conjuntamente os resultados do IQA e IVA, nota-se que os dois índices tendem a ser melhores no período seco.

A possível divergência do IVA do BROA 02800 com o IVA dos demais pontos requer um grau de atenção deste índice, reforçando a necessidade de revisão, conforme mencionado anteriormente, proposta por Silveira et al. (2013). Outro aspecto que pode estar relacionado a um pior valor de IVA se dá na possível expansão da cana de açúcar na região, apesar de estar próxima a ESEC de Itirapina e sob uma área de uso sustentável, a presença de compostos utilizados nesse cultivo pode estar impactando nos valores desse índice, o que não seria possível observar apenas com o IQA. Um outro aspecto pode indicar as oscilações do IVA nesse ponto, sendo um ambiente lântico, os períodos de seca apresentam uma detenção hídrica maior, permitindo assim uma menor renovação da água e um crescimento de florações de algas. A possibilidade do aumento de clorofila nesse corpo d'água pode ter ocasionado um aumento nos valores e conseqüente piora na classificação do IVA

De forma geral os resultados de Tundisi et al. (2018) já haviam evidenciado uma redução na vegetação natural na Sub-Bacia JC-GC. Pode-se entender que a vegetação natural permite uma proteção ao corpo d'água e sua remoção tende a expor o rio a efeitos de compostos, como, por exemplo, pesticidas (herbicidas, organoclorados etc.). Assim como descrito para os demais pontos de monitoramento da CETESB, Acayaba (2017) já havia relatado uma frequente aparição de agrotóxicos no JC-GC e Corbi (2020) detectou um nível de metais mais elevado em invertebrados em áreas com atividade canavieira e sem a mata ciliar.

Por ser o BROA 02800 um ponto de monitoramento relativamente novo, não foi possível observar um comportamento de longo prazo e indicar de forma segura as; entretanto, os resultados observados, principalmente em 2017, sugerem que influências a montante e no entorno do ponto afetaram negativamente o IVA; possivelmente a ETE de Itirapina pode ter contribuído para as oscilações do IVA para o ponto BROA.

A CETESB realizou ao longo do ano de 2017 seis ensaios ecotoxicológicos com *Ceriodaphnia dubia* para esse ponto, onde observou-se cinco resultados com a classificação toxicológica “crônico” e um “agudo”. Os resultados expressados como agudo, partem dos efeitos bem significativos a sobrevivência dos organismos aquáticos para o seu período inicial de 48 horas; crônico, quando reprodução ou sobrevivência dos organismos é afetada de maneira significativa no período de 7 dias.

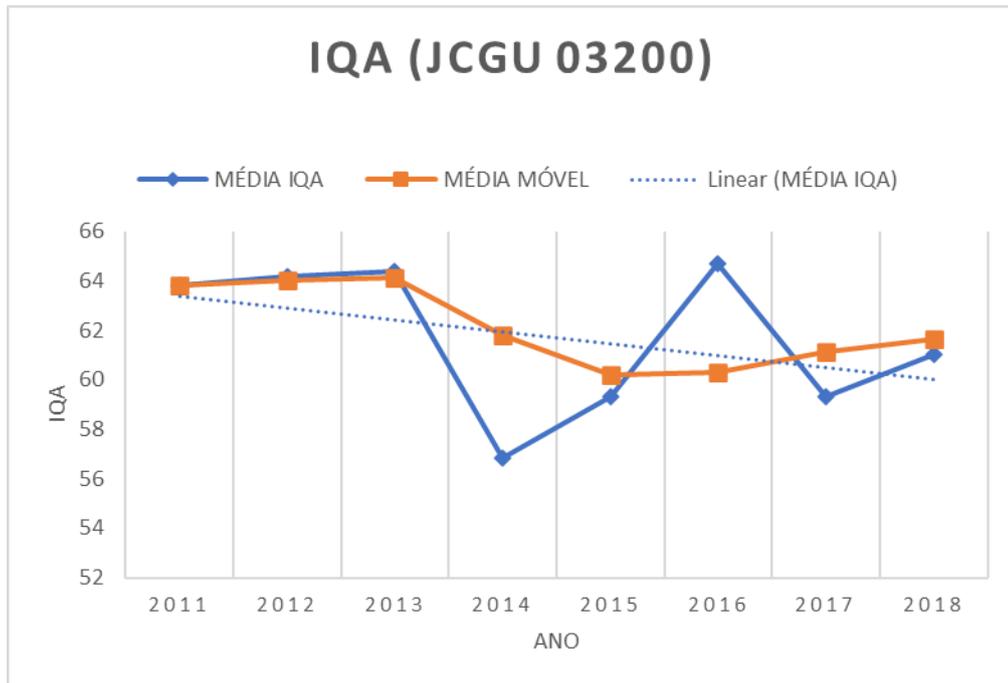
Esses resultados podem indicar a presença de agentes químicos em níveis tóxicos no corpo d'água e, conforme a CETESB (2019), concentrações de químicos tóxicos podem afetar o crescimento de espécies e sua reprodução.

O ano de 2018, apresentou considerável melhora nos ensaios ecotoxicológicos, assim como no IVA. Foram apresentados, dentre os seis resultados, três “crônico” e três “não tóxico”. A precipitação ocorrida nesse ano, menor que em 2017, pode ter influenciado tais resultados, pois haveria um menor carreamento de poluentes ao corpo hídrico e, consequentemente, uma melhor classificação do IVA.

- **Ponto JCGU 03200 (São Carlos)**

O ponto JCGU 03200 apresenta uma tendência de piora ao longo do tempo. Os três primeiros anos, 2011, 2012 e 2013, deste ponto apresentaram uma estabilidade até 2013; posteriormente houve uma queda em 2014, obtendo-se o pior valor de IQA, chegando aos 57 pontos (Figura 33).

**Figura 33: Média e média móvel do IQA do ponto JCGU 03200 (2011 a 2018).**



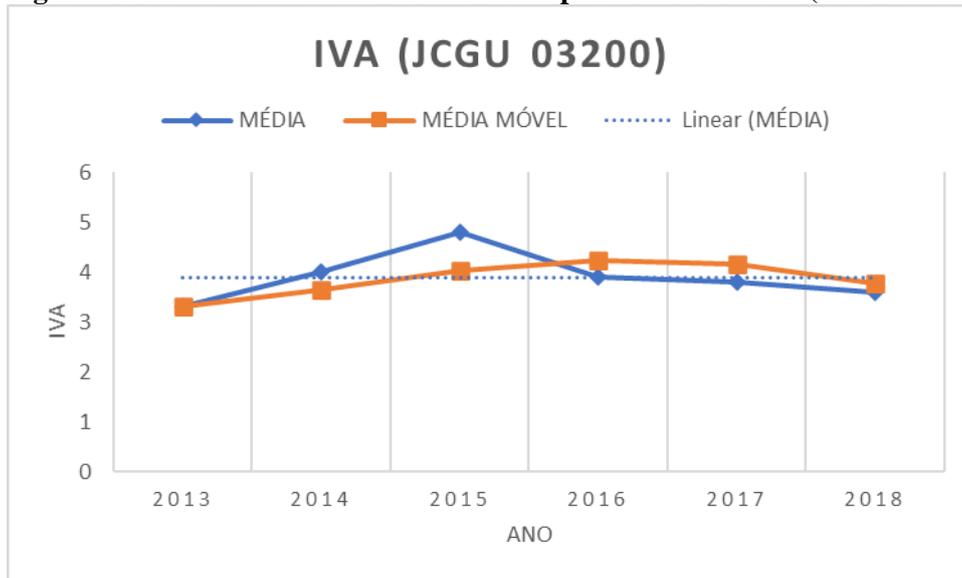
Fonte: Autor (2020), com base em CETESB (2012 a 2019).

A média móvel apresentou ao longo do tempo uma tendência de queda, o ano de 2014, ano de crise hídrica, apresentou a média IQA mais baixa, contudo, não obteve o menor valor para a média móvel, sendo possível observar seu reflexo somente nos anos seguintes. Com a influência da crise hídrica no estado de São Paulo, essa queda, também observada nos pontos posteriores (JCGU 03900 e JCGU 03400), demonstrou a relevância desse evento para a mensuração da qualidade das águas desse rio.

Após o evento “crise hídrica”, em 2014, a média móvel apresentou uma sutil recuperação, demonstrando uma tendência crescente em sua classificação, embora, o ano de 2017 tenha apresentado uma queda na média aritmética do IQA, possivelmente sendo refletida nos anos seguintes.

O comportamento apresentado pelo IVA (Figura 34) apresentou similaridade ao observado no IQA, onde apresentou uma melhor classificação inicial. No ano de 2016, apresentou o melhor valor médio para o IQA, entretanto, o mesmo não ocorreu para as médias do IVA. A média móvel apresentou, após 2013, tendência de piora na classificação; após 2017 tendeu a uma melhor classificação. Os reflexos dessa tendência podem estar relacionados a baixa precipitação, observada no posto pluviométrico mais próximo (D4-106) mesmo ano que a crise hídrica afetou o estado de São Paulo.

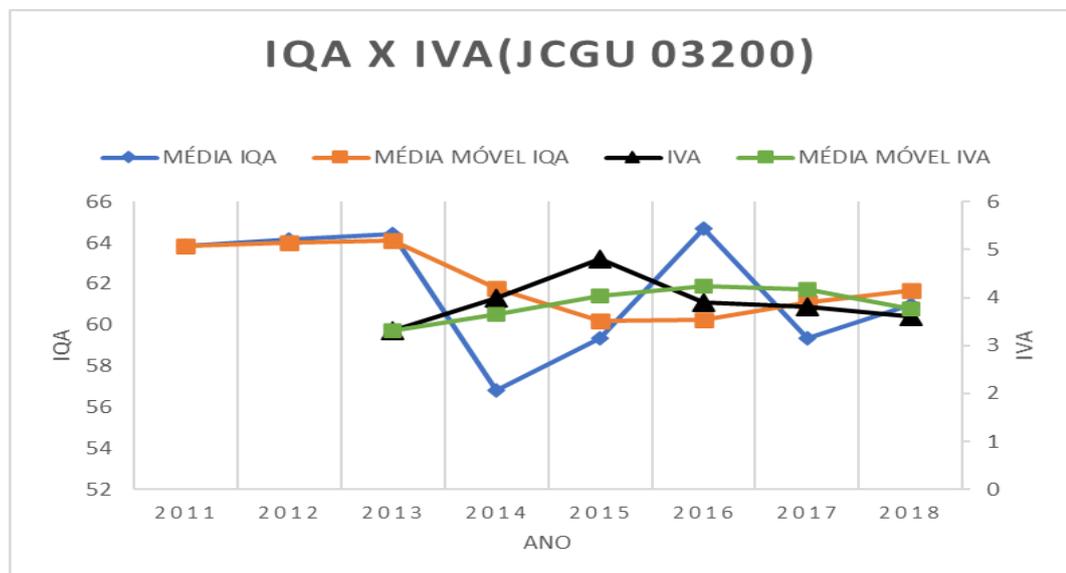
**Figura 34: Média e média móvel do IVA do ponto JCGU 03200 (2013 a 2018).**



Fonte: Fonte: Autor (2020), com base em CETESB (2014 a 2019).

Ambos índices tenderam a se comportar de maneira semelhante, ficando bem evidente que o JCGU 03200 apresentou suas médias de IVA coerentes com as do IQA (Figura 35). Nota-se que os anos onde ocorreram quedas no IQA houve piora no IVA, o mesmo ocorreu para situação inversa. Quando considerada a média móvel do IQA, os três primeiros anos não demonstraram de maneira significativa essa tendência, embora tenham apresentado, posteriormente, um padrão de comportamento mais próximo a média do IQA.

**Figura 35: Comportamento das médias de IQA e IVA no ponto JCGU 03200 ao longo do tempo (2011 a 2018).**



Fonte: Autor (2020), com base em CETESB (2012 a 2019).

Foram apresentados 22 dados de toxicidade para o ponto JCGU 03200, sendo 8 resultados classificados toxicologicamente como “crônico” e 14 resultados como “não tóxico” (Tabela 16), demonstrando que o ponto, majoritariamente, se encontra em boas condições. Entretanto, este ponto vem ao longo do tempo, indicando a presença de metais, bem como resultados crônicos, organoclorados e outros agrotóxicos (PELAEZ-RODRIGUEZ et al., 2001; NOVELLI, 2005; ACAYABA, 2017; CORBI, 2020) e a quantidade de resultados crônicos reforçam esses resultados. Podendo ser em decorrência de diversas fontes, como, por exemplo, problema em alguma indústria.

**Tabela 14: Toxicidade e quantidade de resultados crônicos e não tóxicos no ponto JCGU 03200.**

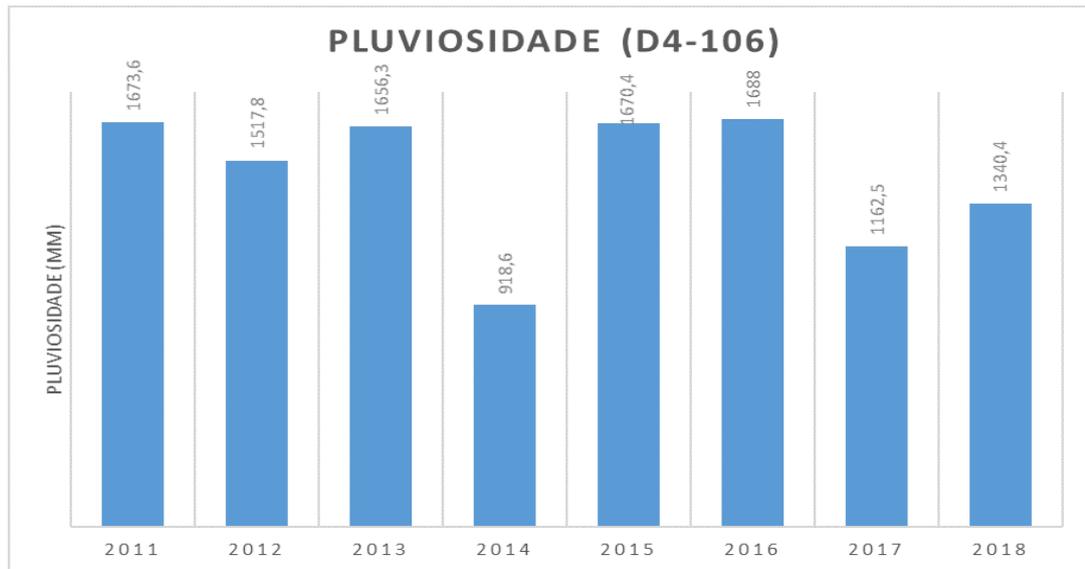
ANO	Quantidade de dados	Crônico	Não tóxico
2013	3	1	2
2014	4	1	3
2015	4	-	4
2016	4	3	1
2017	4	2	2
2018	3	1	2

Fonte: Autor (2020), com base em CETESB (2014 a 2019).

Os resultados encontrados apresentaram uma certa estabilização na tendência, apontando dois momentos, tendendo a uma piora (2016). Contudo após a estabilização em 2017, tendeu a melhores resultados.

O posto pluviométrico D4-106 localizado a montante do município de São Carlos, apresentou o ano de 2014 como o mais baixo valor de precipitação, seguido de 2017 (Figura 36). Para os anos de pior valor de precipitação foram encontrados os menores valores para o IQA, exceção para o ano de 2015, onde apresentou uma alta precipitação e um valor para o IQA de 59, mesmo valor obtido em 2017.

**Figura 36: Pluviosidade acumulada anual no posto DAEE D4-106 (2011 a 2018).**



Fonte: Autor (2020), com base em DAEE (2020).

Para a média do IVA se observou que os anos de 2014, 2015 e 2016 apresentaram os piores valores, embora 2015 e 2016 tenham apresentado uma das maiores precipitações.

Esse posto apresentou o valor médio de 191,6 mm para os períodos chuvosos e 59,1 mm para os períodos secos. Embora Leite et al. (2013) tenham indicado que a precipitação altera os valores dos índices, para o ponto JCGU 03200, a alta e a baixa precipitação não significaram necessariamente os melhores e piores valores para ambos índices de qualidade, contrapondo-se aos resultados de Carvalho et al. (2000) e Centeno et al. (2016). Os resultados de Leandro et al. (2017) apontaram uma classificação média para o IQA nas semanas de maior precipitação. Contudo, nesse trabalho o resultado final apontou o período seco com o melhor IQA.

As médias IQA encontradas para o período chuvoso (janeiro -março / outubro – dezembro) entre 2011 e 2018, foram; 62, 67, 61, 52, 58, 63, 53, 60; média do período 59; já para o período seco (abril – setembro), 66, 65, 67, 62, 61, 67, 65, 61; média do período 64. Esses resultados indicaram que no período de menor precipitação foram alcançados os melhores valores de IQA.

O IVA obteve nos períodos secos e chuvosos os seguintes resultados conforme se observa no Quadro 4.

**Quadro 4: Médias de IVA no ponto JCGU 03200 para os períodos de maior e menor precipitação (2013 a 2018).**

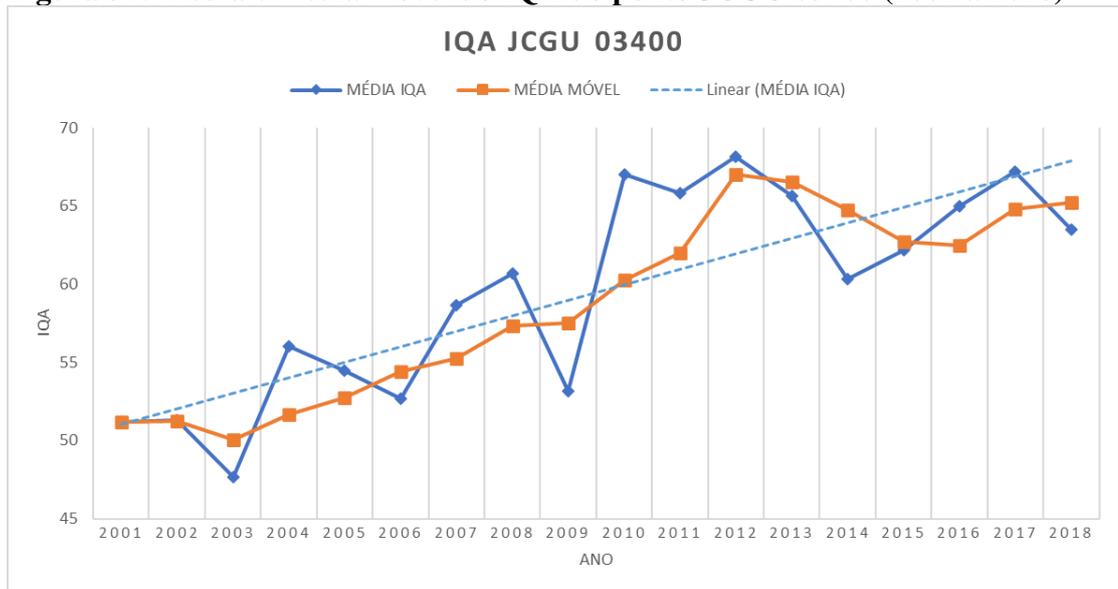
Ano	Seco	Chuvoso
2013	3,4	3,2
2014	4,2	3,8
2015	5,2	3,8
2016	3,8	3,9
2017	4,4	3,2
2018	3,8	3,2

Fonte: Autor (2021), com base em CETESB (2014 a 2019).

