

## IV-309 – APLICAÇÃO DE ÍNDICES DE QUALIDADE DE ÁGUA – IQA PARA O MONITORAMENTO DOS MANANCIAIS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA, PARANÁ, BRASIL

**Ana Carolina Pires Moreira** <sup>(1)</sup>

Geóloga pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Mestranda no Programa Internacional de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial (UFPR – *Universität Stuttgart* – SENAI-PR). Atua como geóloga na área de recursos hídricos da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR).

**Daniela Neuffer** <sup>(2)</sup>

Engenheira Civil e Doutora em Técnicas de Proteção Ambiental pela *Universität Stuttgart*. Pesquisadora e consultora da *Universität Stuttgart* no Instituto de Engenharia Sanitária, Gerenciamento da Qualidade de Água e de Resíduos (ISWA). Coordenadora e professora titular do Mestrado Internacional em Meio Ambiente Urbano e Industrial (UFPR, *Universität Stuttgart* e SENAI-PR). Membro do comitê assessor AK-11.6 (Resíduos de óleo e graxas) da DWA.

**Paulo Antonio do Vale Junior** <sup>(3)</sup>

Oceanógrafo pela Universidade Federal do Paraná (UFPR) e Engenheiro Ambiental pela Faculdade Anchieta de Ensino Superior do Paraná (FAESP). Mestrando no Programa Internacional de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial (UFPR – *Universität Stuttgart* – SENAI-PR). Atua como técnico operacional na área de recursos hídricos da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR).

**Ely Carlos de Alvarenga** <sup>(4)</sup>

Engenheiro Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), e Sanitarista pela Universidade de Delft (Holanda). Atua como engenheiro na área de recursos hídricos da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR).

**Maurício Bergamini Scheer** <sup>(5)</sup>

Engenheiro Florestal, Mestre e Doutor em Engenharia Florestal pela UFPR. Atua como engenheiro florestal da Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento (APD) da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR).

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Rua Engenheiro Rebouças, 1376 – Rebouças – Curitiba - Paraná - CEP: 80215-900 – Brasil - Tel: (41) 3582-2019 - e-mail: anacarolinapm@sanepar.com.br.

### RESUMO

A gestão de bacias de mananciais de abastecimento público através de programas de monitoramento, para diagnóstico da poluição e posterior remediação ambiental, é uma importante maneira para conservação da qualidade da água. O avanço da malha urbana, a instalação de indústrias e atividades agropecuárias sem controle em áreas de mananciais, contribuem negativamente à qualidade da água bruta, que é a fonte para o abastecimento de água da população. A redução nesta qualidade tem como consequência o aumento na demanda de produtos químicos em uma Estação de Tratamento de Água (ETA) e até mesmo o abandono do manancial.

Este estudo apresenta uma análise da qualidade da água dos mananciais formados por reservatórios e rios em Curitiba e região metropolitana (RMC). Foi analisada a qualidade de água de quatro reservatórios: Piraquara I, Piraquara II, Passaúna e Iraí; seus principais afluentes; e rios das bacias incrementais de duas importantes ETAs de Curitiba: Iraí e Passaúna.

A análise se fundamentou no cálculo do IQA (índice de qualidade de água), que para rios (IQAr) é baseado no utilizado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e para reservatórios (IQAr) no utilizado pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP), com algumas adaptações para as condições da SANEPAR. A partir do resultado do IQA, pode ser feito um diagnóstico geral de cada ponto e, conseqüentemente, de cada reservatório e manancial de abastecimento público. No entanto, é necessária analisar cada parâmetro de maneira isolada para um diagnóstico mais preciso, para que seja possível propor medidas eficientes para a melhora da qualidade da água do manancial. Recomenda-se ampliar programas de monitoramento, que possam diagnosticar a situação dos mananciais, sugerindo ações direcionadas de gestão.

**PALAVRAS-CHAVE:** Abastecimento público, índice de qualidade de água, reservatório, manancial, monitoramento.

## INTRODUÇÃO

A água potável limpa, segura e adequada é vital para a sobrevivência de todos os organismos vivos e para o funcionamento dos ecossistemas, comunidades e economias. Mas a qualidade da água em todo o mundo é cada vez mais ameaçada à medida que as populações humanas crescem, atividades agrícolas e industriais se expandem e as mudanças climáticas ameaçam alterar o ciclo hidrológico global (ONU, 2010).

Há uma necessidade urgente para a comunidade global – setores público e privado – de unir-se para assumir o desafio de proteger e melhorar a qualidade da água nos rios, lagos, aquíferos e torneiras (ONU, 2010).

A água na Terra distribui-se da seguinte maneira: 97% em mares e oceanos, 2,2 % nas geleiras e apenas 0,8% são de água doce, que pode ser utilizada para o abastecimento mais facilmente. Dentro deste pequeno percentual de água doce, apenas 3% apresenta-se na forma de água superficial que é de extração mais fácil, sendo o remanescente de água subterrânea. Esses valores ressaltam a grande importância de preservar os recursos hídricos na Terra e evitar a contaminação da pequena fração mais facilmente disponível (VON SPERLING M., 2005).

A quantidade e velocidade da água em corpos hídricos estão relacionadas às formas de uso, manejo, ocupação da bacia, características geomorfológicas e pedológicas associadas às condições ambientais das vertentes. Já a qualidade da água pode estar relacionada a lançamentos pontuais de efluentes industriais ou domésticos, aporte difuso de elementos provenientes da atividade agropecuária e urbanização (ANDREOLI C. V., et al., 2011).

Como a cidade de Curitiba e região metropolitana encontram-se próximas às cabeceiras, a vazão dos rios é pequena, demandando reserva de grandes volumes de água para regularização de suas vazões. Desta forma, a construção de reservatórios de grande volume torna-se indispensável na região para garantia do abastecimento público. No entanto, como estes reservatórios apresentam grandes extensões e tempo de retenção longo, acaba favorecendo o acúmulo de cargas expressivas de nutrientes e poluentes (PEGORINI E. S. et al., 2005).

Garantir a qualidade da água para o consumo humano está intimamente relacionado com a proteção das fontes de águas brutas. Com a gestão das causas de poluição traduzindo-se na disponibilidade de um recurso com menor contaminação, além de garantir maior segurança na qualidade da água distribuída aos consumidores, implica em um menor esforço no tratamento (Vieira et al., 2005).

