

ANÁLISE DA TENDÊNCIA DO ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS NA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO PARANÁ NO PERÍODO 2000-2009*

Marcelo Pires da Costa¹; Renata Bley da Silveira de Oliveira² & Marcelo Luiz de Souza³

RESUMO --- O estudo analisou a tendência do Índice de Qualidade das Águas (IQA) em 239 pontos de monitoramento na Região Hidrográfica do Paraná no período 2000-2009. Entre os pontos de monitoramento analisados, 18 apresentaram tendência de aumento do IQA, 20 apresentaram tendência de diminuição e 201 pontos não apresentaram tendência. Entre os pontos que apresentaram tendência de aumento do IQA destacam-se aqueles localizados próximos às cidades em que foram construídas redes coletoras e Estações de Tratamento de Esgotos. No período analisado a população da Região Hidrográfica do Paraná cresceu 15% (7,6 milhões de habitantes), o que aumentou a pressão sobre a qualidade dos corpos d'água nas áreas urbanas. Entre os pontos que apresentaram tendência de redução do IQA, destacam-se aqueles que drenam cidades que tiveram um crescimento populacional significativo que não foi acompanhado por investimentos proporcionais em saneamento. Análises deste tipo devem ser utilizadas como subsídio para o estabelecimento de políticas públicas de saneamento ambiental e de gestão de recursos hídricos.

ABSTRACT --- This study comprises a trend analysis of the Water Quality Index (WQI) of 239 water quality monitoring sites in the Paraná Hydrographic Region in the period 2000-2009. Our results indicated that WQI increased in 18 monitoring sites, decreased in 20 sites. The other 201 sites showed no trend. Here we also investigate the potential causes of these trends. Increase trend in WQI seems to be mostly associated with monitoring points downstream of cities whose sewage treatment plants were implemented during the period analyzed. In this period, the Paraná Hydrographic Region has experienced a population growth of 15% (7,6 million people). Most of the monitoring sites where WQI decreased were apparently affected by a population growth not followed by a proportional investment in sanitation. Trend analysis is a helpful tool to subsidize public policies regarding environmental sanitation and management of water resources.

Palavras-chave: Índice de Qualidade das Águas, Região Hidrográfica do Paraná, Análise de tendência.

* Este trabalho reflete apenas e tão somente a opinião dos autores.

¹ Especialista em Recursos Hídricos. Agência Nacional de Águas, Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. SPO, Área 5, Quadra 3, Bloco L. 70610-200, Brasília (DF). e-mail: marcelo@ana.gov.br, Tel: 61-2109-5306

² Especialista em Recursos Hídricos. Agência Nacional de Águas, Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. SPO, Área 5, Quadra 3, Bloco L. 70610-200, Brasília (DF). e-mail: renata.oliveira@ana.gov.br, Tel: 61-2109-5562

³ Especialista em Recursos Hídricos. Agência Nacional de Águas, Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. SPO, Área 5, Quadra 3, Bloco L. 70610-200, Brasília (DF). e-mail: marcelo.souza@ana.gov.br, Tel: 61-2109-5562

1 - INTRODUÇÃO

A Política Nacional de Recursos Hídricos tem como um de seus objetivos assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos. Deste modo, o monitoramento e a análise da evolução da qualidade das águas é fator primordial para a adequada gestão dos recursos hídricos.

O principal problema de qualidade dos corpos d'água do Brasil é o lançamento de esgotos domésticos, conseqüência dos baixos níveis de coleta (48 %) e de tratamento (32 %). Além disso, a situação é agravada pela operação e a manutenção precária de muitas Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs). Os investimentos em tratamento de esgotos tem sido inferiores à demanda gerada pelo crescimento populacional, apesar de nos últimos anos ter ocorrido uma retomada dos investimentos através do Programa Nacional de Aceleração do Crescimento (PAC), o Programa de Despoluição de Bacias Hidrográficas (PRODES) e o Projeto de Despoluição do Rio Tietê, entre outros.

Entre todas as 12 regiões hidrográficas brasileiras, a Região Hidrográfica do Paraná é a mais populosa, possuindo 32 % da população brasileira (61 milhões de habitantes) e uma carga orgânica urbana de 2.179 ton. DBO_{5,20}/dia (35% do total do país) (ANA, 2005). O crescimento populacional dos centros urbanos da Região Hidrográfica do Paraná têm aumentando a pressão sobre a qualidade das águas, comprometendo os usos múltiplos da água. Caracterizar a dinâmica deste processo é essencial no sentido de alocar esforços voltados à melhoria da qualidade dos corpos d'água.

Ao longo dos últimos anos a Agência Nacional de Águas tem elaborado diagnósticos nacionais de qualidade da água a partir das informações fornecidas pelos órgãos gestores estaduais (ANA, 2005, 2009, 2011). Pelo fato destes diagnósticos serem restritos a um determinado ano, verificou-se a necessidade de uma análise temporal mais longa, visando avaliar a evolução dos impactos antrópicos e das ações de gestão sobre a qualidade dos corpos d'água.

Neste sentido o presente trabalho tem o objetivo principal de analisar a tendência temporal do Índice de Qualidade das Águas (IQA) na Região Hidrográfica do Paraná no período 2000-2009, como subsídio para futuros diagnósticos. Outro objetivo do trabalho é a discussão sobre dois métodos estatísticos comumente utilizados na detecção de tendências em séries temporais de dados de qualidade de água (Teste Mann-Kendall e Regressão Linear).

2 - ÁREA DE ESTUDO E MÉTODOS

2.1 - Área de Estudo

A Região Hidrográfica do Paraná possui uma área total de 879.873 km² (10 % do território nacional), e abrange sete unidades da federação: São Paulo (24,1% da área total), Paraná (20,9%), Mato Grosso do Sul (19,3%), Minas Gerais (18,0%), Goiás (16,1%), Santa Catarina (1,2%) e Distrito Federal (0,4%) (MMA, 2006).

O período mais chuvoso ocorre entre os meses de novembro e fevereiro, e a precipitação média é de 1.543 mm/ano. A vazão média é de 11.414 m³/s (6,3% da vazão média do País) e a demanda de água para usos consuntivos é de 492,7 m³/s (27 % da demanda do País) (ANA, 2009).

A densidade demográfica é de 69,7 hab/km² e a taxa de urbanização é de 93%. Entre os principais centros urbanos, destacam-se São Paulo (11 milhões de hab.), Brasília (2,5 milhões), Curitiba (1,7 milhão), Goiânia (1,3 milhão), Guarulhos (1,2 milhão), Campinas (1 milhão) e Campo Grande (787 mil) (IBGE, 2011). Estes municípios concentram 32% da população da Região Hidrográfica do Paraná.

A Região Hidrográfica do Paraná possui os maiores índices de coleta (81%) e tratamento (38%) de esgotos no País (ANA, 2009). A carga orgânica urbana é de 2.179 ton. DBO_{5,20}/ dia e concentra-se principalmente na sub-bacia do Tietê (48 % do total), onde se localiza a Região Metropolitana de São Paulo (ANA, 2005).

Uma característica da área de estudo é que vários centros urbanos se localizam na porção superior das bacias (São Paulo, Curitiba, Brasília, Goiânia, Campo Grande), o que faz com que as cargas poluidoras tenham maior impacto devido a menor disponibilidade hídrica e conseqüente menor capacidade de diluição.