Através dos resultados obtidos, é possível observar 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”.

- **Ponto JCGU 03400 (Araraquara)**

O ponto JCGU 03400 (Figura 37) foi implementado pela CETESB no ano de 2001 e para esse ponto, é possível notar que ocorreram oscilações em suas médias para o IQA. Os dois primeiros anos, 2001 e 2002, obtiveram valores médios de 51 pontos para o IQA. O ano de 2003 se destacou com o pior valor de IQA para o ponto desde sua implementação, alcançando os 48 pontos, classificado como “regular”.

**Figura 37: Média e média móvel do IQA do ponto JCGU 03400 (2001 a 2018)**

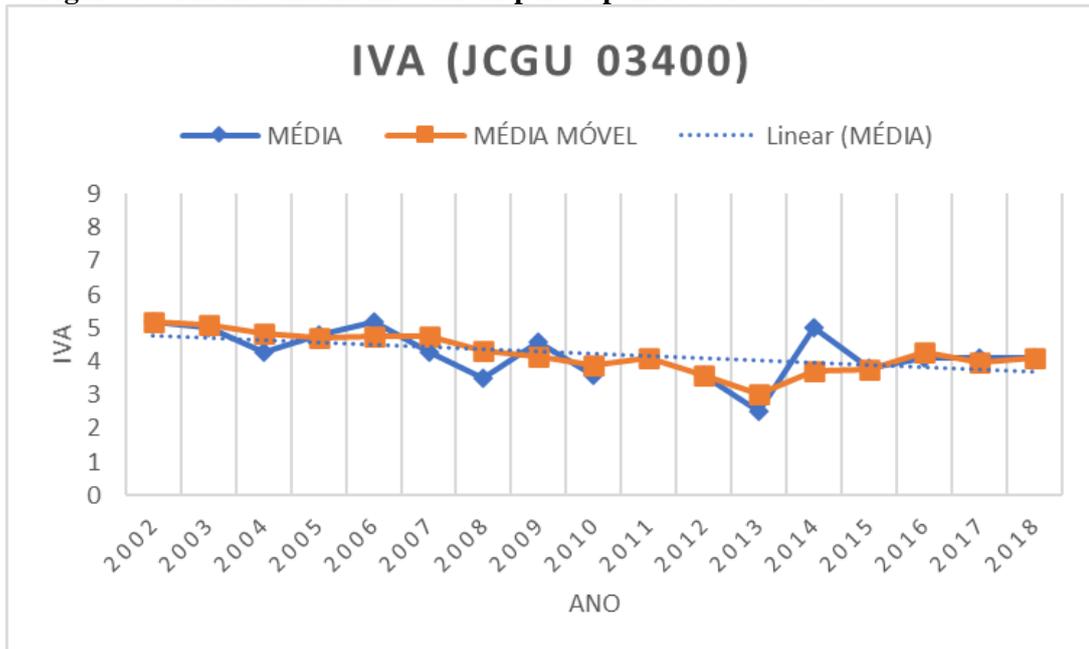
Fonte: Autor (2020), com base em CETESB (2002 a 2019).

O JCGU 03400 ao longo do tempo apresentou oscilações, quedas bruscas, como, em 2009 e 2014; entretanto, a média móvel indicou tendência de recuperação até 2012; após esse ano houve uma oscilação negativa, entretanto, de forma geral a média móvel pode ser caracterizada com uma tendência de melhora ao longo do tempo.

Em 2014 a média do IQA obteve uma queda mais acentuada, alcançando o valor de 60 pontos. Diferentemente das demais médias que, ao longo do tempo, apresentaram melhoras significativas após grandes quedas, a recuperação do IQA após 2014 apresentou uma lenta recuperação até o ano de 2017, onde, posteriormente tornou a cair.

Para o IVA (Figura 38) 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. Embora o ponto tenha apresentado os valores de IVA condizentes com a variação do IQA, em 2014 isso não se repetiu, apresentando resultado inverso dos demais anos. O IQA e OD, ainda que tenham sofrido uma queda, apresentaram um dos maiores valores para o período total.

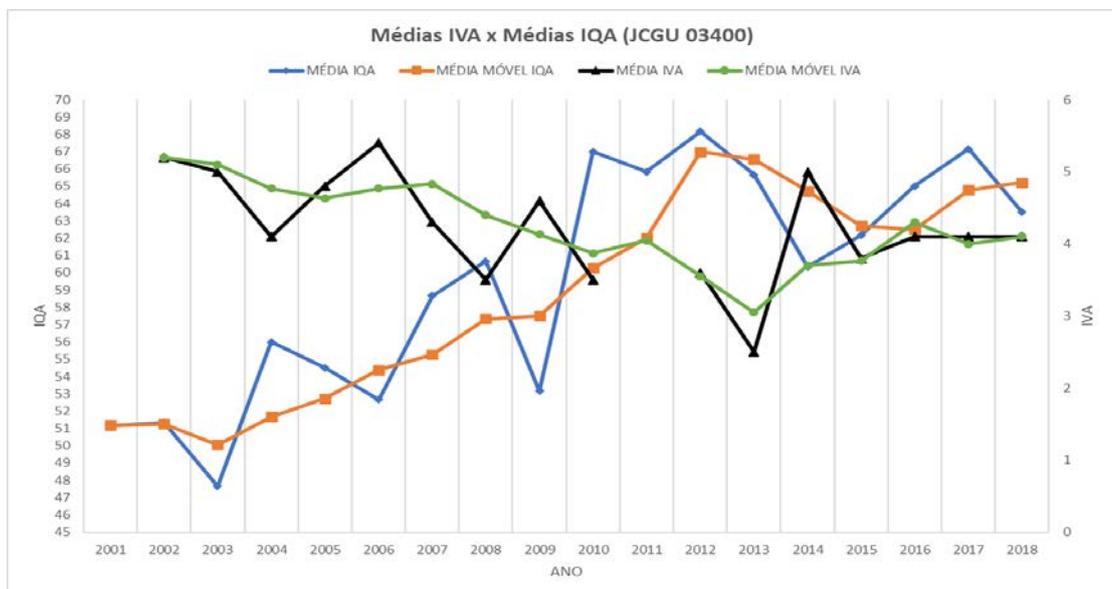
**Figura 38: Média e média móvel IVA para o ponto JCGU 03400.**



Fonte: Autor (2020), com base em CETESB (2002 a 2019).

O comportamento do IVA frente ao IQA evidencia que a qualidade obtida por um reflete a mesma tendência do outro (Figura 39). O ano de 2016 apresentou uma melhora no IQA; entretanto, o IVA não acompanhou essa melhora, obtendo um valor pior. O ano de 2013 apresentou seu melhor valor para o IVA, entretanto, esse ano não representou o melhor valor IQA, esse foi obtido no ano anterior.

**Figura 39: Médias de IVA e IQA no ponto JCGU 03400 ao longo do tempo (2001 a 2018).**



Fonte: Autor (2020), com base em CETESB (2002 a 2019).

Os resultados encontrados para a toxicidade, ensaio com *Ceriodaphnia dubia*, para o ponto, apresentaram uma redução ao longo dos anos, inicialmente contava com 6 testes anuais de 2002 a 2007, 2009 e 2010. Os demais anos constam apenas 4 e 3 testes, com destaque para o ano de 2011, onde, de acordo com os relatórios da CETESB e relatórios do CBH-TJ, não apresentaram dados para o IVA (CETESB, 2002 a 2019).

Além dos valores classificados em crônico e não tóxico, destaca-se o resultado “agudo”, encontrado em 2014. O comportamento do ponto apresentou a maioria dos resultados com o enquadramento “não tóxico”, embora seja possível notar que os anos de 2016 e 2017 obtiveram uma divisão percentual de 50% para o resultado crônico e 50% para o não tóxico.

O ano de 2014 destaca-se também como sendo o único em que o resultado crônico superou o enquadramento não tóxico, com um percentual de 50% (crônico) e 25% para os resultados agudos e 25% para não tóxicos (Tabela 15).

**Tabela 15: Toxicidade e quantidade de resultados crônicos e não tóxicos no ponto JCGU 03400.**

ANO	Número de amostras	Crônico	Não tóxico
2002	6	-	6
2003	6	-	6
2004	6	-	6
2005	6	-	6
2006	6	1	5
2007	6	-	6
2008	4	-	4
2009	6	1	5
2010	6	1	5
2011	-	-	-
2012	3	1	2
2013	4	-	4
2014	3 / 1**	2	1
2015	4	-	4
2016	4	2	2
2017	4	2	2
2018	4	1	3

\*O ano de 2011 não apresentou dados em seus relatórios de qualidade para toxicidade.

\*\*Resultado agudo

Fonte: Autor (2020), com base em Resultados das Variáveis de Qualidade das Águas – CETESB (2003 a 2019).

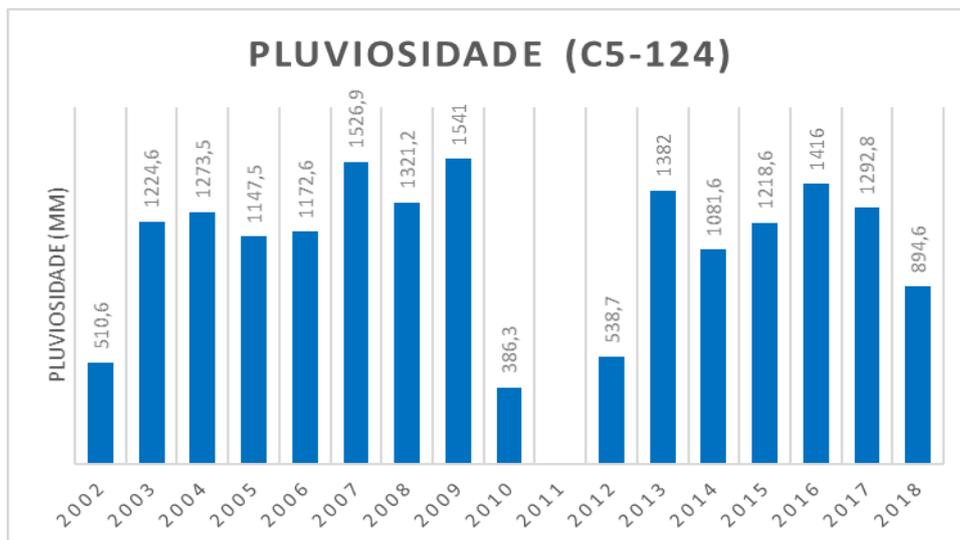
Após a análise dos dados de toxicidade, fica evidente; uma tendência de queda nos resultados “não tóxico”; crescente em resultados crônicos. O ano de 2014 ao apresentar resultado agudo, pode indicar a influência da crise hídrica nesses resultados.

A pluviosidade do ponto junto a régua do DAEE, apresentou falta de dados, como, por exemplo, o ano de 2011, ou dados incompletos para o posto C5-124. A falta desses dados afetou a modelagem gráfica para os seguintes anos: 2002, compreendendo os três primeiros meses desse ano (janeiro, fevereiro e março); 2009, mês de março; 2010, para os meses de fevereiro, março, setembro, outubro, novembro e dezembro; 2012, período de janeiro a agosto; 2018, novembro e dezembro (Figura 40).

De acordo com as informações do Centro Tecnológico de Hidráulica e Recursos Hídricos (CTH), a falta de continuidade dos postos pode estar relacionada a problemas técnicos do posto ou dificuldades do agente de campo, responsável pelas coletas de dados.

O ano de 2014, mesmo não apresentando uma pluviosidade baixa, foi o ano com pior valor de IVA e o quarto pior valor para o IQA. Os anos onde se observaram os piores valores de precipitação foram os de melhor valor para o IQA; entretanto, a falta de dados desses anos afetou a possível relação com os índices, não acompanhando o resultado obtido por Carvalho et al. (2000).

**Figura 40: Pluviosidade acumulada anual no ponto C5-124 (2002 a 2018).**

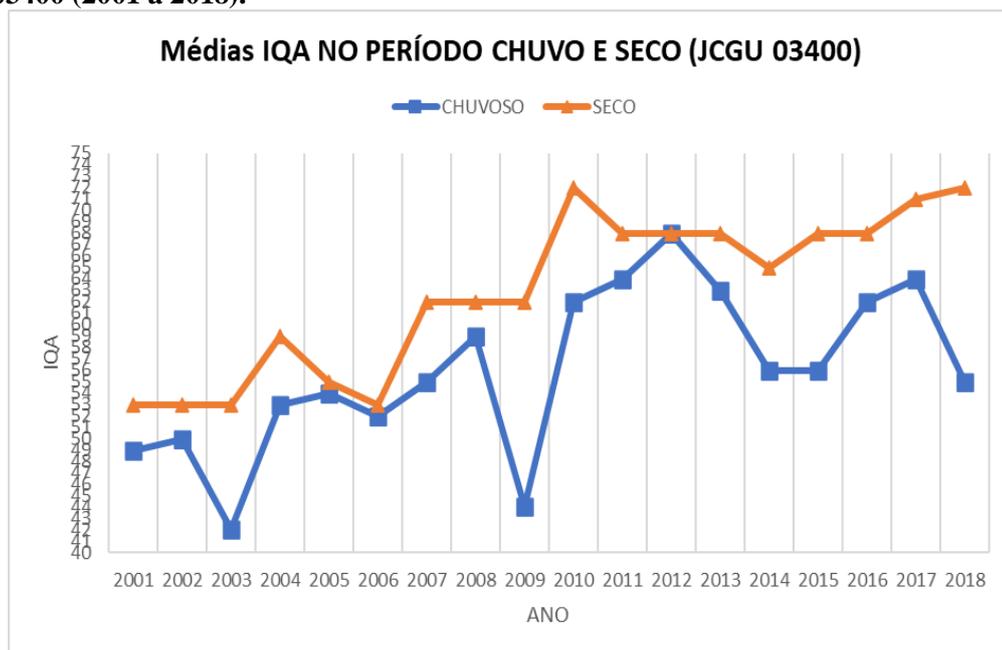


Fonte: Autor (2020), com base em DAEE (2020).

O valor médio obtido para o período considerado chuvoso atingiu 875,8mm frente aos 244,7mm do período seco. O ponto JCGU 03400 possivelmente sofreria um maior impacto que os demais pontos, pois estaria recebendo influência de São Carlos e parte de Araraquara (vide Item 4), sendo compreensível ser o ponto mais impactado. A baixa eficiência da ETE Araraquara também pode estar relacionada a oscilações em seu monitoramento, pois apresentou variações na eficiência de remoção de DBO de 44% a 84%, com destaque ao ano de 2014, onde apresentou a menor eficiência para essa ETE.

Para o IQA, quando analisados os resultados dos valores médios frente aos períodos de seca e de maior precipitação, fica evidente que ao longo do tempo os valores médios de IQA foram melhor observados no período seco (Figura 41).

**Figura 41: Valores médios de IQA nos períodos de maior e menor precipitação no ponto JCGU 03400 (2001 a 2018).**



Fonte: Autor (2021), com base em CETESB (2002 a 2019).

Os valores médios de IVA para os períodos de maior e menor precipitação são observados no Quadro 5.

**Quadro 5: Médias de IVA para os períodos de maior e menor precipitação junto ao ponto JCGU 03400 (2002 a 2018).**

<b>ANO</b>	<b>SECO</b>	<b>CHUVOSO</b>
<i>2002</i>	4,6	5,7
<i>2003</i>	4,2	5,7
<i>2004</i>	3,2	5,4
<i>2005</i>	4,2	5,4
<i>2006</i>	5	5,4
<i>2007</i>	3,8	4,6
<i>2008</i>	3,5	3,2
<i>2009</i>	4,2	5
<i>2010</i>	2,5	4,7
<i>2011</i>		
<i>2012</i>	2,7	5,4
<i>2013</i>	1,7	3,3
<i>2014</i>	5,5	4,4
<i>2015</i>	3,7	3,8
<i>2016</i>	3,8	4,4
<i>2017</i>	4,4	3,8
<i>2018</i>	3,8	4,3

Fonte: Autor (2021), com base em CETESB (2003 a 2019).

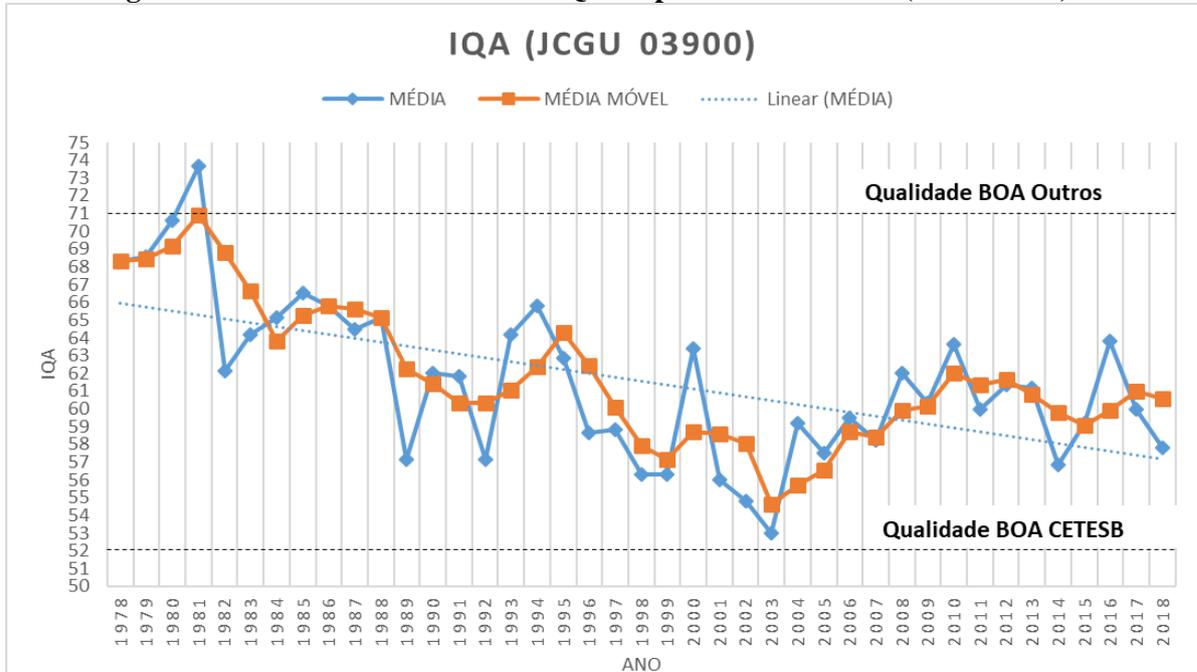
As médias obtidas indicam que, no geral, o período seco apresentou os melhores valores médios para o IVA. O ano de 2014, onde houve a crise hídrica no estado de São Paulo, apresentou o pior valor médio para o período seco no período total. Para o período de maior precipitação, os piores valores foram obtidos nos dois primeiros anos de coleta, 2002 e 2003.

