PREVISÃO E PREDIÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DO RIO COTIA, ESTADO DE SÃO PAULO, BRASIL, POR REGRESSÃO LINEAR, UTILIZANDO O IQA E SEUS PARÂMETROS.

Claudionor Alves da Santa Rosa[1]
Graduado em Tecnologia da Construção Civil, modalidade Obras Hidráulicas pela FATEC-SP/UNESP, Especialista em Engenharia Ambiental pela UNICAMP, Especialista em Ciência e Tecnologia pela UFABC e Mestre em Analise Geoambiental pela Universidade de Guarulhos. É Professor Associado da Faculdade de Tecnologia de São Paulo Victor Civita. Por 10 anos atuou como Tecnólogo na Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo-SABESP.
Antonio Manoel dos Santos Oliveira
Graduado em Geologia pela Universidade de São Paulo (1967), mestre em Geociências (Geologia Geral e de Aplicação) pela Universidade de São Paulo (1980) e doutor em Geografia (Geografia Física) pela Universidade de São Paulo (1994). Pesquisador do IPT (1968-1996). Atualmente, professor titular, desde 1999, da Universidade Guarulhos. Mestrado em Análise Geoambiental: Transformações Ambientais Antrópicas e Geologia de Engenharia e Meio Ambiente). Professor visitante da FATEC-SP.
Antonio Roberto Saad
Graduado em Geologia pela Universidade de São Paulo (1971), mestre em Geociências (Geologia Sedimentar) pela Universidade de São Paulo (1977) e doutor em Geologia Regional pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (1991). Atualmente, é professor titular da Universidade Guarulhos, onde é coordenador do Programa de Mestrado em Análise Geoambiental.

Endereço[1]**:** Rua Adolfo Severino Candido, 186 – Parque Santa Thereza – Carapicuíba-SP – CEP: 06340-690 – Brasil – Tel: +55 (11) 4186-4012–Cel: +55 (11) 99953-3104 - e-mail: **csrrosa@terra.com.br.**

RESUMO

O presente trabalho aborda e analisa a predição e previsão da qualidade das águas do rio Cotia, localizado a oeste da Região Metropolitana de São Paulo, e seu uso futuro, utilizando o IQA, senso CETESB, e respectivos parâmetros, por regressão linear. Concluiu-se que a qualidade das águas do Baixo Cotia está em franca degradação, o que reduz a disponibilidade de água para tratamento e posterior distribuição à população da Região Metropolitana de São Paulo.

PALAVRAS-CHAVE: Rio Cotia, Qualidade das Águas, Regressão Linear.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, com o aumento vertiginoso da população, a crescente expansão das indústrias e de seus múltiplos processos e a evolução das práticas agropecuárias, aumentaram consideravelmente o consumo de água, embora essas atividades a tenham progressivamente prejudicado pela poluição (AZEVEDO NETTO, 1975; BRANCO, 1984; ABELHO, 2010), causando a diminuição de sua qualidade, tornando-a imprópria para determinados fins (ABELHO, 2010), o que compromete seu uso para a atual e às futuras gerações.

De acordo com pesquisas do International Water Management Institute (IWMI), citada por Bernardi (2013), nos próximos anos, o uso de água no mundo aumentará em 71%, dos quais, mais de 90% será em países em desenvolvimento, como, por exemplo, o Brasil.

A qualidade das águas dos rios e reservatórios, na Região Metropolitana de São Paulo, Brasil, está em franca degradação, principalmente, devido às modificações dos ciclos naturais do oxigênio, do fósforo, do nitrogênio, carbono, da água, dos microrganismos, dentre outros por ação antrópica.

Para análise do exposto, este trabalho apresenta como estudo a previsão e predição da qualidade das águas do rio Cotia, Estado de São Paulo, Brasil, por regressão linear, utilizando o IQA e seus parâmetros e respectivas variações percentuais entre 1978 e 2010 e respectivas tendências estatísticas ao longo do tempo passado e futuro.

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é descrever, interpretar, avaliar e predizer estatisticamente o futuro do rio Cotia como manancial, por regressão linear, utilizando o IQA e seus parâmetros, senso CETESB, e contribuir com os poderes públicos estaduais e municipais na adoção de medidas de proteção e recuperação desse importante manancial e ser útil como parâmetro para os demais mananciais da RMSP e do Brasil.

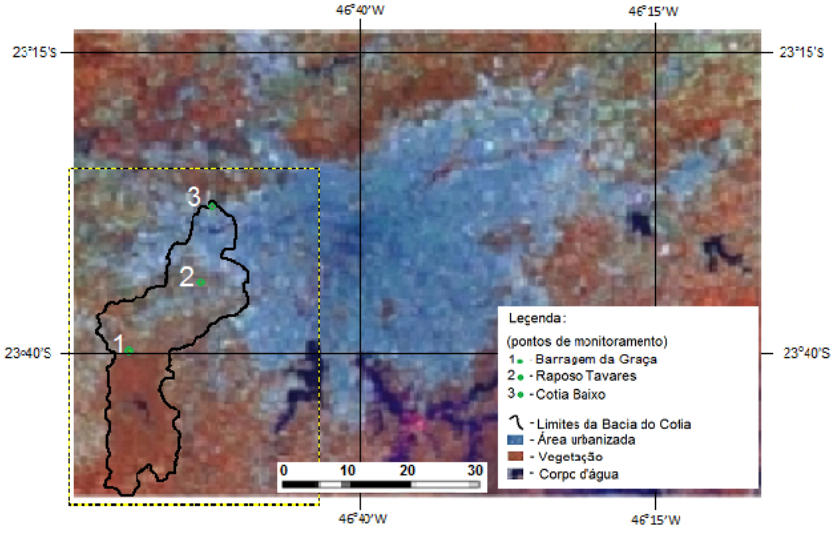
MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais e métodos adotados para se atingir os objetivos propostos, estão a seguir apresentados segundo as atividades pesquisadas.

LEVANTAMENTO DE DADOS DA QUALIDADE DAS ÁGUAS

Os dados de qualidade das águas do rio Cotia, localizado à Oeste da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), é uma coleção de dados disponibilizados pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) desde o ano de 1978. Constituem série histórica bastante extensa em três pontos de monitoramento. O primeiro localiza-se na captação da Estação de Tratamento de Água do Alto Cotia (Barragem da Graça), o segundo a jusante da ponte sobre o rio Cotia, na Rodovia Raposo Tavares (Raposo Tavares) e o terceiro no canal de captação de água da Estação de Tratamento de água do Baixo Cotia (Cotia Baixo) (Figura 1). Da Barragem da Graça e da Rodovia Raposo Tavares, há dados do IQA e seus parâmetros de 1978 a 2010; e Cotia Baixo, os dados são de 1982 a 2010. As estações apresentam lacunas em algumas variáveis, o que não compromete o conjunto de dados, uma vez que o número de amostras é considerável.

Figura 1 – RMSP: Pontos de monitoramento na Bacia Hidrográfica do rio Cotia.



Fonte: CETESB (2011).

ANÁLISE DE DADOS

Nesta pesquisa foi aplicada a estatística descritiva, que pode ser entendida como uma função cujo objetivo é a de observar fenômenos de mesma natureza, a de coletar dados numéricos referentes a esses fenômenos, a de organizar e a de classificar esses dados observados, além de sua apresentação por meio de Tabelas, diagramas e gráficos; e por fim, analisá-los e interpretá-los (KURATA et al., 1989), prever e predizer tendências comportamentos (RUBIO, 2012).

SÉRIES TEMPORAIS

Segundo Teixeira (2008), chama-se série temporal a um conjunto ou quantidade de observações que são feitas em determinado intervalo de tempo. Normalmente, nesta representação, utilizam-se intervalos de tempo iguais, seja diariamente, mensalmente, anualmente etc.