2.2 - Índice de Qualidade da Água

Para a análise de tendência foi escolhido o Índice de Qualidade da Água desenvolvido pelo National Sanitation Foundation, o qual foi adaptado pela CETESB em 1975 e desde então é utilizado pela maioria das Unidades da Federação.

O IQA foi desenvolvido para avaliar a qualidade das águas destinadas ao abastecimento público. A fórmula de cálculo do IQA é descrita em ANA (2005). Os nove parâmetros de qualidade que fazem parte do cálculo do IQA, com seus pesos respectivos, são: Oxigênio Dissolvido (0,17), Coliformes Termotolerantes (0,15), pH (0,12), Demanda Bioquímica de Oxigênio (0,10), Temperatura da Água (0,10), Nitrogênio Total (0,10), Fósforo Total (0,10), Turbidez (0,08), Resíduo Total (0,08). Estes parâmetros refletem principalmente a contaminação pelo lançamento de

esgotos domésticos e, portanto, outras fontes de poluição (ex: metais, agrotóxicos) não são consideradas. Além dos esgotos domésticos, os efluentes industriais ou agrícolas com alta carga orgânica (ex: suinocultura) e a poluição difusa também afetam os valores do IQA.

Os valores do IQA para o período 2000-2009 foram obtidos junto aos órgãos gestores estaduais de São Paulo (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB), Minas Gerais (Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM), Paraná (Instituto das Águas Paraná; Instituto Ambiental do Paraná - IAP) e Mato Grosso do Sul (Instituto de Meio Ambiente do Mato Grosso do Sul - IMASUL). Nos casos em que o órgão gestor não possuía o valor do IQA, o mesmo foi calculado a partir dos valores dos nove parâmetros que fazem parte do índice. Os dados históricos necessários para a análise do IQA não estavam disponíveis em Goiás, Distrito Federal e Santa Catarina. As bacias da Região Hidrográfica do Paraná que apresentaram dados de IQA suficientes para a análise de tendência foram as do Alto Iguaçu, Grande, Ivinhema, Paranaíba (em Minas Gerais), Paranapanema, Tietê e Aguapeí.

2.3 - Análise de Tendência

A análise de tendência foi realizada através do teste de Mann-Kendall, seguido pela análise de Regressão Linear. O teste de Mann-Kendall é usado para identificar tendências numa série temporal de dados e, por ser um teste não-paramétrico, não há a premissa de conformação da série com uma distribuição específica.

Entre as premissas necessárias ao teste de Mann-Kendall, destaca-se a ausência de autocorrelação na série temporal. Como a maioria das séries temporais de dados com intervalos inferiores a um ano são correlacionados, optou-se neste trabalho pela utilização das médias anuais de IQA. Este procedimento também evita a necessidade de uma análise sazonal destes dados, uma vez que o efeito de variáveis externas tais como a variação sazonal da vazão é reduzido nas médias anuais. Conforme a disponibilidade de dados, para cada ponto de coleta foram considerados entre 8 e 11 valores médios anuais de IQA dentro do período 2000-2009.

O pacote estatístico utilizado para o teste de Mann-Kendall foi o *Trend* © v1.0.2 (Chiew & Siriwardena, 2005), que permite uma análise exploratória anterior aos testes estatísticos através de gráficos. Este pacote também oferece a opção de análise de reamostragem pelo método *bootstrapping*, através do qual foram construídas 1000 réplicas para cada série temporal de IQA baseadas na seleção randômica e reposição dos dados originais destas séries. Este método foi utilizado para estimar o nível de significância para o teste de Mann-Kendall conferindo maior robustez à análise.

Os pontos que apresentaram tendência pelo teste de Mann-Kendal para um nível significância inferior a 0,1 passaram por uma análise de regressão linear. Sendo este um teste paramétrico, foi realizado previamente um teste de normalidade tanto dos dados brutos quanto dos resíduos (teste Shapiro-Wilk).

Considerou-se como apresentando tendência aqueles pontos que apresentaram tendência no teste Mann-Kendal (nível significância inferior a 0,1) e que apresentaram um coeficiente de correlação linear (r) superior a 0,63 (para $n=10$), 0,66 (para $n=9$) e 0,70 (para $n=8$). Estes valores foram adotados com base na tabela de referência de valores críticos para o coeficiente de correlação linear. Para os pontos em que foi identificada tendência no teste Mann-Kendall e na regressão linear foi feita uma pesquisa em relatórios dos órgãos gestores sobre as ações de saneamento e gestão ambiental, a verificação da ocorrência de anomalias de vazão (dados da base Hidroweb da Agência Nacional de Águas), e a análise do crescimento populacional dos municípios (Censos Demográficos do IBGE).

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Entre os 239 pontos de monitoramento da qualidade da água da Região Hidrográfica do Paraná analisados para o período 2000- 2009, 18 pontos (7,5 % do total) apresentaram tendência de aumento dos valores de IQA, 20 pontos (8,4 % do total) apresentaram tendência de diminuição e 201 pontos (84,1 % do total) não apresentaram tendência (Tabela 1). Apenas um ponto, dos 64 que apresentaram tendência pelo teste de Mann-kendall, não passou no teste de normalidade dos dados e dos resíduos para o nível de significância de 0,05, sendo este ponto foi excluído da análise.

Tabela 1 - Pontos das bacias da Região Hidrográfica do Paraná que apresentaram tendência dos valores médios anuais do IQA nos Testes Mann-Kendall e Regressão Linear no período 2000-2009.

Bacia	Tendência de aumento do IQA	Tendência de redução do IQA	Sem tendência	Número de Pontos
Grande	3	1	59	63
Alto Iguaçu	3	11	32	46
Paranaíba	1	0	17	18
Paranapanema	1	0	8	9
Ivinhema	0	2	17	19
Tietê/Aguapeí	10	6	68	84
TOTAL	18	20	201	239

Entre os pontos que apresentaram tendência de aumento do IQA, destacam-se os pontos localizados a jusante de cidades em que foram feitos investimentos em saneamento, através da construção de redes coletoras de esgotos e Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs).

No período 2000-2010 a Região Hidrográfica do Paraná apresentou um aumento de 12% da população, o que representa um acréscimo de 6.640.071 habitantes, número superior à população do Paraguai (6.548.142 hab.). As áreas urbanas apresentaram um aumento de 15% da população (7.064.326 habitantes), enquanto as áreas rurais tiveram uma redução de 19% (964.255 habitantes) (Tabela 2).

Tabela 2 - População da Região Hidrográfica do Paraná no período 2000-2010 (IBGE, 2011).

Ano	Pop. Urbana (hab.)	Pop. Rural (hab.)	Pop. Total (hab.)	Pop. Urbana (%)	Pop. Rural (%)	Densidade demográfica (hab/km²)
2000	49.493.379	5.176.677	54.670.056	91%	9%	62,1
2006	53.717.717	5.324.506	59.042.223	91%	9%	67,1
2010	57.097.705	4.212.422	61.310.127	93%	7%	69,7
Evolução 2000-2010	+7.604.326 (+15%)	-964.255 (-19%)	+6.640.071 (+12%)	+2%	-2%	----

Os municípios que apresentaram maior crescimento populacional, em termos absolutos, foram São Paulo (acrécimo de 810 mil hab.), Brasília (511 mil hab.), Goiânia (208 mil hab.), Curitiba (159 mil hab.), Guarulhos (149 mil hab.), Campo Grande (123 mil hab.), Aparecida de Goiânia (119 mil hab.), Campinas (111 mil hab.), Ribeirão Preto (100 mil hab.) e Uberlândia (99 mil hab.). Estes municípios foram responsáveis por 35% do aumento populacional da Região Hidrográfica do Paraná. A maior parte do crescimento populacional (53%) foi observada em cidades com menos de 300 mil habitantes.