Segundo Bollmann e Freire (2003) o processo de eutrofização em reservatórios com a ocorrência de intensas florações de algas é consequência da inter-relação entre vários fatores, tanto climatológicos, como hidrológicos, morfológicos, físico-químicos e biológicos, que ocorrem tanto na bacia hidrográfica quanto no próprio reservatório. Os reservatórios situados na bacia hidrográfica do Altíssimo Iguazu apresentam condições favoráveis à ocorrência de floração de algas cianofíceas com a consequente degradação da qualidade destas águas. Dentre os fatores relevantes, a disponibilidade de nutrientes tem sido apontada como chave para deflagrar os eventos de floração. A resolução deste problema tem como premissa básica o gerenciamento de ações visando a melhoria das condições das águas no reservatório, principalmente no que concerne ao controle de nitrogênio e fósforo, que são os nutrientes limitantes ao crescimento das algas responsáveis pelas florações (Anabaena spp e Microcystis spp, etc).

Devido à crescente diminuição na qualidade da água e aos frequentes episódios de *blooms* de algas no reservatório, estudos aprofundados analisando, diagnosticando e monitorando as condições da qualidade da água durante uma série temporal e espacial contínua, são de extrema importância para uma gestão eficiente dos recursos hídricos. O conhecimento sobre a qualidade da água de uma bacia possibilita inferir sobre as condições da bacia como um todo. Seja qual for a variação quali-quantitativa neste recurso, que cause desequilíbrios ambientais, os reflexos na saúde dos ecossistemas e na disponibilidade hídrica são diretos (Carneiro, et al., 2005).

Segundo Koehler e Asmus (2009) o monitoramento é um processo em que medições repetidas no tempo e no espaço são registradas para indicar variabilidade natural e modificações em parâmetros ambientais, sociais e econômicos. A mensuração destas mudanças contribui com a base de informações necessárias para os gestores avaliarem a efetividade de um plano de gestão e também avalia a eficiência das medidas de prevenção, mitigação e controle tomadas com base nas informações advindas do monitoramento. A integração de dados é um fator essencial nos processos de tomadas de decisão ou avaliação de planos, sendo que o compartilhamento

e integração aumentam a utilidade e eficiência dos dados e possibilitam maior acesso às informações pelos atores envolvidos no processo tanto direta quanto indiretamente.

Este estudo apresenta uma análise da qualidade da água dos mananciais de abastecimento público, de Curitiba e RMC, formados por reservatórios: Piraquara I, Piraquara II, Passaúna e Iraí, empregando o Índice de Qualidade de Água (IQA) e os comparando entre si.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para este estudo foram utilizados dados de 2015 e 2016 dos reservatórios, rios afluentes e rios que suprem a vazão das Estações de Tratamento de Água (ETAs), que utilizam água de reservatórios, em Curitiba e região metropolitana.

A ferramenta utilizada para analisar a qualidade de água é o IQA, sendo para rios utilizado o IQAri, que é baseado no utilizado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e para reservatórios é utilizado o IQAre, que é baseado no utilizado pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP), com algumas adaptações para as condições da SANEPAR.

As amostras de água foram coletadas com uma periodicidade mensal ou trimestral, nos reservatórios Piraquara I, Piraquara II, Iraí e Passaúna, nos principais afluentes destes, nas saídas de água após vertedouro, nas captações e entradas de ETAs.

Com os resultados das análises foi possível calcular o IQA dos locais monitorados e as médias por reservatórios para compará-los. A partir do resultado do IQA pode ser feito um diagnóstico geral de cada ponto e, conseqüentemente, de cada reservatório. Locais onde não é realizado o monitoramento de todos parâmetros que compõem o IQA, foram analisados parâmetros isolados, comparados com a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 357/2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

### - IQA

Para avaliação da qualidade da água bruta, visando o uso para abastecimento público após tratamento, foi desenvolvido o Índice de Qualidade de Água (IQA). Este índice foi criado em 1970 pela *National Sanitation Foundation*, nos EUA e começou a ser utilizado pela CETESB em 1975, sendo hoje o principal índice de qualidade de água utilizado no país (ANA, 2017).

O IQA utilizado na SANEPAR para rios é baseado no utilizado pela CETESB e para os reservatórios é baseado no IQA utilizado pelo IAP. Na CETESB, as variáveis consideráveis no cálculo são: coliformes fecais, pH, demanda bioquímica de oxigênio em 5 dias (DBO5), nitrogênio total, fósforo total, temperatura, turbidez, resíduo total e oxigênio dissolvido (CETESB, 2017).

No IAP, o índice para reservatórios é baseado nos seguintes parâmetros: temperatura da água, concentração e porcentagem de saturação do oxigênio dissolvido, transparência (profundidade de Secchi), pH, alcalinidade total, condutividade elétrica, demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO5), nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal, nitrogênio Kjeldahl, fósforo total, clorofila A, fitoplâncton, zooplâncton. Características morfométricas e hidrológicas perfazem o IQA como características de tempo de residência, profundidade máxima e profundidade média (IAP, 2008).

### - IQA da SANEPAR para rios (SANEPAR, 2008)

O índice para rios (IQAri) é baseado no IQA desenvolvido nos Estados Unidos e adotado pela CETESB, pelo Instituto das Águas do Paraná, e outros órgãos estaduais, com adaptações para as condições específicas da SANEPAR.

O IQAri terá um valor entre 0 a 100, com quatro classes de qualidade, conforme demonstrado na Tabela 1:

**Tabela 1: Classes de qualidade por valores de IQA para Sanepar, Paraná.**

IQAri	Classes de Qualidade
$90 \leq \text{IQAri} \leq 100$	Ótima (azul)
$70 \leq \text{IQAri} < 90$	Boa (verde)
$50 \leq \text{IQAri} < 70$	Regular (amarelo)
$\text{IQAri} < 50$	Ruim (vermelho)

Cada parâmetro recebe uma nota “q”, entre 0 e 100, dependendo do seu valor e posição na Tabela 2 (Notas dos Parâmetros com base nas faixas). Os limites destas faixas foram baseados, sempre que possível, nos padrões das classes 1 a 4 da Resolução nº 357/2005 do CONAMA.

