

Efeitos do uso do solo e da implantação da estação de tratamento de esgoto sobre a qualidade das águas do rio Baquirivu-Guaçu, região metropolitana de São Paulo

Effects of land use and implementation of a sewage treatment plant on the water quality of the Baquirivu-Guaçu river, São Paulo metropolitan region

Antonio Roberto Saad¹, Sidney de Souza Martinez^{1,2}, Maurício Eduardo Goulart¹, Décio Semensatto³,

Reinaldo Romero Vargas¹ e Márcio Roberto Magalhães Andrade¹

¹Programa de Pós-Graduação em Análise Geoambiental. Universidade Guarulhos /
UnG. Praça Tereza Cristina, 229 - Centro. CEP 07023-070. Guarulhos, SP

assad@prof.ung.br; rvargas@prof.ung.br; mmandrade@prof.ung.br; mauriciobeth@gmail.com

²Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB),
Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Rua Ipê, 3 - Guarulhos - SP

serramartinez@ig.com.br

³Sector de Ciências Ambientais, Departamento de Ciências Biológicas, UNIFESP, Campus Diadema, SP
Rua prof Artur Riedel, 275, Jardim Eldorado - Diadema - SP

semensattojr@gmail.com

Recebido: 07/02/14 - Revisado: 10/02/14 - Aceito: 09/07/14

RESUMO

O objetivo principal deste trabalho foi o de avaliar a qualidade da água do Rio Baquirivu-Guaçu, em seu alto curso, localizado nos municípios de Arujá e Guarulhos, Estado de São Paulo, no período compreendido entre 1983 e 2012, em função da instalação de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) em Arujá, do aumento populacional e da diversificação do uso do solo na região. Para tanto, utilizou-se o registro bimestral realizado pela CETESB da concentração de coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), fósforo total, nitrogênio total, Índice de Qualidade da Água - IQA e Índice de Estado Trófico - IET. Os resultados alcançados demonstram que a expansão urbana/industrial e a infraestrutura básica insuficiente, no que tange à coleta e ao tratamento dos esgotos domésticos, comprometeram a qualidade dos recursos hídricos superficiais. A ETE-Arujá, inaugurada em 2004, retardou o processo de degradação dos recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu (BHRBG), impediu que alcançasse níveis piores aos verificados no início da década de 2000 e atenuou temporariamente a pressão sobre os índices de qualidade. Todavia, notadamente no final do período estudado, evidenciou-se a necessidade de se adequar o sistema de esgotamento sanitário à evolução do uso do solo, tanto no que se refere ao seu dimensionamento quanto à introdução de novas etapas de tratamento.

Palavras Chave: CONAMA 357/2005. IQA. IET. Arujá. Bacia Hidrográfica do Rio Baquirivu Guaçu.

ABSTRACT

The main objective of this research was to evaluate the water quality of the Baquirivu-Guaçu river located in the cities of Arujá and Guarulhos, State of São Paulo, during the period from 1983 to 2010, based on the urban population increase as well as the land use diversification and occupation in those urban areas. For this purpose two-monthly records from CETESB were used that include the following parameters: thermotolerant coliforms, biochemical oxygen demand (BOD 5.20), total phosphorous, total nitrogen, Water Quality Index (WQI) and Trophic State Index (TSI). The results obtained show that urban and industrial expansions and the deficiencies in sewage domestic treatment were responsible by the pollution of Baquirivu-Guaçu river surface water. The sewage treatment plant (STP), located in Arujá city, that has operated since 2004, prevented reaching the worst levels that occurred at the beginning of the 2000s and temporarily attenuated the pressure on the quality indices. However, especially at the end of the study period, there was a need to adapt the sewer system to changing use and land cover, both with regard to its design and as to the introduction of new steps in treatment.

Keywords: CONAMA 357/2005. WQI. TSI. Arujá. Baquirivu Guaçu River Hydrographic Basin.

INTRODUÇÃO

A questão da qualidade das águas *versus* o uso e ocupação do solo vem sendo tratada com crescente atenção por pesquisadores, órgãos de gestão ambiental, governantes e ambientalistas. Pesquisadores têm alertado para a importância dos estudos voltados à avaliação, exploração, preservação, proteção e recuperação dos recursos hídricos (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2008, 2010). Regiões onde os recursos hídricos são abundantes, mas que sofrem com a degradação ambiental, podem ter a água imprópria para diversos fins, o que gera um cenário de estresse hídrico. Entretanto, quando o uso desses recursos hídricos é inevitável, um alto custo é imposto à sociedade em função da necessidade de tratamento específico.

Órgãos ambientais incumbidos de regulamentar o uso da água estabelecem índices de qualidade da água como referência para o diagnóstico e monitoramento, além de definir as diferentes formas de sua utilização como, por exemplo, para alimentação, necessidades domésticas, agrícolas, industriais, transportes, infraestrutura energética, pesca e lazer. Contudo, a principal ênfase deve ser dada nos quesitos abastecimento e saúde pública (CONFALONIERI et al., 2010). No Brasil, várias regiões metropolitanas sofrem com a disponibilidade de recursos hídricos de boa qualidade, visto que a demanda normalmente ultrapassa a capacidade de produção das bacias hidrográficas, principalmente nos centros urbanos em que o abastecimento provém de fontes superficiais (TUCCI, 2010).

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) é um exemplo típico dessa situação crítica de baixa qualidade e baixa disponibilidade *per capita* de água (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2008, 2010). Na RMSP vivem cerca de 20 milhões de habitantes, distribuídos em 39 municípios, sendo que muitos deles não possuem saneamento básico, o que compromete a

qualidade de seus recursos hídricos consubstanciados nas águas dos rios, lagoas e represas (IBGE, 2010). Nesse quesito, a Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (BHAT) é uma das que têm a pior classificação nas avaliações sistemáticas efetuadas pela Agência Nacional das Águas - ANA (2012) e pela CETESB (1983-2012)- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.

O presente trabalho teve como objetivo apontar os reflexos do uso e ocupação do solo sobre a qualidade dos recursos hídricos do Alto Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu (BHRBG), pertencente à BHAT, localizado nos municípios de Arujá e Guarulhos (SP). Além disso, avaliou-se o efeito que a estação de tratamento de esgoto (ETE - Arujá), implantada e operada pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) desde o segundo semestre de 2004, desempenhou na qualidade da água dessa sub-bacia hidrográfica.