De modo geral, a tendência de redução do IQA pode ser atribuída ao aumento populacional e concentração da população em centros urbanos, processo que geralmente não foi acompanhado por investimentos em coleta e tratamento de esgotos. A seguir são apresentados, para as bacias analisadas, os resultados dos pontos que apresentaram tendência para o Teste Mann-Kendall e para a Regressão Linear.

3.1 - Bacia do Rio Grande

Entre os pontos que apresentaram aumento do IQA destacam-se aqueles localizados a jusante de cidades que receberam investimentos em saneamento, como é o caso do Rio Pardo (ETE em Ribeirão Preto-SP) (Figura 1). Os pontos no Rio Verde e no Rio Preto apresentaram tendência no

Teste Mann-Kendall, mas não na regressão linear (Tabela 3). Em ambos os casos também ocorreu a implementação de ETEs (ETE em Três Corações-MG e ETE em Rio Preto-SP, respectivamente).

Tabela 3 - Pontos da bacia do rio Grande que apresentaram tendência dos valores médios anuais do IQA no período 2000-2009 para os Testes Mann-Kendall e Regressão Linear.

Corpo d'água	Código do Ponto	N	Mann-Kendall (α)	Regressão Linear (r)	Tendência
Rio Pardo	PARD02600	10	▲ 0,01	▲ 0,82	▲
Rio Sapucaí Guaçu	SAGU02100	10	▲ 0,05	▲ 0,76	▲
Córrego Gameleira	BG057	10	▲ 0,05	▲ 0,63	▲
Ribeirão Caieiro	BG010	10	▲ 0,1	0,53	●
Rio Verde	BG032	10	▲ 0,1	0,53	●
Rio Preto	PRET02300	10	▲ 0,1	0,52	●
Rio Sapucaí	SAPU02800	10	▼ 0,05	▼ -0,71	▼
Rio Uberaba	BG059	10	▼ 0,1	0	●
Ribeirão da Onça	ONCA02500	10	▼ 0,1	-0,54	●
Rio Moji-Guaçu	MOGU02300	10	▼ 0,1	-0,58	●
Rio São Domingos	SDOM04500	10	▼ 0,05	-0,61	●

α : significância do teste Mann-Kendall; r: coeficiente de regressão linear; aumento (▲), redução (▼), ausência de tendência (●).

Entre os pontos que apresentaram redução do IQA destaca-se o ponto no Rio Sapucaí (SAPU02800), cuja causa não foi identificada. Os demais pontos apresentaram tendência de redução apenas no Teste Mann-Kendall, que não foi confirmada pela regressão linear. Estes pontos devem ser acompanhados ao longo dos próximos anos para verificar a confirmação da tendência detectada no teste Mann-Kendall. Este é o caso do ponto na bacia do Rio Moji-Guaçu (MOGU02300), cuja redução do IQA está relacionada, segundo CETESB (2009), ao crescimento populacional dos municípios de Leme e Araras que não foi acompanhado por investimentos em tratamento de esgotos.

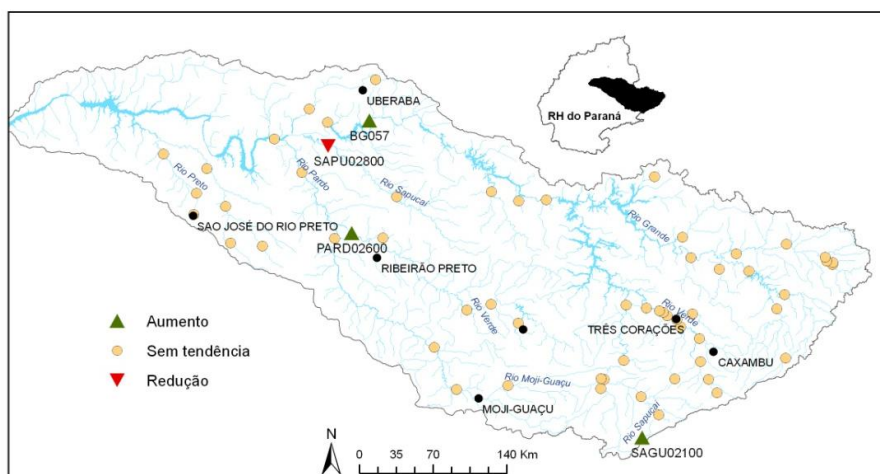


Figura 1 - Tendência de IQA em pontos na bacia do Rio Grande entre 2000 e 2009.

3.2 - Bacia do Alto Iguaçu

A expansão da Região Metropolitana de Curitiba ao longo dos últimos anos se deu principalmente em direção leste, onde se localizam os afluentes da margem esquerda do trecho alto do Rio Iguaçu. Nestes locais existem muitas ocupações irregulares sem infra-estrutura de saneamento, o que aumenta a degradação dos corpos d'água (Garcias & Sanches, 2009). Ao longo do período analisado, observou-se que os pontos localizados em afluentes da margem esquerda do Alto Iguaçu (rios Pequeno, Cotia e Piraquara) apresentaram tendência de diminuição do IQA (Figura 2), possivelmente resultado do processo de expansão da Região Metropolitana de Curitiba para os municípios de Piraquara e São José dos Pinhais (Tabela 4) (Figura 3). No período 2000-2010 estes municípios apresentaram um aumento de 30% e 28% da população, respectivamente.

Tabela 4 - Pontos da bacia do Alto Iguaçu que apresentaram tendência dos valores médios anuais do IQA no período 2000-2009 para o Teste Mann-Kendall ou para a Regressão Linear.

Corpo d'água	Código do Ponto	N	Mann-Kendall (α)	Regressão Linear (r)	Tendência
Rio Padilha	65014000	8	▲ 0,01	▲ 0,86	▲
Rio Bacacheri	65007030	8	▲ 0,1	▲ 0,74	▲
Rio Barigüi	65019685	9	▲ 0,05	▲ 0,69	▲
Rio Cachoeira	65006030	8	▲ 0,1	0,67	●
Rio Piraquara	65004995	10	▼ 0,1	▼ -0,64	▼
Rio Piraquara	65004900	10	▼ 0,1	▼ -0,70	▼
Rio Passaúna	65021250	10	▼ 0,1	▼ -0,68	▼
Rio Cotia	65017020	10	▼ 0,1	▼ -0,69	▼
Rio dos Patos	65019410	10	▼ 0,1	▼ -0,69	▼
Rio Canguiri	65006010	10	▼ 0,05	▼ -0,80	▼
Rio Tumiri	65006020	10	▼ 0,05	▼ -0,80	▼
Rio Iraí	65006075	10	▼ 0,01	▼ -0,84	▼
Rio Iraí	65006010	10	▼ 0,01	▼ -0,90	▼
Rio Faxinal	65019850	10	▼ 0,01	▼ -0,84	▼
Rio Pequeno	65010000	10	▼ 0,05	▼ -0,70	▼
Rio Pequeno	65001000	10	▼ 0,05	-0,61	●
Rio Iraizinho	65003900	9	▼ 0,05	-0,60	●

α : significância do teste Mann-Kendall; r: coeficiente de regressão linear; aumento (▲), redução (▼), ausência de tendência (●).