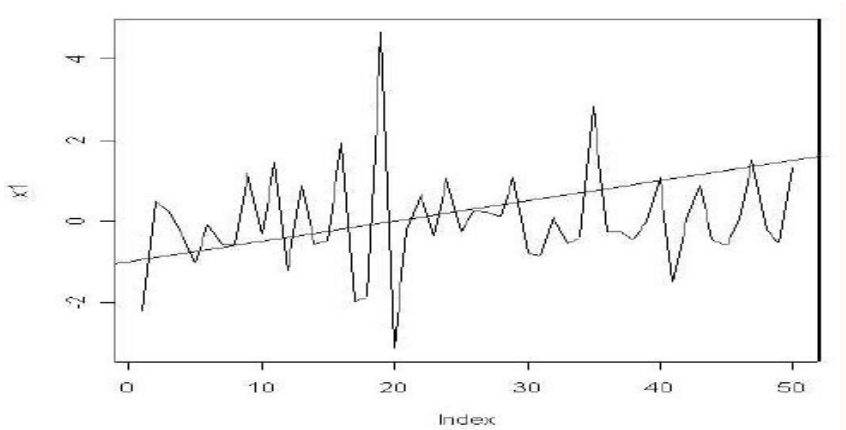
Segundo Reboita (2005), uma série temporal é matematicamente definida por uma função cuja forma geral é:

$$y \quad f(t) \qquad \text{equação (1)}$$

Onde y é o valor da variável em estudo, t é o tempo a que ela se refere e f é a regra que relaciona o valor da variável em estudo com a data a que ela se refere, originando um gráfico de uma série temporal. Esse gráfico é uma linha que relaciona os valores da variável em estudo (posicionada no eixo y) com o tempo (posicionado no eixo x) (Figura 2). As séries temporais são compostas de quatro padrões, ou elementos, básicos:

a) Tendência: o termo tendência descreve um movimento, em longo prazo, dos dados, para cima ou para baixo (Figura 2);
b) Variações cíclicas: existe um padrão cíclico quando as variações apresentam certo grau de regularidade; entretanto com período diferente de um ano;
c) Variações sazonais: os fenômenos sazonais estão associados às estações do ano. São semelhantes aos fenômenos cíclicos, mas a diferença fundamental entre eles é o tempo entre duas cristas consecutivas; no caso dos ciclos, esse tempo é diferente de um ano; no caso da sazonalidade, ele é de um ano. O ciclo sazonal também pode receber a denominação de ciclo anual;
d) Variações irregulares: são variações aleatórias, que não apresentam regularidade (Figura 3).

Figura 2 – Exemplo de série com tendência de crescimento linear.



Fonte: Migon (2013).

Conforme Migon (2013) e Reboita (2005), os principais objetivos de uma análise de séries temporais são:

a) Compreender o mecanismo da série possibilitando:
   - Descrever efetivamente o comportamento da série;
   - Encontrar periodicidades na série;
   - Tentar obter razões para o comportamento da série (possivelmente através de variáveis auxiliares);
   - Controlar a trajetória da série;
   - Quando as observações são tomadas de duas ou mais variáveis, pode-se estar interessado em saber se a variação de uma série pode explicar a variação das outras.

b) Predizer o comportamento futuro da série possibilitando:
   - Fazer planos a longo, médio e curto prazo;
   - Predição de eventos futuros, com o intuito de tomada de decisão.

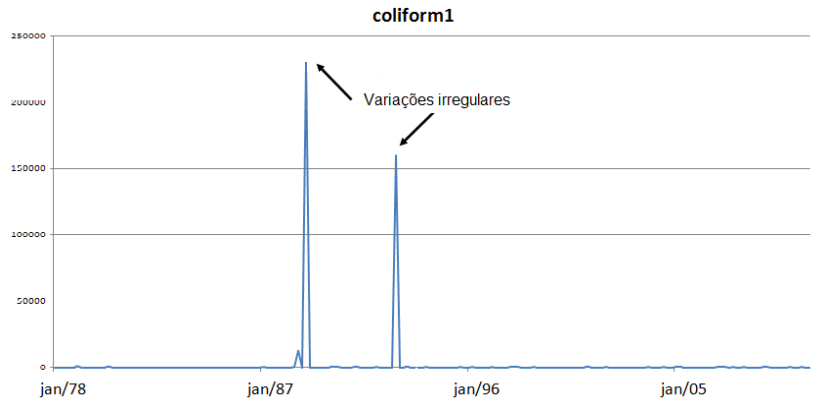
Nesta pesquisa as séries temporais foram estudadas visando descrever e obter razões para seu comportamento, às quais foram tomadas de duas ou mais variáveis, com o interesse em analisar se a variação de uma série pode explicar a variação das outras predizendo eventos futuros, utilizando os gráficos correspondentes do IQA e seus parâmetros.

INFLUÊNCIA POR VALORES EXTREMOS

Durante o levantamento dos dados, objetivando a eliminação de erros capazes de provocar futuros enganos de apresentação e análise, procede-se à sua revisão, suprimindo valores, cujas variações são irregulares e/ou extremos; portanto, estranhos ao levantamento, e organizando os dados de maneira prática e racional para o melhor entendimento do fenômeno que se está pesquisando (FONSECA; MARTINS, 1982).

A modelagem e/ou ajuste de uma variável experimental a um teórico é um passo fundamental na análise variográfica, sendo um processo que envolve várias tentativas e no qual a experiência pesa muito. Pode-se optar por um ajuste manual por comparação visual, ou, com auxilio de algoritmos, para ajustes automáticos (LANDIM, 2003). Neste trabalho, foi utilizado o ajuste visual, mais prático, exemplificados pela Figuras 3 e 4.

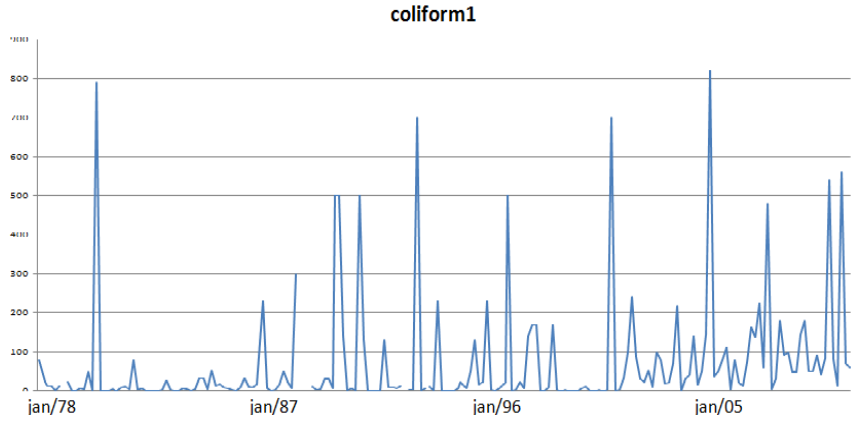
Figura 3 – Exemplo de variações irregulares.



Assim, na Figura 3, os picos observados deverão ser suprimidos, pois não apresentam consistência com os mais freqüentes ao longo dos anos.

Na Figura 4 verifica-se que a supressão de cinco dados (em uma população de cerca de 200 amostras), permite que a expressão do conjunto de dados possa ser observada com clareza.

Figura 4 – Comportamento do Gráfico da Figura 4 após supressão de cinco variações irregulares.



Os dados descartados, nesta pesquisa, considerados irregulares, são apresentados na Quadro 1.

Quadro 1 – Parâmetros e respectivos dados descartados

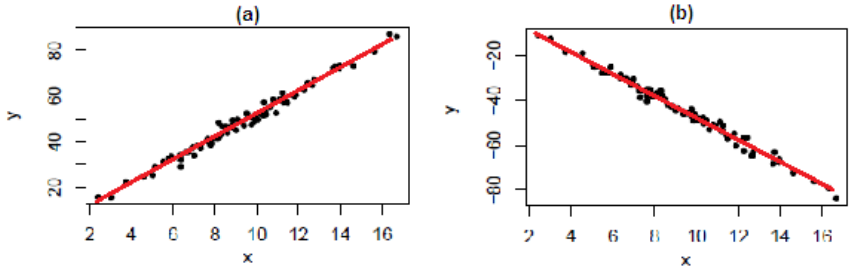
	Parâmetros	Mês/ano descartados
Barragem da Graças	Coliformes termotolerantes	Jan/79 e nov/92
	DBO	Nov/08
	Fósforo	Mai/95, março/06, set/90, Nov/95, jan/91, março/90 e nov/90
	Nitrogênio total	Jul/77 e jul/80
	OD	Jan/93, Nov/06, jan/79 e jul/97
	Sólidos totais	Jul/94 e set/90
	Turbidez	Jul/84, jul/91 e jan/96
Raposo Tavares	Coliformes termotolerantes	Jun/92, nov/93, set/94, set/95, set/96, jan/01 e março/01
	DBO	Dez/88 e abril/89
	Fósforo	Nov/84, out/80 e nov/05
	Nitrogênio total	Dez/87 e dez/88
	Sólidos totais	Nov/84
	Turbidez	Nov/84, março/90 e jan/90.
Baixo Cotia	Coliformes termotolerantes	Nov/92
	DBO	Nov/04, maio/p05, nov/05 e maio/07
	pH	Maio/07
	Sólidos totais	Abril/83, nov/04, maio/05, nov/05
	Turbidez	Abr/83 e jan/08
	Nitrogênio total	Maio/03 e nov/06

Nesta pesquisa foram utilizados os dados do IQA e seus parâmetros, referentes aos meses impares (janeiro, março, maio, julho, setembro e novembro) por apresentar mais de 95% dos dados disponíveis.

