

REFLEXOS DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO EMBU-GUAÇU, REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

Fabrcio Bau DALMAS¹; Reinaldo Romero VARGAS¹; Antonio Roberto SAAD¹; Mrcio Roberto Magalhães de ANDRADE¹; Joã Alexandre de ANDRADE¹; Regina de Oliveira Moraes ARRUDA¹

(1) Programa de Pós-Graduação em Análise Geoambiental. Universidade Guarulhos / UnG. Praça Tereza Cristina, 229 – Centro. CEP 07023-070. Guarulhos, SP. Endereços eletrônicos: , fdalmas@prof.ung.br; rvargas@prof.ung.br; asaad@prof.ung.br; mmandrade@prof.ung.br; tjar@ig.com.br; rarruda@prof.ung.br

Sumário

Introdução

Características geoambientais da Bacia Hidrográfica do Rio Embu-Guaçu (BHREG)
Legislação incidente na BHREG

Metodologia

Aquisição e organização dos dados

Resultados e Discussão

Considerações Finais

Referências Bibliográficas

RESUMO - Estudos realizados possibilitaram analisar a qualidade das águas da Bacia Hidrográfica do Rio Embu-Guaçu (BHREG), contribuinte do Reservatório Guarapiranga, frente aos seus atributos geoambientais, principalmente o de uso e ocupação do solo. Para tanto, contou-se com pontos de monitoramento da CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo: EMGU00800 (2000 a 2013), EMGU00700 (2006 a 2008) e CIPO00900 (2009 a 2013). Os estudos foram realizados em relação aos Índices de Qualidade de Água – IQA e do Estado Trófico – IET, bem como seus respectivos parâmetros. Com relação ao ponto EMGU00800, o IQA oscilou em média de 57 a 69, o que implica em uma classificação Boa para as águas do Rio Embu-Guaçu na região exutória da bacia. O IET, por sua vez, com análise para o mesmo período, apresentou valores anuais médios de 59 (2002) a 47 (2013), isto é, de condição mesotrófica para ultraoligotrófica. Já para o ponto CIPO00900, localizado no Rio Cipó, afluente do Rio Embu-Guaçu, devido à ocupação urbana, apresentou piora nos seus índices. O IQA apresentou qualidade Regular para o período de 2009 a 2013 em 84% dos valores, com variação média entre 30 e 52. Dos parâmetros que compõem o IQA, coliformes termotolerantes, oxigênio dissolvido, DBO e fósforo total apresentaram valores médios fora do estabelecido pela legislação CONAMA 357/05, o que confirma a falta de saneamento básico na região. O IET para o ponto CIPO00900, também atesta esta situação, com níveis de trofia predominantes mesotróficos (35%) e eutróficos (30%). O ferro dissolvido, presente nas águas da região da bacia apresentou valores acima do estabelecido em legislação, devido a presença deste elemento nas rochas (biotita). No entanto, no ponto CIPO00900 devido ao baixo teor de oxigênio dissolvido de suas águas, fato este que favorece a solubilização dos íons Fe^{2+} , foi observada uma maior concentração de ferro dissolvido. Ressalta-se que nessa bacia hidrográfica as classes de uso e ocupação do solo predominante são as matas, os campos/capoeiras e o reflorestamento, caracterizando a área de estudo como rural, este cenário auxilia na qualidade da água no ponto EMGU00800, próximo ao reservatório de Guarapiranga.

Palavras-chave: Região Metropolitana de São Paulo. Represa do Guarapiranga. Bacia Hidrográfica do Rio Embu-Guaçu. Qualidade de Águas.