**Tabela 2: Notas IQAri por parâmetros com base nas faixas.**

Parâmetro	Ótima (90-100)	Boa (70-90)	Regular (50-70)	Ruim (<50)
Oxigênio dissolvido- OD (mg/L)	$\text{OD} \geq 6$	$5 \leq \text{OD} < 6$	$4 \leq \text{OD} < 5$	$\text{OD} < 4$
Coliformes termotolerantes- CT (1/dL)	$\text{CT} \leq 200$	$200 < \text{CT} \leq 1000$	$1000 < \text{CT} \leq 4000$	$\text{CT} > 4000$
Potencial hidrogeniônico- pH (-)	$6,8 \leq \text{pH} \leq 7,2$	$6 \leq \text{pH} < 6,8$ ou $7,2 < \text{pH} \leq 8,0$	$5 \leq \text{pH} < 6$ ou $8 < \text{pH} \leq 9$	$\text{pH} < 5$ ou $\text{pH} > 9$
Demanda Química de Oxigênio- DQO (mg/L)	$\text{DQO} \leq 6$	$6 < \text{DQO} \leq 10$	$10 < \text{DQO} \leq 20$	$\text{DQO} > 20$
Nitrogênio total- NT (mg/L)	$\text{NT} \leq 2$	$2 < \text{NT} \leq 5$	$5 < \text{NT} \leq 10$	$\text{NT} > 10$
Fósforo total- PT (mg/L)	$\text{PT} \leq 0,10$	$0,10 < \text{PT} \leq 0,20$	$0,20 < \text{PT} \leq 0,30$	$\text{PT} > 0,30$
Sólidos dissolvidos- SD (mg/L)	$\text{SD} \leq 30$	$30 < \text{SD} \leq 100$	$100 < \text{SD} \leq 200$	$\text{SD} > 2000$
Turbidez- TBZ (UNT)	$\text{TBZ} \leq 40$	$40 < \text{TBZ} \leq 100$	$100 < \text{TBZ} \leq 150$	$\text{TBZ} > 150$

A nota para concentrações intermediárias dentro de uma determinada faixa é calculada pelas equações da Tabela 3 (Equações para cálculo das notas nas faixas de IQAri).

**Tabela 3: Equações para cálculo das notas nas faixas de IQA.**

Equações para cálculo das notas – faixas de IQAri		
IQAri = $q1^{0,19} \cdot q2^{0,12} \cdot q3^{0,12} \cdot q4^{0,14} \cdot q5^{0,12} \cdot q6^{0,12} \cdot q7^{0,09} \cdot q8^{0,10}$		
Parâmetro	Faixa	Equações
Oxigênio dissolvido	OD > 9	$q1 = 100$
	$6 \leq OD \leq 9$	$q1 = 3,333 \cdot OD + 70$
	$4 \leq OD < 6$	$q1 = 20 \cdot OD - 30$
	$0 < OD < 4$	$q1 = 12,5 \cdot OD$
	OD = 0	$q1 = 1$
Coliformes termotolerantes	$0 \leq CT \leq 200$	$q2 = -0,05 \cdot CT + 100$
	$200 < CT \leq 1.000$	$q2 = -0,025 \cdot CT + 95$
	$1000 < CT \leq 4.000$	$q2 = -0,006667 \cdot CT + 76,6666$
	$4000 < CT \leq 50.000$	$q2 = -0,001065 \cdot CT + 54,2608$
	$50.000 < CT$	$q2 = 1$
pH	$0 \leq pH < 5$	$q3 = 10 \cdot pH$
	$5 \leq pH < 6$	$q3 = 20 \cdot pH - 50$
	$6 \leq pH < 6,8$	$q3 = 25 \cdot pH - 80$
	$6,8 \leq pH \leq 7,0$	$q3 = 50 \cdot pH - 250$
	$7,0 < pH \leq 7,2$	$q3 = -50 \cdot pH + 450$
	$7,2 < pH \leq 8,0$	$q3 = -25 \cdot pH + 270$
	$8,0 < pH \leq 9,0$	$q3 = -20 \cdot pH + 230$
	$9,0 < pH \leq 14$	$q3 = -10 \cdot pH + 140$
DQO	$0 \leq DQO \leq 6$	$q4 = -1,667 \cdot DQO + 100$
	$6 < DQO \leq 10$	$q4 = -5 \cdot DQO + 120$
	$10 < DQO \leq 20$	$q4 = -2 \cdot DQO + 90$
	$20 < DQO \leq 80$	$q4 = -0,817 \cdot DQO + 66,33$
	$80 < DQO$	$q4 = 1$
Nitrogênio total	$0 \leq NT \leq 2$	$q5 = -5 \cdot NT + 100$
	$2 < NT \leq 5$	$q5 = -6,667 \cdot NT + 103,33$
	$5 < NT \leq 10$	$q5 = -4 \cdot NT + 90$
	$10 < NT \leq 40$	$q5 = -1,633 \cdot NT + 66,33$
	$40 < NT$	$q5 = 1$
Fósforo total	$0 \leq P \leq 0,1$	$q6 = -100 \cdot P + 100$
	$0,1 < P \leq 0,3$	$q6 = -200 \cdot P + 110$
	$0,3 < P \leq 2,0$	$q6 = -28,82 \cdot P + 58,65$
	$2,0 < P$	$q6 = 1$
Sólidos dissolvidos	$0 \leq SD \leq 30$	$q7 = -0,333 \cdot SD + 100$
	$30 < SD \leq 100$	$q7 = -0,286 \cdot SD + 98,57$
	$100 < SD \leq 200$	$q7 = -0,2 \cdot SD + 90$
	$200 < SD \leq 1500$	$q7 = -0,03769 \cdot SD + 57,54$

	1.500 < SD	q7 = 1
Turbidez	0 ≤ TBZ ≤ 40	q8 = -0,25·TBZ+ 100
	40 < TBZ ≤ 100	q8 = -0,333·TBZ + 103,33
	100 < TBZ ≤ 150	q8 = -0,4·TBZ + 110
	150 < TBZ ≤ 1500	q8 = -0,0363·TBZ + 55,44
	1.500 < TBZ	q8 = 1

Cada parâmetro recebe também um peso fixo “w”, que indica sua importância relativa, quando comparado com os demais parâmetros. Os parâmetros, e seus pesos são listados na Tabela 4.