REGRESSÃO LINEAR SIMPLES (R_{XY})

A regressão linear descreve através de um modelo matemático, a relação existente entre duas variáveis. A primeira, x, considerada independente, e y, considerada dependente, podem ser representadas num diagrama de dispersão, com os valores de y_i em ordenada e os de x_i em abscissa. Cada par de valores x_i e y_i fornecerá um ponto e utilizando, por exemplo, o método dos mínimos desvios ao quadrado, pode-se calcular a equação de uma reta de tendência que melhor se ajuste à nuvem de distribuição (Figura 5) (TOLEDO; OVALLE, 1985; TEIXEIRA, 2008).

Figura 5 – Reta de tendência que melhor se ajuste à nuvem de distribuição crescente e decrescente, respectivamente.



Fonte: Giolo (2009) adaptado.

Após a aplicação da regressão linear, obtém-se a equação da reta ($y = a\ x + b$), sendo b constante da reta, quando $x = 0$, sendo a a inclinação da reta ou coeficiente angular ($\frac{y}{x}$) e x a variável. Quando a for positivo, o gráfico é crescente e, caso a for negativo, será decrescente (Figura 5) (IEZZI et al., 1978).

Aplicando o princípio da equação da reta (linear) verifica-se que, quanto maior o coeficiente angular, maior será a declividade da reta, portanto, maior variação da variável (IEZZI et al., 1978), podendo, desta forma, analisar a evolução do comportamento das variáveis ao longo do tempo e possíveis predições.

ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS (IQA)

O IQA foi desenvolvido para avaliar a qualidade da água bruta visando seu uso para o abastecimento público, cujas variáveis indicam, principalmente, o lançamento de esgotos domésticos. Este índice também pode indicar contribuições de efluentes industriais, desde que sejam de natureza orgânica biodegradável (CETESB, 2003, 2011; ANA, 2013).

O IQA retrata através de um único índice global, a qualidade das águas em determinado ponto de monitoramento e podem ser interpretados como "notas", que retratam a qualidade das águas variando de "péssima" a "excelente", ou que permitam inferências sobre alguns aspectos específicos sobre o curso d'água, tal como biodiversidade e toxidade (SPERLING, 2007).

O IQA adotado pela CETESB foi baseado no desenvolvido pela National Sanitation Foundation (NSF), dos Estados Unidos da America do Norte, definindo um conjunto de nove parâmetros considerados mais representativos para a caracterização da qualidade das águas: coliformes termotolerantes, pH, DBO (5 dias, 20ºC), nitrato, fosfato total, temperatura da água, turbidez, sólidos (resíduos) totais, oxigênio dissolvido. Atribuído um peso para cada parâmetro, de acordo com sua importância relativa ao cálculo do IQA e traçadas curvas médias de avaliação da qualidade das águas em função de sua concentração. O IQA final é calculado como um produto das notas individuais de cada parâmetro, elevadas aos respectivos pesos. Os valores do índice variam entre 0 e 10. No Brasil o IQA-NSF foi modificado pela CETESB, que substituiu o nitrato por nitrogênio total (CETESB, 2000; SPERLING, 2007).

É importante salientar que esse índice obtido através do IQA apresenta algumas limitações, uma vez que o índice não contempla outros parâmetros, tais como: metais pesados, compostos orgânicos com potencial mutagênico, substâncias que afetam as propriedades organolépticas da água e o potencial de formação de trihalometanos das águas de um manancial (CETESB, 2000; CETESB, 2003; ANA, 2013).

O IQA composto por nove parâmetros, com seus respectivos pesos (w), os quais foram fixados em função da sua importância para a conformação global da qualidade da água. A Figura 6 apresenta os parâmetros do IQA e respectivos pesos (wi) para sua determinação. Além de seu peso (w), cada parâmetro possui um valor de qualidade (q), obtido do respectivo gráfico de qualidade em função de sua concentração ou medida.

Conforme CETESB (2000), a seguinte fórmula é utilizada é utilizada para determinação do IQA:

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

equação (2)

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

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

equação (3)

Em que:

n: número de parâmetros que entram no cálculo do IQA.
No caso de não se dispor do valor de algum dos 9 parâmetros, o cálculo do IQA é inviabilizado.

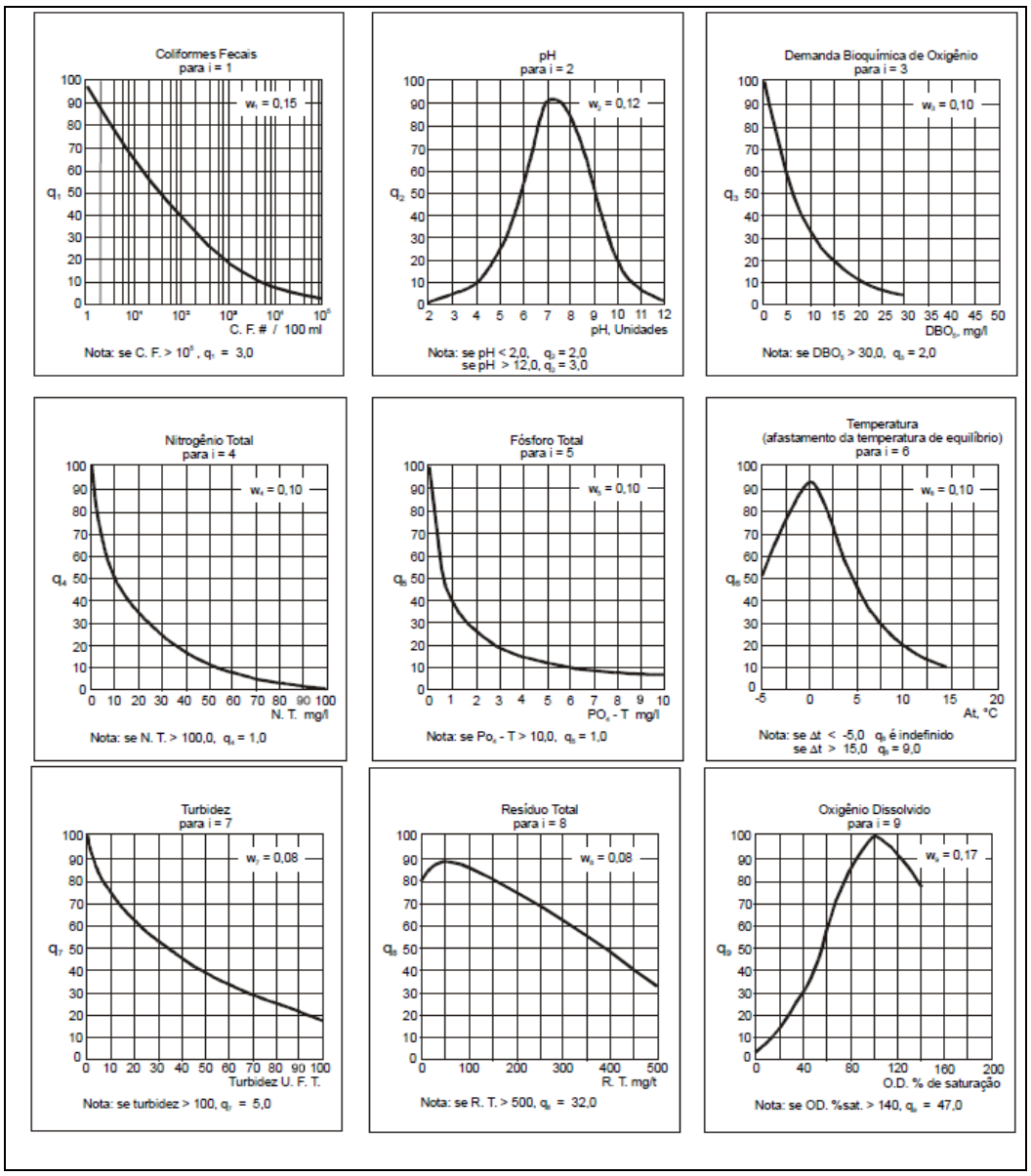
A partir do cálculo efetuado, pode-se determinar a qualidade das águas brutas que, indicada pelo IQA numa escala de 0 a 100, é classificada para abastecimento público, representado na Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação do IQA

Categoria	Ponderação
ÓTIMA	79 < IQA ≤ 100
BOA	51 < IQA ≤ 79
REGULAR	36 < IQA ≤ 51
RUIM	19 < IQA ≤ 36
PÉSSIMA	IQA ≤ 19

Fonte: CETESB (2005)

Figura 6 - Curvas médias de variação dos parâmetros de qualidade das águas para o cálculo do IQA.