ABSTRACT - F.B. Dalmas, R. R. Vargas, A.R. Saad, M. R. M. de Andrade, and J. A. de Andrade. Geo-environmental analysis applied to water quality of Embu-Guaçu River Hydrographic Basin – metropolitan region of São Paulo. Studies conducted to analyze the water quality of the Hydrographic Basin of Embu-Guaçu River, a contributor of the Guarapiranga Reservoir, their geo-environmental attributes, especially land use. According to the involved points that Cetesb (Environmental Company of São Paulo) monitoring are: EMGU00800 (2000 - 2012), EMGU00700 (2006 - 2008) and CIPO00900 (2009 - 2013). The studies were conducted in relation to the Water Quality Index - WQI and Trophic State Index- TSI, as well as their parameters. Regarding EMGU00800, in accordance with the values obtained between 2000 and 2013, the WQI ranged on average 57 to 69, which implies a Good rating for the waters of the Embu-Guaçu River in this point. The TSI with analysis between 2002 to 2012, showed average annual values of 59 (2002) to 47 (2013), that means mesotrophic to ultraoligotrophic condition. The CIPO00900 on the Cipó river, an affluent of the Embu-Guaçu river, due to urban occupation, showed worsening in their indexes. The WQI showed Regular quality presented for the period 2009-2013 in 86% of values, with an average variation between 30 and 52. For WQI parameters, fecal coliforms, dissolved oxygen, BOD and total phosphorus showed mean values out of established by CONAMA 357/05, which confirms the lack of sanitation in the region. The TSI for CIPO00900, also confirms the same problem, with mesotrophic (35%) and eutrophic (30%) levels prevalent. The dissolved iron, in the waters of the basin showed values above the established in legislation, due to the presence of this element in the rocks (biotite). However, in CIPO00900 due to low dissolved oxygen content, which favors the solubilization of Fe^{2+} ions, a higher concentration of dissolved iron was observed. It is emphasized that this hydrographic basin the classes of the predominant land use are the forests, fields/barns and reforestation, characterizing the study area as rural. This scenery improves the water quality at the EMGU00800, near the Guarapiranga reservoir.

Keywords: Metropolitan Region of São Paulo. Guarapiranga Reservoir. Hydrographic Basin of Embu-Guaçu River. Water Quality.

INTRODUÇÃO

O mundo está se tornando cada vez mais urbano e prevê-se que em 2050 a população mundial atinja a marca dos 9 bilhões; nesse cenário, estima-se que a maioria do crescimento ocorrerá nos grandes centros. Essas previsões, contidas nas obras de Tucci (2005, 2010), preocupam sobremaneira os ambientalistas, a ponto de Braga e Carvalho (2003) afirmarem que as cidades representam as construções humanas de maior impacto na superfície terrestre.

Braga e Carvalho (2003) chamam a atenção para o fato de que a forma desordenada como vem ocorrendo o crescimento urbano no Brasil, caracterizado principalmente pelo avanço significativo das metrópoles sobre o meio natural, tem ocasionado inúmeros impactos negativos para a qualidade ambiental do meio urbano no que se refere à utilização dos recursos hídricos. Essa preocupação tem fundamento nos meios técnico-acadêmicos, pois sob a ótica de que a água é um recurso finito e bastante impactado, traz em seu bojo a questão da habitabilidade nas grandes metrópoles.

O crescimento urbano no Brasil tem ocorrido principalmente nas regiões metropolitanas (RM) ou em cidades consideradas polos regionais (Rampanelli, 2010). As regiões metropolitanas possuem um núcleo principal, circundados por várias cidades vizinhas. Por vezes, esse modelo conduz à formação de megalópoles, como é o caso da Região Sudeste do Brasil, na qual se encontram contempladas as regiões metropolitanas de São Paulo e Rio de Janeiro, amplamente conurbadas (Andrade, 2014).

A questão da qualidade dos recursos hídricos em regiões metropolitanas é de fundamental

importância, especialmente nas periferias das grandes cidades, pois essas áreas crescem invariavelmente de forma acelerada. De acordo com Tundisi (2011), além de avançarem sobre os mananciais, trazem problemas permanentes para a disponibilidade de água potável de boa qualidade. Qualquer acidente no tratamento e transporte para os centros consumidores pode causar uma tragédia e a morte de parte da população assistida.

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) tem cerca de 8 mil quilômetros quadrados e abriga 12% da população do Brasil (Tundisi, 2011). Nas décadas passadas, em função da ausência de um modelo de planejamento urbano, os órgãos estaduais responsáveis pelo abastecimento público foram obrigados a buscar, em bacias hidrográficas vizinhas, os recursos hídricos necessários para atender aos 20 milhões de usuários.

A RMSP é abastecida por 8 sistemas de reservatórios produtores: Alto Cotia, Baixo Cotia, Alto Tietê, Cantareira, Billings / Guarapiranga, Ribeirão da Estiva, Rio Claro e Rio Grande. No total, contém 22 reservatórios de abastecimento de água, localizados dentro de áreas urbanas, onde se encontra a Reserva da Biosfera do Cinturão Verde da Cidade de São Paulo (RBCV/SP). Dessa forma, é de extrema importância o monitoramento da qualidade das águas destes reservatórios, tendo em vista o crescimento da mancha urbana sobre estas áreas de mananciais. Dentro deste contexto, esta pesquisa buscou avaliar a qualidade das águas do Rio Embu-Guaçu, um dos rios contribuintes da Reservatório Guarapiranga, frente ao uso e ocupação do solo (Figura 1), relacionando esta análise qualitativa da água com o uso e ocupação do solo da área de estudo.