**Tabela 4: IQA – Peso de importância por parâmetro para cálculo IQAri.**

Parâmetro	Peso (w)
Oxigênio dissolvido	0,19
Coli-Termotolerantes	0,12
DQO	0,14
pH	0,12
Nitrogênio total*	0,12
Fósforo total	0,12
Turbidez	0,10
Sólidos dissolvidos	0,09

\* série do nitrogênio: orgânico (kjeldahl) + amoniacal + nitrito + nitrato

O IQAri é calculado como o produto das notas “q” elevadas ao seu peso respectivo “w”, conforme fórmula 1.

$$\prod_{i=1}^8 q_i^{w_i}$$

**Fórmula (1):** IQAri =  $\prod_{i=1}^8 q_i^{w_i}$

Os pesos devem receber a relação: **Fórmula (2):**

### - Sistema de Abastecimento Integrado de Curitiba e Região Metropolitana - SAIC (SANEPAR, 2013)

As barragens do rio Iraí e do rio Piraquara (Piraquara I e Piraquara II), contribuem para regularizar a vazão do Rio Iraí, que ainda recebe contribuição das bacias incrementais dos rios Iraizinho e Itaquí e abastece a ETA Iraí.

No Rio Passaúna foi construída uma barragem para a regularização de vazão. Esse reservatório abastece a ETA Passaúna.

Depois de tratada nas ETAs, a água é encaminhada à centros de reservação em Curitiba e RMC, sendo estes mananciais pertencentes ao sistema de produção e tratamento do SAIC.

### - IQA da SANEPAR para reservatórios (SANEPAR, 2008)

A SANEPAR possui quatro reservatórios para abastecimento público em operação, em Curitiba e RMC. Segue abaixo suas características físicas e hidrológicas:

**Tabela 5: Características físicas e hidrológicas dos reservatórios utilizados pela SANEPAR para abastecimento público**

RESERVATÓRIOS	LOCAL	COTA DA SOLEIRA DO VERTEDOR (m)	VOLUME TOTAL (hm <sup>3</sup> )	VOLUME ÚTIL (hm <sup>3</sup> )	ÁREA DO ESPELHO D'ÁGUA (km <sup>2</sup> )	PROFUND. MÉDIA (m)				PROFUND. MÁXIMA (m)	ÁREA DA BACIA (km <sup>2</sup> )	VAZÃO MÉDIA AFLUENTE (m <sup>3</sup> /s)	VAZÃO REGULARIZADA (m <sup>3</sup> /s)	TEMPO DE DETENÇÃO MÉDIO (dias)	ÁREA DE PROTEÇÃO PERMANENTE (km <sup>2</sup> )	VAZÃO ECOLÓGICA (m <sup>3</sup> /s)	POPULAÇÃO ABASTECÍVEL (hab)
						CHEIO	80%	60%	40%								
IRAI	Pinhais, Piraquara, Quatro Barras	888,00	58,006	58	10,81	5,37	3,61	3,17	2,78	12	109	2,15	1,50	312	2,66	0,359	394.276
PIRAQUARA 1	Piraquara	907,20	23,4	23	3,71	6,31	-	-	-	16	27	0,70	0,60	387	4,2	0,089	176.614
PIRAQUARA 2	Piraquara	891,00	20,93	20,81	5,55	3,77	3,14	2,85	2,71	15	58	1,43	1,14	114	4,4	0,191	327.936
PASSAUNA	Curitiba, Araucária, Campo Largo	887,00	71,6	48	8,95	8,00	-	-	-	15	155,6	2,36	2,00	351	5,4	0,500	518.400

Adaptado SANEPAR, 2008.

O índice para reservatórios (IQAre) é baseado no índice utilizado pelo IAP, adaptado para as condições específicas da SANEPAR. A estrutura matemática é idêntica à do IQAri, mudando apenas os parâmetros e os pesos, relacionados na Tabela 6.

**Tabela 6: IQA – Peso de importância por parâmetro para cálculo IQAre.**

Parâmetro	Peso (w)
Cianobactérias	0,20
Oxigênio dissolvido	0,18
DQO	0,12
Fósforo total	0,12
Disco Secchi	0,12
Tempo de residência	0,10
Nitrogênio total*	0,08
Profundidade média	0,08

\* série do nitrogênio: orgânico (Kjeldahl) + amoniacal + nitrito + nitrato

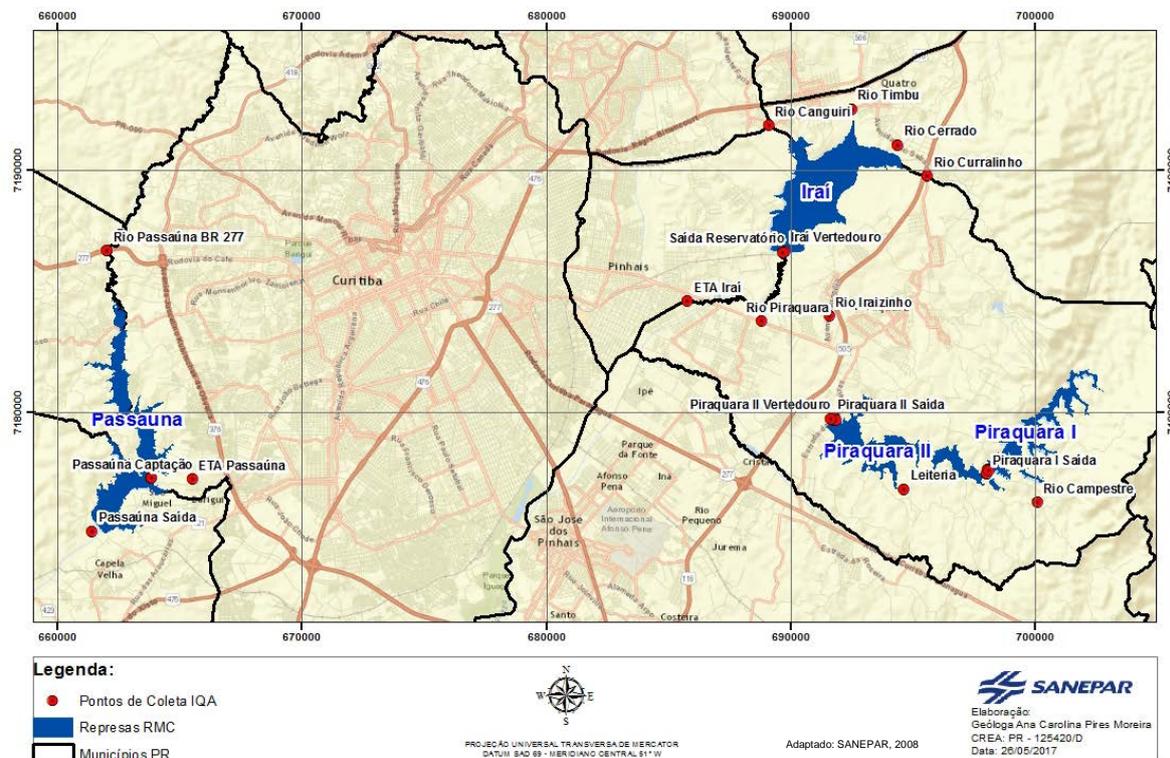
A nota de cada parâmetro depende de seu valor e posição na Tabela 6, cujas faixas também foram definidas, sempre que possível, com base nos padrões das quatro classes da Resolução CONAMA n° 357/2005. A profundidade média e o tempo de detenção são fixos para cada reservatório e podem ser alterados quando forem realizados novos levantamentos batimétricos e estudos hidrológicos.