- **Ponto JCGU 03900 (Ibitinga)**

O JCGU 03900 foi o primeiro ponto da rede de monitoramento da CETESB na Sub-Bacia JC-GC, antigo JG 2100, a jusante dos municípios de Araraquara e São Carlos. Este ponto teve como início de suas medições o ano de 1978 e, desta forma, dentre os pontos utilizados neste trabalho, é o que apresenta maior quantidade de dados. Os valores de IQA

obtidos neste ponto possibilitaram uma modelagem de gráficos, onde se observou as variações ocorridas e incorrer os possíveis impactos causados de acordo com outros eventos (Figura 42).

**Figura 42: Média e média móvel do IQA do ponto JCGU 03900 (1978 a 2018).**



Fonte: Autor (2019), com base em CETESB (1979 a 2019).

A linha tracejada no gráfico representando a qualidade “Boa Outros” significa o patamar utilizado por outros estados (Alagoas, Minas Gerais, Mato Grosso, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Norte e Rio Grande do Sul) para a classificação “Boa” do IQA; a linha tracejada “Boa CETESB” indica a faixa inicial de valor para uma classificação “Boa”.

Segundo a CETESB (1978), os valores apresentados no primeiro relatório de qualidade das águas interiores consideraram os IQA’s de anos anteriores, 1975 a 1977. Os dados iniciais do ponto JCGU 03900 apresentaram médias do IQA crescentes (68,3, 68,5, 70,5 e 73,6) até o ano de 1981 e, posteriormente, uma queda dessas médias até o ano de 1984.

O patamar do IQA, inicialmente, possuía uma classificação “boa” para os padrões da CETESB; entretanto, a classificação do IQA para outros estados, conforme apresentado anteriormente na Tabela 3, apresenta uma nota mais rigorosa, e classifica esse ponto como, “razoável” e “boa”. Embora o IQA-CETESB seja o primeiro índice utilizado no Brasil, se encontra defasado, pois não acompanhou a evolução dos requisitos ambientais. Isso fica evidente quando, se considerado outras faixas de IQA, o ponto permaneceu quase que em sua totalidade, com o índice abaixo da qualidade “boa”. Santini (2017) já havia observado

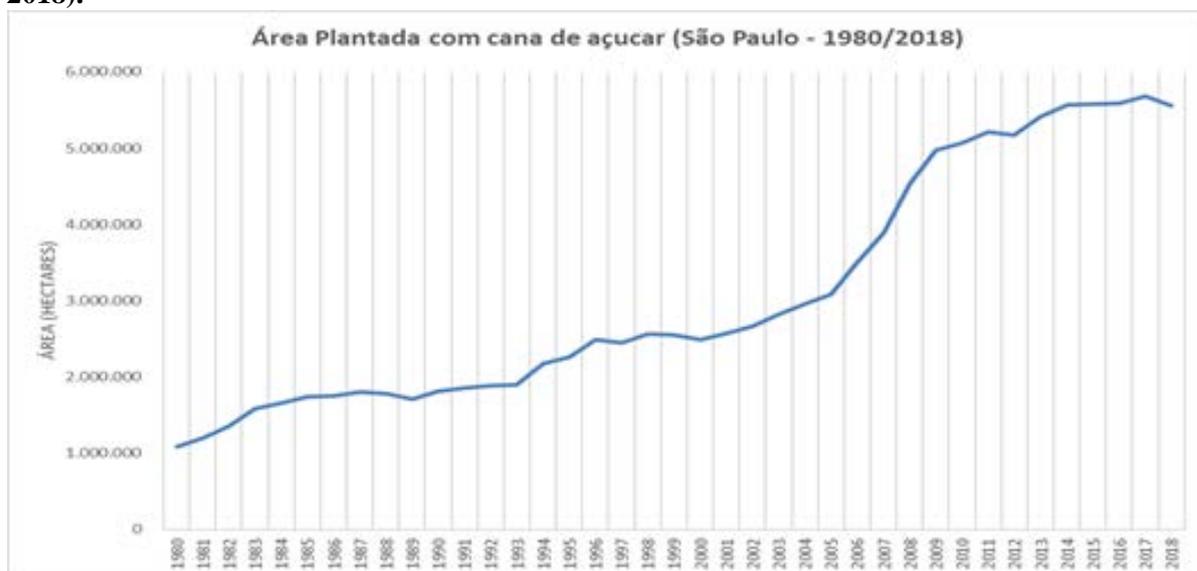
variações no IQA quando calibrados para os locais estudados, próximos a rodovia BR-493/RJ-109, apontando que o IQA-NSF resultou valores acima dos obtidos no estudo. Boso, Gabriel e Gabriel Filho (2015), concluíram que os pesos atribuídos a cada parâmetro é o que determina, para os índices, a qualidade da água para o ser humano e para a vida aquática.

No período entre 1978 e 2003, o ponto apresentou quedas significativas em sua média anual, especificamente, nos anos de 1982, 1989, 1992, 1999 e 2001. Posteriormente a essas quedas, houve uma recuperação considerável, a exceção, o ano de 2001, obtendo uma baixa nos anos seguintes. A maior e menor média para o período, foram, respectivamente, em 1981 e 2003, obtendo um IQA de 74 e 53, ocorrendo uma variação no IQA de 21 pontos.

Dentre as variações ocorridas, a maior queda ocorreu entre os anos de 1981 e 1982, representando uma queda de 12 pontos no índice, mais que a metade da variação entre o máximo e mínimo valor de IQA para o período.

Essa tendência de queda, possivelmente está relacionada a expansão da cana-de-açúcar, já que os períodos observados estão próximos aos resultados obtidos pela EMBRAPA (RONQUIM, 2018), Souza (2016), Leão (2002) e ÚNICA (2005), quando ocorreu um crescente dessa monocultura, especialmente na década de 80. Esse crescimento da área de plantio de cana-de-açúcar no estado de São Paulo pode ser melhor compreendido graficamente (Figura 43). Essa expansão pode ser observada em dois momentos, no primeiro momento até o ano de 2000, seguido de um crescimento bem mais acelerado a partir de 2005 até o ano de 2009.

**Figura 43: Área de plantio da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo (1980 a 2018).**



Fonte: Autor (2020), com base em ÚNICA (2020) a partir de IBGE (2021).

A possível ligação da qualidade da água com a cultura da cana pode ser melhor compreendida quando se observa os resultados da ocupação do solo da Sub-Bacia JC-GC, especialmente, no Plano de Bacias da UGHRI 13 (VERTIVER, 2016), quando apresenta um percentual de quase 50% do território dominado por essa monocultura. Essa crescente ocupação da cana-de-açúcar está ligada aos incentivos, oriundos do PROALCOOL, cuja implementação ocorreu em 1975, mesma década do crescente populacional nos municípios de Araraquara e São Carlos; entretanto, passou a ter um maior incentivo no início da década seguinte, reforçando a possível relação as quedas observadas. Cabe ressaltar que esse incentivo alterou a paisagem da Sub-Bacia, que anteriormente, apresentava uma forte vocação para a citricultura e, anteriormente, a cultura cafeeira.

Essa transição do citrus, que anteriormente dominava a região, para a cana-de-açúcar, ocorreu de maneira mais enfática na década de 80, mesma década da expansão da cana, reforçando que os incentivos a monocultura passaram a dominar a paisagem. Isso é reforçado por Baccarin e Pereira (2016), quando estudaram a expansão da cana entre 1975 e 2006, onde apresentam que o domínio da cana-de-açúcar afetou a diversificação de culturas. Outro aspecto que possibilita uma relação com as quedas do IQA é a remoção da vegetação natural da Sub-Bacia JC-GC, pois os resultados obtidos pelo Plano de Restauração Florestal apontaram que apenas 10% da vegetação dessa Sub-Bacia se encontrava preservada, o que reforça a deliberação do CBH-TJ na área classificada como crítica e muito crítica (VETIVER et al., 2016; CBH-TJ, 2020), reforçando a queda dos valores do índice.

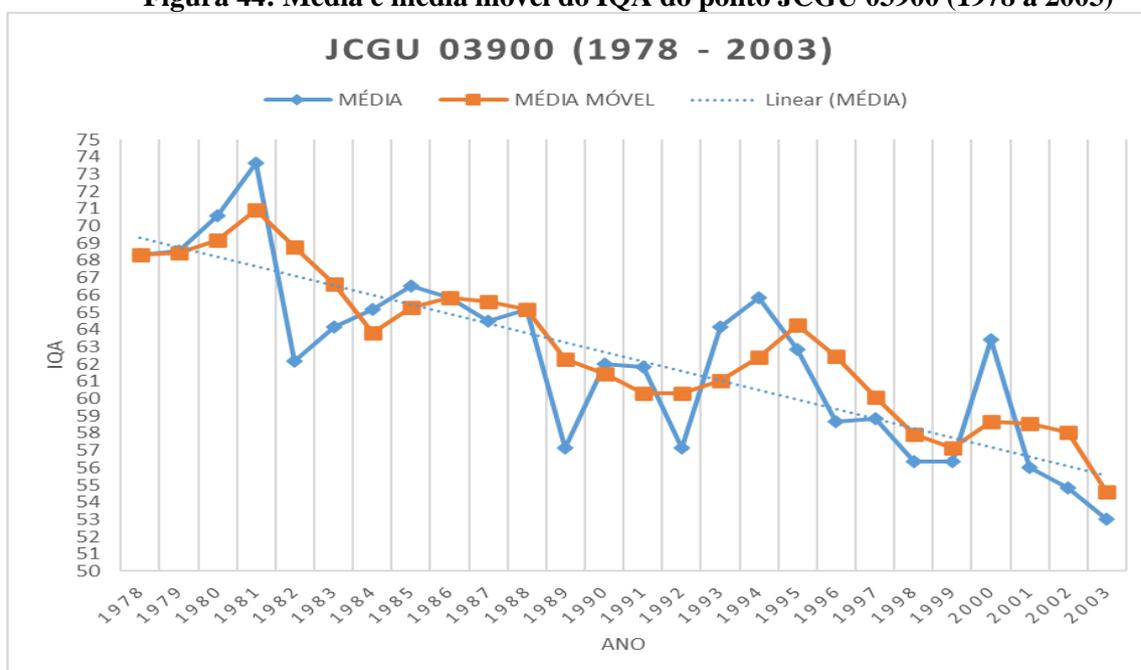
Essa remoção da vegetação acaba interferindo na proteção dos solos, sendo que no entorno e a montante do JCGU 03900 o percentual de vegetação nativa remanescente é baixo, o qual pode estar influenciando na qualidade dos corpos d'água, principalmente no Rio Jacaré-Guaçu. O relatório do CBH-TJ (2020) segue a mesma linha, quando expõe a importância da vegetação, na tentativa de evitar processos erosivos.

A forma como se utiliza o solo de uma bacia pode definir o comportamento na qualidade de seus corpos d'água, essas interferências podem ser positivas para alguns parâmetros e negativas a outros. Menezes et al. (2015) afirmam que as atividades humanas afetam os parâmetros físico-químicos e biológicos dos corpos d'água; Pontes (2016) observando oscilações nos resultados do IQA de um corpo d'água apontou que essas oscilações poderiam ser explicadas por conta das variações sazonais climáticas e pelas variações no uso do solo no entorno do corpo hídrico.

A interferência na ocupação do solo, por conta, da alteração de culturas, dentre elas, a cana, possivelmente colaborou para as alterações ao longo do tempo, pois os solos da Sub-Bacia JC-GC possuem uma alta suscetibilidade a erosão, conforme o Instituto Pró-Terra (2013), sendo que grande parte da Sub-Bacia está na faixa de moderada a muito alta suscetibilidade. Entretanto, apesar do ponto JCGU 03900 estar inserido em uma região de baixa susceptibilidade, a montante desse ponto encontram-se áreas entre alta e muito alta, potencializando um maior carreamento de compostos ao corpo d'água, possivelmente influenciando nos índices.

Os dados apontados pelo IPT (2012) expõem que, todos os municípios situados na Sub-Bacia JC-GC apresentaram processos erosivos. Essas ocorrências podem indicar que, ao longo do tempo, a forma como se vem utilizando o solo da Sub-Bacia possivelmente justifica a tendência de queda observada para o IQA até o ano de 2003. Utilizando a linha de tendência para o período total deste ponto, 1978 a 2018, observa-se uma tendência geral de piora no índice; entretanto, é possível notar duas variações de tendência neste ponto. Essas variações representam dois momentos: uma queda no índice de qualidade (Figura 44) e uma tendência de recuperação (Figura 45).

**Figura 44: Média e média móvel do IQA do ponto JCGU 03900 (1978 a 2003)**

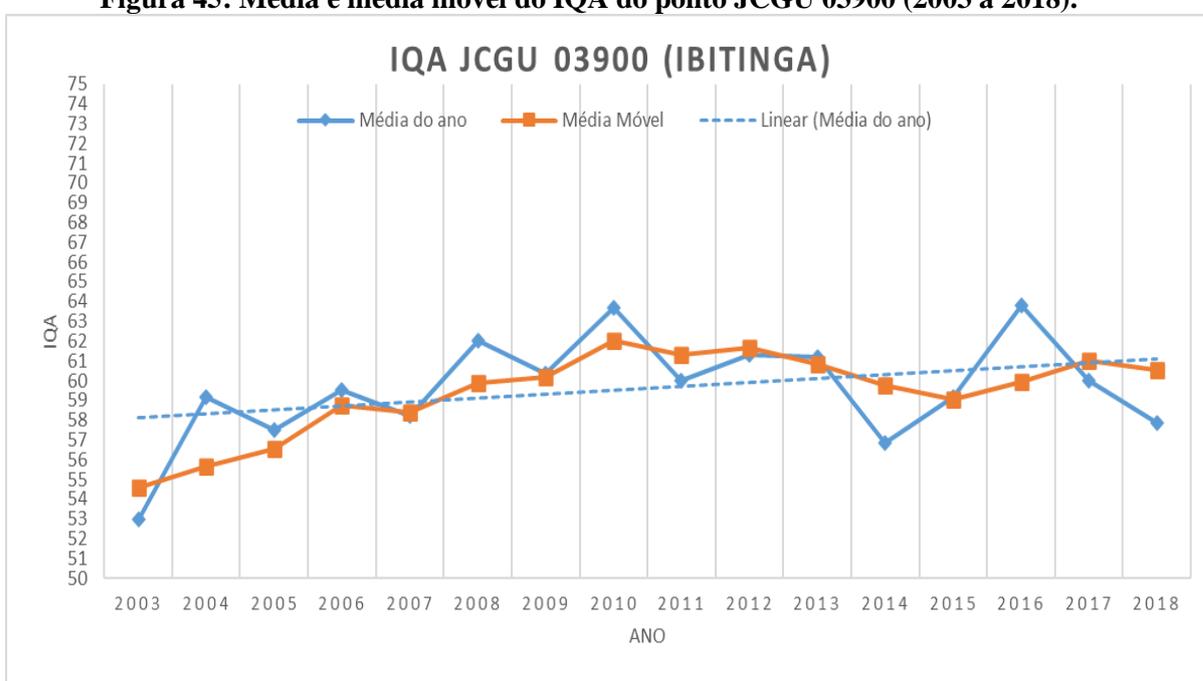


Fonte: Autor (2020), com base em CETESB (1979 a 2004).

Após o ano de 2003 (Figura 45), o índice obteve uma variação positiva, de 11 pontos, entre seu maior e menor valor, sendo os anos de 2010 e 2016 representantes dos maiores

índices (64) e 2003, 2014 e 2018 os menores valores (53, 57 e 58). Nota-se que o IQA melhora após 2003, mesmo com um aumento vertiginoso na produção de álcool. A tendência de melhora nesse período possui, a partir de 2003, uma escalada até o ano de 2010, exceção aos anos de 2005, 2007 e 2009, onde houve uma leve queda no IQA. A partir de 2010 o índice volta a apresentar oscilações entre queda e melhora até o ano de 2014, onde ocorre uma queda mais brusca; isso se repete a partir de 2016, seguindo em queda até o ano de 2018. Embora as médias de IQA tenham apresentado algumas oscilações mais representativas (2004, 2014 e 2016) ao longo do tempo; a média móvel apresentou uma tendência de melhora com variações mais sutis.

**Figura 45: Média e média móvel do IQA do ponto JCGU 03900 (2003 a 2018).**



Fonte: Autor (2020), com base em CETESB (1979 a 2004).