Fonte: CETESB (2000).

RESULTADOS

Os resultados de previsão e predição foram obtidos através da regressão linear do IQA e seus parâmetros ao longo do período de dados e os limites mínimos da classificação do IQA.

REGRESSÃO LINEAR DO IQA E SEUS PARÂMETROS

As séries temporais analisadas, por meio de regressão linear, nos três pontos de monitoramento (Gráficos 1, 2 e 3) apresentam as tendências ao longo do período de dados, complementada pelo modelo matemático (equação da reta) na Tabela 2 com respectivas variações percentuais e comportamentos estatísticos dos parâmetros do IQA e do próprio IQA.

PONTO DE MONITORAMENTO BARRAGEM DA GRAÇA

Ao longo do período analisado, a menor escala do IQA foi igual a 53 em janeiro de 1993 e a maior igual a 94 em abril de 1978. Uma diferença de 41 pontos, oscilando entre a categoria ótima e boa (CETESB. 1979,..., 2011).

Observando a Tabela 2, as taxas das variações dos coeficientes angulares dos parâmetros do IQA demonstram retas de baixa declividade (Gráfico 1 e Tabela 2), com coeficiente angular decrescente, com variação percentual negativa de 7,17%.

A tendência decrescente do IQA é devida a parâmetros que possuem coeficiente angular crescente e alta variação percentual (Tabela 2), impactando-o de forma negativa: coliformes termotolerantes (491,81%), sólidos totais (285,02%), DBO (81,04%) e nitrogênio total (40,44%). Os demais parâmetros, pela baixa variação percentual, podem ser considerados de influência não significativa em sua composição.

Conforme Santa Rosa (2013), esse percentual negativo é aparentemente contraditório, considerando o fato da bacia contribuinte do reservatório da Graça permanecer preservada, entretanto, devendo-se considerar que a implantação do reservatório constitui um desequilíbrio ecológico na bacia, pois a transferência dos resíduos do metabolismo geofisiológico da bacia para o rio Cotia, estão sendo retidos pelo reservatório, pelo menos em parte. No entanto, poder-se levantar a hipótese de um processo lento de eutrofização pelo aumento de nitrogênio total; entretanto, o fósforo apresenta tendência lenta à diminuição (Tabela 2), provavelmente via precipitação química ou reações de adsorção, conforme sugerido por Araújo, Oliveira e Silva (2000) e Ccopa Rivera (2003).

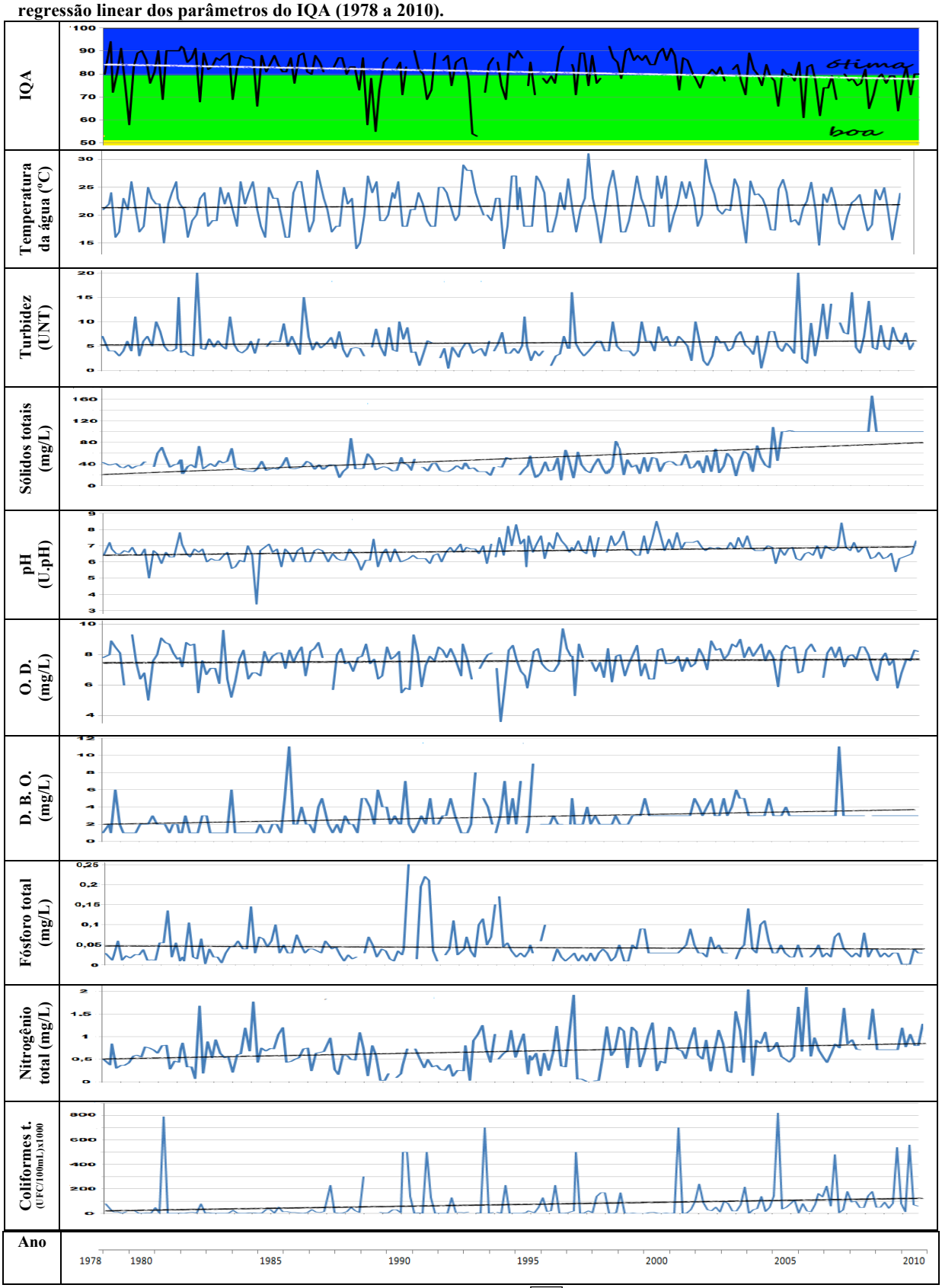
Algo a ser considerado é o crescimento de OD (2,69%), baixo, entretanto indicativo de conservação e preservação do manancial Alto Cotia. No entanto, aplicando-se a equação da reta (Tabela 2), verifica-se que, o IQA atingirá a escala 51 (regular) dentro de 150 anos; a escala 36 (ruim), dentro de 233 anos. Esses dados estatísticos confirmam a qualidade e preservação das águas que passam no ponto de monitoramento Barragem da Graça (sistema Alto Cotia), para o presente momento, em relação ao IQA.

PONTO DE MONITORAMENTO RAPOSO TAVARES

Verificou-se ao longo de todo período de dados do IQA, a menor escala foi igual a 19 em novembro de 1984 e a maior escala igual a 73, em junho de 1979. Uma diferença de 54 pontos, oscilando entre a categoria boa e ruim (CETESB, 1979,..., 2011).