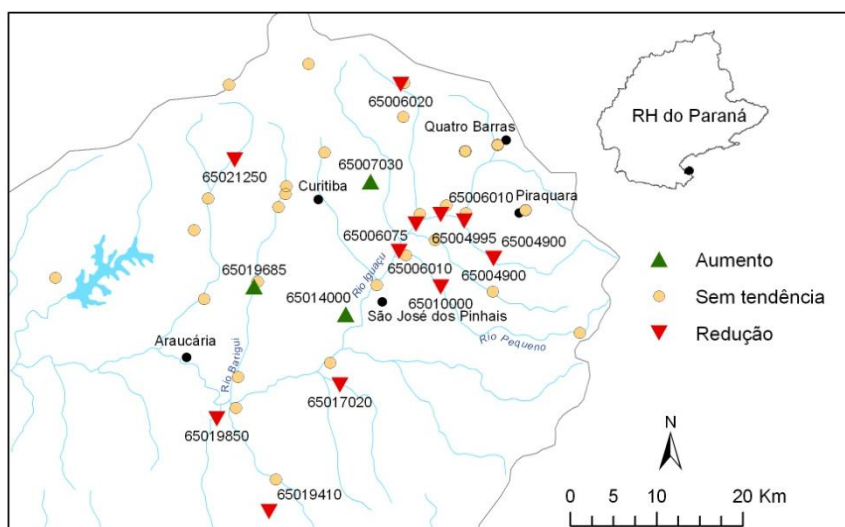


Figura 2 - Tendência do Índice de Qualidade das Águas em pontos de monitoramento na bacia do Alto Iguaçu entre 2000 e 2009.

Entre os afluentes da margem direita do Alto Iguaçu (rios Padilha, Bacacheri, Barigui) observou-se que alguns pontos apresentaram tendência de aumento dos valores do IQA, possivelmente como resultado do aumento da rede coletora de esgotos e da implementação de duas ETEs que contaram apoio do PRODES nas bacias dos rios Barigui (ETE CIC-Xisto) e Padilha (ETE Padilha) (Figura 4).

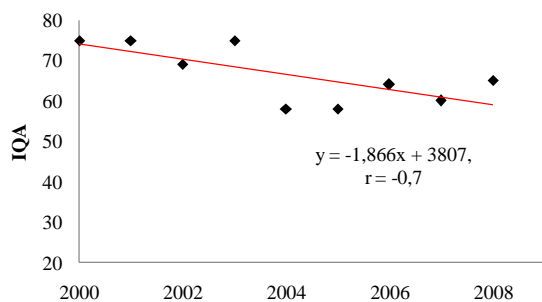


Figura 3 - Regressão linear dos valores de IQA ao longo do período 2000-2008 para o ponto 65004900 (Rio Piraquara).

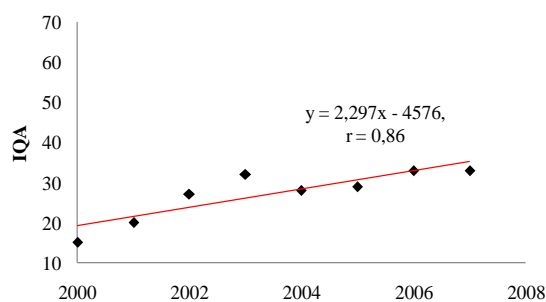


Figura 4 - Regressão linear dos valores de IQA ao longo do período 2000-2008 para o ponto 65014000 (Rio Padilha).

3.3 - Bacia do Rio Paranaíba

Na parte mineira da bacia do Paranaíba a maioria dos pontos analisados não apresentou tendência de aumento ou redução dos valores de IQA. Foi observada uma tendência de aumento do IQA apenas no Rio Uberabinha, consequência da implementação da ETE Uberabinha em 2003 na

cidade de Uberlândia-MG. Os demais pontos apresentaram tendência apenas no Teste Mann-Kendall e devem ser acompanhados ao longo dos próximos anos para verificar a confirmação da tendência detectada (Tabela 5 e Figura 5).

Tabela 5 - Pontos da bacia do Rio Paranaíba que apresentaram tendência dos valores médios anuais do IQA no período 2000-2009 para os Testes Mann-Kendall e Regressão Linear.

Corpo d'água	Código do Ponto	N	Mann-Kendall (α)	Regressão Linear (r)	Tendência
Rio Uberabinha	PB023	10	▲0,05	▲0,7	▲
Rio Paranaíba	PB031	10	▲0,1	0,50	●
Rio São Domingos	PB033	10	▲0,05	0,45	●
Rio Jordão	PB009	10	▼0,1	-0,47	●

α : significância do teste Mann-Kendall; r: coeficiente de regressão linear; aumento (▲), redução (▼), ausência de tendência (●).

Apesar de não existirem dados históricos disponíveis de IQA no Distrito Federal e em Goiás, registra-se que em 2004 entrou em operação a ETE Goiânia, com uma capacidade instalada para tratar 75% dos esgotos coletados em Goiânia, o que deve ter tipo um impacto positivo sobre o rio Meia Ponte, principal corpo receptor dos esgotos de Goiânia.

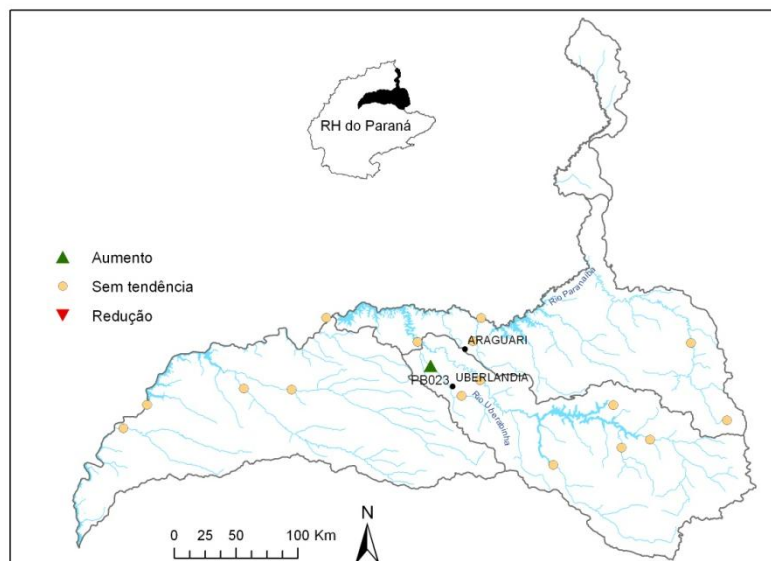


Figura 5 - Tendência do Índice de Qualidade das Águas em pontos de monitoramento na porção mineira da bacia do Rio Paranaíba entre 2000 e 2009.