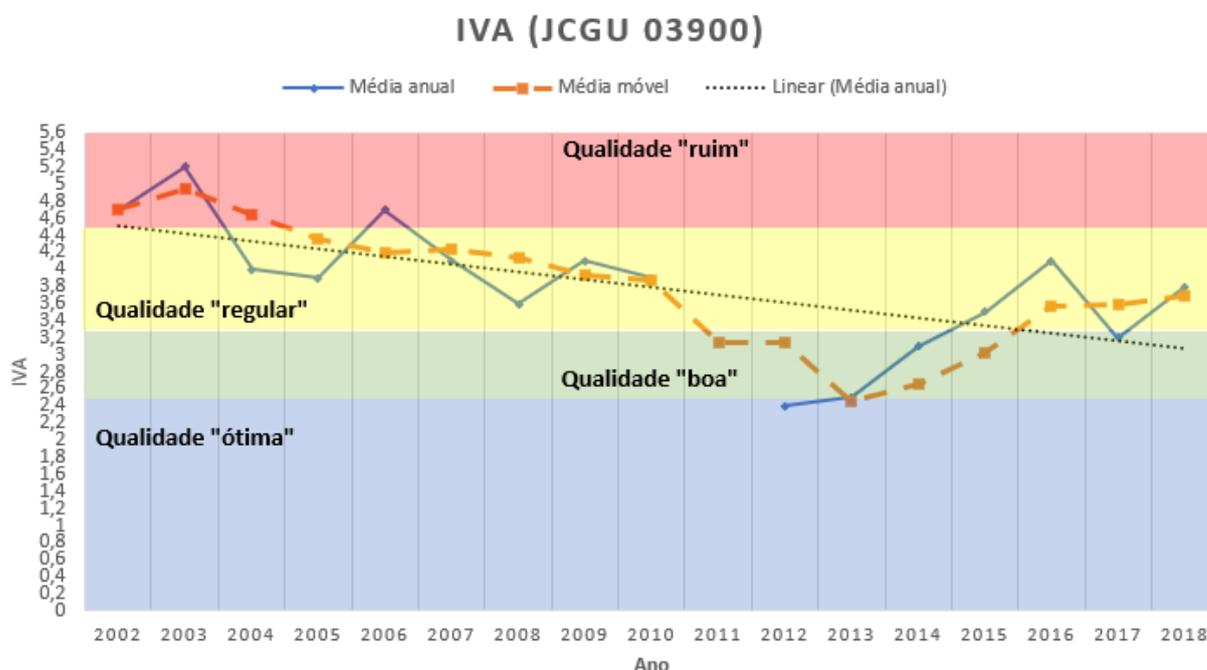
A melhora a partir de 2003 observada (Figura 45), seria uma possível influência da implantação das ETEs, especialmente, de Araraquara (em 2000) e São Carlos (em 2007). Contudo, as ETEs, apesar de não efetuarem seu lançamento diretamente no Rio Jacaré-Guaçu, ainda sim contribuem com a carga orgânica. As oscilações observadas, a partir de 2010, possivelmente teriam sido influenciadas pelo percentual de eficiência dessas estações e por crescente expansão da cana-de-açúcar no estado de São Paulo (vide Figura 43). Uma menor eficiência das ETE's, expansão da cana de açúcar e poluições pontuais, de forma global, podem ter influenciado na variação do IQA no ponto CETESB de Ibitinga.

As oscilações do IQA não necessariamente representam a real condição de um corpo d'água, sendo essa condição de melhora ou piora neste índice já discutida por Wills e Irvine (1996). As oscilações foram também discutidas no estudo de Leite et al. (2013), sobre a avaliação de tendências dos parâmetros do IQA e, embora tenha sido feita para outra Sub-Bacia, apresentou resultados semelhantes aos obtido para o JCGU-03900.

A variação do IVA (Figura 46), assim como a do IQA (2003 a 2018), apresentou uma tendência de melhora; entretanto, a partir de 2013 o índice teve uma mudança em sua qualidade e apresentou 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 conseqüentemente a pior qualidade (Ruim) foi alcançado em 2003 (5,2), mesmo ano do pior valor de IQA obtido para o ponto. Esses índices de qualidade apresentaram um comportamento muito semelhante na melhora da qualidade ao longo do tempo, embora, o ano de 2016 tenha apresentado um comportamento contrário, com uma alta no IQA e piora no IVA.

**Figura 46: Média e média móvel do IVA no ponto JCGU 03900 (2002 a 2018).**



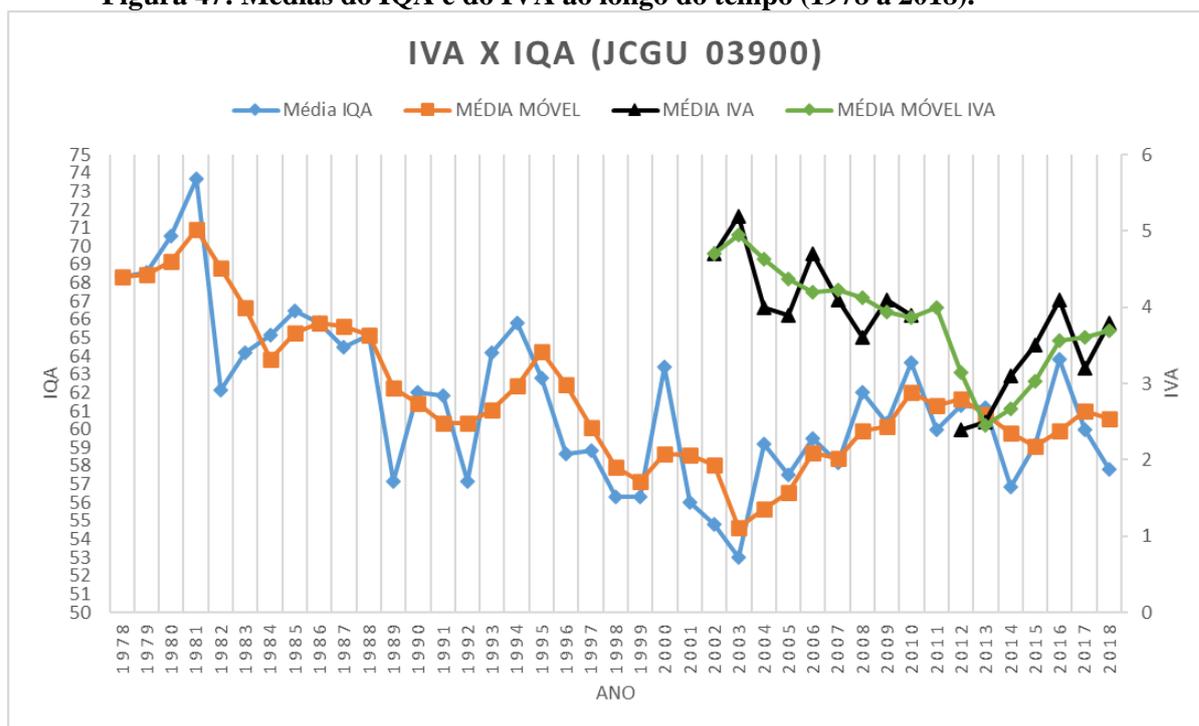
Fonte: Autor (2020), com base em CETESB (2003 a 2019).

Na Figura 47 são apresentadas a variação do IQA e do IVA no ponto JCGU 03900 no período estudado. Embora a classificação desses índices varie de forma inversamente

proporcional, evidencia que acompanha as variações de melhora e piora, sendo índices complementares. No presente caso, a partir do início das determinações do IVA, em 2002, sua tendência foi de melhora, compatível com a melhora também do IQA.

Apesar do IQA ser classificado como bom em vários momentos, é possível que, não necessariamente a água esteja em boas condições. O trabalho de Carvalho et al. (2000) apontou isso, pois foram encontrados compostos organoclorados nos ribeirões estudados por eles; entretanto, deve-se observar que se trata de resultados anteriores à implementação do IVA. Embora o IQA e IVA não apresentem os pesticidas como um de seus parâmetros, uma maior área para o cultivo de cana poderia implicar em altas concentrações de pesticidas e fertilizantes nos corpos d'água e dentre os parâmetros que integram o IVA é possível notar que as concentrações de metais em corpos próximos ao cultivo de cana apresentam valores elevados.

**Figura 47: Médias do IQA e do IVA ao longo do tempo (1978 a 2018).**



Fonte: Autor (2020), com base em CETESB (1979 a 2019).

Corbi et al. (2006) analisaram alguns córregos tributários do Rio Jacaré-Guaçu, concluindo que alguns metais, como o cobre e cádmio na sua forma total, foram encontrados nesses corpos d'água. Esses resultados podem reforçar o ano de um dos piores valores médios do IVA, 2006. Conforme observado no uso da terra por Souza e Galvani (2018) a cultura temporária, representada pela cana, obteve um crescente até 2004, obtendo 12,4% do total da

Sub-Bacia JC-GC; entretanto, o solo exposto e pastagens também podem ser considerados nesses resultados, o que representaria um total de quase 58% da Sub-Bacia. Apesar desse crescimento, não houve uma piora nos índices IQA e IVA, embora deva ser ressaltado que no caso do IQA, os valores nunca tornaram ao patamar obtido desde o início da implementação desse ponto.

O estudo de Corbi (2006) é reforçado posteriormente pelo mesmo autor em 2020 (CORBI, 2020). Obtendo resultados de metais nos corpos d'água tributários ao Rio Jacaré-Guaçu, onde aponta que áreas agrícolas interferiram nas concentrações de metais nos organismos estudados, sendo explícita a importância de matas ciliares, considerada uma barreira para os fertilizantes que contenham metais. Esses resultados possibilitam o comparativo com os valores médios obtidos pelo IVA ao longo do tempo, pois o resultado alcançado vai ao encontro do ano em que o estado de São Paulo caminhava para um acelerado aumento da área de cana, 2002, conforme pode ser observado na Figura 43.

Os anos de 2015 e 2016 também podem estar relacionados ao aumento da utilização de agrotóxicos. Acayaba (2017) apresentou em estudo no Rio Jacaré- Guaçu que, para esses anos, foram encontrados herbicidas nesse corpo d'água. O relatório da CONAB (2019) apresenta gráfico de crescimento da safra de cana (Figura 43), reforçando os resultados encontrados por Acayaba (2017) para o período e coincidente com a piora do IVA.

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 parâmetro por parâmetro afim de compreender a variação do índice.

O parâmetro ecotoxicológico para o IVA teve em seu primeiro ano, 2002, nos seis períodos de coleta, apenas um resultado crônico, obtido no primeiro mês de coleta (fevereiro) e os demais meses apresentaram resultados de “não tóxico”. Os resultados de toxicidade, apresentados como não tóxicos foram obtidos até o ano de 2009 e, posteriormente, a partir de 2010, se obteve resultados crônico e não tóxico até o ano de 2018, com exceção para 2013, 2014 e 2017, onde o resultado foi “não tóxico” (Tabela 16).

**Tabela 16: Toxicidade e quantidade de resultados crônicos e não tóxicos no ponto JCGU 03900.**

ANO	Número de amostras	Crônico	Não tóxico
2002	6	1	5
2003	2	-	2
2004	2	-	2
2005	2	-	2
2006	2	-	2
2007	2	-	2
2008	2	-	2
2009	1	-	1
2010	2	1	1
2011	-	-	-
2012	3	1	2
2013	4	-	4
2014	4	-	4
2015	4	1	3
2016	4	2	2
2017	4	-	4
2018	4	1	3

**\*O ano de 2011 não apresentou dados em seus relatórios de qualidade para toxicidade.**

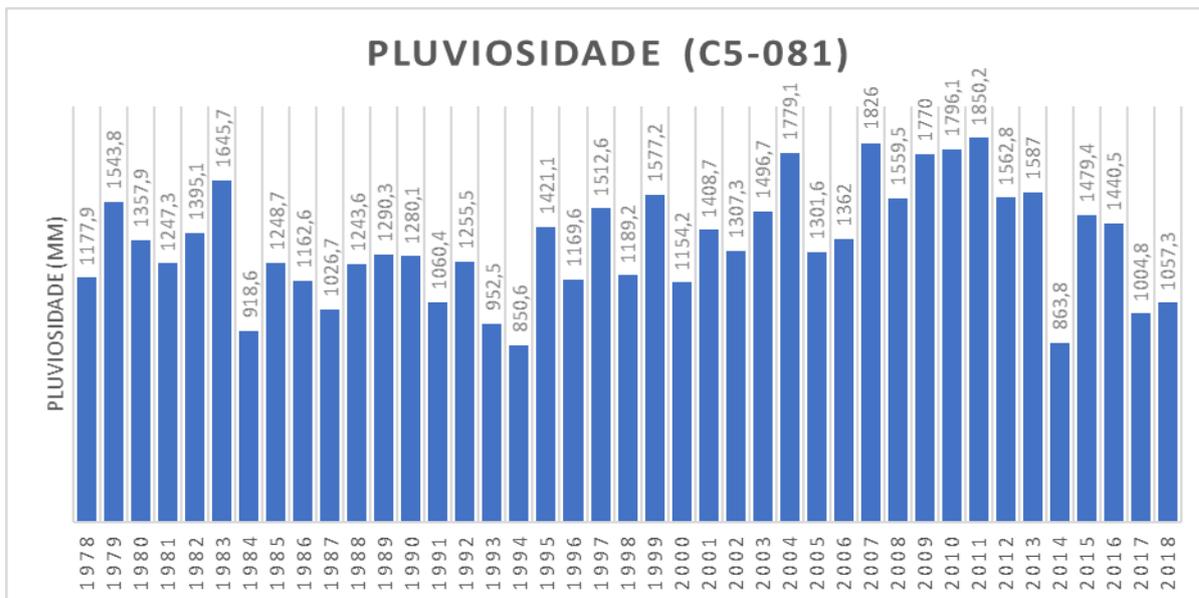
Fonte: Autor (2020), com base em CETESB (2003 a 2019).

Pelaez-Rodriguez et al. (2001), no trecho do alto Jacaré-Guaçu, mais próximos ao ponto JCGU 03200 e BROA 02800, já haviam encontrado metais em corpos d'água próximos a esses pontos. Para os testes de toxicidade não obtiveram resultados agudos, mas apresentaram 3 indícios de toxicidade.

Novelli (2005), a montante do ponto JCGU 03900, no Rio Monjolinho, tributário do Rio Jacaré-Guaçu, obteve no período do seu estudo (2003 a 2004) quinze resultados crônicos, mais da metade do obtido no referido ponto.

A pluviosidade (Figura 48), utilizando o posto DAEE C5-081, apresentou os menores valores nos anos de 1984, 1994 e 2014; entretanto, cabe destacar que em 1994 houve falta de dados por um período de seis meses. As maiores precipitações ocorreram nos anos de 1979, 2004, 2007 e 2011.

**Figura 48: Pluviosidade acumulada anual no posto DAEE C5-081 (1978 a 2018).**



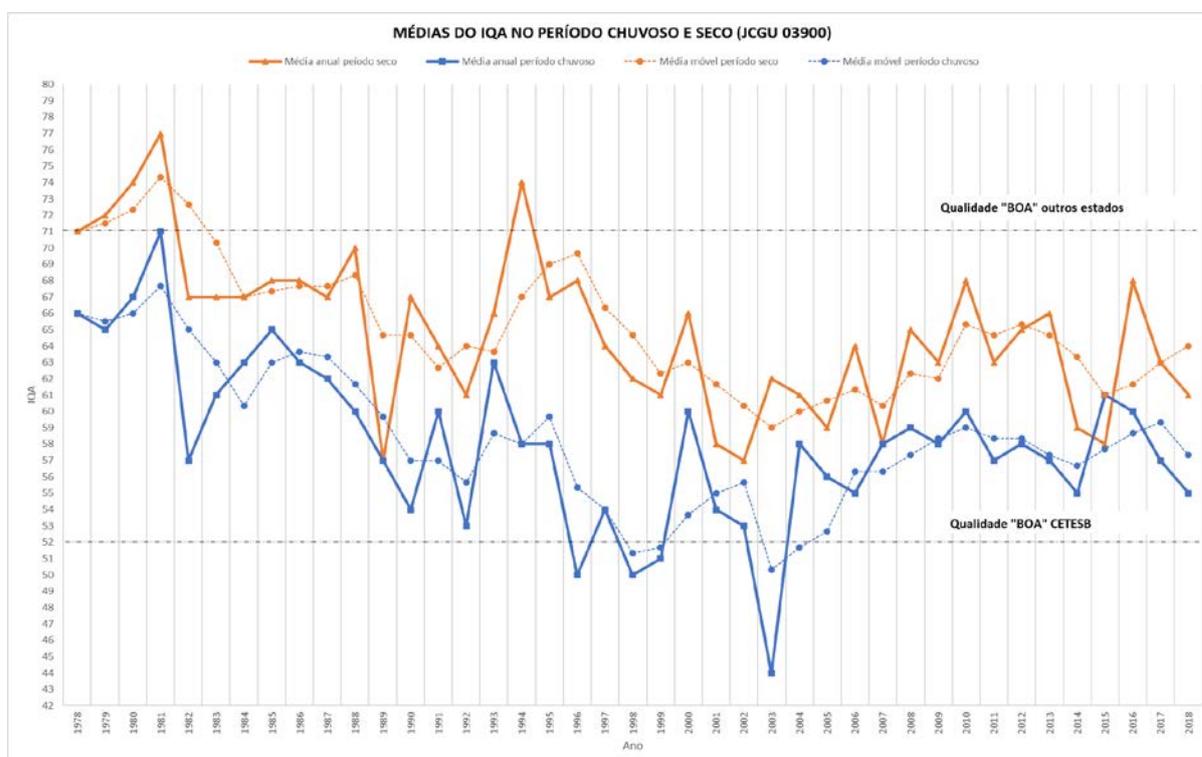
Fonte: Autor (2020), com base em DAEE.

Nos anos entre 1984 e 1994, de menores precipitações, quando considerados a evolução da cultura da cana de açúcar e aos valores de IQA, apresentaram os seguintes comportamentos: nítido crescimento da cana de açúcar; oscilação do IQA entre melhor e pior valor e uma baixa precipitação.

Em 1981 o IQA apresentou seu maior valor médio e uma precipitação, para o mesmo ano de 1247,3 mm. Situação inversa foi encontrada para o ano de 2003, onde obteve o pior valor para o IQA e uma precipitação de 1496,7 mm. Para o IVA ocorreu situação análoga, especialmente em 2003 e 2012, anos do pior e melhor valor de IVA respectivamente. O ano de 2016 apresentou uma das maiores precipitações para o período total (1978 a 2018); entretanto, o IVA neste ano está entre os piores valores (4,1) para o período observado (2002 a 2018).

Quando se analisa as médias de IQA do JCGU 03900 por período (seco e chuvoso), fica evidente que os melhores valores de IQA foram encontrados no período seco, somente o ano de 2015 obteve resultado abaixo, um possível reflexo do ano anterior (2014), ano de crise hídrica. O período chuvoso apontou piores valores para o IQA, cabendo destaque para o ano de 2003, ano dos piores valores de IQA e IVA (Figura 49).