CARACTERÍSTICAS GEOAMBIENTAIS DA ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Hidrográfica do Rio Embu-Guaçu (Figura 2) possui uma área de 141,45 km² e contempla os municípios de São Paulo, Embu-Guaçu e Juquitiba (Oliveira et al., 2012; Queiroz, 2013).

Do ponto de vista litológico, as unidades afluentes encontram-se representadas por

embasamento pré-cambriano composto de rochas metamórficas dos tipos sericita-xistos, gnaisses e xistos migmatizados, intensamente alterados; rochas magmáticas, na forma de granitoides; rochas sedimentares, clásticas, paleógenas além de depósitos aluvionares recentes (Oliveira et al., 2013).



Figura 1. Localização da área de estudo, Bacia Hidrográfica do Embu-Guaçu.

As classes das elevações topográficas mais significativas da área enquadram-se da seguinte maneira: menor que 740m, 740 – 760m, 760 – 780m, 780 – 800m. Tendo por base o mapa hipsométrico e os sistemas de relevo identificados por Ponçano et al. (1981), Oliveira et al. (2013) elaboraram o mapa geomorfológico, sendo que as formas de relevo encontradas são: morrotes, morrotes + colinas e planícies aluvionares.

Os morrotes encontram-se nas altitudes entre 780 a 840m e possuem amplitudes menores que 100m. Os topos são arredondados, vertentes com perfis convexos e retilíneos. Ocorrem nas porções nordeste e sudoeste da Bacia Hidrográfica do Rio Embu-Guaçu. Os morrotes e colinas predominam na maior parte da área. As altitudes em que se encontram presentes variam de 740 a 760m, com amplitudes menores que 50m. As planícies aluvionares, por sua vez, acompanham os principais cursos d'água, e encontra-se em altitudes menores que

740m. Representam terrenos baixos, sujeitos a inundações periódicas (Queiroz, 2014).

Predominam solos da Associação Latossolo Vermelho – Amarelo e Cambissolo Háplico (LVA + CX). Secundariamente, tem-se Cambissolo Háplico (CX mg), Associação Cambissolo Háplico, Neossolo Flúvico e Organossolo (GX + Ry + O) (Oliveira et al., 2013).

O clima é predominantemente úmido, com temperaturas médias entre 16° e 23°C, e índices pluviométricos entre 1.600 e 2.500 mm anuais. Normalmente, os teores de umidade relativa do ar são altos, porém com tendência mais baixa conforme se aproxima da mancha urbana. A direção dos ventos tem sentido SW-NE, que apresentam dificuldade de dissipar os constantes nevoeiros que se formam, principalmente na porção centro-sul da área, devido a maior proximidade com o oceano (45 km em média) (Queiroz, 2014).