3.4 - Bacia do Rio Paranapanema

A bacia do rio Paranapanema apresenta em termos gerais uma boa condição da qualidade dos corpos d'água, uma vez que não possui grandes centros urbanos. Os municípios mais populosos são

Londrina (506 mil hab.) e Maringá (357 mil hab.). A ausência de dados históricos em pontos de monitoramento na proximidade destas cidades dificulta uma análise mais detalhada do seu grau de impacto.

Nos pontos analisados verificou-se que a maior parte não apresentou tendência. A exceção foi o ponto no rio Taquari, que apresentou aumento do IQA provavelmente pela implementação da ETE na cidade de Itapeva em 2006. O ponto no rio Paranapanema a jusante da UHE Rosana apresentou tendência apenas no teste Mann-Kendall, e o motivo desta alteração é desconhecido (Tabela 6) (Figura 6).

Tabela 6 - Pontos da bacia do rio Paranapanema que apresentaram tendência dos valores médios anuais do IQA no período 2000-2009 para os Testes Mann-Kendall e Regressão Linear.

Corpo d'água	Código do Ponto	N	Mann-Kendall (α)	Regressão Linear (r)	Tendência
Rio Taquari	TAQR02400	10	▲ 0,05	▲ 0,66	▲
Rio Paranapanema	PARP02900	10	▲ 0,1	0,47	●

α : significância do teste Mann-Kendall; r : coeficiente de regressão linear; aumento (▲), redução (▼), ausência de tendência (●).

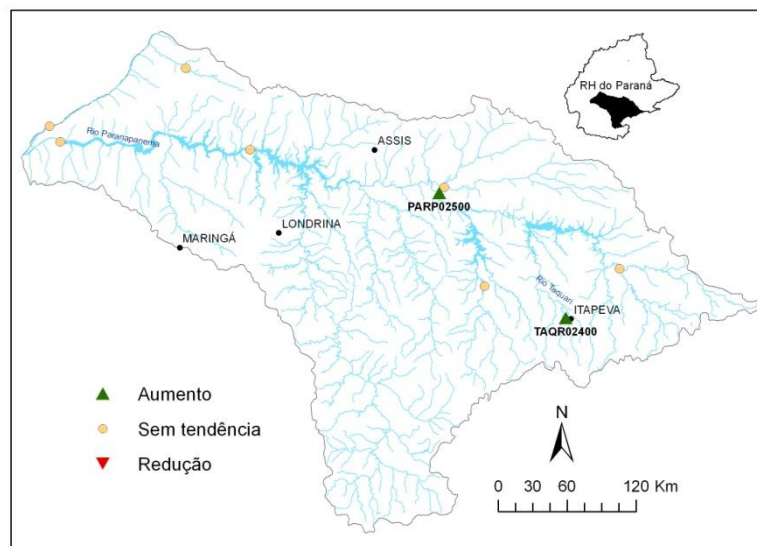


Figura 6 - Tendência do Índice de Qualidade das Águas em pontos de monitoramento na bacia dos rios Paranapanema e Santo Anastácio no período 2000-2009.

3.5 - Bacia do Rio Ivinhema

Na bacia do rio Ivinhema, localizada no Mato Grosso do Sul, apresentaram tendência de redução de IQA os pontos no Rio Vacaria (00MS13VA2234) e no Rio Dourados (00MS13DR2153) (Tabela 7) (Figura 8). No período 2000-2010 os municípios da bacia apresentaram um crescimento populacional expressivo que não foi acompanhado por investimentos em saneamento, além do aumento de atividades agrícolas e industriais.

Tabela 7 - Pontos da bacia do rio Ivinhema que apresentaram tendência dos valores médios anuais do IQA no período 2000-2009 para os Testes Mann-Kendall e para a Regressão Linear.

Corpo d'água	Código do Ponto	N	Mann-Kendall (α)	Regressão Linear (r)	Tendência
Rio Vacaria	00MS13VA2234	9	▼0,01	▼-0,94	▼
Rio Dourados	00MS13DR2153	9	▼0,05	▼-0,70	▼
Rio Dourados	00MS13DR2150	9	▼0,05	-0,61	●
Rio Ivinhema	00MS13IV2000	9	▼0,05	-0,63	●
Rio Santa Maria	00MS13SM2000	9	▼0,1	-0,54	●

α : significância do teste Mann-Kendall; r: coeficiente de regressão linear; aumento (▲), redução (▼), ausência de tendência (●).

Sobre o Rio Dourados (ponto 00MSDR2153), o IMASUL menciona que, além do lançamento de esgotos domésticos, atividades de suinocultura, avicultura, usinas de açúcar e álcool, frigoríficos, e curtumes também afetam a qualidade das águas (Mato Grosso do Sul, 2009).

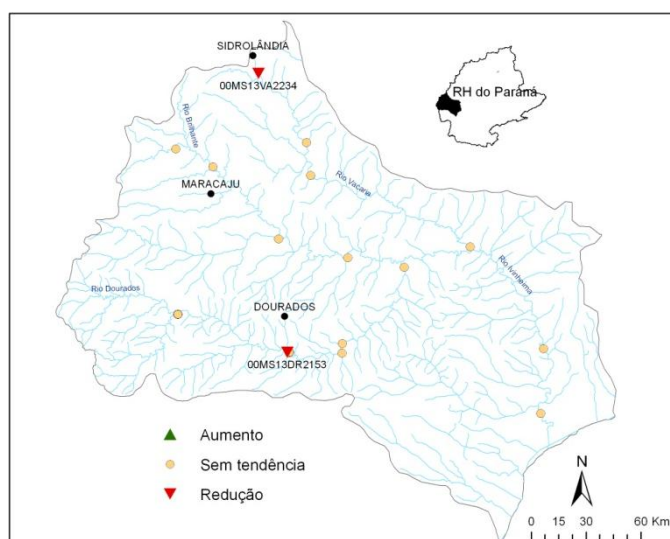


Figura 8 - Tendência do Índice de Qualidade das Águas em pontos de monitoramento na bacia do rio Ivinhema entre 2000 e 2009

Segundo o IMASUL a menor qualidade de água observada no ponto do Rio Vacaria (ponto 00MS13VA2234) pode estar associada aos lançamentos efluentes de frigoríficos e ao deflúvio superficial urbano da cidade de Sidrolândia (Mato Grosso do Sul, 2009). No período 2000-2010 a população de Sidrolândia apresentou um aumento de 82% (Figura 9) e houve uma diminuição de 32% dos valores de IQA no Rio Vacaria, principal corpo receptor dos esgotos da cidade (Figura 10).

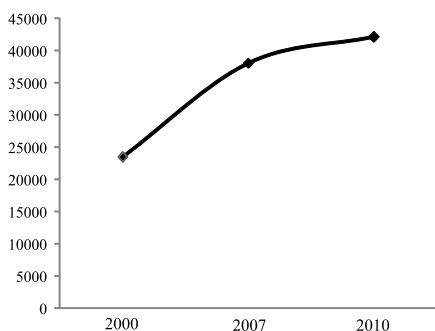


Figura 9 - Crescimento da população de Sidrolândia (MS) no período 2000-2010 (IBGE, 2011).