**Figura 49: Médias do IQA nos períodos de maior e menor precipitação no ponto JCGU 03900 (1978 a 2018).**

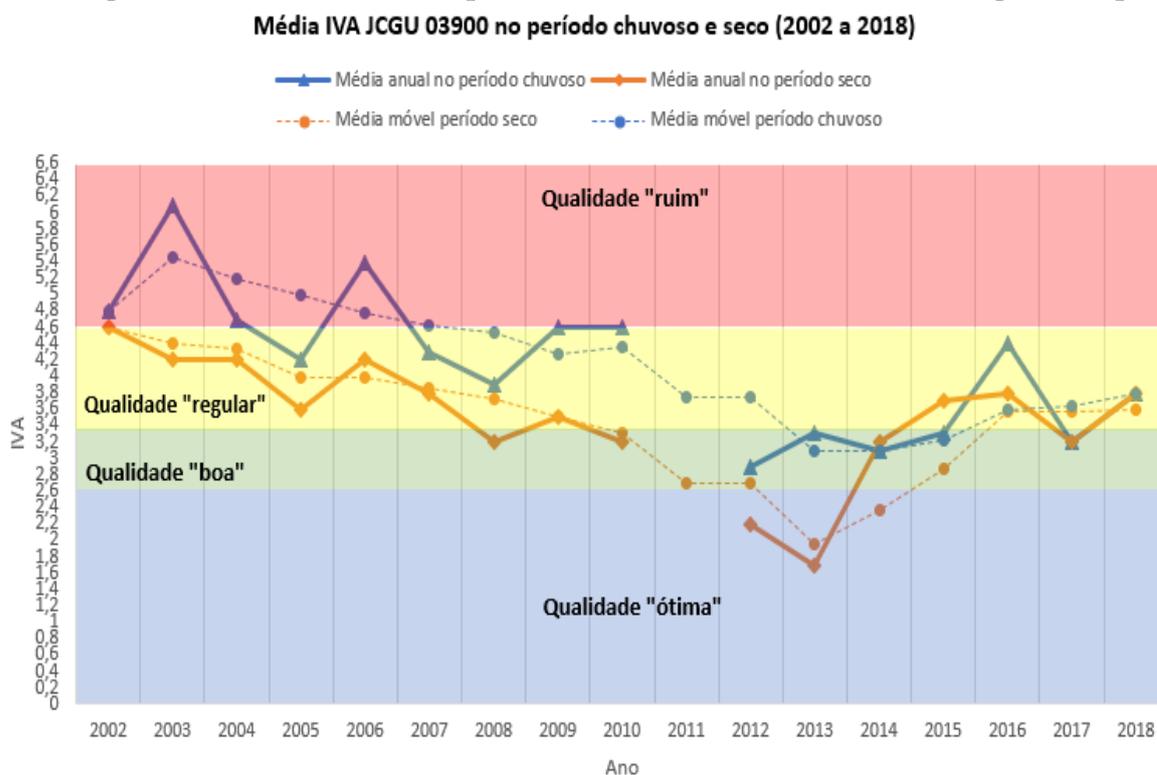


Fonte: Autor (2021), com base em CETESB (1979 a 2019).

De maneira geral, nota-se que, uma maior precipitação não representou, necessariamente, os melhores valores para ambos os índices e isso também ocorreu para as menores precipitações. Os anos onde foram apresentadas as menores precipitações o IQA apresentou a classificação “boa”, isso ocorre, pois, possivelmente houve um menor carreamento dos compostos encontrados no solo. Resultado similar foi observado por Carvalho et al. (2000), onde analisou, nos ribeirões estudados, em que a classificação “boa” para o IQA foi observada no inverno, período normalmente menos chuvoso. Centeno et al. (2016) apresentam resultado contrário, apontando que no corpo hídrico estudado a classificação do IQA foi melhor em períodos de mais alta precipitação. Essas diferenças reforçam que, uma maior ou menor precipitação, necessariamente não justificam a classificação do IQA e IVA, isto depende do estado de conservação da bacia hidrográfica. É possível observar essa relação, para o IQA e IVA, particularmente para o ano de 2014, em que a precipitação foi relativamente baixa se comparado aos demais anos da série histórica. Esse ano apresentou o valor do IVA classificado como “bom” e IQA classificado como “bom”.

Para o IVA é possível observar os resultados para os períodos de maior e menor precipitação na Figura 50.

**Figura 50: Médias do IVA dos pontos JCGU 03900, 03400 e 03200 ao longo do tempo.**



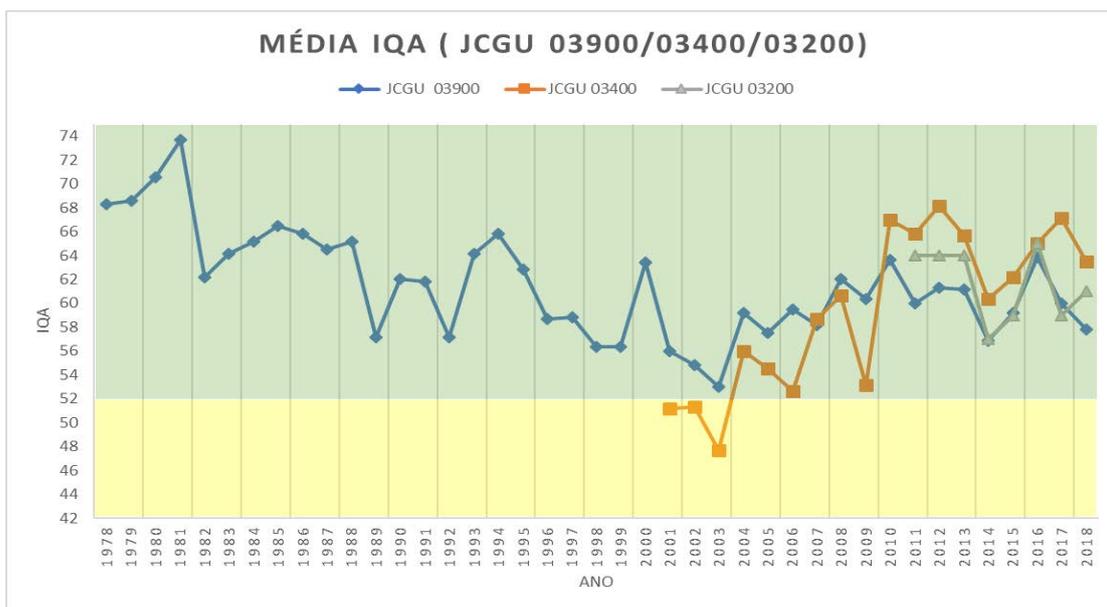
Fonte: Autor (2021), com base em CETESB (2003 a 2019).

Os valores médios apresentados apontam, de modo geral, que os melhores valores foram alcançados durante o período de menor precipitação (Seco). Entretanto, para os anos de, 2014, 2017 e 2018, pode-se considerar como anos em que obtiveram resultados iguais, devido a sua pequena variação para ambos os períodos.

#### • Síntese dos Resultados

O comportamento dos resultados nos pontos da CETESB ao longo do tempo demonstrou que, de forma geral, a média do IQA foi classificada como “boa” (JCGU 03900/03400/03200) e “ótima” para o BROA 02800. Dentre os pontos observados, o único que apresentou média “razoável” foi o ponto JCGU 03400, nos três primeiros anos de monitoramento (Figura 51).

**Figura 51: Médias do IQA dos pontos JCGU 03900, 03400 e 03200 ao longo do tempo.**



Fonte: Autor (2020).

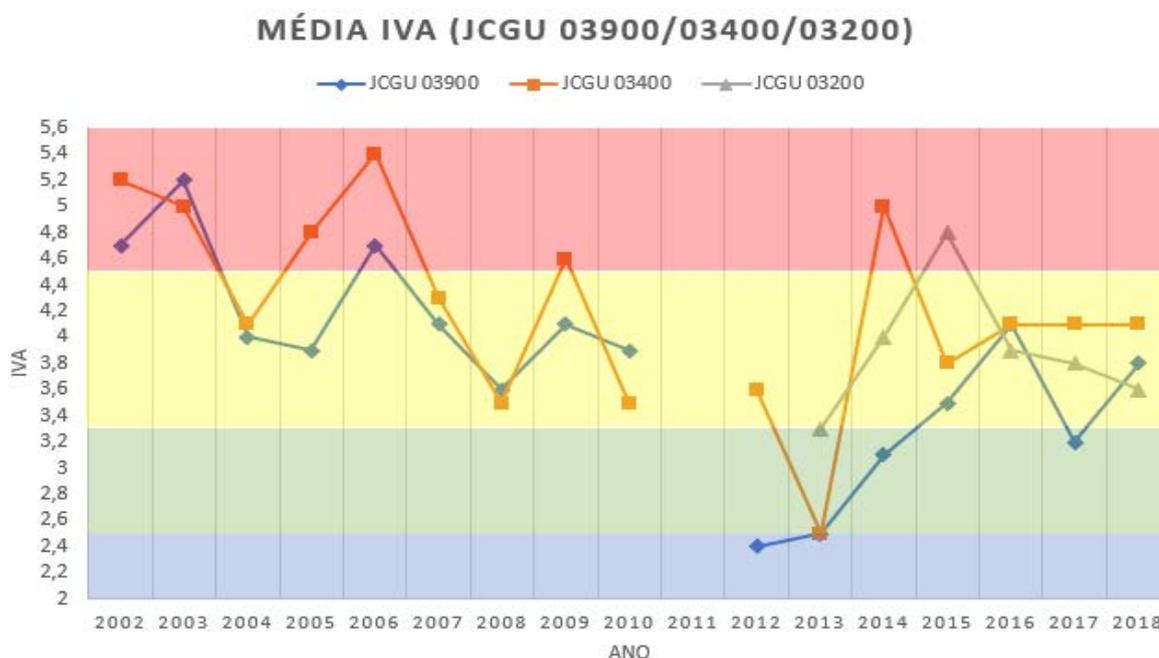
A junção dos resultados de cada ponto possibilitou, ainda, verificar duas tendências para o JCGU 03900, uma queda e uma melhora no IQA, esse período de melhora, a partir de 2003, foi verificado também no JCGU 03400, sendo possível observar que, após esse ano, os pontos passaram a se comportar de forma semelhante. A partir do ano de 2010 houve a troca de posições nesses pontos, apresentando um melhor valor de IQA para o JCGU 03400; porém, ainda mantiveram o comportamento semelhante. O ponto JCGU 03200 apresentou algumas oscilações; entretanto, de maneira geral, os valores observados nesse ponto permaneceram abaixo dos valores do JCGU 03400 e acima do JCGU 03900, exceção os anos de 2015 e 2017. As médias de IQA alcançadas possibilitam a conclusão de que, o IQA nesse rio apresentou valores mais elevados no início do monitoramento, especificamente no JCGU 03900. Os valores alcançados possivelmente seriam compatíveis com a realidade da época; entretanto, é possível notar que, no período de maior incentivo ao agronegócio, através da monocultura da cana-de-açúcar, foram os anos onde se observou uma queda considerável nos valores médios do IQA.

Com a expansão canavieira e um maior aporte de compostos nos corpos d'água é possível relacionar que essa expansão tenha afetado o Rio Jacaré-Guaçu. A década de 80 apresentou algumas recuperações; porém, nunca tornou aos melhores valores, obtidos inicialmente.

A melhora no IQA no ponto JCGU 03900 a partir de 2003 pode estar relacionada com as oscilações dos pontos a montante, por exemplo, implementação da ETE de Araraquara, a partir de 2000. Embora a área de cultivo de cana tenha sido alavancada a partir desse ano, possivelmente essa ETE estaria atenuando os impactos oriundos desse cultivo. Com relação ao ponto JCGU 03400, quando observado o período da implementação da ETE, fica nítido que houve um impacto positivo, entretanto, as quedas apresentadas no período podem estar diretamente relacionadas à variação da eficiência dessa estação.

Como já visto, a classificação do IVA é inversamente proporcional à do IQA. Entretanto, por serem complementares, seguem um comportamento, que foi observado anteriormente, onde a melhora do IQA coincidiu com a obtenção de melhores valores para o IVA. A classificação geral para o IVA (Figura 52), apresentada ao longo do tempo, foi de “ruim” (vermelho) e “razoável” (amarelo); entretanto, houve períodos classificados como “boa” (verde) e “ótima” (azul), apresentando, contudo, uma tendência de melhora.

**Figura 52: Médias do IVA dos pontos JCGU 03900, 03400 e 03200 ao longo do tempo.**



Fonte: Autor (2020).

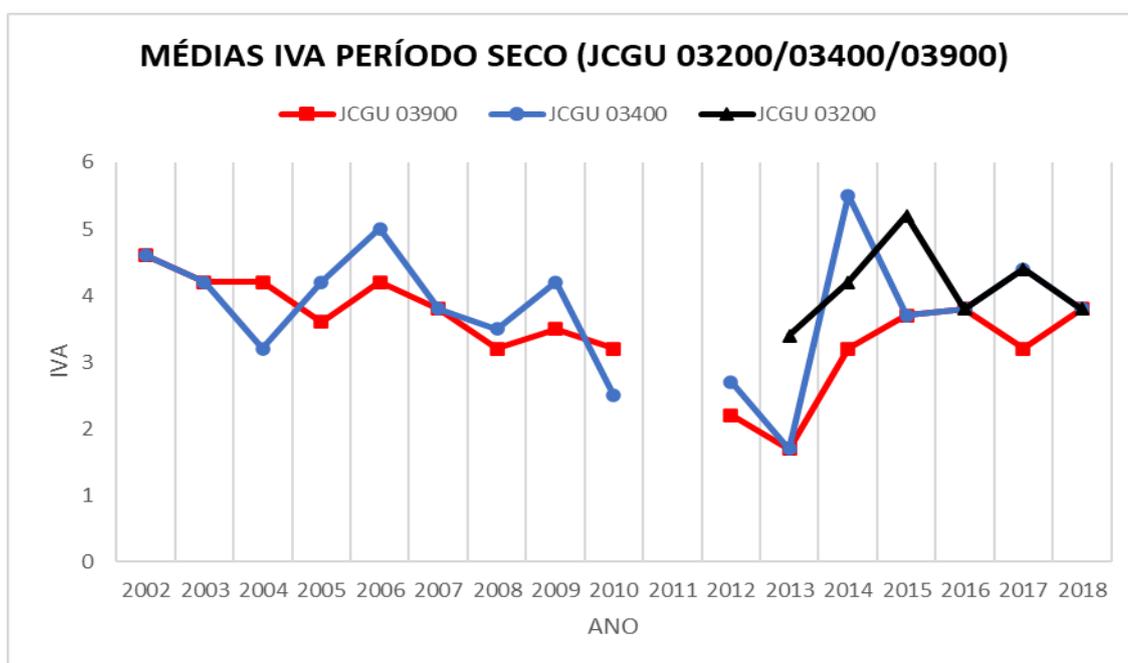
O IVA apresenta três situações de comportamento, especialmente no ano de 2014, com característica de baixa precipitação e conseqüente redução na vazão, sendo que o ponto JCGU 03900 possui classificação “boa”; o JCGU 03400, “ruim”; e o JCGU 03200, “razoável”. Nota-se que os pontos de pior classificação são aqueles que se encontram mais

próximos das ETE's Araraquara e São Carlos. A baixa disponibilidade hídrica possivelmente reduziria o carreamento 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.

De maneira hipotética, o agravamento da classificação do JCGU 03400 pode estar relacionado ao fato do ponto do município de Araraquara ainda receber alguns impactos do município de São Carlos. A eficiência das ETE's possivelmente explicaria essas diferenças para o ano de 2014, pois, a ETE Araraquara apresentou uma taxa de 44% de eficiência, frente a 83% da ETE São Carlos e isso explicaria o ponto JCGU 03200 estar melhor classificado. 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.

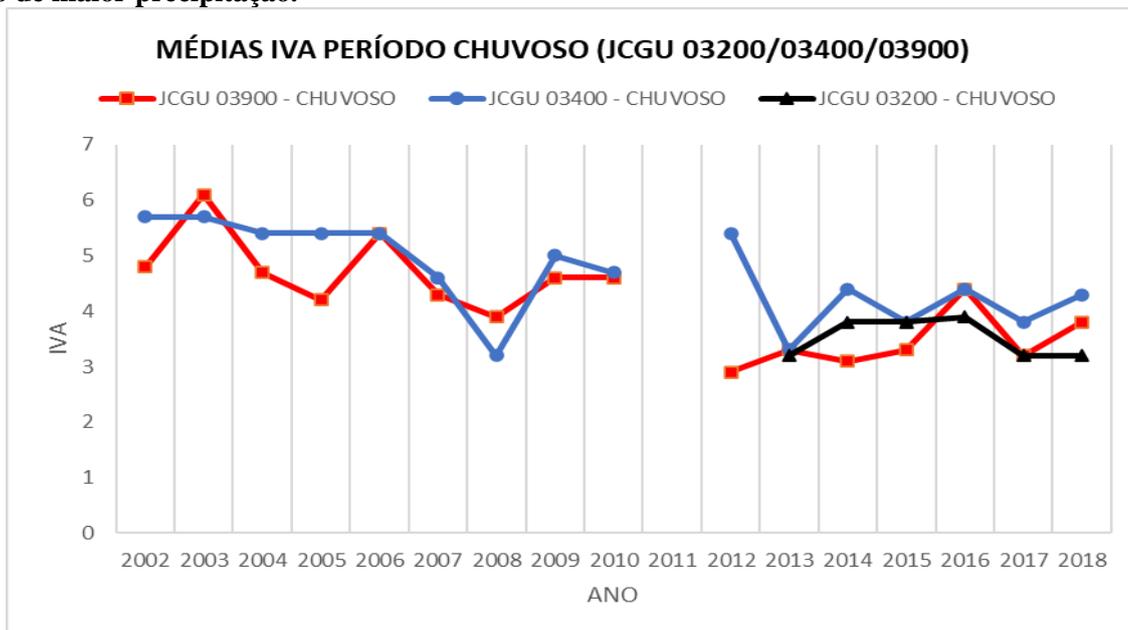
Quando se modela os valores médios de IVA para períodos de menor e maior precipitação, é possível observar o comportamento do IVA ao longo do tempo nos pontos JCGU 03200, JCGU 03400 e JCGU 03900 (Figuras 53 e 54).