ÁREA DE ESTUDO

O Rio Baquirivu-Guaçu nasce no município de Arujá e atravessa toda a região central urbanizada, onde está inteiramente canalizado. Em seguida, percorre o município de Guarulhos num total de 21 km, até desaguar na margem direita do Rio Tietê. Em toda a sua extensão o rio foi enquadrado pelo Decreto Estadual 10.775/1977 como Classe 3. A área de drenagem desta bacia é de 161,2 km², com uma rica rede de drenagem na margem direita, coincidente com as áreas de maiores altitudes, declividades mais acentuadas e terrenos com predomínio de rochas metamórficas e ígneas (CAMPOS, 2011). A maior porção da bacia pertence ao município de Guarulhos (145,6 km²), enquanto que no município de Arujá estende-se por 15,6 km² (Figura 1).

A paisagem natural (pré-antrópica) dos municípios

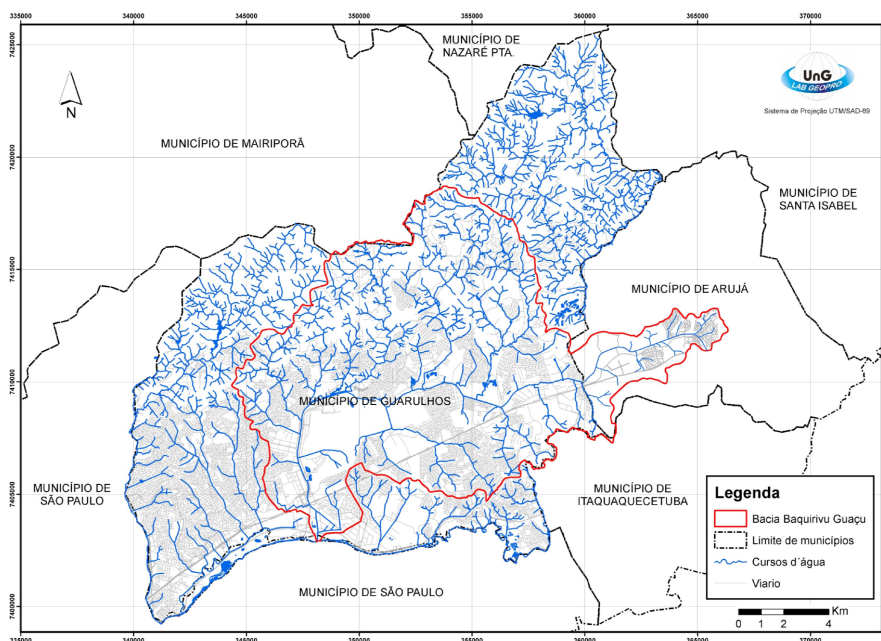


Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu (BHRBG), nos municípios de Arujá e Guarulhos
Fonte: CAMPOS (2011)

de Guarulhos e Arujá foi condicionada pela instalação de um conjunto de pequenas bacias do tipo rifte, com blocos altos e baixos justapostos, a partir do Paleógeno, e cuja evolução perdura, muito provavelmente, até os dias atuais (BEDANI, 2008). Assim, a atual conformação do Rio Baquirivu-Guaçu, com baixa declividade, configuração meândrica, margens assimétricas e mudança brusca na direção do seu curso são reflexos desse arcabouço estrutural geológico.

MATERIAL E MÉTODOS

A execução do trabalho foi dividida em duas etapas. A primeira compreendeu a aquisição e organização dos dados referentes ao Índice de Qualidade da Água (IQA) e ao Índice de Estado Trófico (IET) do Rio Baquirivu-Guaçu no ponto de monitoramento BQGU03150, posicionado no próprio leito do rio, próximo à divisa dos municípios de Arujá e Guarulhos, relativos aos anos de 1983 a 2012, disponíveis nos relatórios anuais da CETESB (1983-2012) sobre a qualidade das águas das bacias hidrográficas do Estado de São Paulo. Os dados coletados bimestralmente pela CETESB (1983-2012) e avaliados neste trabalho referem-se às variáveis coliformes termotolerantes, pH, DBO, fósforo total e nitrogênio total. O intervalo de tempo pesquisado foi subdividido em sete séries anuais, assim distribuídos: “1983-1986”, “1987-1989”, “1990-1994”, “1995-1999”, “2000-2005”, “2006-2010”, “2011-2012”, todos com medidas bimestrais, tendo por base os meses ímpares.

Os dados brutos foram compilados em uma tabela para a realização de comparações estatísticas (Teste de Kruskal-Wallis) e para execução de uma Análise de Componentes Principais (PCA), esta última no sentido de visualizar a distribuição das coletas em função das principais variáveis consideradas em conjunto. Para a PCA, eliminou-se os registros (meses de coleta) que não continham os valores de todas as variáveis e, em seguida, procedeu-se à transformação dos dados aplicando-se a cada valor o cálculo de $\log(x)+1$, em função das diferentes grandezas de medida das variáveis e da distribuição dos dados não ajustada à curva normal (LEGENDRE; LEGENDRE, 2004). Todos os cálculos estatísticos foram realizados no software PAST (HAMMER et al., 2001).

A segunda etapa consistiu na quantificação de cada classe de uso do solo, executada no Laboratório de Geoprocessamento da UnG. O banco de dados espaciais foi composto pelas bases cartográficas digitais, imagens de satélite, planos de informação temáticos e cadastrais (dados de GPS), sistematizados em ambiente SIG. Para a fase inicial, seguiram-se os seguintes procedimentos:

- montagem do banco de dados espaciais utilizando-se o aplicativo ArcGIS, sobre o *datum* SAD 69, na projeção UTM (fuso 23 sul);
- lançamento do ponto de amostragem da CETESB no banco de dados através da criação de um arquivo vetorial a partir das coordenadas planas.

A delimitação da área contribuinte da drenagem da bacia a montante do ponto de amostragem da CETESB foi efetuada através da demarcação das linhas de cumeeiras com base na interpretação das curvas de nível da base cartográfica da Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano (EMPLASA) na escala 1:10.000, de acordo com os procedimentos descritos por Guerra e Cunha (1996). A delimitação da bacia foi executada por intermédio da criação de um arquivo vetorial digitalizado sobre a base. Tendo em vista a necessidade de caracterização dos parâmetros morfométricos da bacia, foram digitalizados os cursos d'água observados na base cartográfica da EMLASA (1:10.000), através da criação de um arquivo vetorial sobre essa base.