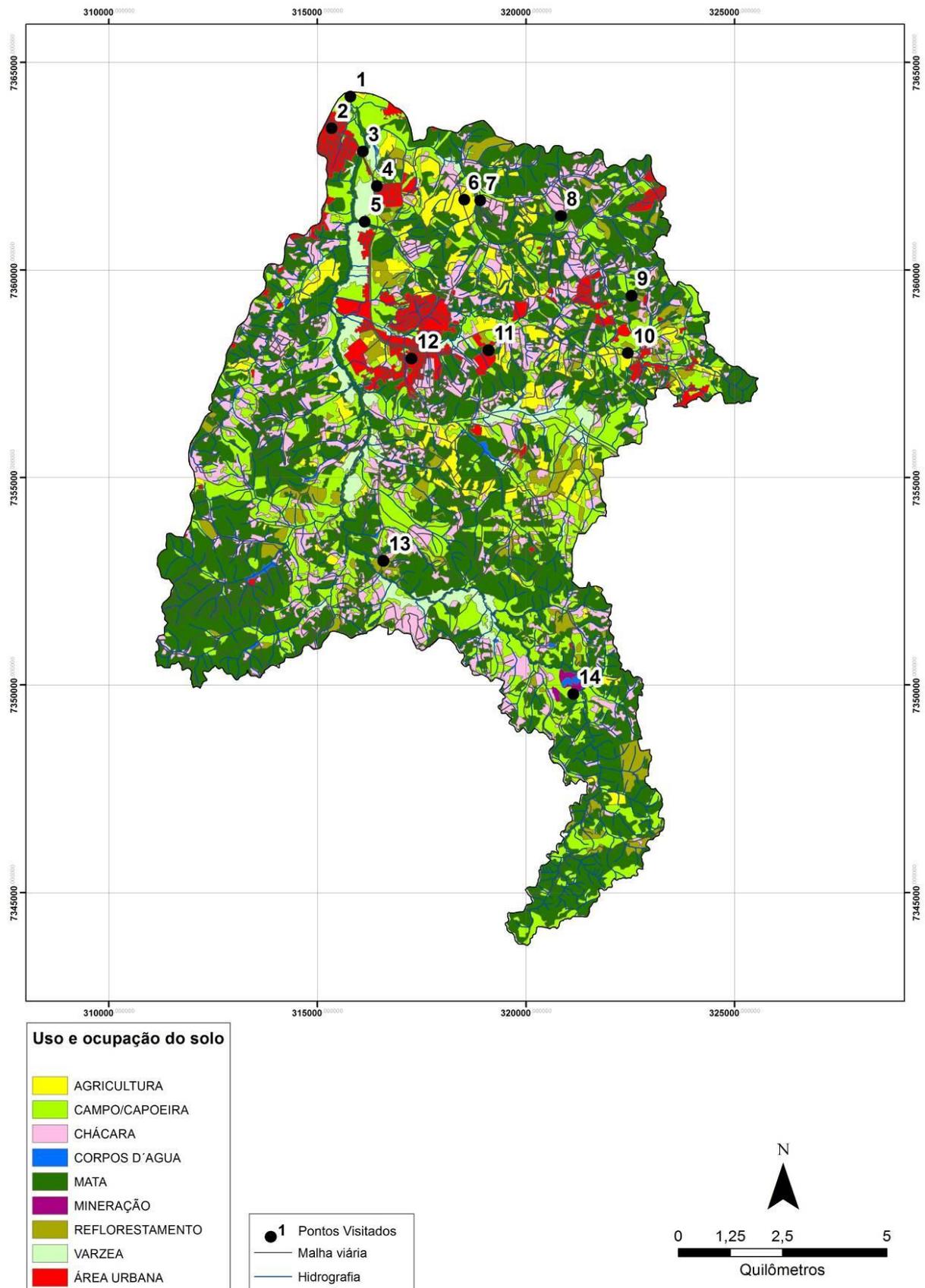


Figura 2. Mapa de uso e ocupação do solo da área de estudo (Andrade et al., 2013).

As Figuras 3 e 4 ilustram algumas das classes de uso e ocupação do solo identificadas.