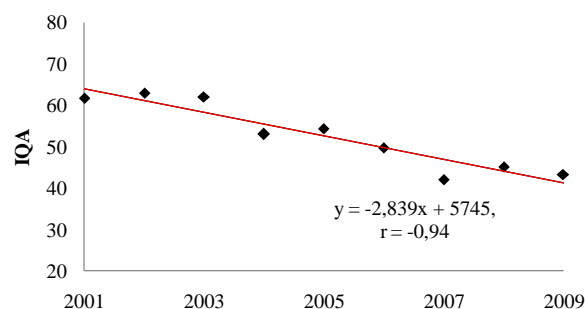


Figura 10 - Regressão linear dos valores de IQA ao longo do período 2001-2009 para o ponto no Rio Vacaria (00MS13VA2234), a jusante de Sidrolândia (MS).

3.6 - Bacias dos Rios Tietê e Aguapeí

O aumento dos valores em vários pontos da Bacia do Rio Tietê é provavelmente consequência da implementação de Estações de Tratamento de Esgotos. Este é o caso no Rio Jacaré-Pepira (ETE em São Carlos), Rio Sorocaba (ETE em Sorocaba) e Rio Jundiá (ETEs em Salto e Indaiatuba). Neste último caso, também houve o controle de fontes industriais. Segundo CETESB (2009) a causa provável da tendência de aumento do IQA no Reservatório Billings (braço do Taquacetuba) no período 2004-2009 seria a implantação do Sistema de Flotação do Rio Pinheiros. No Rio Aguapeí o aumento do IQA no período 2003-2008 provavelmente tem como motivo a ocorrência de menores índices pluviométricos (CETESB, 2008) (Tabela 8; Figura 11).

Entre os programas de despoluição em curso na Região Hidrográfica do Paraná destacam-se o Projeto Tietê, no qual já foi investido US\$ 1,6 bilhão na coleta e tratamento de esgotos da Região Metropolitana de São Paulo. No período 1992-1998 o tratamento de esgotos aumentou de 24 para 62%. Já no período 2000-2008, que coincide com o período de análise deste trabalho, o tratamento de esgoto aumentou de 62 para 70 % (SABESP, 2010).

No presente estudo foi observada uma tendência de aumento de IQA no Rio Tietê apenas no ponto localizado no Reservatório Edgard de Souza (TIES04900), logo a jusante da Região Metropolitana de São Paulo. Outros dois pontos no Rio Tietê (TIET02600 e TIET04170) apresentaram tendência apenas no Teste Mann-Kendall, que não foi confirmada pela análise de regressão linear. É possível que o aumento mais intenso do IQA no rio Tietê tenha ocorrido durante o período 1992-1998, quando os percentuais de esgotos tratados aumentaram de maneira mais expressiva.

Tabela 8 - Pontos das bacias dos rios Tietê e Aguapeí que apresentaram tendência dos valores médios anuais do IQA no período 2000-2009.

Corpo d'água	Código do Ponto	N	Mann-Kendall (α)	Regressão Linear (r)	Tendência
Rio Sorocaba	SORO02100	10	▲ 0,05	▲ 0,81	▲
Rio Paraná	PARN02100	10	▲ 0,05	▲ 0,84	▲
Reserv. Billings	BITQ00100	10	▲ 0,01	▲ 0,76	▲
Rio Jundiáí	JUNA04900	10	▲ 0,05	▲ 0,73	▲
Rio Jaguari	JAGR02100	10	▲ 0,01	▲ 0,72	▲
Rio Jundiáí	JUNA04270	10	▲ 0,05	▲ 0,70	▲
Rio Jundiáí	JNDI00500	10	▲ 0,05	▲ 0,69	▲
Rio Tietê	TIES04900	10	▲ 0,05	▲ 0,69	▲
Rio Aguapeí	AGUA02100	10	▲ 0,1	▲ 0,66	▲
Rio Jacaré-Pepira	JPEP03500	10	▲ 0,1	▲ 0,65	▲
Rio Sorocaba	SORO02200	10	▲ 0,05	0,62	●
Rio Tietê	TIET02600	10	▲ 0,05	0,60	●
Rio Tietê	TIET04170	10	▲ 0,1	0,47	●
Ribeirão dos Meninos	NINO04900	10	▲ 0,05	0,43	●
Rio Piracicaba	PCAB02100	10	▼ 0,05	▼ -0,79	▼
Rio Jaguari	JAGR02500	10	▼ 0,05	▼ -0,78	▼
Rio Jundiáí	JUNA02020	10	▼ 0,05	▼ -0,73	▼
Rio Capivari	CPIV02130	10	▼ 0,05	▼ -0,70	▼
Reserv. Barra Bonita	PCBP02500	10	▼ 0,05	▼ -0,67	▼
Reserv. das Graças	COGR00900	10	▼ 0,01	▼ -0,83	▼
Rio Corumbataí	CRUM02200	10	▼ 0,05	-0,43	●
Rio Jaguari	JAGR02800	10	▼ 0,01	-0,60	●
Reserv. Billings	BILL02100	10	▼ 0,1	-0,61	●
Ribeirão Piraí	IRIS02900	10	▼ 0,1	-0,56	●

α : significância do teste Mann-Kendall; r: coeficiente de regressão linear; aumento (▲), redução (▼), ausência de tendência (●).

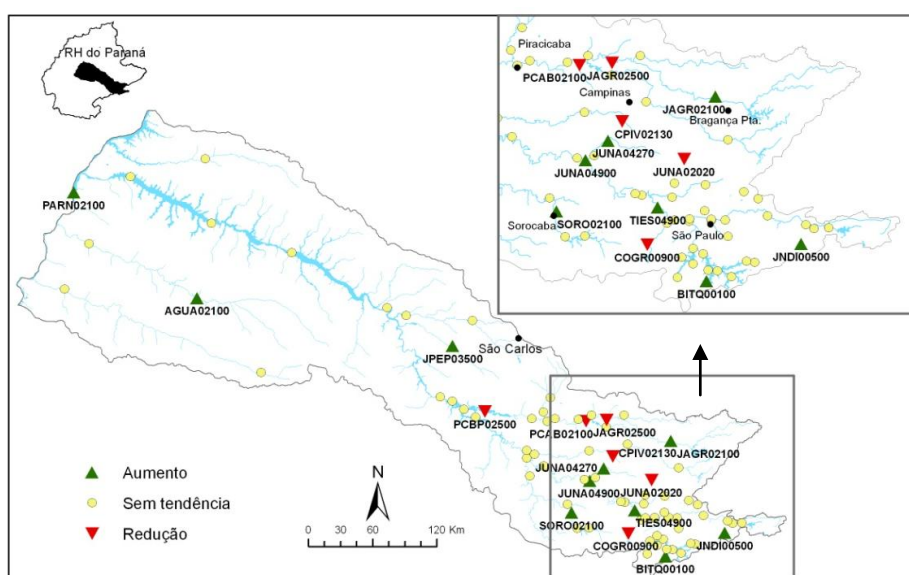


Figura 11 - Tendência do Índice de Qualidade das Águas em pontos de monitoramento na bacia dos rios Tietê, São José dos Dourados, Aguapeí e Peixe entre 2000 e 2009.

No Rio Capivari o aumento dos valores de IQA (Figura 12) coincide com o aumento das vazões efluentes do Reservatório Capivari (Figura 13), que provavelmente aumentou a diluição dos efluentes de Bragança Paulista. Este aumento das vazões é resultado da implementação do Banco de Águas criado em 2004, quando da renovação da outorga do Sistema Cantareira. Este Banco de Águas determina que a água não utilizada em períodos chuvosos seja armazenada nos reservatórios, e em situações de escassez devem ser liberadas maiores vazões para a bacia dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí.