A caracterização dos parâmetros morfométricos da bacia contribuinte foi efetuada com base em:

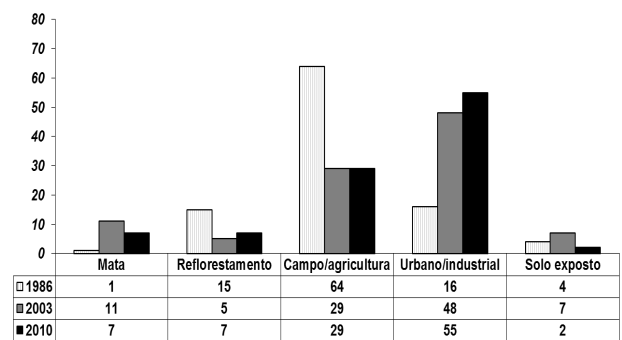
- medição da área da bacia e do seu perímetro, bem como a extensão dos canais, efetuadas diretamente através de uma rotina (*XTools*) no banco de dados gerenciado pelo aplicativo ArcGIS;
- avaliação da forma da bacia com base no processo proposto por Miller (1953, apud Christofolletti, 1980) definido como índice de circularidade, que é a relação existente entre a área da bacia e a área do círculo de mesmo perímetro.
- avaliação da declividade geral da bacia pela construção de um modelo digital de elevação utilizando-se para isso a base cartográfica digital GISAT e os módulos *3-D Analyst* e *Spatial Analyst* do ArcGIS, em escala compatível com 1:50.000. O modelo digital de elevação foi construído com *pixel* padrão de 20 m e o cálculo corresponde à média ponderada dos valores desses *pixels*;
- avaliação da declividade média do canal principal através da verificação da diferença de amplitude e distância da nascente até o ponto mais a jusante. Os valores altimétricos foram verificados diretamente sobre a base cartográfica da EMLASA (1:10.000).

A avaliação do uso do solo em diferentes épocas foi feita da seguinte forma:

- ano de 1986: processamento digital de uma cena do satélite LANDSAT através das bandas multiespectrais, utilizando-se o aplicativo SPRING. Foi efetuada a classificação automática supervisionada para mapeamento do uso do solo, de acordo com Crósta (1992) e Fonseca et al. (2000). Após o mapeamento, os arquivos matriciais foram convertidos em arquivos vetoriais e incorporados diretamente no banco de dados. Essa informação possui uma escala compatível com 1:50.000;
- ano de 2003: compilação do plano de informação de uso do solo (arquivo vetorial da EMLASA), que tem como base a interpretação visual de imagens IKONOS, referentes aos anos de 2002 e 2003. Esse mapeamento foi incorporado diretamente no banco de dados espaciais pela compatibilidade dos formatos em uso. Essa

informação possui uma escala compatível com 1:25.000;

- ano de 2010: interpretação visual de uma cena do satélite ALOS, diretamente na área de trabalho do ArcGIS. Foi efetuado o reconhecimento dos alvos, a classificação e o mapeamento do uso do solo, esse último através da criação de um plano de informação vetorial e digitalização direta sobre a imagem. A contemporaneidade dessa fonte de dados exigiu a execução da verificação de campo. Essa informação possui uma escala compatível com 1:25.000.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao longo do período de 1986 a 2010, percebe-se que a principal modificação no uso do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu (BHRBG), com ênfase ao município de Arujá, diz respeito à substituição das classes campo e agricultura, ainda preponderantes em 1986, pelas classes urbano e industrial (Figura 2).

Isto pode ser observado mais detalhadamente nas Figuras 3 a 5, onde são apresentados os mapas construídos a partir do uso do solo nos anos de 1986, 2003 e 2010 respectivamente. Em 2010 predomina o uso urbano/industrial, computando 55% das atividades reconhecidas no município.

Figura 2 - Histograma das classes de uso do solo na bhrbg em arujá nos anos de 1986, 2003 e 2010

Na década de 80, predominava campo/agricultura (64%), em detrimento das demais classes; ao final da década de 90, início dos anos 2000, verifica-se o crescimento da classe urbano/industrial, que persiste até os dias de hoje. Conforme será discutido a seguir, observa-se uma relação íntima entre a mudança do perfil das classes de uso do solo e os índices de qualidade das águas (Figura 6).