**Figura 53: Médias do IVA dos pontos JCGU-03200, 03400 e 03900 ao longo do tempo no período de menor precipitação.**



Fonte: Autor (2021), com base em CETESB (2003 a 2019).

**Figura 54: Médias do IVA dos pontos JCGU-03200, 03400 e 03900 ao longo do tempo no período de maior precipitação.**



Fonte: Autor (2021), com base em CETESB (2003 a 2019).

Através dos gráficos é possível observar que o comportamento dos valores médios de IVA para os períodos de maior e menor precipitação, 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.

## 8. CONCLUSÕES

Conclui-se que os valores e conseqüentemente a classificação do IQA obteve uma queda ao longo do tempo, apresentando uma tendência clara de “piora” na classificação e valores, ficando mais evidente quando se observa o ponto JCGU 03900, pois foi o ponto de maior representatividade de dados. Embora os índices tenham apresentado duas tendências, queda e recuperação, no período do estudo, fica evidente que o ponto JCGU 03900 e JCGU 03200, a qualidade alcançada inicialmente não se manteve, pois, suas médias móveis apresentaram queda, frente ao valor inicial desses pontos. O ponto JCGU 03400 apresentou valores médios de IQA abaixo dos demais pontos, entretanto, apresentou uma média móvel e tendência de melhora ao longo do tempo. Os baixos valores obtidos nesse ponto, localizado no município de Araraquara, possivelmente, podem ter sido influenciados pela carga orgânica de São Carlos. O ponto BROA 02800 é o que apresenta uma melhor classificação nos índices, mesmo não possuindo dados de longo prazo, embora seu IVA tenha apresentado em 2017 uma classificação ruim. Essa classificação ruim, ainda que seja prematuro afirmar, possivelmente tenha sido causada por uma flutuação nas condições ambientais ou um evento de presença de algas no período de coleta (aumento da clorofila e de fosfato), o que seria mais sentido pelo IVA e não pelo IQA.

Sendo o IQA um índice da década de 70, período em que o Brasil apresentava uma outra configuração da utilização de seu solo e uma crescente no índice populacional, o IQA CETESB pode ser considerado como um índice de norteamento de decisões para a época, entretanto, a partir das décadas seguintes, em decorrência do salto populacional alavancado pelos programas de desenvolvimento, a mudança de pensamento frente as questões ambientais e surgimento de legislações, a atualização do índice anteriormente proposto poderia proporcionar respostas mais coesas quanto a qualidade dos corpos d’água. Conforme, as modelagens gráficas do IQA, evidenciou a hipótese de uma piora ao longo do tempo.

Contudo, ressalta-se que o índice é de suma importância, porém, com um aumento de indústrias, crescimento da cana de açúcar, maior carga orgânica nos corpos hídricos o índice fatalmente sofreria impactos ao longo do tempo. A atenuação desses impactos coincidiu após implementação das ETE’s nos dois principais municípios da Sub-Bacia JC-GC.

Ressalta-se que, quando, se comparada a faixas de IQA CETESB com outros estados da federação, fica evidente uma flexibilização maior no estado de São Paulo, conseqüentemente, um menor valor final do índice.

Mesmo apresentando queda nos índices, a implementação das ETE’s coincidiu com períodos de melhora dos pontos, entretanto, observou-se que a eficiência dessas estações

sofreu variações negativas desde sua implementação, uma melhor eficiência dessas estações poderia auxiliar em uma melhor classificação dos índices e projeção de redução da degradação nos corpos hídricos.

A expansão canavieira também pode ter auxiliado na redução dos valores iniciais dos índices, pois foi observado dois momentos de crescimento dessa produção, entre os anos 80 a 90, sendo possivelmente o fator que impulsionou a queda nos índices. Porém, de 2003 a 2010, apesar do aumento da produção dobrar de 2,5 milhões para 5 milhões, os índices apresentaram melhora, até 2014, posteriormente voltam a cair, possivelmente relacionado a crise hídrica de 2014. Os períodos de grande impulso na área da cana coincidiram com os piores valores para IQA e IVA, embora tenha sido possível verificar duas tendências para o IQA (JCGU 03900). Com a expansão da monocultura, a paisagem foi substituída, essas alterações podem ter influenciado na quantidade de compostos carregados aos corpos d'água, não detectados inicialmente pelo IQA, sugerindo que mesmo classificado como um corpo hídrico "regular", a qualidade da água desse rio poderia estar abaixo do apontado.

As precipitações e vazões, embora não tenham afirmado categoricamente as oscilações de IQA e IVA ao longo do tempo, apresentaram informações que sugerem influências na relação de uso do solo no Jacaré-Guaçu, especialmente quando observado o período entre 1984 e 1994, ocorrendo crescimento da cana, menores valores de pluviosidade e quedas, seguidas de leves recuperações nos valores de IQA. Contudo, ressalta-se que o IVA ao apresentar melhores resultados médios em períodos de menor precipitação, ainda sim sofreu oscilações potencialmente oriundas de fontes poluidoras pontuais; já o IQA apresentou majoritariamente os melhores valores em períodos de menor precipitação.

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.

## REFERÊNCIAS

ACAYABA, R. D. **Ocorrência de agrotóxicos usados na cana-de-açúcar em corpos d'água do Estado de São Paulo**. 2017. 1 recurso online (83 p.). Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Tecnologia, Limeira, SP. Disponível em: <http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/322582>

ALMEIDA, M.; SCHWARZBOLD, A. RBRH. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 8, n. 1, 2003.

ALOBAIDY, A.H.M., ABID, H.S. AND MAULOOD, B.K. Application of Water Quality Index for Assessment of Dokan Lake Ecosystem, Kurdistan Region, Iraq. **Journal of Water Resource and Protection**, 2, 792-798, 2010. <http://dx.doi.org/10.4236/jwarp.2010.29093>

AKTER, T., JHOHURA, F.T., AKTER, F. et al. Water quality index for measuring drinking water quality in rural Bangladesh: A cross-sectional study. **J Health Popul Nutr** 35, 4 (2016).

ALVARES C.A., STAPE J.L., SENTELHAS P.C., DE MORAES GONCALVES J.L., SPAROVEK G., 2013 : Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Vol. 22, No. 6, 711–728.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no brasil**. Encarte especial sobre a crise hídrica, Brasília, 2015.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Indicadores de qualidade – Índice de qualidade das águas (IQA)**. Brasília, 2009. Disponível em: <HTTP://PNQA.ANA.GOV.BR/INDICADORES-INDICE-AGUAS.ASPX>. ACESSO EM: 11/02/2020.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Medição de descarga líquida em grandes rios**: manual técnico / Agência Nacional de Águas. - Brasília: ANA; SGH, 2009.

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. 2019.

ARARAQUARA. **Lei n. 1.697 de 2 de junho de 1969**. Dispõe sobre a criação do Departamento Autônomo de Água e Esgotos de Araraquara (DAAE).

ATTANASIO, C. M. et al. **Guia de restauração de matas ciliares para a Bacia Hidrográfica do Tietê - Jacaré (UGRHI nº 13)**. Jahu, Instituto Pró-Terra, 2014. 40p. Disponível em: [http://www.lerf.eco.br/img/publicacoes/Guia%20de%20Restaura%C3%A7%C3%A3o%20de%20Matas%20Ciliares%20da%20UGRHI%20Tiet%C3%AA-Jacare\\_opt\(2\).pdf](http://www.lerf.eco.br/img/publicacoes/Guia%20de%20Restaura%C3%A7%C3%A3o%20de%20Matas%20Ciliares%20da%20UGRHI%20Tiet%C3%AA-Jacare_opt(2).pdf). Acesso em: 10.Mai.2019.

BACCARIN, J. G. ; PEREIRA, R. L. . Expansão canavieira e a estrutura agrária no estado de São Paulo (Brasil) no período de 1975 a 2006. **REVISTA PEGADA ELETRÔNICA**, v. 17, p. 145-166, 2016.

BALDUINO, A. R.; REIS, D. F.; PEREIRA FILHO, A. D.; SOUZA, L. B.; SANTOS, M. G.. Monitoring of water quality in the basin of São João river and detection of agrochemical glyphosate in the water reservoir for urban supply in the municipality of Porto Nacional/Tocantins, Brazil. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.10, n.2, p.83-108, 2019. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.002.0009>

BARRETO, L. V. et al. Relationship between stream flow and water quality in a river section. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, [S.l.], v. 9, n. 1, p. 118-129, mar. 2014. ISSN 1980-993X. Available at: <http://www.ambi-agua.net/seer/index.php/ambi-agua/article/view/1278>>. Acesso em: 21 julho 2020.

BOSO, A. C. M. R.; GABRIEL, C. P. C.; GABRIEL FILHO, L. R. A. Análise do desenvolvimento dos principais indicadores da qualidade da água. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, [S.l.], v. 11, n. 6, dez. 2015. ISSN 1980-0827. Disponível em: [https://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum\\_ambiental/article/view/1265/1285](https://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/article/view/1265/1285)>.

BRANCO, S. M.; ROCHA, A. A. **Poluição, proteção e usos múltiplos de represas**. Ed. Edgard Blucher, CETESB. São Paulo, 1977.

BRASIL. Senado Federal. **Decreto Nº 76.593, de 14 de novembro de 1975**: Institui o programa nacional do álcool e dá outras providências. Brasília, 14 de nov. de 1975.

BRASIL. **CONSTITUIÇÃO DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL**. BRASÍLIA/DF, BRASIL. SENADO FEDERAL, 1988.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 357, de 17 março de 2005**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>

CAMARANO, A. A.; ABRAMOVAY, R. **Êxodo rural, envelhecimento e masculinização no Brasil**: panorama dos últimos 50 anos. [S.l.: s.n.], 1999.

CAMARA, M. R. G; CALDARELLI, C. E. Expansão canavieira e o uso da terra no estado de São Paulo. Dilemas ambientais e fronteiras do conhecimento I. **Estudos avançados**. av. 30 (88) • Sep-Dec 2016. <https://doi.org/10.1590/s0103-40142016.30880008>

CARVALHO, A.R.; SCHLITTLER, F.H.M.; TORNISIELO, V.L. Relações da atividade agropecuária com parâmetros físicos químicos da água. **Química Nova**, v.23, n.5, p. 618-622, 2000.

CASTRO JUNIOR, R. M., SOBREIRA, F. G., BORTOLOTTI, F. D. Modelagem geoestatística a partir de parâmetros da qualidade da água (IQA-NSF) para a subbacia hidrográfica do Rio Castelo (ES) usando sistema de informações geográficas. **Revista Brasileira de Cartografia** No 59/03, 2007.

CASCÃO, T. A.. **Efeitos da variação do pH da água em Ephemeroptera (Macroinvertebrados)**. 2015. 58p. Dissertação (Mestrado em Biologia e Gestão da

Qualidade da Água) – Universidade do Porto, Porto – Portugal. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/83467>. Acesso em: 12.Out.2019.

CENTENO, L. N. C. et al. Análise temporal da qualidade da água de um arroio no sul do Rio Grande do Sul. **Revista Thema**, Pelotas, v. 14, p.109-119, 2016.

CBH-TJ – Comitê da Bacia Hidrográfica Tietê-Jacaré. **Relatório de situação dos recursos hídricos 2013** - Ano Base 2012. São Paulo. Araraquara, CBH-TJ, 2013a. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/7476/relatorio-de-situacao-2013-cbh-tj.pdf>. Acesso em: 10.Mai.2019

CBH-TJ – Comitê da Bacia Hidrográfica Tietê-Jacaré. **Relatório de situação dos recursos hídricos 2015** - Ano Base 2014. Araraquara, CBH-TJ, 2015. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents//CBH-TJ/10382/relatorio-de-situacao-2015-cbh-tj-final.pdf>. Acesso em: 12.Mai.2019

CBH-TJ – Comitê da Bacia Hidrográfica Tietê-Jacaré. **Relatório de situação dos recursos hídricos 2016** - Ano Base 2015. São Paulo Araraquara, CBH-TJ, 2016. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents//CBH-TJ/11832/2016-12-12-relatorio-situacao-ugrhi13.pdf>. Acesso em: 19.Mai.2019

CBH-TJ – Comitê da Bacia Hidrográfica Tietê-Jacaré. **Relatório de situação dos recursos hídricos 2017** - Ano Base 2016. Araraquara, CBH-TJ, 2017. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/CBH-TJ/12284/relatorio-situacao-2017-cbh-tj-final.pdf>. Acesso em: 12.Jun.2019

CBH-TJ – Comitê da Bacia Hidrográfica Tietê-Jacaré. **Relatório de situação dos recursos hídricos 2018** - Ano Base 2017. Araraquara, CBH-TJ, 2018. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/CBH-TJ/13920/relatorio-situacao-2018.pdf>. Acesso em: 19.Jun.2019

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.2019

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **50 anos de histórias & histórias**. SÃO PAULO, CETESB, 2018.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Norma Técnica P4.231**: vinhaça – critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola. São Paulo, CETESB, 2005.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo – 1974 a 1978**. São Paulo, CETESB, 1979. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>. Acesso em: 09.Abr.2019

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo - 1990**. São Paulo, CETESB, 1991. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>. Acesso em: 20.Abr.2019

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo - 1998**. São Paulo, CETESB, 1999. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/> . Acesso em: 05.Mai.2019

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.2019

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo - 2006**. São Paulo, CETESB, 2007. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/> . Acesso em: 25.Jun.2019

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.2019

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo - 2015**. São Paulo, CETESB, 2016. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/> . Acesso em: 02.Jul.2019

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo - 2016**. São Paulo, CETESB, 2017. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/> . Acesso em: 09.Jul.2019

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo - 2017**. São Paulo, CETESB, 2018a. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/> . Acesso em: 16.Jul.2019

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo: Relatórios 1978 a 2018**. São Paulo, CETESB, 2019. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/> . Acesso em: 15.Fev.2020

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.2021

COELHO, R. C. T. P.; BUFFON, I.; GUERRA, T. Influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água: um método para avaliar a importância da zona ripária. **Ambiente & Água**, Taubaté, v. 6, n. 1, p. 104-117, 2011.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**, v. 5 - Safra 2018/19, n. 4 - Quarto levantamento, Brasília, p. 1-75, abril de 2019. Disponível em: [https://www.udop.com.br/download/estatistica/conab\\_levantamento\\_safras/2018a2019\\_4o\\_relatorio\\_cana\\_safra\\_conab.pdf](https://www.udop.com.br/download/estatistica/conab_levantamento_safras/2018a2019_4o_relatorio_cana_safra_conab.pdf). Acesso em: 10.Jan.2021.

CORBI, J. J. et al. Diagnóstico ambiental de metais e **organoclorados** em córregos adjacentes a áreas de cultivo de cana-de-açúcar (Estado de São Paulo, Brasil). **Química Nova**, p. 61-65, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/%0D/qn/v29n1/27858.pdf> . Acesso em: 09.Abr.2019

CORBI, J. J.; TRIVINHO-STRIXINO, S. Relationship between sugar cane cultivation and stream macroinvertebrate communities. **Braz. arch. biol. technol.**, Curitiba , v. 51, n. 4, p. 569-579, Aug. 2008 . Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1516-89132008000400015&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-89132008000400015&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 09.Abr.2019

CORBI, J. J. et al. Environmental diagnosis of metals in streams near sugarcane cultivation areas: current and historical analysis in the central region of the State of São Paulo. **An. Acad. Bras. Ciênc.**, Rio de Janeiro , v. 90, n. 3, p. 2711-2719, Sept. 2018 . Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0001-37652018000602711&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0001-37652018000602711&lng=en&nrm=iso)>.

CORBI, J. J. **Ciências ambientais: diagnósticos ambientais** [livro eletrônico] / organizadores Carmino Hayashi, Diego de Souza Sardinha, Paulo Augusto Zaitune Pamplin. -- 1. ed. -- Ribeirão Preto, SP: Carmino Hayashi, 2020. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Diego\\_De\\_Souza\\_Sardinha/publication/344190767\\_Ciencias\\_Ambientais\\_Diagnosticos\\_Ambientais/links/5f5a142e92851c078958b58e/Ciencias-Ambientais-Diagnosticos-Ambientais.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Diego_De_Souza_Sardinha/publication/344190767_Ciencias_Ambientais_Diagnosticos_Ambientais/links/5f5a142e92851c078958b58e/Ciencias-Ambientais-Diagnosticos-Ambientais.pdf). Acesso em: 09.Abr.2019

CORAZZA, R.I. **Impactos ambientais da vinhaça: controvérsias científicas e lock-in na fertirrigação?** In XLIV CONGRESSO DA SOBER “Questões Agrárias, Educação no Campo e Desenvolvimento” (pp. 1 – 16). Ceará, 2006.

CORTEZ, L. A. B.; CRUZ, C. H. B.; SOUZA, G. M.; CANTARELLA, H.; SLUYS, M.A ; MACIEL FILHO, R.; "Referências, índice onomástico, sobre os autores", p. 199 -223. In: **Proálcool - Universidades e Empresas: 40 Anos de Ciência e Tecnologia para o Etanol Brasileiro**. São Paulo: Blucher, 2016.

COSTA, R. T. **USO DA TERRA E AVALIAÇÃO DA NATURALIDADE PARA O PLANEJAMENTO E MANEJO AMBIENTAL DE BACIAS HIDROGRÁFICAS (SUDESTE DO BRASIL)**. SÃO CARLOS: UFSCAR, 2016. 47 p.

COSTA, F. B.; FERREIRA, V. DE O. Análise de parâmetros que compõem o índice de qualidade das águas (IQA) na porção mineira da Bacia do Rio Paranaíba / Analysis of parameters that composing the water quality index (WQI<sub>i</sub>) in the portion of the Minas Gerais State of the Paranaíba River Basin. **Observatorium: Revista Eletrônica de Geografia**, v. 7, n. 18, p. 22- 47, set. 2015.

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

CPTI – Cooperativa de Serviços, Pesquisas Tecnológicas e Industriais. **Revisão do plano de bacia da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Tietê/Jacaré: relatório técnico nº. 402/08**. São Paulo, CPTI, 2008. Disponível em: [http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/7354/c\\_revisao-do-plano-de-bacia-ugrhi-13.pdf](http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/7354/c_revisao-do-plano-de-bacia-ugrhi-13.pdf). Acesso em: 30 nov. 2019.

DAEE – Departamento Águas e Energia Elétrica. **Banco de dados hidrológicos, 2020**. Disponível em: <http://www.hidrologia.dae.sp.gov.br/>. Acesso em: 20.Jun.2019.