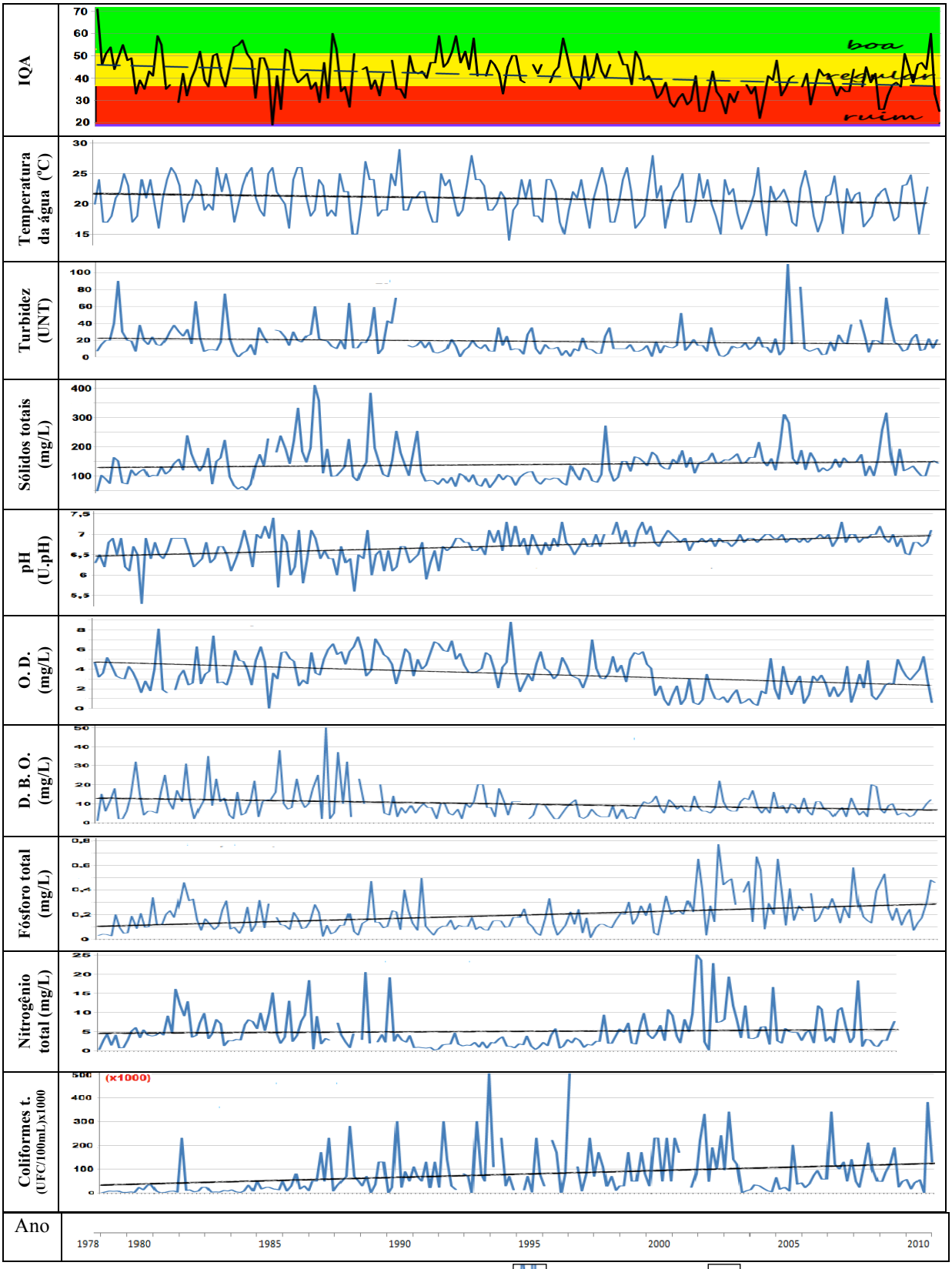
Observando a Tabela 2, se nota altas variações das taxas dos coeficientes angulares da reta dos parâmetros do IQA e do próprio IQA, com exceção da temperatura, o que demonstra alta declividade da reta e alta variabilidade dos valores (Gráfico 2). A reta do IQA é decrescente, com variação percentual negativa de 20,55%, estando em todo o período na classificação regular; entretanto, próximo à classificação ruim no final do ano de 2010. Essa variação negativa do IQA pode ser devida a parâmetros que, além de coeficiente angular crescente, alcançaram alta variação percentual (Tabela 2): coliformes termotolerantes (276,78%) e fósforo total (175,54%) e devido ao OD, com coeficiente angular negativo (-49,88%). Devem-se observar os impactos positivos na composição do IQA na queda dos seguintes parâmetros: DBO (-47,56%) e turbidez (-32,45%). Os demais parâmetros, com baixa variação, podem ser considerados não significativos em sua composição.

Gráfico 1 – Ponto de monitoramento Barragem da Graça: Séries temporais bimestrais (meses impares) e regressão linear dos parâmetros do IQA (1978 a 2010).



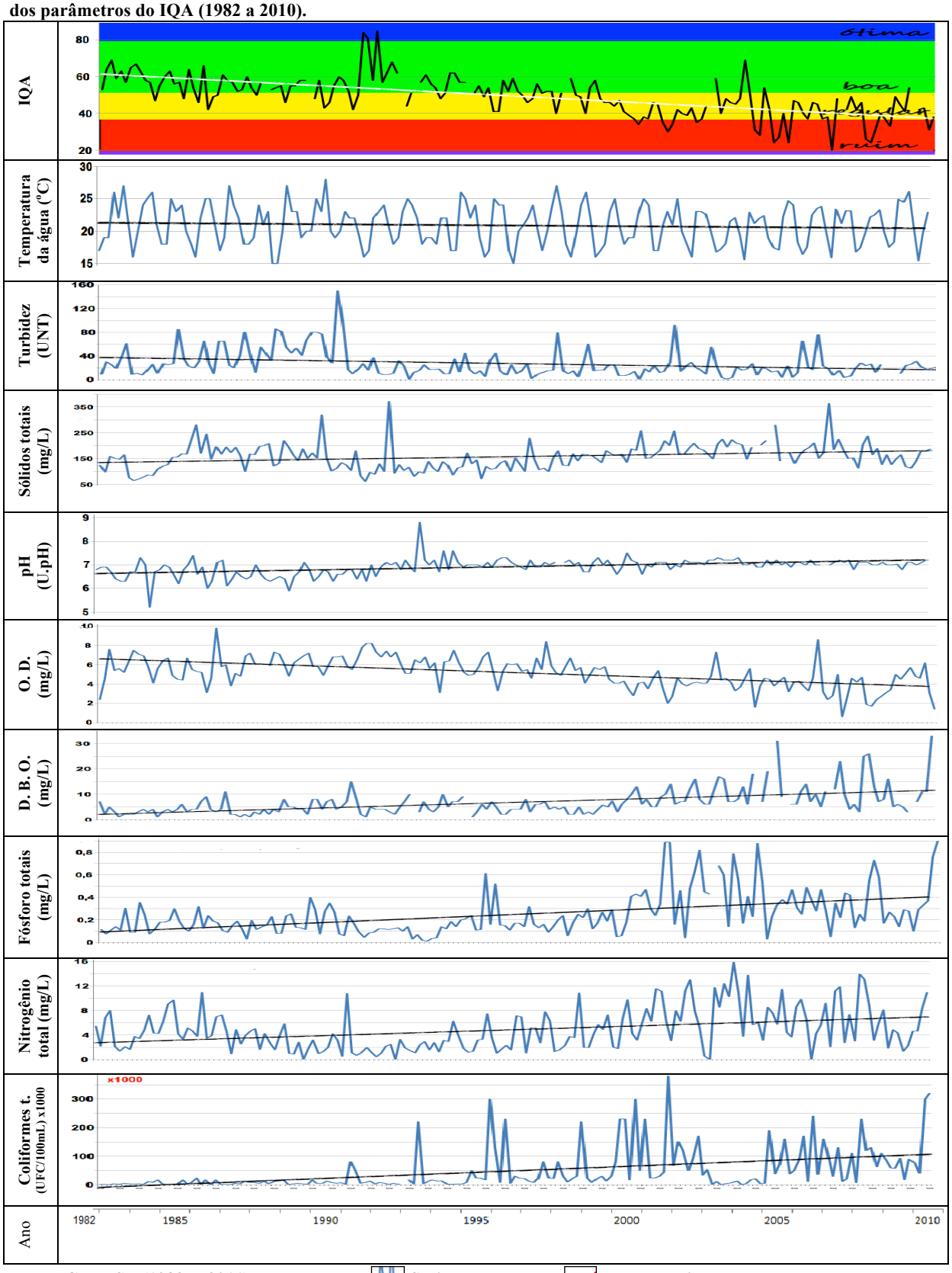
Fonte: CETESB (1979,...,2011). Legenda: Série temporal regressão linear

Gráfico 2 - Ponto de monitoramento Raposo Tavares: Séries temporais bimestrais (meses impares) e regressão linear dos parâmetros do IQA (1978 a 2010).