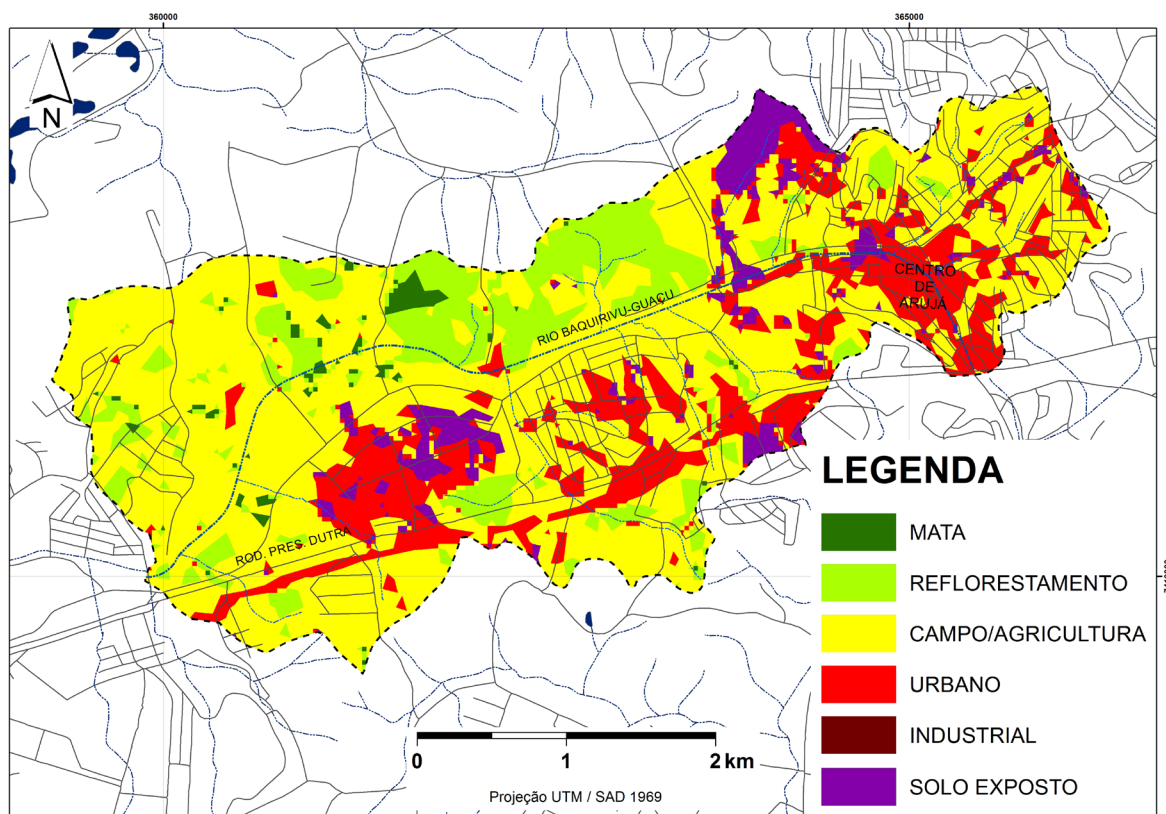


Figura 3 - Mapa de uso do solo no ano de 1986

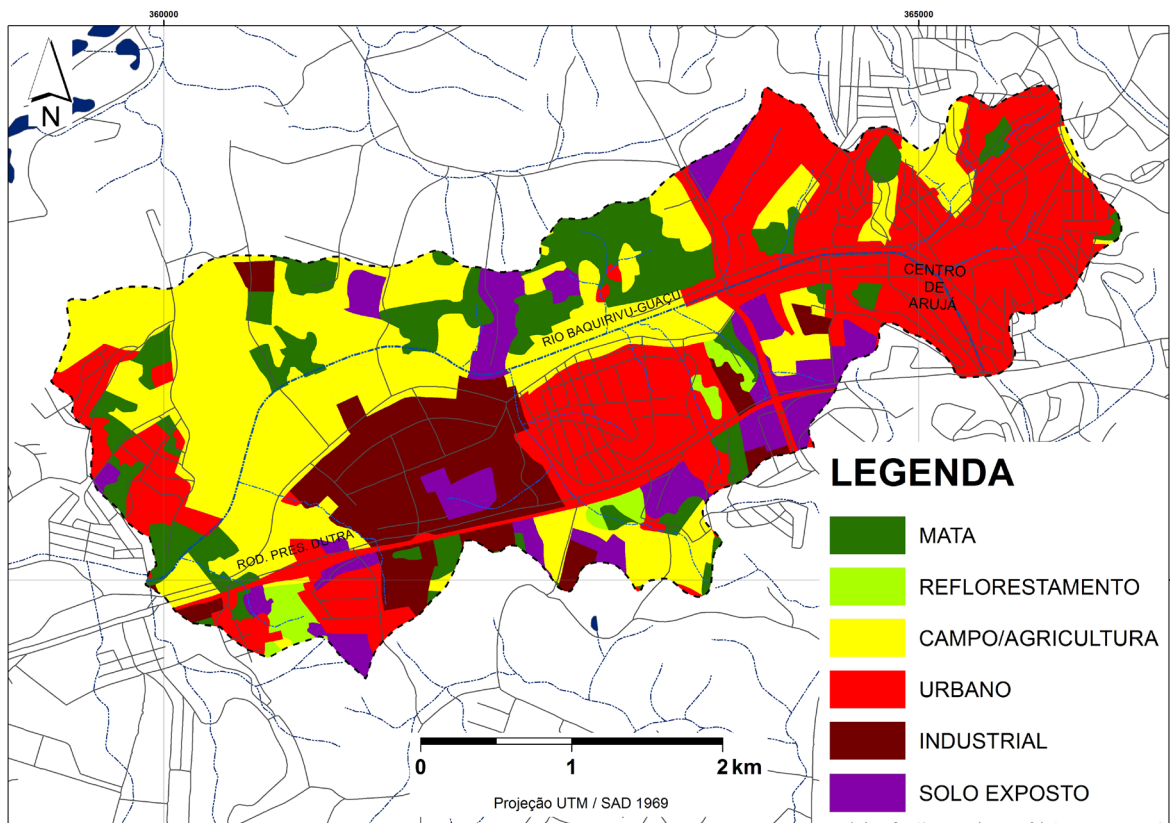


Figura 4 - Mapa de uso do solo no ano de 2003

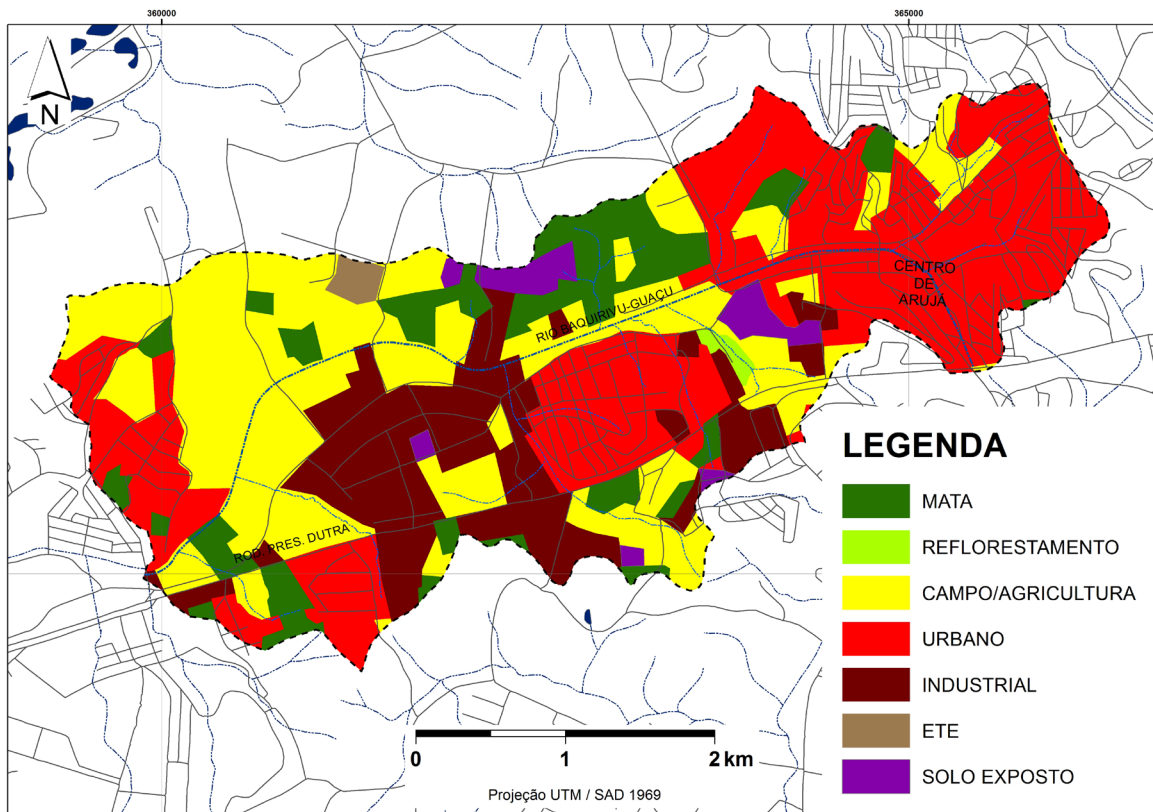


Figura 5 - Mapa de uso do solo no ano de 2010

Associado a este cenário de mudança de perfil da classe de uso e ocupação do solo acrescenta-se a implantação da ETE Arujá no segundo semestre de 2004. Segundo dados da SABESP, antes da implantação da ETE, o município de Arujá coletava 15% do esgoto e não tratava nada. No ano de 2006, após a consolidação da ETE e aumento da rede coletora, este valor subiu para 57% de coleta e 57% de tratamento. Segundo dados de 2012, o município de Arujá coletou 51% e tratou 97% do esgoto coletado, sendo que a diminuição da porcentagem de coleta justifica-se em função do aumento populacional para a mesma rede coletora. Cabe destacar que a ETE recebe esgoto de outra parte do município que ariáveis para figura tornar-se autoexplicativa. não está inserido na BHRBG, e seu emissário encontra-se dentro da própria bacia.

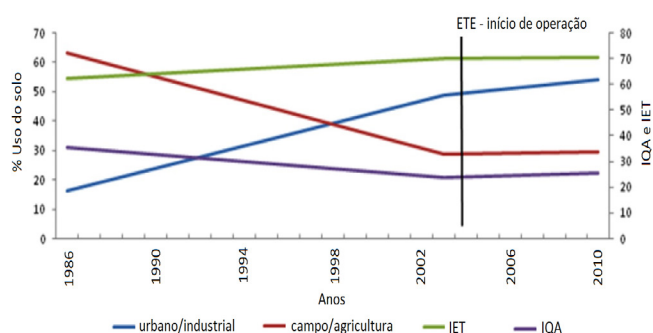


Figura 6 - Relação entre as classes de uso do solo e os índices de qualidade das águas

Com efeito, de um modo geral, a qualidade da água (IQA) do Rio Baquirivu-Guaçu manteve-se no patamar de média entre 35 e 39 (classificação “Regular”) até a década de 1990, iniciando uma queda progressiva que culminou entre os anos 2000 e 2005 (média igual a 27) e manutenção do cenário na série seguinte (média 29), passando então para a classificação “Ruim”. Na última série, de 2011-2012, a média ascendeu a 37, retomando a classificação “Regular”, porém ainda sem atingir o patamar do início da década de 1990 (Figura 7).

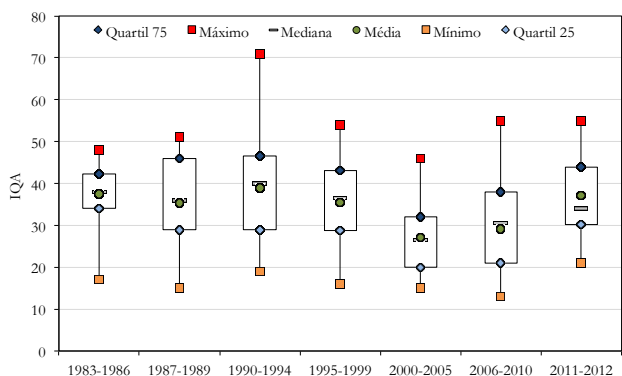


Figura 7 - Boxplot do IQA para as séries anuais

A retomada do patamar “Regular” de qualidade é o efeito da melhora na concentração de coliformes termotolerantes na última série anual (Figura 8), já que esta variável é a de maior peso no cálculo do IQA. Para reforçar essa interpretação, obser-