**Tabela 7: Notas IQAre por parâmetros com base nas faixas.**

Parâmetro	Ótima (90-100)	Boa (70-90)	Regular (50-70)	Ruim (<50)
Cianobactérias (1/mL)	CB ≤ 10000	10.000 < CB ≤ 20.000	20.000 < CB ≤ 50.000	CB > 50.000
Oxigênio dissolvido (mg/L)	OD ≥ 6	5 ≤ OD < 6	4 ≤ OD < 5	OD < 4
Disco Secchi-DS (m)	2,5 ≤ DS	1,5 ≤ DS < 2,5	0,5 ≤ DS < 1,5	DS < 0,5
DQO (mg/L)	DQO ≤ 6	6 < DQO ≤ 10	10 < DQO ≤ 20	DQO > 20
Nitrogênio total (mg/L)	NT ≤ 2	2 < NT ≤ 5	5 < NT ≤ 10	NT > 10
Fósforo total (mg/L)	PT ≤ 0,02	0,02 < PT ≤ 0,03	0,03 < PT ≤ 0,05	PT > 0,05
Tempo de residência- t (d)	t ≤ 30	30 < t ≤ 120	120 < t ≤ 400	t > 400
Profundidade média- p (m)	p > 25	15 < p ≤ 25	4 < p ≤ 15	p ≤ 4

### - Amostragem

O monitoramento da qualidade de água de rios e reservatórios, mananciais de abastecimento público da SANEPAR, em Curitiba e RMC é realizado desde 2001, porém, o IQA foi implementado em 2010. Para este estudo foi realizado a análise dos dados dos anos de 2015 e 2016. Segue abaixo, a localização dos pontos de coleta (figura 1) e a frequência da amostragem.



**Figura 1: Localização dos reservatórios da SANEPAR em Curitiba e região metropolitana e os pontos de coleta para IQA.**

No reservatório Piraquara I, foram monitorados três pontos: próximo ao vertedouro (superfície e fundo: 12,3 m) e a saída do reservatório.

Para o monitoramento da influência do reservatório Piraquara II, são monitorados sete pontos, sendo quatro deles monitorados todos os parâmetros que compõem o IQA da SANEPAR: Vertedouro (superfície, 4 m e fundo: 12 m) e rio Campestre, que é um dos principais afluentes deste reservatório. Em dois pontos é realizado o monitoramento para verificar o impacto de uma indústria de laticínios localizada na mesma bacia hidrográfica: saída do lago desta propriedade e Lagoa dos Ingleses, que é um dos braços do reservatório e tem como um dos afluentes o Rio Botiatuvinha que é o rio que recebe o excedente de água do lago da indústria de laticínios. Os parâmetros monitorados são: cianobactérias, óleos e graxas, DQO, OD e fósforo total, não sendo possível calcular e avaliar o IQA. Ainda é realizado o monitoramento da saída da represa, porém, apenas os parâmetros de oxigênio dissolvido e sulfeto de hidrogênio, sendo implementado os parâmetros que compõem o IQA apenas em dezembro de 2015.

Para o monitoramento da influência do reservatório Iraí, são monitorados oito pontos, sendo quatro nos principais afluentes deste reservatório: rio Canguiri, rio Timbu, rio Cerrado e rio Curralinho; três pontos no reservatório próximo ao vertedouro (superfície, 3 m e fundo: 7,5 m); e na saída do reservatório. É realizado também o monitoramento em outros mananciais que complementam a vazão da ETA Iraí: Rio Piraquara e Rio Iraizinho, além do monitoramento da entrada da ETA.

No reservatório Passaúna, são monitorados seis pontos: Rio Passaúna, no trecho a montante do reservatório, captação (superfície, 7 m e fundo: 14 m), saída do reservatório e entrada da ETA Passaúna.

### - Análise de Dados

Com os resultados das análises, foram calculados os IQAs de cada ponto amostrado. Nos pontos que não foram monitorados todos os parâmetros que compõem o IQA, estes são comparados com parâmetros para águas doces, padrões de classe 2, que se refere a águas destinadas ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional, entre outros usos, da Resolução CONAMA nº 357/2005.

Foram calculadas as médias do IQA nos dois anos por ponto e então as médias para cada reservatório, sendo composta pelos seguintes pontos:

- Piraquara I: próximo ao vertedouro (superfície e fundo: 12,3 m) e saída do reservatório.
- Piraquara II: próximo ao vertedouro (superfície, 4 m e fundo: 12 m). Não foram utilizados os dados da saída do reservatório pois até novembro de 2015 era monitorado apenas oxigênio dissolvido e sulfeto de hidrogênio.
- Passaúna: próximo a captação (superfície, 7 m e fundo: 14 m).
- Iraí: próximo ao vertedouro (superfície, 3 m e fundo: 7,5 m) e saída do reservatório.

Para a ETA Iraí foi realizada a média dos IQAs dos mananciais que contribuem para este sistema: saída do reservatório Iraí, Rio Piraquara, Rio Iraizinho e entrada da captação.