Fonte: CETESB (1979,...,2011). Legenda: Padrão CONAMA: Série temporal regressão linear

Gráfico 3 - Ponto de monitoramento Cotia Baixo: Séries temporais bimestrais (meses impares) e regressão linear dos parâmetros do IQA (1982 a 2010).



Fonte: CETESB (1983,...,2011). Legenda: Série temporal regressão linear

Tabela 2 – Modelo matemático por regressão linear dos parâmetros do IQA, inclusive IQA e respectivas variações percentuais.

Variáveis	Equação da reta			Variação durante o período de monitoramento (%)		
	Barragem da Graça	**Raposo Tavares**	**Cotia Baixo**	**Barragem da Graça**	**Raposo Tavares**	**Cotia Baixo**
IQA	**y = -0,030x + 84,03**	**y = -0,048x + 46,00**	**y = -0,140x + 61,47**	(7,17)	(20,55)	(39,17)
Temperatura da água (^{0}C)	y = 0,002x + 21,33	y = -0,007x + 21,63	y = -0,004x + 21,29	1,88	(6,37)	(3,23)
Turbidez(UNT)	y = 0,00008x + 3,039	y = -0,037x + 22,45	y = -0,124x + 37,29	15,46	(32,45)	(57,19)
Sólidos Totais(mg/L)	y = 0,289x + 20,38	y = 0,104x + 128,1	y = 0,268x + 135,3	285,02	15,99	34,06
pH(U.pH)	y = 0,002x + 6,408	y = 0,002x + 6,456	y = 0,003x + 6,621	6,27	6,10	7,79
OD(mg/L)	y = 0,001x + 7,464	y = -0,012x + 4,739	y = -0,016x + 6,601	2,69	(49,88)	(41,69)
DBO(mg/L)	y = 0,008x + 1,984	y = -0,031x + 12,84	y = 0,061x + 1,663	81,04	(47,56)	630,90
Fósforo(mg/L)	y = -0,00004x + 0,047	y = 0,0009x + 0,101	y = 0,001x + 0,090	(17,06)	175,54	191,11
Nitrogênio Total(mg/L)	y = 0,001x + 0,497	y = 0,005x + 4,530	y = 0,025x + 2,786	40,44	21,74	154,34
Coliformes termotolerantes (UFC/100mL)	y = 0,495x + 20,23	y = 460,7x + 32790	y = 674,9x - 10714	491,81	276,78	1083,46

( ) negativo (decrescente).

Aplicando-se a equação da reta (Tabela 2), verifica-se que o IQA atinge a escala 51 (regular) no ano de 1961, 36 (ruim) em 2012 e 19 (péssima) em 2071.

Essa diferença acentuada entre a menor e a maior classificação do IQA, conforme Santa Rosa (2013) indica indícios de interferências no equilíbrio ambiental no trecho entre os pontos de monitoramento Barragem da Graça e a Raposo Tavares, ocasionada por uma gama de atividades antrópicas em seu entorno.

Os dados apresentados indicam a queda da qualidade da água em relação ao IQA, neste ponto de monitoramento, podendo contribuir de forma negativa para com o ponto à jusante Cotia Baixo.

PONTO DE MONITORAMENTO COTIA BAIXO

Ao longo do período, conforme as séries temporais do IQA, este atingiu a menor escala igual a 20 em maio de 2007, e a maior escala igual a 85, em novembro de 1992. Uma diferença de 65 pontos, oscilando entre a categoria ótima e ruim (CETESB, 1993,..., 2011).

A diferença entre a menor e a maior escala, conforme Santa Rosa (2013) confirma os processos de intervenções antrópicas que comprometem e interferem na composição do IQA neste ponto de monitoramento, porém, mais acentuado, os quais alteram os ciclos biogeoquímicos (fósforo, nitrogênio total, OD, microrganismos) e hidrológicos; entretanto, com um agravante: neste ponto de monitoramento, as águas são proveniente do Raposo Tavares, que já possui o IQA comprometido, o que provoca uma queda maior do IQA no Cotia Baixo.

De modo geral, observando o Gráfico 3 e a Tabela 2, as taxas das variações dos coeficientes angulares dos parâmetros do IQA são ainda maiores em relação aos pontos a montante, o que demonstra retas de alta declividade, cujo coeficiente angular decrescente encontra-se com variação percentual negativa de 39,17%. Neste caso, a classificação cai de boa para regular em meados de 1994 e próximo de ruim no final do ano de 2010.

Conforme as equações das retas (Tabela 2), a tendência de queda do IQA pode ser devida a parâmetros que, além de coeficiente angular positivo, alcançaram alta variação percentual: coliformes termotolerantes (1083,46%), DBO (630,9%), fósforo total (191,11%) e nitrogênio total (154,34%); e, ao coeficiente angular negativo, no caso, o OD (-41,69%). Devem-se observar os impactos positivos na composição do IQA na queda do parâmetro turbidez (-57,19%). As alterações dos demais parâmetros podem ser consideradas não significativas.

Aplicando-se a equação da reta (Tabela 2), verifica-se que o IQA atinge a escala 51 (regular)em 1994, 36 (ruim) em 2012 e 19 (péssima) em 2042.

Esses dados indicam queda acentuada na qualidade da água do rio Cotia neste ponto de monitoramento, em relação ao IQA, comprometendo o tratamento de suas águas, e, caso ocorra, há o aumento dos custos que pode inviabilizá-lo economicamente; entretanto, o tratamento de água com a gama de intervenções antrópicas e mudanças em seus ciclos biogeoquímicos e hidrológicos, de forma acentuada, não é garantia de qualidade para consumo, conforme FESB (1971, 1972, 1973, 1975); e o uso de produtos químicos em excesso, como o cloro, pode reagir com outros compostos e produzir substâncias impróprias à saúde humana, conforme Branco (1965) citado por Bittencourt (1966), Carneiro e Leite (2008) e Marmo, Santos e Bresaola Jr (2009).

PREDIÇÃO E PREVISÃO NA ESCALA MÍNIMA DO IQA DO RIO COTIA POR PONTO DE MONITORAMENTO

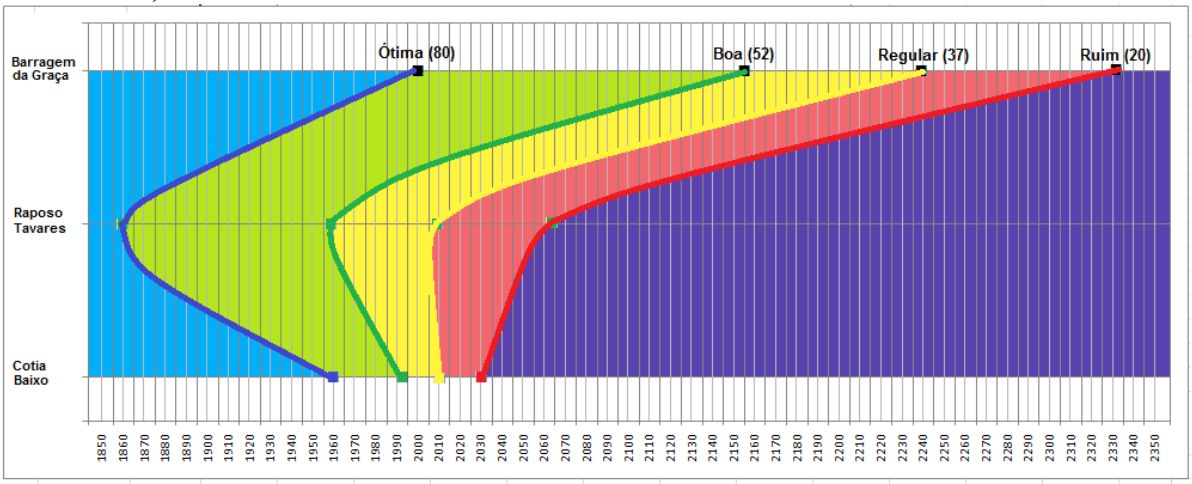
Utilizando a equação da reta da Tabela 2, foi obtida a Tabela 3, onde será previsto o ano em que a escala mínima, por classificação do IQA das águas do rio Cotia, foi ou será atingida, por ponto de monitoramento.

Tabela 3 – Previsão e predição, por regressão linear, em que o IQA atinge a escala mínima por classificação (por ponto de monitoramento)

Ponto de monitoramento	Predição do IQA – escala mínima por classificação (ano)			
	Ótima (80)	Boa (52)	Regular (37)	Ruim (20)
Barragem da Graça	2000	2155	2239	2333
Raposo Tavares	1860	1957	2009	2068
Cotia Baixo	1960	1993	2011	2031

Com esses dados pode-se construir o Gráfico 4.