vou-se que no teste de Kruskal-Wallis as médias de coliformes termotolerantes (CT) das séries de 2000-2005 e 2006-2010 não diferem significativamente entre si, mas diferem significativamente das médias de todas as outras séries ($p < 0,05$), principalmente entre a série 2006-2010 e 2011-2012 ($p = 0,0012$).

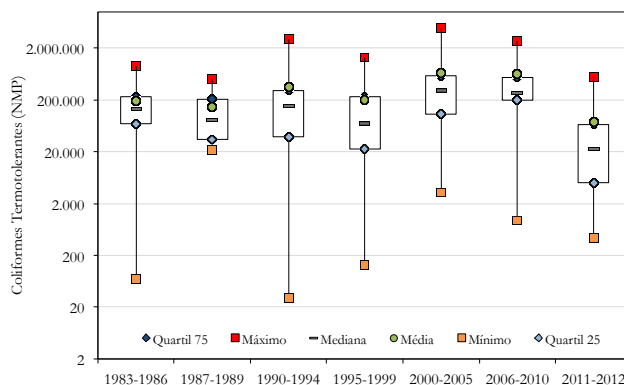


Figura 8 - Concentração de coliformes termotolerantes (NMP - número mais provável) ao longo das séries anuais. Eixo y em escala logarítmica

No mesmo sentido que o IQA, o IET alterou-se ao longo do tempo indicando intensificação da eutrofização entre os anos 1995-1999 e 2006-2010, com uma leve melhora na última série anual 2011 e 2012 (Figura 9). Apesar disso, o IET manteve-se no patamar “Hipereutrótico”(IET>67) desde 2000. Essa tendência é efeito do incremento ao longo do tempo da concentração de fósforo total (PT) (Figura 10), que é o elemento diretamente envolvido no processo de eutrofização do corpo aquático. Numa estação de tratamento de esgoto com processo do tipo lagoa aerada mistura completa e lagoa de sedimentação como na ETE Arujá, estima-se um valor inferior de 30% na remoção média de nitrogênio amoniacal e 35% para o fósforo (SPERLING, 2005).

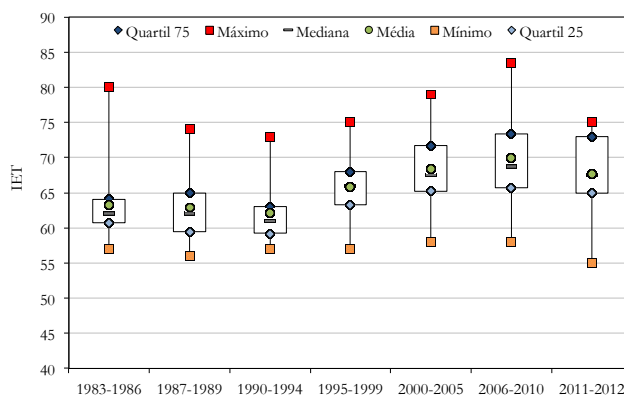


Figura 9 - Boxplot do IET para as séries anuais

Ainda em relação à concentração do fósforo, percebe-se que o sistema em questão de fato não é eficiente na remoção deste elemento, uma vez que avaliando-se as estatísticas com dados de 8 anos antes (1996 a 2003 – Pré-ETE) e 8 anos após (2005-2012 – Pós-ETE) o início de operação da ETE (Figura 11), não há diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as médias gerais dos cenários Pré-ETE e Pós-ETE, nem do efeito da sa-

zonalidade quando comparadas as médias gerais dos meses sob efeito de clima chuvoso (janeiro, março e novembro) e meses sob efeito de clima seco (maio, julho e setembro).