DE LA MORA-OROZCO, C. et al. Developing a Water Quality Index (WQI) for an Irrigation Dam. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2017, 14, 439. <https://doi.org/10.3390/ijerph14050439>

DERISIO, J.C. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. São Paulo: Cetesb, 1992, 210 p.

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.

EFFENDI, H. et al. Water quality status of Ciambulawung River, Banten Province, based on pollution index and NSF-WQI. *Procedia Environmental Sciences* 24. 228 – 237, 2015.

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

FERREIRA, K. C. D. et al. Adaptação do índice de qualidade de água da National Sanitation Foundation ao semiárido brasileiro. *Rev. Ciênc. Agron.*, Fortaleza, v. 46, n. 2, p. 277-286, June 2015. Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1806-66902015000200277&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-66902015000200277&lng=en&nrm=iso)>. access on 18 Feb. 2020.

FERRONATO, J. J. **Comitês de bacias hidrográficas e desenvolvimento regional sustentável: o comitê da bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré**. Araraquara: Centro Universitário de Araraquara, 2014. 135f. Dissertação (Mestrado)- Centro Universitário de Araraquara Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente. Disponível em: <https://m.uniara.com.br/arquivos/file/ppg/desenvolvimento-territorial-meio-ambiente/producao-intelectual/dissertacoes/2013/jonas-jose-ferronato.pdf>

FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS (SEADE). **Território e população**. 2017 a 2020. Disponível em: <https://perfil.seade.gov.br/>.

FRIGO, F.; SALVADOR, N. N. B.; GORNI, G. R. Contribuição ao biomonitoramento do Rio Jacaré-Guaçu-Sub-BaciaSP por meio de indicadores macroinvertebrados aquáticos. *Geoambiente On-line*, n. 35, p. 142-162, 20 dez. 2019.

FUJITA, S. R. **Conformidade ambiental com requisitos técnicos e legais – Módulo II: Prevenção da poluição ambiental e controle**. São Paulo, Escola Superior da CETESB, 2018. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/posgraduacao/wp-content/uploads/sites/33/2018/11/Apostila-Fundamentos-do-Controle-de-Polui%C3%A7%C3%A3o-das-%C3%81guas-T3.pdf>. Acesso em: 25.Jun.2020

GALLO, Z. **Ethos, a grande morada humana: economia, ecologia e ética**. Itu: Ottoni, 2007.

HOUSE, M. A. Water quality indices as indicators of ecosystem change. *Environ Monit Asses* 15, 255–263 (1990).

IBGE. Conselho Nacional de Estatística. **Serviço Nacional de Recenseamento, 1954**. Volume: Série Regional. Volume XXV, Tomo 1. São Paulo, 1950. Disponível em: <http://archive.org/details/censo1950vol25t1sp/mode/2up?view=theater>. Acesso em: 14.Ago.2020.

IBGE. Conselho Nacional de Estatística. **Censo demográfico de 1960**: Espírito Santo. Rio de Janeiro: IBGE, 1951 v. 1 30 p. (IBGE. Série Regional). VII Recenseamento geral do Brasil. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/>. Acesso em: 18. out.2020.

IBGE. Banco de Dados Agregados. **Censo Demográfico**: Séries Temporais. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/cd/cd2010Serie.asp?o=2&i=P>. Acesso em: 10. nov.2020.

IAC - INSTITUTO AGRONÔMICO. **Solos do estado de São Paulo**: Neossolos. São Paulo, 2020. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/solosp/pdf/Neossolos.pdf>

IAC - INSTITUTO AGRONÔMICO. **Solos do estado de São Paulo**: Argissolos. São Paulo, 2020. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/solosp/pdf/Argissolos.pdf>

INSTITUTO PRÓ-TERRA. **Plano diretor de restauração florestal da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Tietê-Jacaré (UGRHI 13) visando a conservação dos recursos hídricos e a preservação da biodiversidade**. Relatório Técnico Executivo. Jahu, Instituto Pró-Terra, 2013. 126 p. Disponível em: <http://www.institutoproterra.org.br/attach/upload/planodiretorderestauracaoflorestaltietejacare.pdf> Acesso em: 20.Set.2020.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Orientações para o combate à erosão no Estado de São Paulo, Bacia do Peixe/Paranapanema**. São Paulo: IPT: DAEE, 1986. 6 v. (IPT, Relatório 29789)

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Relatório Técnico** nº 131.057-205 – B1-1/189. São Paulo, 2012.

ISLAM, N.; SADIQ, R.; RODRIGUEZ, MJ. and FRANCISQUE, A. Reviewing source water protection strategies: A conceptual model for water quality assessment. **Environ. Rev.** 19 68–105. 2011. <http://dx.doi.org/10.1139/a11-001>

IVANAUSKAS, N.M., et al. Aspectos ecologicos de um trecho de floresta de brejo em Itatinga, SP: florística, fitossociologia e seletividade de espécies. **Revista brasileira de botânica**. Cidade: São Paulo Volume: 20. n. 2. p. 139-153. Data: 1997.

JORDÃO, E.P.; PESSOA, C.A. **Tratamento de esgotos domésticos**, 6. Edição, Rio de Janeiro: ABES, 2011.

KACHROUD, M.; TROLARD, F.; KEFI, M.; JEBARI, S.; BOURRIÉ, G.. Water Quality Indices: Challenges and Application Limits in the Literature. **Water**. 2019; 11(2):361. <https://doi.org/10.3390/w11020361>

KANNEL, P.R., LEE, S., LEE, YS. et al. Application of Water Quality Indices and Dissolved Oxygen as Indicators for River Water Classification and Urban Impact Assessment. **Environ Monit Assess** 132, 93–110 (2007). <https://doi.org/10.1007/s10661-006-9505-1>

LAMONICA, M. T.; FEIJO, C. A. Crescimento e industrialização no Brasil: uma interpretação à luz das propostas de Kaldor. **Rev. Econ. Polit.**, São Paulo, v. 31, n. 1, p. 118-138, Mar. 2011.

LEÃO, R. M. **Álcool, energia verde**. São Paulo: Iqual Editora, 2002.

LEITE, D. A.N. O. et al. Avaliação dos parâmetros do índice de qualidade de água segundo o modelo ARIMA. **HOLOS Environment**, v. 13, n. 1, p. 24-39, 2013. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/137288>>.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3. ed. Campinas: Átomo, 2010, 494 p.

LOPES, F. B. et al. 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.

MAGALHÃES, J. P. **A evolução do direito ambiental no Brasil**. São Paulo, SP: J. Oliveira, 2002.

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.

MENEZES, J. P. C. et al. Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. **Eng. Sanit. Ambient.** 21 (03) • Jul-Sep 2016. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016145405>

MOLINA, P. M.; HERNANDEZ2, F. B. T.; VANZELA L. S. Índice de qualidade de água na microbacia degradada do córrego água da bomba: município de Regente Feijó – SP. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 17., Goiânia. **Anais...** Goiás: ABID, 2006. (CD-ROM).

MONTEIRO, V. P., PINHEIRO, J. C. V. Critério para implantação de tecnologias de suprimentos de água potável em municípios cearenses afetados pelo alto teor de sal. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, 42(2): 365-387, 2004.

MORAGAS, W. M. **Análise dos sistemas ambientais do Alto Rio Claro - Sudoeste de Goiás: contribuição ao planejamento e gestão**. 2005. 214 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2005. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/104384>>. Acesso em: 20.Mai.2020.

NEGRI, B. **Urbanização e demanda de recursos hídricos na bacia do rio Piracicaba**. Campinas: Instituto de Economia, Unicamp, 1991.

NOVELLI, A. **Estudo limnológico e ecotoxicológico da água e sedimento do rio monjolino – São Carlos (SP), com ênfase nas substâncias de referência cádmio e cobre**. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2005.

NUÑES, M. L. A. et al. **IBEAS -Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais Determinação do índice de qualidade da água do manancial de abastecimento do município de Ji-Paraná-Rondônia.** [s.l.] , 2017.. Disponível em: <<https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2017/VIII-025.pdf>>. Acesso em: 12 fev. 2021.

ODUM, E. **FUNDAMENTOS DE ECOLOGIA.** 4. ED. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1988.

PARESCHI, D. C. **Macroinvertebrados bentônicos como indicadores de qualidade da água em rios e reservatórios da bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré (SP).** 2008. 190 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008.

PELÁEZ-RODRÍGUEZ, M; TUNDISI, T. M; REZENDE, M. O. O. Análise de pesticidas organoclorados nos corpos da água das bacias hidrográficas do Rio Monjolinho e do Ribeirão do Feijão (Alto Jacaré-Guaçu, São Paulo). **Anais..** São Carlos: UFSCar, 2000.

PELÁEZ,-RODRIGUEZ, M.; PERET, A.M.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; ROCHA, O. Análise da qualidade da água e aplicação do índice de proteção de vida aquática (IVA) em duas sub-bacias da bacia hidrográfica do Rio Jacaré-Guaçu. In: ESPÍNDOLA, E.L.G.; PASCHOAL, C.M.R.B.; ROCHA, O.; BOHRER, M.B.C.; OLIVEIRA-NETO, A.L. (Editores). **Ecotoxicologia – Perspectivas para o Século XXI.** Editora Rima, São Carlos, p.95-114, 2000.

PELÁEZ RODRÍGUEZ, M.. **Avaliação da qualidade da água da bacia do Alto JacaréGuaçu/SP (Ribeirão do Feijão e Rio do Monjolinho) através de variáveis físicas, químicas e biológicas.** 2001. 138 p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

PERROTA, M.M.; SALVADOR, E.D.; LOPES,R.C; D'AGOSTINO, L.Z.; PERUFFO, N.; GOEMS, S.D.; SACHS, L.L.B; MEIRA, V.T.; GARCIA, M.G.M.; LACERDA FILHO, G.V. **Mapa Geológico do estado de São Paulo, escala 1:750000.** Programa Geologia do Brasil – PGB, CPRM, São Paulo, 2005.

PETERS, N. & KANDELL, S. Evaluation of stream water quality in Atlanta, Georgia, and the surrounding region (USA). **IAHS-AISH Publication.** 1999.

PETRUF, L. A., SACCO, V. A., LUCIO. L. C. **Oxigênio Dissolvido (OD), Potencial Hidrogeniônico (pH), Temperatura e Condutividade Elétrica como Parâmetros Físicos Químicos da Água do Ribeirão Morangueira, Maringá PR.** Anais Eletrônico (ISBN 978-85-8084-055-1) - VII EPCC – Encontro Internacional de Produção Científica Cesumar CESUMAR – Centro Universitário de Maringá. Editora CESUMAR Maringá – Paraná – Brasil (2011).

PONTES, M. R. Efetividade do iqa como índice de monitoramento da qualidade das águas. **In: XVII SILUBESA ( XVII Simposio Luso-brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental), Florianopolis/SC. XIV SILUBESA (Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental),** p. 60, 2016.

POONAM, T., TANUSHREE, B. AND SUKALYAN, C. Water Quality Indices-Important Tools for Water Quality Assessment: A Review. **International Journal of Advanced Chemistry**, 1, 15-28, 2013.

PORTAL G1. **Qualidade da água em SP oscilou entre regular e ruim em 2007, diz Cetesb**. 2008. Disponível em: <http://g1.globo.com/Noticias/SaoPaulo/0,,MUL599498-5605,00-QUALIDADE+DA+AGUA+EM+SP+OSCILOU+ENTRE+REGULAR+E+RUIM+EM+DIZ+CETESB.html>. Acesso em: 26 de out. 2019.

PNMA II. **Índice e Indicadores de Qualidade de Água**: Revisão da Literatura, 2006. Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/indice-agua-volume1.pdf>. Acesso em: 24 de out. 2019.

RAPOSO, A.A.; BARROS, L.F.P; MAGALHÃES JÚNIOR, A.P. O parâmetro de turbidez das águas como indicador de impactos humanos na dinâmica fluvial da bacia do Rio Maracujá – Quadrilátero. In: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. 13, 2009, Viçosa. **Trabalho completo**. Disponível em: <<http://www.geo.ufv.br/simposio>>. Acesso em 07 fev.2021

REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. **Águas doces no Brasil**: Capital ecológico, uso e conservação. 3.ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2006. p. 01-34.

RONQUIM, C. C. Avanço das áreas de cana-de-açúcar e alterações em áreas de agropecuária no interior paulista. Carlos Cesar Ronquim, Marcelo Fernando Fonseca. – Campinas: **Embrapa Territorial**, 2018. 48 p.: il.; (Documentos / Embrapa Territorial, ISSN 0103-7811; 123)

RUDORFF, B. F. T.; AGUIAR, D. A.; SILVA, W. F.; SUGAWARA, L. M.; ADAMI, M.; MOREIRA, M. A. Studies on the Rapid Expansion of Sugarcane for Ethanol Production in São Paulo State (Brazil) Using Landsat Data. **Remote Sensing**. 2010; 2(4):1057-1076.

SALES, M. A.; CAOVILO, F. C.; FIGUEIREDO, S. B. Monitoramento de qualidade da água: o IQA da sub-bacia do Rio das Mortes de 2006. In **Anais do I Simpósio de Recursos Hídricos do Norte e Centro-Oeste**, Cuiabá, 2007.

SANTINI, J. **Adaptação do índice de qualidade da água (IQA) para aplicação no monitoramento de cursos hídricos em um empreendimento rodoviário**. 2017. 108 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SANTOS, R. C. L. et al . Aplicação de índices para avaliação da qualidade da água da Bacia Costeira do Sapucaia em Sergipe. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 1, p. 33-46, Feb. 2018. Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-41522018000100033&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522018000100033&lng=en&nrm=iso)>.

SÁNCHEZ, E. et al. Use of the water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution. **Ecological Indicators**, v. 7, n. 2, p. 315-328, 2007.

SÃO CARLOS. **Lei nº 6.199 de 26 de junho de 1969:** Cria o Serviço Autônomo de Água e Esgoto no Município de São Carlos (SAAE) e dá outras providências. Disponível em: [https://www.saaesaocarlos.com.br/saaesc/docs/portalttransparencia/legislacao/Lei\\_Municipal\\_6.199-69\\_cria%C3%A7%C3%A3o\\_saae.pdf](https://www.saaesaocarlos.com.br/saaesc/docs/portalttransparencia/legislacao/Lei_Municipal_6.199-69_cria%C3%A7%C3%A3o_saae.pdf). Acesso em: 10.Jan.2020.

SÃO PAULO (Estado). **Lei Nº 118, de 29 de junho de 1973.** Autoriza a constituição de uma sociedade por ações, sob a denominação de CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Básico e de Controle da Poluição das Águas, e dá providências correlatas. Disponível em: <https://governo-sp.jusbrasil.com.br/legislacao/221275/lei-118-73>. Acesso em: 10.Set.2020.

SÃO PAULO (Estado). **Lei Nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991.** Estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Disponível em: <https://governo-sp.jusbrasil.com.br/legislacao/180981/lei-7663-91>. Acesso em: 10.Out.2020.

SÃO PAULO. Governo do Estado. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Fundação Florestal. **Plano de Manejo da APA Corumbataí, Botucatu e Tejuπά – Perímetro Botucatu.** Vol. I e II, 2011.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente (SIMA). **Relatório de Qualidade Ambiental do Estado de São Paulo 2019 (RQA).** Disponível em: [http://smastr20.blob.core.windows.net/publicacoes/RQA\\_2019\\_online.pdf](http://smastr20.blob.core.windows.net/publicacoes/RQA_2019_online.pdf). Acesso em: 10.Nov.2020.

SÃO PAULO (Estado). Secretária de Infraestrutura e Meio Ambiente (SIMA). **Coordenadoria de Planejamento Ambiental.** Dados referentes à cessão de dados. São Paulo: SIMA, 2020a.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SIMA). **Plano Estadual de Recursos Hídricos - PERH 2020-2023.** São Paulo, 2020b.

SILVA, G. S. & JARDIM, W. F. Um novo índice de qualidade das águas para proteção da vida aquática aplicado ao Rio Atibaia, região de Campinas/Paulínia-SP, **Quim. Nova**, v. 29, n. 4, p. 689-694, 2006.

SILVEIRA, L. U. et al. Utilização do microcrustáceo *ceriodaphnia dubia* e as implicações no cálculo do índice de proteção de vida aquática (IVA), estudo de caso UHE colíder. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, Bento Gonçalves. **Anais XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2013. Disponível em:

SORIANO, E. et al. Crise hídrica em São Paulo sob o ponto de vista dos desastres. **Ambient. Soc.**, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 21-42, Mar. 2016. Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1414-753X2016000100003&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-753X2016000100003&lng=en&nrm=iso)>. access on 19 jan. 2020.

SOUZA, V. **Análise multitemporal das perdas de solo por erosão laminar e do regime de vazão fluvial na bacia do rio jacaré-guaçu (SP).** 2016. Tese (Doutorado em Geografia

Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016. Acessado em: 05-fev-2020.

SOUZA, V.; GALVANI, E. Distribuição Espaço Temporal Da Precipitação Pluvial E Sua Interação Com O Relevo Na Bacia Do Rio Jacaré Guaçu (SP). **Ciência e Natura**, Santa Maria v.39, Ed. Esp. PROCAD/CAPES 2017, p. 110 – 124.

SOUZA, V. DE; GALVANI, E. Análise do uso e ocupação da terra na bacia do Rio Jacaré-Guaçu (SP) entre 1987, 2004 e 2013? **Geoambiente On-line**, n. 30, 9 maio 2018.

SOUZA, A. D. G. de; TUNDISI, J. G.. Estudo comparado das bacias hidrográficas dos rios Jaú e Jacaré-Guaçu, SP, quanto a variáveis hidrogeoquímicas. **Rev. Bras. Biol.**, São Carlos, v. 60, n. 4, p. 563-570, Nov. 2000. Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-71082000000400004&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-71082000000400004&lng=en&nrm=iso)>. access on 18 Jan. 2020.

SUTADIAN, A.D., MUTTIL, N., YILMAZ, A. et al. Development of river water quality indices -a review. **Environ Monit Asses** 188, 58. 2016.

SHARIFINIA, M.; RAMEZANPOUR, Z.; IMANPOUR, J.; MAHMOUDIFARD, A. AND RAHMANI, T. Water quality assessment of the Zarivar Lake using physico-chemical parameters and NSF- WQI indicator, Kurdistan Province-Iran. **International journal of Advanced Biological and Biomedical Research**. ISSN: 2322 - 4827, Volume 1, Issue 3, 2013: 302-312. Disponível em <http://www.ijabbr.com>

SZMRECSÁNYI, T. **O planejamento da agroindústria canavieira do Brasil: 1930-1975**. São Paulo: Hucitec/Universidade Estadual de Campinas, 1979.