Gráfico 4 – Representação gráfica da previsão e predição dos limites mínimos de classificação do IQA (por ponto de monitoramento)



Observando o Gráfico 4 nota-se uma semelhança da primeira situação (da esquerda para a direita) com um bumerangue, modificando-se à medida que ocorre alteração das classificações, com a asa superior (Barragem da Graça) se projetando para frente e se alongando, atingindo as escalas mínimas das classificações: ótima no ano 2000, boa em 2155, regular em 2239 e ruim em 2333. A partir de 2334, pode-se considerar a classificação como péssima.

Para os pontos Raposo Tavares e Cotia Baixo, a classificação mínima ótima ocorre, respectivamente, nos anos de 1860 e 1960.

É de se notar que a classificação mínima ótima para a mínima boa, nesses dois pontos de monitoramento, tem uma diferença, por estatística, de 100 anos. Conforme estudos e pesquisas de Santa Rosa (2013), essa região sofreu vários processos de ocupação do solo desde a época pré-cabralina, o que pode explicar a mudança de classificação do ponto Raposo Tavares já em 1860. Entre este ponto e o Cotia Baixo, conforme FESP (1971, 1972, 1973, 1975), no inicio dos anos 1970, havia uma boa autodepuração dos poluentes lançados em seu curso, o que pode explicar a mudança de classificação em 1960.

Observa-se que a asa inferior (Cotia Baixo) se contrai, uma vez que as mudanças entre as classificações são curtas, em relação aos pontos a montante. Portanto, a assimilação dos poluentes por parte do rio Cotia neste trecho, boa nos anos 1970, com o tempo se inverteu.

O dorso (Raposo Tavares) sofreu mudanças antecipadas do IQA, agora é superado pela asa inferior, sendo este o de maior influência ambiental na qualidade das águas para tratamento na ETA do Baixo Cotia.

Portanto, o rio Cotia pode ser dividido em dois trechos já conhecidos: o Alto Cotia (da nascente até a Barragem da Graça) e o Baixo Cotia (da Barragem da Graça até a foz no rio Tietê).

No Alto Cotia "preservado" cai a classificação do IQA lentamente, no Baixo Cotia ocorre o inverso, o que indica duas situações independentes.

O comprometimento do IQA das águas do rio Cotia, a longo prazo, é explicito, mesmo em área "preservada" como o Alto cotia. Quanto ao Cotia Baixo, este em área não preservada, é influenciado pela expansão urbana (SANTA ROSA, 2013).

Assim, a preservação desigual dos dois trechos do manancial causou efeitos ambientais indesejáveis, acabando por afetar de forma negativa o ponto Cotia Baixo, tornando-se um passivo ambiental, o que compromete o tratamento das águas na ETA Baixo Cotia, já observado com aplicação dos coeficientes angulares e as variações percentuais do IQA e seus parâmetros (Gráficos 1, 2 e 3 e Tabela 2).

CONCLUSÃO

Aplicando a equação da reta, a classificação ruim é atingida nos pontos Barragem da Graça no ano de 2243, Raposo Tavares em 2012 e Cotia Baixo também 2012.

Com esses dados conclui-se que, na avaliação e predição do rio como manancial, pelas tendências estatísticas do IQA, o reservatório do Alto Cotia possui a água bruta com melhor qualidade, com predição de uso por mais de 200 anos, uma vez que não possui área urbana em seu entorno e os condicionantes naturais prevalecem na influência na composição do IQA, levando em conta a situação do manancial atual.

Quanto ao Baixo Cotia, estatisticamente este se encontra inadequada para tratamento nos sistemas convencionais;

A tendência decrescente do IQA no reservatório Alto Cotia é devida a parâmetros que possuem coeficiente angular crescente e alta variação percentual (Tabela 2), impactando-o de forma negativa: coliformes termotolerantes (491,81%), sólidos totais (285,02%), DBO (81,04%) e nitrogênio total (40,44%). Com exceção de coliformes termotolerantes, os demais parâmetros podem ser considerados indícios de eutrofização, mesmo com a variação negativa do fósforo (17,06).

De uma forma geral, o estudo estatístico revelou que o IQA é mais influenciado pelos parâmetros: coliformes termotolerantes, fósforo total, OD e DBO (Tabela 2).

O tratamento de águas com alta concentração de poluição, leva ao uso de produtos químicos em excesso, como o cloro. Este pode reagir com outros compostos na água e produzir substâncias impróprias à saúde humana, conforme Branco (1965) citado por Bittencourt (1966), Carneiro & Leite (2008) e Marmo, Santos & Bresaola Jr (2009).

Além da possibilidade de trazer riscos à saúde pública, água com alta concentração de poluentes determina os custos de tratamento para abastecimento público, face às inúmeras substâncias lançadas nos cursos d'água, tornando o tratamento cada vez mais oneroso.

RECOMENDAÇÕES

No sentido de interromper o processo de degradação das águas do rio Cotia nos pontos Raposo Tavares e Cotia Baixo, são feitas as seguintes recomendações:

1. Ampliar o estudo das águas do rio Cotia, à montante da Barragem da Graça, para melhor avaliar o grau de possível eutrofização (Tabela 2), assim como possível sedimentação do fósforo nos sedimentos do reservatório.

2. Montar uma agenda de vistorias periódicas em toda a extensão do rio Cotia, pelos municípios que fazem parte de sua bacia, acompanhados pela CETESB, avaliando possíveis assoreamentos, lançamentos de dejetos sólidos e líquidos em toda sua extensão, com o objetivo de fiscalizar possíveis irregularidades cometidas por indústrias, munícipes e o próprio poder público;

3. Elaboração de um plano de gestão e manejo da bacia do rio Cotia, com planejamento urbano e ambiental, envolvendo um programa de despoluição do rio, pela CETESB e prefeituras locais, com afastamento, coleta e tratamento de 100% dos resíduos líquidos e sólidos, seja doméstico ou industrial, objetivando a manutenção da qualidade do efluente final, dentro dos padrões de lançamento da legislação brasileira;

4. Incluir nesse Plano a recuperação da mata ciliar, na área de APP, com a implantação de cobertura vegetal em toda sua extensão até a Reserva Florestal do Morro Grande, preservando a mata existente e recuperando as áreas desprotegidas;

5. Reenquadramento da classificação das águas do rio Cotia e sua efetivação, tornando mais restritivo o tratamento de efluentes lançados no rio, objetivando um efluente industrial e doméstico de melhor qualidade;

6. Passados 5 anos, reclassificá-lo novamente, forçando ainda mais melhorias no tratamento dos efluentes lançados nas águas do rio Cotia.

7. Implantação de campanhas de educação ambiental para toda a população, especialmente nas redes escolares, conscientizando dos impactos negativos ao meio ambiente, decorrente do lançamento de resíduos sólidos e líquidos na bacia do rio Cotia.

REFERÊNCIAS

1. ABELHO, Manuela. Manual de monitorização microbiológica ambiental: Qualidade microbiológica da água. Lisboa: 2010. [Curso de Especialização Tecnológica em Qualidade Ambiental]. Disponível em http://www.esac.pt/Abelho/Monitor_ambiental/Manual%20parte%202.pdf. Acesso em 13/03/2012.

2. ANA. Agência Nacional da Água. Índice de Qualidade das Águas. Disponível http://pnqa.ana.gov.br/indicaresQA/IndiceQA.aspx. Acesso em 23/02/2013.

3. ARAÚJO, André Luis Calado.; OLIVEIRA, Rui de.; SILVA, Salomão Anselmo. Reservatórios profundos tratando esgoto doméstico bruto no nordeste do Brasil: Ciclo do fósforo. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 12, 2000, Porto Alegre, RS. Anais. Associação Interamericana de Engenharia Sanitária e Ambiental(AIDIS). 2000. p. 1 a 9. Disponível em http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/i-052.pdf. Acesso em 17/03/2013.

4. AZEVEDO NETTO, José Martiniano de. Poluição e desenvolvimento. **Revista DAE** – Sabesp. São Paulo, SP: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Sabesp, São Paulo, SP, v.35, n.101, p. 9-57, s.d., 1975.

5. BERNARDI, Cristina. **Reuso de água para irrigação**. 2003. 63 f. Monografia (Especialização em Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada) – Instituto Superior de Administração e Economia - Fundação Getúlio Vargas. Distrito Federal – Brasil, 2003.