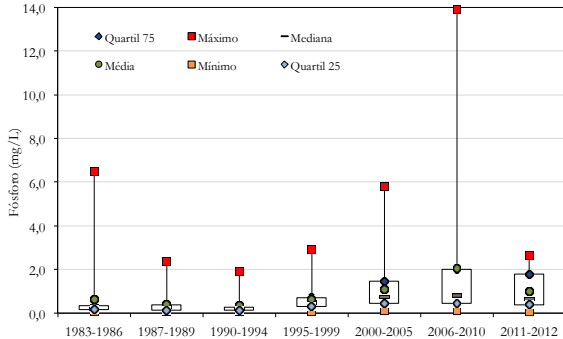


Figura 10 - Boxplot da concentração de fósforo total (PT) ao longo das séries anuais

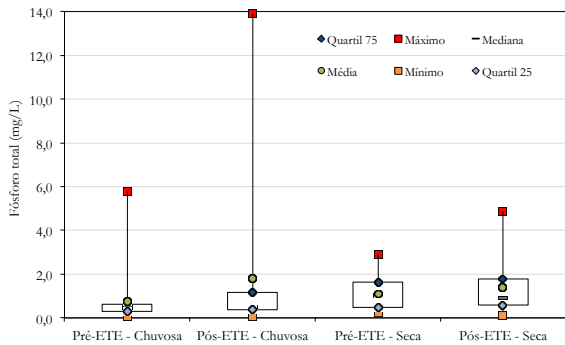


Figura 11 - Boxplot da concentração de fósforo total (PT) nos anos Pré-ETE (1996-2003) e Pós-ETE (2005-2012), organizados com o agrupamento de dados dos meses chuvosos (janeiro, março e novembro) e secos (maio, junho e setembro)

Dentre as principais variáveis que compõem o IQA, destaca-se ainda o comportamento da concentração da DBO (Figura 12) e de nitrogênio total (NT) (Figura 13), que permanecem com médias das séries anuais desde a segunda metade da década de 1990 superiores aos limites legais estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005, que é de 10 mg/L para a DBO e 13,3 mg/L para nitrogênio total (NT) em ambientes com $\text{pH} \leq 7,5$ (o pH médio da série completa de dados é 6,85).

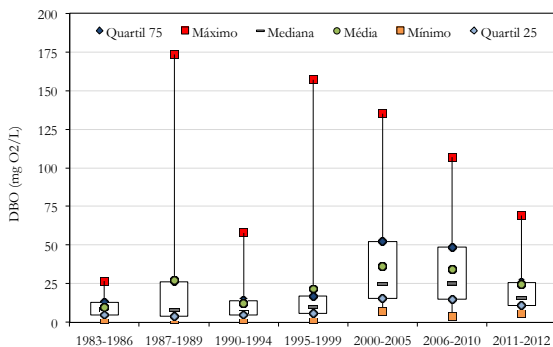


Figura 12 - Boxplot da concentração da DBO ao longo das séries anuais

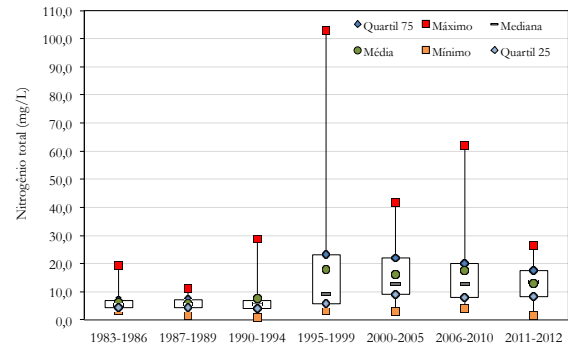


Figura 13 - Boxplot da concentração de nitrogênio total (NT) ao longo das séries anuais

A Tabela 1 ilustra os casos de não conformidade em diferentes períodos relativos aos parâmetros CT, DBO, NT e PT para as águas do rio Baquirivu-Guaçu na área de estudo.

Tabela 1 - Porcentagem de casos de não conformidade das variáveis em relação aos limites da Resolução CONAMA 357/2005

P*	Variável (limite máximo CONAMA 357/05)			
	CT (400 NMP)	DBO (10 mg/L)	PT (0,15 mg/L)	NT (13,3 mg/L)
I	96	42	83	4
II	100	47	72	0
III	97	37	63	13
IV	93	48	97	40
V	97	92	97	44
VI	97	87	97	45
VIII	75	75	92	58

*Períodos: I: 1983-1986; II: 1987-1989; III: 1990-1994; IV: 1995-1999; V: 2000-2005; VI: 2006-2010 e VII: 2011-2012

É possível observar que coliformes termotolerantes (CT) foi a variável que apresentou o maior número de casos de não-conformidade, embora a última série anual indique a menor proporção de casos em todos os anos analisados. Esse fato sinaliza que a ETE tem provocado algum efeito positivo, provavelmente associado a outros tipos de iniciativa, tais como a ampliação e melhoria na rede de esgoto na bacia a montante, como o programa da SABESP, “Se liga na rede” (SABESP, 2013). A segunda variável com o maior número de casos de não-conformidade é a concentração de fósforo total (PT), cujo patamar mantém-se praticamente o mesmo nos últimos 17 anos. Essa permanência reforça a análise baseada nas médias das séries e indica a necessidade de adoção de técnicas na ETE para remoção do fósforo da água e consequente melhora do estado trófico do Rio Baquirivu-Guaçu. Comportamento similar verifica-se no caso do nitrogênio total (NT) com estabilização ao longo do mesmo período (Figura 13). A DBO apresenta um comportamento preocupante considerando seu comportamento histórico, já que o número de casos de não-conformidade prati-

camente dobrou entre as últimas décadas, devido ao crescimento da ocupação urbano/industrial nos últimos anos.