## RESULTADOS

### Piraquara I

A Tabela 8 demonstra os dados de qualidade de água, já calculados nas planilhas de IQA da SANEPAR. São dois pontos no reservatório (IQAre) e um ponto na saída do mesmo (IQAri).

**Tabela 8: Dados do IQA do reservatório Piraquara I.**

Data	IQAre vertedouro superfície	IQAre vertedouro fundo	IQAri saída reservatório
17/03/2015	84	58	91
27/04/2015	81	80	92
18/05/2015	81	79	90
08/06/2015	82	81	94
20/07/2015	75	79	93
17/08/2015	76	79	91
17/09/2015	80	80	95
22/12/2015	80	61	NR
19/01/2016	77	57	94
22/02/2016	72	NR	NR
18/04/2016	83	63	93
11/07/2016	83	82	91
17/10/2016	78	77	86

NR: não realizado

O IQA deste reservatório apresentou conceitos bons e ótimos, exceto em alguns meses na água do fundo, que apresentou conceito regular, o que refletiu principalmente a elevada concentração de fósforo total (acima de 0,025 mg/L) e baixa concentração de oxigênio dissolvido (menor que 2,0 mg/L). Na saída do reservatório, o IQA apresentou conceito ótimo em quase todas as campanhas de monitoramento e todos os parâmetros respeitam os valores máximos permitidos preconizados na Resolução CONAMA nº 357 para Classe 2, indicando possivelmente efeitos do reservatório e vertedouro a montante (p.ex.: sedimentação, aeração).

### Piraquara II

A Tabela 9 demonstra os dados de qualidade de água dos pontos monitorados que são analisados todos os parâmetros que compõem o IQA: três pontos no reservatório (IQAre) e um ponto no rio Campestre (IQAri) que é um dos principais afluentes do reservatório. São dados gerais já calculados nas planilhas de IQA da SANEPAR.

**Tabela 9: Dados do IQA do reservatório Piraquara II.**

Data	IQAri rio campestre	IQAre vertedouro superfície	IQAre vertedouro 4 m	IQAre vertedouro fundo
17/03/15	77	77	78	52
27/04/15	86	77	76	81
18/05/15	87	77	78	73
08/06/15	92	77	79	67
20/07/15	88	80	72	65
17/08/15	93	78	75	68
17/09/15	93	71	78	81
22/12/15	89	71	77	81
19/01/16	93	77	78	33
18/04/16	95	77	65	57
11/07/16	91	73	81	83
17/10/16	93	NR	NR	66

NR: não realizado

O IQA deste reservatório demonstrou conceito bom na superfície e em 4 m de profundidade, exceto para o mês de abril de 2016 que ficou com conceito regular, reflexo do baixo valor de oxigênio dissolvido que foi de 2,20 mg/L neste período.

Já o IQA medido no fundo do reservatório apresentou conceitos que variaram entre ruim e bom, sendo mais frequente o IQA regular. Isso se deve principalmente por elevadas concentrações de fósforo total (acima de 0,03 mg/L), elevados valores de DQO (chegando até a 97 mg/L em janeiro de 2016), e por vezes baixos valores de oxigênio dissolvido.

É importante destacar que foi detectado presença de cianobactérias do gênero *Microcystis* nos pontos de monitoramento do reservatório, mas abaixo dos valores preconizados na Resolução CONAMA nº 357/2005 para classe 2. Em algumas semanas entre o outono e a primavera ocorreram florações desse táxon, porém, foi analisado apenas o *bloom* que representa uma medida concentrada, que superestima a real concentração.

Há também presença de macrófitas aquáticas, durante todo o ano na Lagoa dos Ingleses, um dos braços do reservatório. Tais situações geralmente são indicativas de alta concentração de nutrientes (fósforo total e nitrogênio total), sendo observados em alguns pontos, concentrações acima do limite estabelecido na Resolução CONAMA nº 357/2005 para classe 2.

Foram analisados parâmetros para verificação da contaminação por efluentes domésticos e industriais, devido à presença de uma indústria de laticínios na mesma bacia hidrográfica que o reservatório. São dois pontos monitorados para verificar o impacto desta indústria, e são verificados parâmetros importantes para esta finalidade, porém, não compõem o cálculo do IQA. Os comentários serão pela importância do parâmetro e comparado à Resolução CONAMA nº 357/2005 para classe 2. Nos dois pontos há presença de óleos e graxas, fósforo total elevado (chegando em valores de até 0,3 mg/L), DQO elevado (comum em torno de 20 mg/L) e baixas concentrações de oxigênio dissolvido (comum em torno de 3 mg/L). As piores e mais recorrentes situações de baixa qualidade de água são representadas no monitoramento da saída do lago da indústria, ponto a montante da Lagoa dos Ingleses, o que pode evidenciar a capacidade de filtração das macrófitas aquáticas presente neste braço do reservatório.

O afluente rio Campestre, responsável por considerável vazão (LOPES et al., 2016), demonstrou conceito bom a ótimo, sendo um afluente importante para a manutenção da qualidade do reservatório, embora haja a necessidade de mais amostragens.

Na saída do reservatório foi analisado apenas o parâmetro oxigênio dissolvido, dificultando a comparação quanto a qualidade com outros pontos de monitoramento e reservatórios. Por isso este dado não foi analisado neste trabalho, mas desde julho de 2016 são monitorados todos os parâmetros que compõem o IQAri, com resultados bons e ótimos.

### Passaúna

A Tabela 10 demonstra os dados de qualidade de água, já calculados nas planilhas de IQA da SANEPAR. São quatro pontos no reservatório (IQAre) e um ponto no rio Passaúna (IQAri) que é um dos principais afluentes do reservatório.

**Tabela 10: IQA do reservatório Passaúna.**

Data	IQArí rio Passaúna	IQAre captação superfície	IQAre captação 7 m	IQAre captação fundo	IQAre ETA Passaúna
10/03/15	79	80	80	43	81
13/04/15	85	84	78	61	83
11/05/15	84	82	80	80	82
02/06/15	86	82	83	81	82
13/07/15	68	79	78	80	76
10/08/15	84	81	NR	NR	80
15/09/15	82	81	80	71	79
21/12/15	NR	77	68	65	72
11/01/16	NR	NR	71	50	74
11/04/16	75	80	81	55	NR
13/07/16	74	81	84	35	80
10/10/16	86	84	70	35	79

NR: não realizado

O IQA deste reservatório apresentou conceito bom na maior parte das campanhas de amostragem, exceto pelo conceito regular em 7 metros de profundidade em dezembro de 2015, principalmente pelo baixo valor de oxigênio dissolvido (menor que 2,0 mg/L), e por conceitos que variaram entre ruim e regular em alguns meses no fundo do reservatório, principalmente pelas elevadas concentrações de fósforo total (acima de 0,03 mg/L), elevados valores de DQO (chegando até 87,4 mg/L), e baixos valores de oxigênio dissolvido (chegando em 1,21 mg/L).