6. BITTENCOURT, Armando J. Aspectos higiênicos: Aspectos de qualidade. In: GUIMARÃES, Fausto Pereira. **Hidrobiologia**. Curitiba, PR: Escola de Engenharia da Universidade Federal do Paraná e Organização Pan-Americana de Saúde, 1966. 313 p.

7. BRANCO, Samuel Murgel. **Limnologia sanitária, estudos de La polucion de águas continentales**. Washington, D.C.: Secretaria General de La Organización de lós Estados Americanos; 1984. 121 p

8. CARNEIRO, Talita Gomes.; LEITE, Flávio. Cianobactérias e suas toxinas. **Revista Analytica**. São Paulo, SP. N. 32, p. 36 a 41, jan. 2008. Disponível em http://www.revistaanalytica.com.br/ed_anteriores/32/Art02.pdf. Acesso em 24/03/2011.

9. CCOPA RIVERA, Elmer Alberto. **Modelo sistêmico para compreender o processo de eutrofização em um reservatório de água**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. Campinas, SP, 2003. Disponível em http://www.unicamp.br/fea/ortega/extensao/Tese_Elmer.pdf. Acesso em 18/03/2013.

10. CETESB. Centro Tecnológico de Saneamento Básico. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo: 1978 / CETESB. - São Paulo: CETESB, 1979. 219 p.

11. _____.Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo: 1979 / CETESB. - São Paulo: CETESB, 1980. 247 p.

12. _____. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo: 1980 / CETESB. - São Paulo: CETESB, 1981. 250 p.

13. _____. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo: 1981/ CETESB. - São Paulo: CETESB, 1982. 260 p.

14. _____. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo: 1982/ CETESB. - São Paulo: CETESB, 1983. 168 p.

15. _____. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo: 1983 / CETESB. - São Paulo: CETESB, 1984. 134 p.

16. _____. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo: 1984 / CETESB. - São Paulo: CETESB, 1985. 125 p.

17. _____. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo: 1985 / CETESB. - São Paulo: CETESB, 1986. 134 p.

18. _____. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo: 1986 / CETESB. - São Paulo: CETESB, 1987. 153 p.

19. _____. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo: 1987 / CETESB. - São Paulo: CETESB, 1988. 163 p.

20. _____. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo: 1988 / CETESB. - São Paulo: CETESB, 1989. 170 p.

21. _____. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo: 1989 / CETESB. - São Paulo: CETESB, 1990. 184 p.

22. _____. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo: 1990 / CETESB. - São Paulo: CETESB, 1991. 153 p.

23. _____. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo: 1991 / CETESB. - São Paulo: CETESB, 1992. 163 p.

24. _____. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo: 1992 / CETESB. - São Paulo: CETESB, 1993. 249 p.

25. _____. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo: 1993 / CETESB. - São Paulo: CETESB, 1994. 225 p.

26. _____. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo: 1994 / CETESB. - São Paulo: CETESB, 1995. 269 p.

27. _____. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo: 1995 / CETESB. - São Paulo: CETESB, 1996. 286 p.

28. _____. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo: 1996 / CETESB. - São Paulo: CETESB, 1997. 371 p.

29. _____. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo: 1997 / CETESB. - São Paulo: CETESB, 1998. 287 p.

30. _____. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo: 1998 / CETESB. - São Paulo: CETESB, 1999. 290 p.

31. _____. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo: 1999 / CETESB. - São Paulo: CETESB, 2000. 260 p.

32. _____. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo: 2000 / CETESB. - São Paulo: CETESB, 2001. 350 p.

33. _____. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo: 2001 / CETESB. - São Paulo: CETESB, 2002. 382 p.

34. _____. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo: 2002 / CETESB. - São Paulo: CETESB, 2003. 265 p.

35. _____. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo: 2003 / CETESB. - São Paulo: CETESB, 2004. 266 p.

36. _____. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo: 2004 / CETESB. - São Paulo: CETESB, 2005. 300 p.

37. _____. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo: 2005 / CETESB. - São Paulo: CETESB, 2006. 485 p.

38. _____. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo: 2006 / CETESB. - São Paulo: CETESB, 2007. 327 p.

39. _____. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo: 2007 / CETESB. - São Paulo: CETESB, 2008. 310. P.

40. _____. Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo: 2008 [recurso eletrônico] / CETESB - São Paulo: CETESB, 2009. 535 p.

41. _____. Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo: 2009 [recurso eletrônico] / CETESB - São Paulo: CETESB, 2010. 310 p.

42. _____. Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo: 2010 [recurso eletrônico] / CETESB - São Paulo: CETESB, 2011. 300 p.

43. FESB. Fomento Estadual de Saneamento Básico. Relatório Convênio COMASP/FESB – Bacia do rio Cotia. Período: maio/70-janeiro/71. 1971. 41 p.

44. _____. Fomento Estadual de Saneamento Básico. Relatório das condições sanitárias da Bacia do Rio Cotia

- Convênio COMASP/FESB período: dezembro/71-janeiro/72. 1972a. 54 p.

45. _____. Fomento Estadual de Saneamento Básico. Relatório das condições sanitárias da Bacia do Rio Cotia - Convênio COMASP/FESB período: dezembro/72-janeiro/73. 1973. 49 p.

46. _____. Fomento Estadual de Saneamento Básico. Relatório das condições sanitárias da Bacia do Rio Cotia - Convênio COMASP/FESB período: agosto/74-novembro/74. 1975. 58 p.

47. FONSECA, Jairo Simon da., MARTINS, Gilberto de Andrade. **Curso de Estatística**. 3ª Ed., São Paulo, SP: Atlas, 1982. 286 fs.

48. GIOLO, S. R. Correlação e Regressão Linear. In: Estatística II. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Exatas. Departamento de Estatística. 2009. [Notas de Aula]. Disponível em www.est.ufpr.br/ce003/material/apostilace003.pdf. Acesso em 01/08/2012.

49. IEZZI, Gelson et al. **Matemática**. São Paulo: Atual, 1978.

50. KURATA, Katsuyoshi et al. Estatística: Notas de Aula e Exercícios. Faculdade de Tecnologia de São Paulo-FATEC-SP. São Paulo, SP, 1989. 56 f.

51. LANDIM, Paulo Milton Barbosa. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo, SP: Editoria UNESP, 2003. 254 f.

52. MARMO, Carlos Renato.; SANTOS, Bruno Vicente de Azevedo Pereira dos.; BRESAOLA JR, Ruben. Formação de trihalometanos em águas contendo ácidos húmicos, tratadas com cloro livre na pré-oxidação. **Revista DAE**, São Paulo: SABESP. Número 179. ISSN 0101 – 6040. p. 51 a 54, Janeiro 2009.

53. MIGON, Hélio. Análise de Séries Temporais. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Matemática. Departamento de Métodos Estatísticos. Rio de Janeiro, RJ. Disponível em http://acd.ufrj.br/~dani/pdf/slidespartefrequentista.pdf. Acesso em 23/02/2013.

54. REBOITA, Michelle S. Introdução à Estatística Aplicada à Climatologia. Parte III – Análise de Séries Temporais. Universidade de São Paulo-USP: 2005. São Paulo, SP, 2005. 39 p. Disponível em http://mirabeli.meteo.furg.br/aulas/Poligrafos/PoligrafoMichelleIII.pdf. Acesso em 25/02/2013.

55. RUBIO, Antonio Lechugo. **Administração de materiais: a logística na cadeia do fornecimento e dos estoques.** Pagina 10. Sorocaba, SP. 284 p. Disponível em http://www.pagina10.com.br/downloads/4.pdf. Acesso em 04/07/2012.

56. SANTA ROSA, Claudionor Alves da. **Evolução da qualidade das águas do Rio Cotia DE 1970 a 2010, Região Metropolitana de São Paulo, SP**. 2013. 232 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Análise Geoambiental) – Universidade de Guarulhos, Centro de Pós-Graduação e Pesquisa. Guarulhos, SP. 2013.

57. SPERLING, Marcos Von. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Belo Horizonte, MG: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais. 2005. 247 p.

58. _____. **Estudos e modelagem da qualidade da água rios**. Belo Horizonte, MG: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais. 2007. 507 p.

59. TOLEDO, Geraldo Luciano; OVALLE, Ivo Izidoro. **Estatística Básica**. São Paulo, SP: Atlas, 1985. 460 p.

60. TEIXEIRA, Daniel Mandim. **Estatística descomplicada.** Brasília, DF: Vestcon, 2008. 234 p.