Conforme destacado anteriormente, na ETE Arujá estima-se um valor inferior de 30% na remoção média de nitrogênio amoniacal (SPERLING, 2005). Em análise realizada no efluente da ETE pela SABESP em 2011, foi constatada uma remoção média de 30% do nitrogênio amoniacal; mesmo assim, os valores analíticos de 14,5 mg/L e 36,5 mg/L para o nitrogênio amoniacal estão acima do limite estabelecido pelo CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005), reforçando a necessidade de adequação da ETE para a remoção do nitrogênio.

Na realidade, em função da mudança gradativa do perfil do uso do solo entre os anos de 1986 a 2003, no qual na classe campo/agricultura dá lugar à classe urbano/industrial, os valores de NT e PT deveriam sempre manter-se num patamar crescente, tal como se verificou na década de 90 (Figuras 10 e 13). A entrada em operação efetiva da ETE no ano de 2005 possibilitou a estabilização dos valores nos patamares atingidos a partir de 2006 até os dias atuais.

A partir da PCA é possível verificar que houve uma variação do comportamento das variáveis desde 1983 a 2012, com progressiva piora dos indicadores ao longo do tempo (Figura 14). De modo geral, há essencialmente três grandes cenários em termos das condições de qualidade da água: o primeiro, de 1983 a 1999, em que os valores das variáveis estão em níveis indicadores de melhores condições, e o segundo, de 2000 a 2010, em que houve sensível piora na qualidade da água, e o terceiro, de 2011 e 2012, com leve melhora.

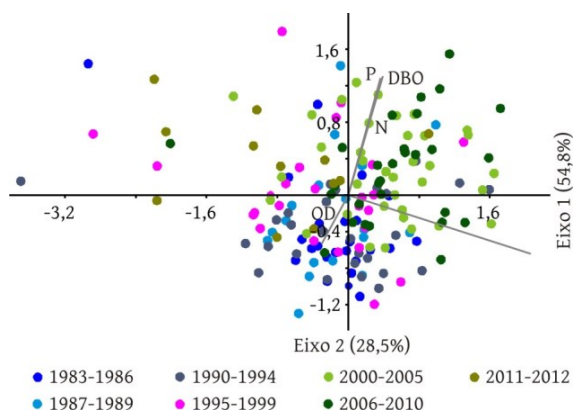


Figura 14 - Análise de Componentes Principais para as séries anuais de dados de qualidade da água

Como referido anteriormente, a causa desta situação deve estar, sobretudo, associada à intensa expansão urbana na bacia hidrográfica do rio ao longo dos anos, sem o devido planejamento em termos de saneamento básico. Como tais variáveis são indicadoras principalmente de poluição por esgoto doméstico, nota-se que as condições da qualidade da água degradaram-se significativamente com o progressivo aumento da carga de efluentes sem tratamento prévio. Embora em 2004 tenha sido concluída uma estação de tratamento de esgoto (ETE),

observa-se que o seu efeito, por enquanto, foi apenas o de desacelerar o ritmo de degradação da água, pois não há diferença significativa na distribuição dos dados na PCA entre as séries de 1998 a 2005 e de 2006 a 2010. Portanto, percebe-se que por enquanto parte da ação de recuperação da bacia concentrou-se apenas no tratamento do efeito da degradação da qualidade da água, e sua real causa, ou seja, a ocupação sem planejamento e descarte de esgoto direto no Rio Baquirivu-Guaçu, parece ainda não ter sido suficientemente sanada. Tendo isso em vista, é bastante provável que se o descarte de esgoto doméstico continuar no mesmo nível e nenhuma outra intervenção importante for empregada, o benefício máximo proporcionado pela ETE em operação será a manutenção do cenário de degradação sem piora nem melhora da qualidade da água.

Estudos realizados anteriormente em diferentes regiões do Brasil com o objetivo de avaliar a eficiência de ETE, bem como seu efeito na qualidade das águas de corpos receptores, têm mostrado que apesar da eficiência da ETE, os parâmetros físico-químicos e/ou microbiológicos analisados nos corpos receptores encontram-se acima dos limites estabelecidos em legislação, conforme descrito a seguir.

Fontes e Araújo (2008) avaliaram a eficiência da ETE de Ilhéus (BA) com relação à remoção de coliformes totais e fecais e constataram que apesar de a ETE ter alcançado o índice de eficiência na remoção de coliformes, ela ainda lançava no seu corpo receptor, o estuário do rio Cachoeira, um alto percentual desses elementos, em desacordo com a legislação.

Bastos (2012) descreve o efeito de ETE compacta do tipo lodo ativado na qualidade da água do corpo receptor, o Ribeirão Capivari, localizado em Ingleses, região norte de Florianópolis (SC). As ETE compactas apresentaram capacidades de lançamento de efluentes dentro das conformidades estabelecidas pela legislação, no entanto, isto nem sempre foi observado para os parâmetros nitrogênio e fósforo. No caso da área de estudo, uma área de recreação, pôde-se constatar uma deterioração da qualidade da água no período de temporada, além do efeito da chuva que demonstrou deterioração da qualidade do corpo receptor.

Matsumoto e Racanicchi (2002) estudaram a influência da implantação de ETE na qualidade da água do Córrego da Mula que faz parte da Bacia Hidrográfica do rio São José do Dourados, em Santa Fé do Sul-SP. A DBO foi reduzida drasticamente após a implantação de rede coletora na região, passando de 180mg/L para valores abaixo de 20mg/L. Segundo os autores, ligações clandestinas de esgoto sanitário em rede de águas pluviais no trecho canalizado impedia uma melhora ainda mais significativa ao corpo receptor.

Junior e Carvalho (2010) avaliaram a qualidade da água na Microbacia Hidrográfica dos Córregos Gavanhery e Lambari, no Município de Getulina (SP). Os autores também constataram que apesar da ETE atender aos padrões de lançamento de efluentes domésticos, existia a montante a presença de lançamento de esgoto clandestino, levando a valores de IQA de classificação ruim para as águas do corpo receptor. Além disso, a presença de atividade rural, antes e após a ETE também auxiliava na piora da qualidade da água analisada no exutório da bacia.

Através destes estudos e do presente trabalho, enfati-

za-se que, ao se analisar as classes de uso do solo identificadas e associá-las às fontes geradoras, conclui-se que as atividades industriais, as áreas de agricultura e a expansão da mancha urbana, associadas ao saneamento básico deficitário, são os principais fatores causadores dessa degradação. Apesar da canalização do rio Baquirivu-Guaçu em Arujá, finalizada em 1998, desde sua nascente até a divisa com o município de Guarulhos, deve-se também considerar a poluição difusa gerada pela ocupação urbana e agricultura. No caso das áreas de campo/agricultura, atualmente com 29% da área da bacia em Arujá, associado à expansão da ocupação urbano/industrial (55%), contribui de maneira significativa para o aporte de nitrogênio e fósforo como fontes de poluição difusa (BRAGA et al., 2002).