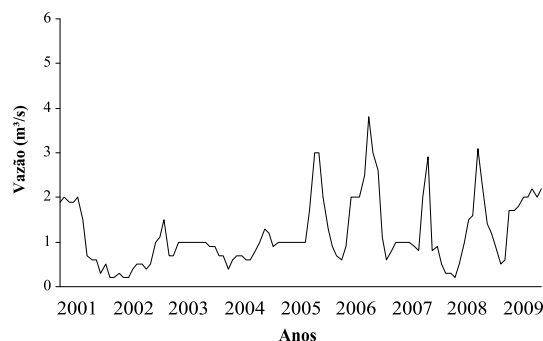
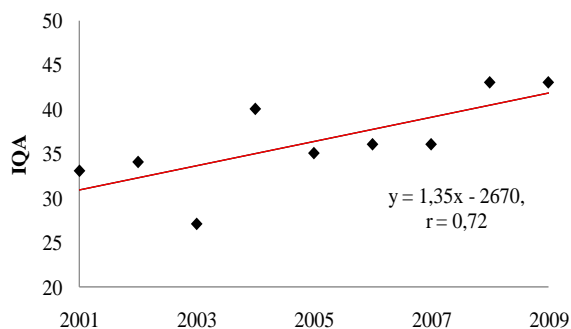


Figura 12 - Regressão linear dos valores de IQA ao longo do período 2000-2009 para o ponto o Rio Jaguari (JAGR02100).

Figura 13 - Vazões diárias (m³/s) efluentes do Reservatório Jaguari no período 2000-2009.

No Rio Sorocaba a tendência de aumento do IQA tem como motivo provável a implementação de rede coletora de esgotos e da ETE Sorocaba, projetada para remover 50% dos esgotos domésticos da cidade de Sorocaba, e que contou com o apoio do PRODES. A partir de 2004, com a entrada em operação da ETE, observam-se valores crescentes de remoção de DBO (Figura 14), que são acompanhados pelo aumento dos valores de IQA no ponto de monitoramento no rio Sorocaba (Figura 15). Fica evidente o efeito do processo de certificação adotado pelo PRODES, com o estabelecimento de metas de redução da carga nos anos seguintes à implementação da ETE, que se relacionam com o aumento dos valores de IQA a partir de 2004.

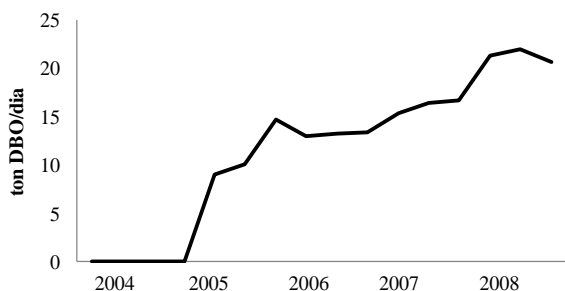


Figura 14. Carga de esgotos (ton.DBO/dia) removida pela ETE Sorocaba no período 2004-2008.

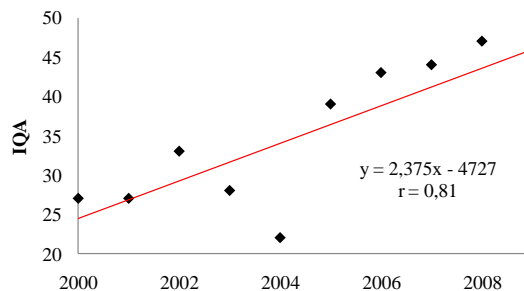


Figura 15. Regressão linear dos valores de IQA ao longo do período 2000-2009 para o ponto SORO02100 no Rio Sorocaba.

Entre os pontos que apresentaram diminuição do IQA destacam-se aqueles nas bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. Segundo CETESB (2009), a intensa expansão urbana é o provável motivo da redução do IQA no Rio Capivari. Entre 2000 e 2010 a cidade de Campinas apresentou um acréscimo de 111 mil habitantes, o que provavelmente aumentou o impacto sobre o Rio Capivari, que recebe parte dos esgotos da cidade. No Reservatório das Graças (Ponto COGR00900) localizado na bacia do Rio Cotia, o motivo da redução dos valores de IQA deve ser mais bem analisado, já que se trata de manancial de abastecimento em que a bacia contribuinte encontra-se em área de preservação.

3.7 - Discussão geral

Apesar da população da Região Hidrográfica do Paraná ter crescido 6,6 milhões de habitantes no período 2000-2009, 84 % dos pontos analisados não apresentaram tendência de alteração do IQA e apenas 8,4% apresentaram tendência de diminuição.

CETESB (2009) observou situação semelhante ao analisar por regressão linear os valores médios do IQA em 181 pontos da rede básica de monitoramento do Estado de São Paulo para o período 2004 a 2009. O estudo da CETESB mostrou que 84% dos pontos monitorados não apresentaram tendência e apenas 7% apresentaram tendência de diminuição. Segundo este estudo, embora tenha se observado um aumento de aproximadamente 1,5 milhão de habitantes no Estado de São Paulo neste período, também houve um aumento na porcentagem de tratamento de esgotos (39% em 2004 para 49% em 2009) o que possibilitou a manutenção dos valores de IQA na maioria dos pontos.

Um fato relevante é que a maior parte (53%) do crescimento populacional da Região Hidrográfica do Paraná ocorreu em cidades de médio e pequeno porte (menos de 300 mil habitantes). Tucci *et. al.* (2001) mencionam que a tendência atual é de redução do crescimento das metrópoles e aumento das cidades médias, e que assim os impactos do lançamento de cargas poluidoras tenderiam a se disseminar para esse tipo de cidade. Segundo os autores, apesar dos impactos já gerados nesses municípios começarem a ser preocupantes, medidas mitigadoras e de prevenção podem ser adotadas para garantir a sustentabilidade ambiental dessas cidades médias.

No presente estudo ficou evidente o processo de degradação da qualidade da águas nas bacias da Região Metropolitana de Curitiba e em bacias com cidades de médio e pequeno porte que tiveram grande crescimento populacional. Por outro lado, o fato da maioria dos pontos no Rio Tietê apresentarem ausência de tendência de redução do IQA, apesar do aumento populacional da Região

Metropolitana de São Paulo, indica que as ações de saneamento estão possibilitando a manutenção da qualidade dos corpos d'água.

Com relação à metodologia utilizada, observou-se que o teste de Mann-Kendall e a análise de regressão se complementaram na indicação das tendências temporais de IQA. Isto só foi possível devido à utilização de médias anuais de IQA, uma vez que a normalidade das distribuições - requisito básico para a análise de regressão - somente foi obtida com estas médias. Outra vantagem da utilização de médias anuais foi a redução dos efeitos da autocorrelação dos dados e da sazonalidade.

Nos estudos de tendência de qualidade da água geralmente é removida a tendência da vazão, considerando-se a influência da sazonalidade sobre os parâmetros de qualidade da água. No presente trabalho este procedimento não foi adotado, visto que foram utilizados valores médios anuais do IQA. A consideração das vazões foi feita após a análise de tendência, verificando-se os pontos que apresentavam anomalias de vazão ao longo do período analisado.