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.

TORQUATO, S. A. Cana de açúcar para indústria: O quanto vai precisar crescer. **Análises e indicadores de agronegócios**, São Paulo. v. 1, n. 10, out. 2006.

TUNDISI, J.G. et al. A Bacia Hidrográfica do Tietê/Jacaré: estudo de caso em pesquisa e gerenciamento. **Estudos Avançados**, v.22, n. 63, p. 159-172, 2008.

TUNDISI, J. G.; MATSUMARA-TUNDISI, T. As múltiplas dimensões da crise hídrica. **Revista USP, [S. l.]**, n. 106, p. 21-30, 2015. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/109780>. Acesso em: 5 fev. 2020.

VAROL, S.; DAVRAZ, A. Evaluation of the groundwater quality with wqi (water quality index) and multivariate analysis: a case study of the tefenni plain (Burdur/Turkey). **Environ Earth Sci** 73, 1725-1744 (2014).

VALENTE, J. P. S., PADILHA, P. M. and SILVA, A. M. M. **Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no ribeirão Lavapés/Botucatu - SP**. Eclét. Quím., São Paulo, 1997, vol.22, p.49-66.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991. 123 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/classificacaovegetal.pdf>

VETIVER - Vetiver Projetos Ambientais Ltda et al. **Plano da Bacia Hidrográfica Tietê-Jacaré - Relatório I**. Araraquara, CBH-TJ, 2016. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents//CBH-TJ/11841/2016-12-09-relatorioicompleto.pdf>. Acesso em: 20.Nov.2020.

VILLELA, J. M. **Avaliação da influência da expansão da cana-de açúcar no regime hidrossedimentológico na microbacia do Córrego Cana do reino, Votuporanga-SP**. 2015. 146f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos/SP, 2015.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgoto**. 3 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005. 588 p.

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

WILLS, M. AND IRVINE, K.N., “Application of the national sanitation foundation water quality index in Cazenovia Creek”, NY, Pilot watershed management project. **Mid. States Geograph.**, 95-104. 1996.

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.

ZECA, B. G. A ideologia verde e suas manifestações no Brasil na década de 1970. **Oficina do Historiador**, v. 13, n. 2, p. e36542, 15 jul. 2020.

**ANEXO.** Lista dos Índices de Qualidade de Água observados (1987-2014) juntamente com suas aplicações.

Index Name	Region or Country where applied	Applications		Purpose of WQI application
		Applications of WQIs reported by authorized government agencies (all web links accessed in December 2014)	Applications of WQIs reported in	
1	2	3	4	5
Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME) Water Quality Index	<ul style="list-style-type: none"> <li>• All states in Canada</li> <li>• One state in India</li> <li>• Albania</li> <li>• Chile</li> <li>• Egypt</li> <li>• Iran</li> <li>• Spain</li> <li>• Turkey</li> <li>• Poland</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>CCME Water Quality Index 1.0 User's Manual.</b> &lt;<a href="http://www.ccme.ca/files/Resources/calculators/WQI%20User's%20Manual%20(en).pdf">http://www.ccme.ca/files/Resources/calculators/WQI%20User's%20Manual%20(en).pdf</a>&gt;</li> <li>• Canadian Water Quality Index, Government of Newfoundland and Labrador. &lt;<a href="http://www.env.gov.nl.ca/env/waterres/quality/background/cwqi.html">http://www.env.gov.nl.ca/env/waterres/quality/background/cwqi.html</a>&gt;</li> <li>• The British Columbia Water Quality Index. &lt;<a href="http://www.env.gov.bc.ca/wat/wq/BCguidelines/indexreport.html">http://www.env.gov.bc.ca/wat/wq/BCguidelines/indexreport.html</a>&gt;</li> <li>• Alberta River Water Quality Index &lt;<a href="http://esrd.alberta.ca/water/reports-data/alberta-river-water-quality-index.aspx">http://esrd.alberta.ca/water/reports-data/alberta-river-water-quality-index.aspx</a>&gt;</li> <li>• Water Quality results for New Brunswick watersheds. &lt;<a href="http://www2.gnb.ca/content/gnb/en/departments/elg/environment/content/water/content/watersheds.html">http://www2.gnb.ca/content/gnb/en/departments/elg/environment/content/water/content/watersheds.html</a>&gt;</li> <li>• Water Quality Management in Nova Scotia, Canada. &lt;<a href="http://www.novascotia.ca/nse/surface.water/surfacewater.tools.asp">http://www.novascotia.ca/nse/surface.water/surfacewater.tools.asp</a>&gt;</li> <li>• Water Quality Index calculations for Prince Edward Island, Canada &lt;<a href="http://www.gov.pe.ca/photos/original/elj_sswqi_rpt.pdf">http://www.gov.pe.ca/photos/original/elj_sswqi_rpt.pdf</a>&gt;</li> <li>• British Columbia and Yukon Territory Water Quality Report (2001–2004). An Application of the Canadian Water Quality Index. &lt;<a href="http://publications.gc.ca/collections/collection_2007/ec/En84-51-2007E.pdf">http://publications.gc.ca/collections/collection_2007/ec/En84-51-2007E.pdf</a>&gt;</li> <li>• Data Sources and Methods for the Freshwater Quality Indicator. &lt;<a href="http://www.ec.gc.ca/indicateurs-indicators/5D193531-BD55-44B5-AA00-58B81E93199A/FreshwaterQuality_en.pdf">http://www.ec.gc.ca/indicateurs-indicators/5D193531-BD55-44B5-AA00-58B81E93199A/FreshwaterQuality_en.pdf</a>&gt;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Khan et al. 2003</li> <li>• Khan et al. 2004</li> <li>• Davies 2006</li> <li>• Lumb et al. 2006</li> <li>• Tobin et al. 2007</li> <li>• Boyacioglu 2010</li> <li>• Nikoo et al. 2011</li> <li>• Terrado et al. 2010</li> <li>• De Rosemond et al. 2009</li> <li>• Sharma and Kansal 2011</li> <li>• Espejo et al. 2012</li> <li>• Hurley et al. 2012</li> <li>• Damo and Icka 2013</li> <li>• Mostafaei 2014</li> </ul>	The original index for general water quality assessment, but later modified versions are used for specific uses such as assessing impact of forestry related activities on water quality, suitability for drinking water supply and aquaculture.

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Freshwater Quality in Canadian Rivers. &lt;<a href="https://www.ec.gc.ca/indicateurs-indicators/default.asp?lang=En&amp;n=68DE8F72-1">https://www.ec.gc.ca/indicateurs-indicators/default.asp?lang=En&amp;n=68DE8F72-1</a>&gt;</li> </ul>		
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Technical guidance document for Water Quality Indicator practitioners reporting under the Canadian Environmental Sustainability Indicators (CESI) initiative 2008. &lt;<a href="http://publications.gc.ca/collections/collection_2011/ec/En4-138-2010-eng.pdf">http://publications.gc.ca/collections/collection_2011/ec/En4-138-2010-eng.pdf</a>&gt;</li> <li>• Environmental Monitoring Program on Water Quality, Government of Kerala, India. &lt;<a href="http://www.indiawaterportal.org/sites/indiawaterportal.org/files/Environmental_monitoring_programme_on_water_quality_in_Kerala_KSCSTE_CWRDM_2009.pdf">http://www.indiawaterportal.org/sites/indiawaterportal.org/files/Environmental_monitoring_programme_on_water_quality_in_Kerala_KSCSTE_CWRDM_2009.pdf</a>&gt;</li> </ul>		
National Sanitation Foundation (NSF) index	<ul style="list-style-type: none"> <li>• USA</li> <li>• Brazil</li> <li>• India</li> <li>• Iran</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maharashtra Pollution Control Board (2014). Compilation of Water Quality Data Recorded by MPCB 2011-12. &lt;<a href="http://mpcb.gov.in/ereports/pdf/Water_Quality_Report_2011-12_TERI.pdf">http://mpcb.gov.in/ereports/pdf/Water_Quality_Report_2011-12_TERI.pdf</a>&gt;</li> <li>• Central Pollution Control Board, Government of India (2003). &lt;<a href="http://mpcb.gov.in/images/pdf/WaterQuality0709/Chapter3_WQ.pdf">http://mpcb.gov.in/images/pdf/WaterQuality0709/Chapter3_WQ.pdf</a>&gt;</li> <li>• USEPA (1974). Water Quality Index Application in Kansas River Basin. &lt;<a href="http://nepis.epa.gov/Exec/zyPDF.cgi/20008TH7.PDF?Dockey=20008TH7.PDF">http://nepis.epa.gov/Exec/zyPDF.cgi/20008TH7.PDF?Dockey=20008TH7.PDF</a>&gt;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Brown et al. 1970</b></li> <li>• Brown et al. 1973</li> <li>• Deininger 1980</li> <li>• Simões et al. 2008</li> <li>• Mojahedi and Attari 2009</li> <li>• Bonanno and Giudice 2010</li> <li>• Lumb et al 2011b</li> <li>• Babbar 2013</li> </ul>	General assessment of the state of water quality but it cannot be used for toxicity evaluation.

<p>Oregon index</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oregon, USA</li> <li>• Idaho, USA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oregon Department of Water Quality. (2014). &lt;<a href="http://www.deq.state.or.us/lab/wqm/docs/wqiAnnualRep2014.pdf">http://www.deq.state.or.us/lab/wqm/docs/wqiAnnualRep2014.pdf</a>&gt;</li> <li>• Oregon Department of Water Quality. (2013). &lt;<a href="http://www.deq.state.or.us/lab/wqm/docs/OWQISummary12.pdf">http://www.deq.state.or.us/lab/wqm/docs/OWQISummary12.pdf</a>&gt;</li> <li>• Oregon Department of Water Quality. (2012). &lt;<a href="http://www.deq.state.or.us/lab/wqm/docs/12-LAB-002.pdf">http://www.deq.state.or.us/lab/wqm/docs/12-LAB-002.pdf</a>&gt;</li> <li>• Oregon Department of Water Quality. (2008). &lt;<a href="http://www.deq.state.or.us/lab/wqm/docs/09-LAB-008.pdf">http://www.deq.state.or.us/lab/wqm/docs/09-LAB-008.pdf</a>&gt;</li> <li>• Oregon Department of Water Quality. (2007). &lt;<a href="http://www.deq.state.or.us/lab/wqm/docs/OWQISummary06.pdf">http://www.deq.state.or.us/lab/wqm/docs/OWQISummary06.pdf</a>&gt;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b><u>Dunnette (1979)</u></b></li> <li>• Cude (2001)</li> <li>• Sarkar and Abbasi 2006</li> </ul>	<p>General water quality assessment</p>
---------------------	---	---	--	---

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oregon Department of Water Quality. (2006). &lt;<a href="http://www.deq.state.or.us/lab/wqm/docs/OWQISummary05.pdf">http://www.deq.state.or.us/lab/wqm/docs/OWQISummary05.pdf</a>&gt;</li> <li>• Oregon Department of Water Quality. (2005). &lt;<a href="http://www.deq.state.or.us/lab/wqm/docs/OWQISummary04.pdf">http://www.deq.state.or.us/lab/wqm/docs/OWQISummary04.pdf</a>&gt;</li> <li>• Oregon Department of Water Quality. (2004). &lt;<a href="http://www.deq.state.or.us/lab/wqm/docs/OWQISummary03.pdf">http://www.deq.state.or.us/lab/wqm/docs/OWQISummary03.pdf</a>&gt;</li> <li>• Oregon Department of Environmental Quality. (1994). &lt;<a href="http://www.oregondeq.org/lab/wqm/wqindex/powder3.htm">http://www.oregondeq.org/lab/wqm/wqindex/powder3.htm</a>&gt;</li> <li>• Oregon Department of Environmental Quality. (1993). &lt;<a href="http://www.oregondeq.com/lab/wqm/wqindex/malowy3.htm">http://www.oregondeq.com/lab/wqm/wqindex/malowy3.htm</a>&gt;</li> <li>• Idaho Department of Environmental Quality (2002). &lt;<a href="https://www.deq.idaho.gov/media/457032-assessment_river_entire.pdf">https://www.deq.idaho.gov/media/457032-assessment_river_entire.pdf</a>&gt;</li> </ul>		
Bascarón index	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Spain</li> <li>• Argentina</li> <li>• Brazil</li> <li>• Korea</li> <li>• India</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Bascaron 1979</b></li> <li>• Pesce and Wunderlin 2000</li> <li>• Debels et al. 2005</li> <li>• Abrahão et al. 2007</li> <li>• Sánchez et al. 2007</li> <li>• Kannel et al. 2007</li> <li>• Koçer and Sevgili 2014</li> </ul>	The original index for general water quality assessment, but later modified indices were used for specific uses such as assessing suitability for aquaculture.
House's index	<ul style="list-style-type: none"> <li>• United Kingdom</li> <li>• Spain</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>House 1986</b></li> <li>• House and Ellis 1987</li> <li>• House 1989</li> <li>• Tyson and House 1989</li> <li>• Carvalho et al. 2011 2000</li> </ul>	General water quality assessment and specific uses such as potable water supply and assessing aquatic toxicity levels.
Scottish Research Development Department	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Scotland</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b><u>SRDD (1976). Applied Research &amp; Development Report Number ARD3, Engineering Division, Edinburg, UK.</u></b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bordalo et al. 2001</li> <li>• Bordalo et al. 2006</li> <li>• Carvalho et al. 2011</li> </ul>	General water quality assessment but it cannot be

(SRDD) index	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Spain</li> <li>• Portugal</li> <li>• Thailand</li> <li>• Iran</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dadolahi-Sohrab et al. 2012</li> </ul>	used for toxicity evaluation.
Fuzzy index	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Spain</li> <li>• Iran</li> <li>• India</li> <li>• Brazil</li> <li>• Columbia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b><u>Ocampo-Duque et al. 2006</u></b></li> <li>• Lermontov et al. 2009</li> <li>• Mahapatra et al. 2011</li> <li>• Nikoo et al. 2011</li> <li>• Ocampo-Duque et al. 2013</li> </ul>	General water quality assessment
Bhargava's index	<ul style="list-style-type: none"> <li>• India</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b><u>Bhargava 1985</u></b></li> <li>• Al-Ani et al. 1987</li> <li>• Avvannavar and Shrihari 2008</li> </ul>	Specific use of assessing suitability for drinking water supply.
Malaysian index	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Malaysia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b><u>DoE Malaysia (2002). Malaysia environmental quality report 2001. Putrajaya, Malaysia: Department of Environment, Ministry of Science, Technology and Environment.</u></b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Shuhaimi-Othman et al. 2007</li> </ul>	General water quality assessment
Status and Sustainability index	<ul style="list-style-type: none"> <li>• France</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b><u>Oudin et al. 1999</u></b></li> <li>• Fulazzaky 2010</li> </ul>	General water quality assessment
Dalmatian index	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Serbia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b><u>Štambuk-Giljanović 1999</u></b></li> <li>• Štambuk-Giljanović 2003</li> </ul>	General water quality assessment
Dinius's index	<ul style="list-style-type: none"> <li>• UK</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ <b><u>Dinius 1987</u></b></li> <li>□ Sarkar and Abbasi 2006</li> </ul>	General water quality assessment

Diljido's index	• Serbia	• NA	• <b><u>Dojlido et al. 1994</u></b>	General water quality assessment
Ved Prakash	• India	• NA	<input type="checkbox"/> <b><u>Ved Prakash et al. 1990</u></b> (as cited in Abbasi and Abbasi 2012) <input type="checkbox"/> Bhutiani et al. 2014	General water quality assessment
Water pollution index	• USA	• NA	<input type="checkbox"/> <b><u>Nemerow and Sumitomo 1970</u></b> <input type="checkbox"/> Xu et al. 2010	Specific uses of assessing suitability for direct human contact use (drinking, swimming, etc), indirect contact use (fishing, agriculture, etc) and remote contact use (navigation, industries, etc).
Almeida's index	• Argentina	• NA	• <b><u>Almeida et al. 2012</u></b>	Specific use of assessing suitability for recreational use.
Boyacioglu's index	• Turkey	• NA	• <b><u>Boyacioglu 2007</u></b>	Specific use of assessing suitability for drinking water supply.
Contact Recreation index	• New Zealand	• NA	• <b><u>Nagels et al. 2001</u></b>	Specific use of assessing suitability for Recreational use.
Hallock's index	• USA	• <b><u>Hallock, D. (2002). A Water Quality Index for Ecology's Stream Monitoring Program. Washington Department of Ecology.</u></b> < <a href="http://www.ecy.wa.gov/biblio/0203052.html">http://www.ecy.wa.gov/biblio/0203052.html</a> >	• NA	General assessment
Hanh's index	• Vietnam	• NA	• <b><u>Hanh et al. 2011</u></b>	General water quality assessment
Harkins' index	• USA	• NA	• <b><u>Harkins 1974</u></b>	General water quality assessment

Indian pollution index	• India	• NA	• <b><u>Sargaonkar and Deshpande 2003</u></b>	General water quality assessment
Liou's index	• Taiwan	• NA	• <b><u>Liou et. 2004</u></b>	General water quality assessment
Prati's index	• Italy	• NA	• <b><u>Prati et al. 1971</u></b>	General water quality assessment
Ross's index	• UK	• NA	• <b><u>Ross 1977</u></b>	General water quality assessment
Said's index	• USA	• NA	• <b><u>Said et al. 2004</u></b>	General water quality assessment
Smith's index	• New Zealand	• NA	• <b><u>Smith 1990</u></b>	Specific use of assessing suitability for bathing, water supply and fish spawning.
Stoner's index	• USA	• <b><u>Stoner, J.D. (1978). Water Quality Indices for Specific Water Uses, U.S. Geological Survey Circular 770.</u></b> < <a href="http://pubs.usgs.gov/circ/1978/0770/report.pdf">http://pubs.usgs.gov/circ/1978/0770/report.pdf</a> >	• NA	Specific use of assessing suitability for irrigation.
Storet index	• North America	• NA	• <b><u>Canter 1977</u></b> (as stated in Ministry of the Environment Indonesia 2003)	General water quality assessment
Walski and Parker's index	• USA	• NA	• <b><u>Walski and Parker 1974</u></b>	Specific use of assessing suitability for recreational use.

Fonte: Sutadian, Muttill, Yilmaz *et al* (2016).