CONCLUSÃO

Os métodos e as técnicas empregados mostraram-se eficazes para a interpretação dos resultados obtidos, notadamente quando analisados de forma integrada, por meio de estudos estatísticos (PCA). O Índice de Qualidade de Água – IQA e o Índice de Estado Trófico – IET, utilizados pela CETESB (1983-2012) no monitoramento da qualidade das águas, refletiram os estágios de evolução da degradação ambiental em que a área de estudo se encontra atualmente. Particularmente destaca-se que os resultados reportados nos relatórios anuais da CETESB (1983-2012) necessitam de uma análise cuidadosa, integrada e abrangente do ponto de vista temporal para auxiliar na compreensão da dinâmica de degradação dos recursos hídricos e para melhor orientar as políticas de recuperação da bacia hidrográfica.

Dentre os parâmetros analisados e que se mostraram acima dos valores máximos permitidos ao longo do período abrangido, os seus altos índices estão relacionados às modificações do uso do solo, haja vista que, gradativamente, a classe campo/agricultura cedeu espaço para a classe urbano/industrial. Ao mesmo tempo, a infraestrutura sanitária não contemplou, na mesma velocidade, a coleta e o tratamento dos esgotos domésticos e dos despejos líquidos industriais.

A estação de tratamento de esgoto (ETE- Arujá), localizada na área de estudo, começou a operar somente no segundo semestre de 2004. Os resultados obtidos evidenciam que o processo contínuo de eutrofização verificado ao longo do período compreendido entre os anos de 1998 e 2005, teve uma desaceleração no ritmo de degradação da água a partir de 2006 e manteve-se nesse patamar pelo menos até 2012. A Sabesp vem realizando o programa “Se Liga na Rede” (SABESP, 2013) com obras de ligação de esgoto doméstico de bairros de Arujá junto à rede coletora, e que será tratado na ETE-Arujá, cuja capacidade máxima é de 150 L/s. Cabe destacar que uma análise futura da qualidade das águas do rio Baquirivu-Guaçu será importante para avaliar a eficiência deste programa.

REFERÊNCIAS

ANA. Agência Nacional de Águas. *Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil*. 2012. Brasília: ANA, 2012.

BASTOS, M.A. *Avaliação da eficiência da ETE compacta e sua influência no Ribeirão Capivari em Ingleses, Florianópolis/SC*. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2012.

BEDANI, E.F. *Paisagem Natural Paleógena da Bacia Sedimentar de São Paulo, no Município de Guarulhos, Estado de São Paulo*. 2008. 101f. Dissertação (Mestrado em Análise Geoambiental), Universidade Guarulhos, Guarulhos, 2008.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J.G.L.; BARROS, M.T.L.; VERAS, M.S.; PORTO, M.F.A.; NUCCI, N.L.R. JULIANO, N.M.A.; EIGER, S. *Introdução à Engenharia ambiental*. São Paulo: Prentice Hall, 2002. 305p.

CAMPOS, D.C. *Inundações: problemas ou fenômenos naturais? A ocupação das várzeas dos principais rios no Alto Tietê e a reprodução deste modelo urbano na Bacia do Rio Baquirivu-Guaçu, Guarulhos, SP*. 2011. 224f. Dissertação (Mestrado em Análise Geoambiental) - Universidade Guarulhos, Guarulhos: 2011.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. *Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo, SP*. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 1983 a 2012.

CONFALONIERI, U.; HELLER, L.; AZEVEDO, S. Água e Saúde: aspectos globais e nacionais. In: BICUDO, C.E.M.; TUNDISI, J.G.; SCHEUENSTUHL, M.C.B. (Orgs.) *Águas do Brasil: análises estratégicas*. São Paulo: Instituto de Botânica, 2010. p. 27-42.

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*, 2.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 188p.

CRÓSTA, A.P. *Processamento digital de sensoriamento remoto*. 3.ed. Campinas: IG-UNICAMP, 1992. 170p.

FONSECA, L.M.G.; LOPES, E.S.S.; YANAGUCHI, F.Y.; VINHAS, L. *Processamento Digital de Imagens*. São José dos Campos: INPE, 2000 [s.n.].

FONTES, I. B. M.; ARAÚJO, Q. R. *Geografia*. Universidade Estadual de Londrina, Departamento de Geociências, v. 17, n. 1, p.127-136, 2008.

GUERRA, A.J.T; CUNHA, S.B. *Geomorfologia e Meio Ambiente*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 394p.

HAMMER, Ø.; HARPER, D.A.T.; RYAN, P. D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, v.4, n.1, p.1-9, 2001.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008*. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão: Rio de Janeiro, 2010.

JUNIOR, F.R.; CARVALHO, S.L. Avaliação da qualidade das

águas na microbacia hidrográfica dos Córregos Gavanhery e Lambari no município de Getulina, SP. *HOLOS Environment*, v.10, n.2, p.180-194, 2010.

LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. *Numerical Ecology*. 2.ed. Elsevier. 2004, 853p.

MATSUMOTO, T.; RACANICCHI, R.M.Z.V. *Influência da implantação de estação de tratamento de esgoto na qualidade de um corpo receptor em área urbana*. In: SIMPÓSIO ÍTALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, VI., 2002, Vitória: SIBESA, 2002.

SABESP. *Governo de São Paulo inicia novas obras em 6 cidades para despoluir o Tietê*. <<http://site.sabesp.com.br/site/imprensa/Releases-detallhes.aspx?secaoId=193&id=5393>> Acesso em 10 jun. 2014.

SPERLING, M. von. *Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos: princípios do tratamento biológico de águas residuárias*. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2005.

TUCCI, C.E.M. Urbanização e Recursos Hídricos BICUDO, C.E.M.; TUNDISI, J.G.; SCHEUENSTUHL, M.C.B. (Orgs.) *Águas do Brasil: análises estratégicas*. São Paulo: Instituto de Botânica, 2010. p. 113-132.

TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. Ciência, Tecnologia, Inovação e Recursos Hídricos: oportunidades para o futuro. In: BICUDO, C.E.M.; TUNDISI, J.G.; SCHEUENSTUHL, M.C.B. (Orgs.) *Águas do Brasil: análises estratégicas*. São Paulo: Instituto de Botânica, 2010. p 179-200.

TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. *Limnologia*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 632p.