Comparando-se os resultados obtidos a partir da análise de Mann-Kendall e da regressão linear é possível verificar que quanto maior o nível de significância do teste de Mann-Kendall mais baixo é o coeficiente r da regressão (Figura 16). Essas diferenças foram consideradas significativas por uma análise de variância (ANOVA; $p < 0,05$), indicando que o nível de significância de 0,1 do Mann-Kendall pode levar à detecção de uma tendência que na verdade não existe, incorrendo no erro tipo 1. As tendências detectadas com nível de significância de 0,01 estão associadas a coeficientes de correlação lineares mais altos, demonstrando maior intensidade da tendência.

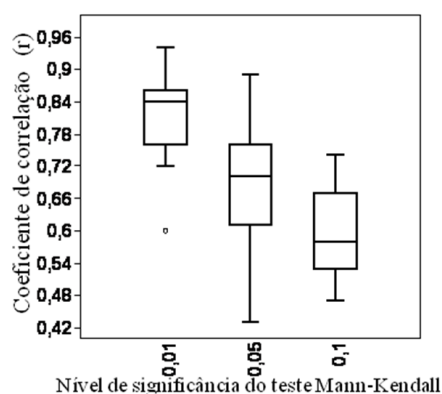


Figura 16 - Box-Plot de comparação entre os níveis de significância do teste de Mann-Kendall e os coeficientes de correlação lineares obtidos pela análise de regressão. Os retângulos representam limites entre o 1º e o 3º quartil. O traço representa a mediana. As barras representam os valores mínimos e máximos. O ponto representa um valor *outlier*.

Os métodos não-paramétricos, como o Mann-Kendall, são usualmente considerados menos robustos do que testes paramétricos. No entanto possuem a vantagem de que não pressupõem normalidade e homogeneidade de variância da distribuição dos dados. Por ser baseado em ranqueamentos dos dados, o Mann-Kendall não detecta a intensidade da tendência. Por isso a associação com os resultados da regressão, bem como uma análise exploratória dos dados *a priori*, são importantes para a correta interpretação dos resultados.

Outro fato a ser destacado é a ausência de dados históricos de IQA em parte da Região Hidrográfica do Paraná, o que certamente dificulta um diagnóstico mais preciso da evolução da qualidade da água. A ampliação das redes de monitoramento é essencial para que os impactos antrópicos e as implicações das ações de gestão sejam avaliados. Neste sentido, ressalta-se a importância do Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas (PNQA), da Agência Nacional de Águas, que tem o objetivo de apoiar os órgãos estaduais de meio ambiente e de gestão de recursos hídricos na melhoria do monitoramento e da avaliação da qualidade das águas superficiais.

Com a perspectiva de aumento dos investimentos em saneamento no País nos próximos anos através do Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), será cada vez mais necessária a utilização de indicadores que avaliem o impacto destas ações sobre a qualidade dos recursos hídricos. Portanto, é o importante que os relatórios de qualidade da água incorporem a análise de tendência. Ressalta-se também a necessidade de estudos de tendência temporal com outros índices (ex: Índice de Estado Trófico, Índice de Conformidade ao Enquadramento), assim como parâmetros individuais (ex: oxigênio dissolvido, fósforo).

4 – CONCLUSÕES

O estudo demonstra que através da utilização conjugada do Teste Mann-Kendall e da Regressão Linear sobre séries temporais de valores médios anuais de IQA é possível identificar tendências de evolução de qualidade de água, relacionando-se a tendência detectada à instalação de ETEs, aumento das vazões ou ao aumento populacional que não é acompanhado por investimentos em saneamento. Esta abordagem pode ser aplicada em bacias em que a fonte principal de poluição é o lançamento de esgotos domésticos.

Neste estudo ficou evidente o processo de degradação da qualidade dos corpos d'água em bacias em que o crescimento populacional não foi acompanhado por investimentos em saneamento. Informações deste tipo podem fornecer subsídios para a elaboração de Planos de Saneamento, de modo a reverter a tendência identificada.

Como perspectiva futura, ressalta-se a necessidade da ampliação das redes de monitoramento e a inclusão de análises de tendência nos relatórios de qualidade de água, de modo a avaliar a evolução dos impactos antrópicos e das ações de gestão sobre a qualidade dos corpos d'água.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos órgãos gestores estaduais de São Paulo (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB), Minas Gerais (Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM), Paraná (Instituto das Águas Paraná; Instituto Ambiental do Paraná - IAP) e Mato Grosso do Sul (Instituto de Meio Ambiente do Mato Grosso do Sul - IMASUL) por fornecerem os dados de IQA que possibilitaram este estudo.

Agradecemos também a Superintendência de Implementação de Programas e Projetos da Agência Nacional de Águas, pelo fornecimento dos dados do PRODES sobre a carga de esgotos removida pela ETE Sorocaba, e a Superintendência de Usos Múltiplos e Eventos Críticos da Agência Nacional de Águas, pelo fornecimento dos dados do Banco de Águas do Sistema Cantareira.

5 - BIBLIOGRAFIA

ANA, 2005. *Panorama da Qualidade das Águas Superficiais no Brasil*. Cadernos de Recursos Hídricos -1. Agência Nacional de Águas. Brasília.

ANA, 2009. *Relatório Conjuntura de Recursos Hídricos no Brasil - 2009*. Agência Nacional de Águas. Brasília.

ANA, 2011. *Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil – Informe 2011*. Agência Nacional de Águas. Brasília.

CETESB, 2009. *Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo - 2008*. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Série Relatórios, Secretaria de Estado do Meio Ambiente, São Paulo.

CETESB, 2010. *Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo - 2009*. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Série Relatórios, Secretaria de Estado do Meio Ambiente, São Paulo.

CHIEW, F. & SIRIWARDENA, L., 2005, *Trend change detection software and user guide*. www.toolkit.net.au/trend External Link. Consulta em 12/05/2001. CRC for Catchment Hydrology, Australia.

GARCIAS, C.M. & SANCHES, A.M., 2009. *Vulnerabilidades socioambientais e as disponibilidades hídricas urbanas: levantamento teórico-conceitual e análise aplicada à Região*

Metropolitana de Curitiba – PR. Revista de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo. Programa de pós-graduação do Departamento de Arquitetura e Urbanismo. EESC-USP.

IAP, 2009. *Monitoramento da qualidade das águas dos rios da Bacia do Alto Iguaçu, na região metropolitana de Curitiba, no período de 2005 a 2009.* Instituto Ambiental do Paraná. Curitiba. 114 p.

IBGE, 2011. *Censos Demográficos.* www.ibge.gov.br. Consulta em 20/05/2011. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

MATO GROSSO DO SUL. 2009. *Relatório da Qualidade das Águas Superficiais do Estado de Mato Grosso do Sul. 2005, 2006 e 2007.* Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul/IMASUL. Campo Grande. 218p.

MMA, 2006. *Plano Nacional de Recursos Hídricos. Estudo Regional – Região Hidrográfica do Paraná.* Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília.

SABESP. 2011. *Projeto Tietê.* <http://www.projetotiete.com.br>. Consulta em 10/05/2011. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO NETTO, O. M. 2001. *Gestão da água no Brasil.* Brasília: Unesco. 156 p.