O IQA do rio Passaúna a montante do reservatório, apresentou conceito bom, exceto no mês de julho de 2017 que foi regular, principalmente pela elevada turbidez (145 NTU), elevada concentração de fósforo total (0,069 mg/L), de coliformes termotolerantes (19.863 mg/dL) e de demanda química de oxigênio (19,8 mg/L). Já a água de entrada da ETA Passaúna apresentou conceito bom em todos os meses de monitoramento, o que pode sugerir a capacidade de depuração do reservatório.

## Iraí

A Tabela 11 demonstra os dados de qualidade de água, já calculados nas planilhas de IQA da SANEPAR. São três pontos no reservatório (IQAre), quatro pontos em rios afluentes e dois pontos a jusante do barramento, calculados como IQArí.

**Tabela 11: IQA do reservatório Iraí.**

Data	IQArí rio Timbú	IQArí rio Cerrado	IQArí rio Canguiri	IQArí rio Curralinho	IQAre vertedouro superfície	IQAre vertedouro 3 m	IQAre vertedouro fundo	IQArí saída reservatório	IQArí ETA Iraí
02/03/15	81	81	48	50	73	NR	NR	82	82
06/04/15	81	81	51	52	73	71	69	85	82
04/05/15	48	68	47	46	75	75	74	85	85
01/06/15	85	86	84	85	76	75	75	89	93
06/07/15	84	90	52	87	74	79	77	92	91
03/08/15	82	85	79	83	74	72	76	94	95
14/09/15	50	78	47	81	75	75	76	86	87
05/10/15	46	82	51	85	68	72	76	87	83
01/12/15	49	85	86	79	76	78	80	92	87
04/01/16	46	81	50	76	75	70	70	88	79
04/04/16	74	90	45	94	74	74	65	86	85
04/07/16	85	85	52	85	32	NR	72	87	87
04/10/16	83	82	47	51	73	74	78	93	87

NR: não realizado

O IQA dos principais afluentes deste reservatório são bem variáveis, apresentando conceitos desde ruim até ótimo. Os piores conceitos foram influenciados principalmente pela elevada concentração de Escherichia coli e nutrientes (nitrogênio total e fósforo total). Por esta avaliação, o rio Timbu e principalmente o rio Canguiri são os mais preocupantes, embora tenha que ser dada atenção a todos os corpos hídricos da região. Já os pontos monitorados dentro do reservatório ficaram entre os conceitos regular e bom, exceto na coleta de julho de 2016 na superfície, que apresentou conceito ruim, reflexo principalmente da floração de cianobactérias (194.513 cel/mL), ultrapassando os valores máximos permitidos da Resolução CONAMA nº357/2005 para classe 2.

É importante ressaltar que o monitoramento da qualidade da água na saída do reservatório, o conceito do IQA variou entre bom e ótimo, o que pode sugerir a capacidade de depuração do reservatório.

Na região de influência da ETA Iraí, são monitorados a saída do reservatório Iraí, do Rio Iraizinho, Rio Piraquara e Rio Itaqui. O monitoramento da qualidade de água também é realizado a montante da captação da ETA Iraí. A tabela 12 apresenta os dados de IQA, calculados nas planilhas da SANEPAR.

**Tabela 12: IQA da região de influência da ETA Iraí.**

Data	IQAr saída reservatório Iraí	IQAr Rio Piraquara	IQAr Rio Iraizinho	IQAr ETA Iraí
02/03/15	82	83	78	82
06/04/15	85	89	84	82
04/05/15	85	83	65	85
01/06/15	89	95	91	93
06/07/15	92	96	53	91
03/08/15	94	96	56	95
14/09/15	86	91	93	87
05/10/15	87	92	85	83
01/12/15	92	83	51	87
04/01/16	86	75	47	79
04/04/16	86	94	50	85
04/07/16	87	91	90	87
04/10/16	93	87	87	87

O IQA destes rios apresenta conceito bom e ótimo, exceto no Rio Iraizinho que os conceitos variaram desde ruins até ótimos. Os piores conceitos para este rio são reflexos da baixa concentração de oxigênio dissolvido e elevada concentração de Escherichia coli. Os dados referentes ao Rio Itaquí não foram apresentados pois a frequência e datas de monitoramento diferem dos outros rios, mananciais da ETA Iraí, ficando difícil a comparação. Mas nos dois anos de monitoramento o IQA do Rio Itaquí variou entre bom e ótimo.

O IQA da captação variou entre bom e ótimo, mantendo os conceitos dos rios a montante e apresenta qualidade superior ao Rio Itaquí, sugerindo a capacidade de depuração do rio. Apesar do bom conceito de IQA da captação, em alguns meses o parâmetro de oxigênio dissolvido apresentou-se baixo, Escherichia coli e DQO elevados.

## DISCUSSÕES

A ETA Iraí recebe água dos reservatórios Piraquara I, Piraquara II, Iraí e rios Piraquara, Iraizinho e Itaquí, sendo influenciada pela carga destes mananciais. Já a ETA Passaúna recebe água apenas da captação do reservatório Passaúna, sendo o controle mais fácil, porém, mais preocupante, pois qualquer alteração na qualidade de água do reservatório reflete rapidamente na captação.

Para poder comparar a qualidade de água dos reservatórios foi feito um ranking conforme a média do IQAre.

**Tabela 13: Média IQAre.**

Reservatório	Média IQAre	Desvio Padrão
Piraquara I	81	10
Iraí	77	10
Passaúna	73	14
Piraquara II	73	10

Conforme *ranking* qualitativo de IQAs médios para cada reservatório em 2015 e 2016 (Tabela 13), nenhum reservatório recebeu conceito ótimo, indicando a necessidade de ações nas bacias para solucionar essa falta.

Entre os reservatórios, o Piraquara I demonstrou melhor qualidade, embora tenha apresentado apenas conceito bom. Este reservatório está situado à jusante e muito próximo de unidades de conservação de proteção integral: Parque Estadual do Pico do Marumbi e Parque Estadual da Serra da Baitaca. A principal característica deste modelo de unidade de conservação é a manutenção dos ecossistemas livres de alterações causadas por interferência humana, admitido apenas o uso indireto dos seus atributos naturais. (Lei nº9985/2000). Sugere-se que a boa qualidade de água deste reservatório se deve pela proximidade destas unidades de conservação (que protegem a Serra do Mar), ao difícil acesso e baixa ocupação do entorno. O excedente de água deste reservatório vai para o reservatório à jusante: Piraquara II.

A média do IQAre dos reservatórios Passaúna e Piraquara II deram o mesmo conceito, porém, o desvio padrão do Passaúna foi maior que o Piraquara II, refletindo uma maior variação dos resultados. A média do IQAre destes reservatórios apresentou conceito pior que do reservatório Iraí, o que não é o esperado, pela ocupação

urbana no entorno deste e dos rios afluentes. Sugere-se que a média elevada deste reservatório, se deve principalmente ao bom conceito de IQAre do fundo do reservatório, sugerindo o efeito da profundidade (tabela 14) que é menor no Iraí ao comparado com o Piraquara II e Passaúna.

**Tabela 14: Profundidade dos reservatórios de Curitiba e RMC.**

Reservatório	Profundidade da coleta	Profundidade média	Profundidade máxima
Reservatório Piraquara I	12,3	6,3	16 m
Reservatório Piraquara II	12 m	8 m	15 m
Reservatório Passaúna	14 m	8 m	15 m
Reservatório Iraí	7,5 m	5,3	12 m

Quanto a média do IQA na entrada das ETAs Passaúna e Iraí, apesar da ETA Iraí (IQAr<sub>i</sub> = 86) ter um conceito melhor que a ETA Passaúna (IQAr<sub>e</sub> = 79), é difícil a comparação por se tratar de IQAs diferentes. Os parâmetros: cianobactérias, profundidade do disco de Sechi, tempo de residência e profundidade do reservatório, podem influenciar negativamente o IQAre.

A ETA Iraí recebe água de três reservatórios e rios que suprem a vazão, sendo a mistura destas águas um dos fatores que pode contribuir positivamente na qualidade de água da entrada da ETA, pois mesmo que a qualidade da água do reservatório Iraí ou de um dos rios não apresente boa qualidade, tem os reservatórios do rio Piraquara que são melhores protegidos e rios com uma melhor qualidade, que elevam o IQA na entrada da ETA.

## CONCLUSÕES

O monitoramento dos mananciais da RMC através do IQA pode ser bastante útil aos gestores das bacias hidrográficas, indicando os locais prioritários para as ações preventivas e corretivas destinadas à preservação da qualidade dos mesmos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANA (Agência Nacional das Águas). Portal da qualidade das águas. Indicadores de Qualidade - Índice de Qualidade das Águas (IQA). Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx#>. Acessado em: 25/05/2017.
2. ANDREOLI C. V.; CARNEIRO, C.; GOBBI, E. F.; Cunha, C. Eutrofização e a estrutura dos estudos *in* Eutrofização em reservatórios: gestão preventiva: estudo interdisciplinar na bacia do Rio Verde, PR. UFPR, 2011.
3. BRASIL. Lei nº 9985 de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências.
4. BOLLMANN, H.A. & FREIRE, S. M. Avaliação da Carga de Macro Nutrientes Orgânicos no Reservatório do Rio Iraí, Região Metropolitana de Curitiba, PR, a partir dos seus tributários principais *in* ANDREOLI, C.V.; CARNEIRO, C. (EDS). IV Seminário do Projeto Interdisciplinar de Pesquisa em Eutrofização de Águas de Abastecimento Público, 2003, Curitiba. Anais do IV Seminário do Projeto Interdisciplinar de Pesquisa em Eutrofização de Águas de Abastecimento Público. Curitiba; UFPR – Imprensa Universitária.
5. CARNEIRO, C.; PEGORINI, E. S.; ANDREOLI, C. V. Capítulo 1 - Introdução *in* C. Andreoli, C. V. & Carneiro, C. Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados. Curitiba: SANEPAR/FINEP, 2005.
6. CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). Águas interiores. IQA - Índice de Qualidade das Águas. Disponível em: <http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/32/2013/11/02.pdf>. Acessado em: 25/05/2017.
7. CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. Alterada pela Resolução 410/2009 e pela 430/2011 Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.
8. IAP (Instituto Ambiental do Paraná). Monitoramento da qualidade de água dos reservatórios do estado do Paraná no período de 2005 a 2008. Disponível em:

- [http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/boletins/RELATORIO\\_AGUA/relatorio\\_RESERVATORIOS\\_2005\\_2008.pdf](http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/boletins/RELATORIO_AGUA/relatorio_RESERVATORIOS_2005_2008.pdf). Acessado em: 26/05/2017.
9. KOEHLER, P.H.W. & ASMUS, M.L.; Sistemas de Informação de Monitoramento como Instrumento para a Gestão ambiental Portuária. *In* BOLDRINI, E.B. & DE PAULA, E.V.(Org). Gestão Ambiental Portuária: Subsídios para o Licenciamento das Dragagens 2009. Capítulo 2 Gestão e Monitoramentos Ambientais nos Portos Brasileiros.
  10. ONU, 2010. Declaração da “ONU Água” para o Dia Mundial da Água, 2010. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/acao/agua/>. Acessado em: 25/05/2017.
  11. PEGORINI, E. S.; CARNEIRO, C.; ANDRIOLI, C. V. Mananciais de abastecimento público *in* Gestão Integrada de Mananciais de Abastecimento Eutrofizados. Sanepar. Finep, 2005.
  12. SANEPAR (Companhia de Saneamento do Estado do Paraná). Índices de Qualidade de Água, 2008.
  13. VIERA, J. M. P.; MORAIS, C.; ALEXANDRE, & CASIMIRO, R. Planos de Segurança em Sistemas Públicos de Abastecimento de Água para Consumo Humano. Instituto Regulador de Águas e Resíduos. Universidade do Minho. 2005.
  14. VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. Vol. 1, 3 ed.