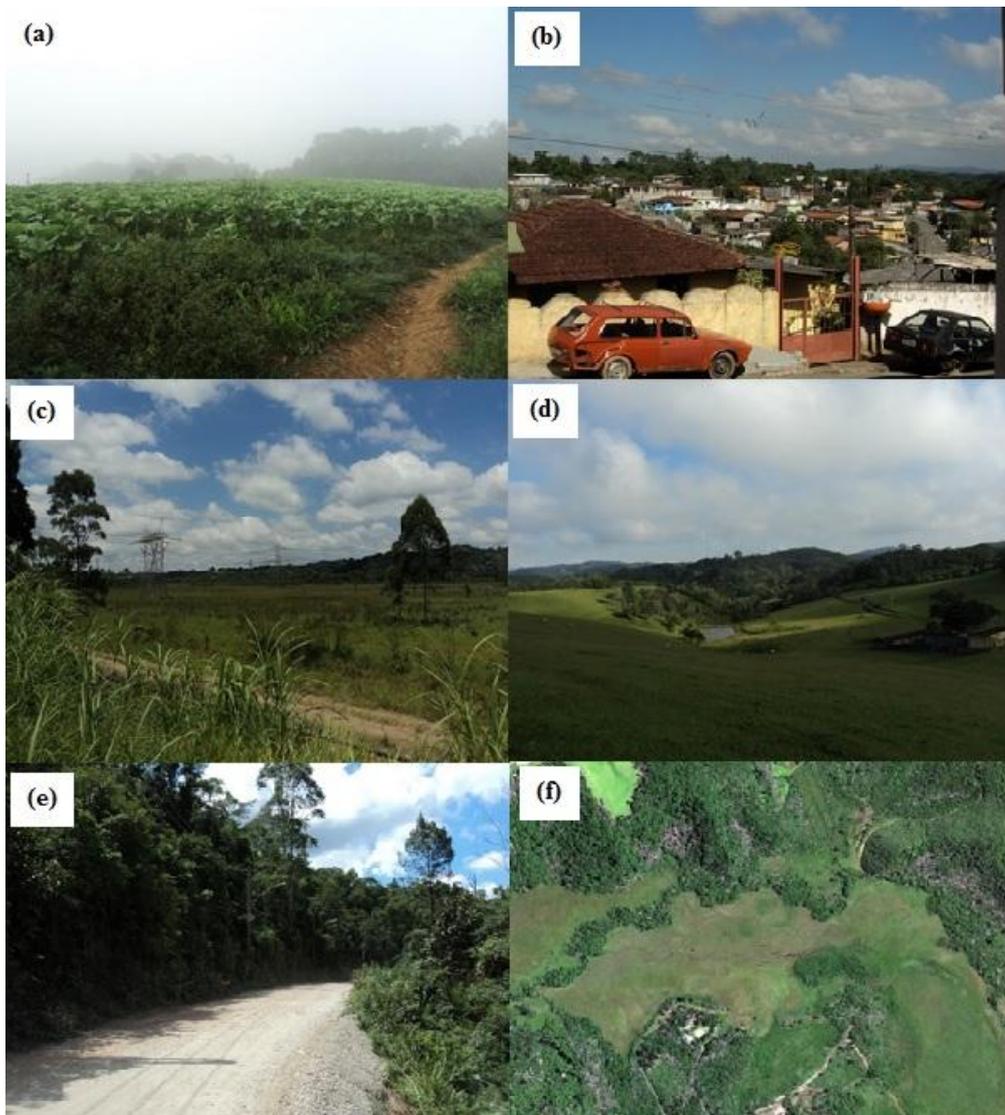


Figura 3. (a) atividade agrícola na área de estudo – ponto (6) da Figura 2; (b); área urbana consolidada (b) ponto 12 da Figura 2; (c) paisagem representativa da classe campo / capoeira – ponto 4 da Figura 2; (d) classe do tipo chácara ponto 9 da Figura 2; (e) ocorrência de mata ao sul da área de estudo –ponto 13 da Figura 2; (f) várzea do Rio Embu Guaçu ao sul da área de estudo ponto 15 da Figura 2.



Figura 4. Mineração de areia localizada na várzea do Rio Embu-Guaçu - Ponto 14 da Figura 2 (Estaiano, 2007).

LEGISLAÇÃO INCIDENTE NA BHREG

Na década de 1970 a população da RMSP aumentou vertiginosamente, preocupando o poder público estadual e municipal com o constante avanço da mancha urbana para as áreas de mananciais de abastecimento público. Neste contexto, em 1975 surgiu a primeira Lei Estadual para a proteção de mananciais, a Lei nº 898/1975 (São Paulo, 1975), ainda em vigor e que teve como objetivo disciplinar o uso e ocupação do solo para a proteção dos mananciais, cursos e reservatórios de água e demais recursos hídricos da RMSP. O artigo 2º dessa lei declara áreas de proteção em 18 mananciais, sendo o item V, a área de drenagem do reservatório Guarapiranga até a barragem no município de São Paulo. No ano seguinte, foi promulgada a Lei nº 1.172/1976 (São Paulo, 1976) que delimitou e mapeou os possíveis usos da terra e atividades permitidas na região. Nos anos subsequentes, devido a grande demanda por moradias na RMSP, algumas destas áreas começaram a ser habitadas clandestinamente e, em 1995, o poder público criou através do Decreto Estadual nº 40.255/1995, uma comissão especial para rever

as normas relativas à proteção de mananciais. O resultado foi a promulgação da Lei Estadual nº 9.866/1997 (São Paulo, 1997), que dispõe sobre as diretrizes e normas para a proteção e recuperação das bacias hidrográficas dos mananciais. Esta lei levou em consideração a grande demanda por habitação na RMSP e regulamentou a ocupação das áreas de mananciais, dispondo de diretrizes para regularização de residências em situação ilegal. Esta Lei Estadual definiu também que cada bacia deveria ter uma lei específica, e a primeira a ser elaborada foi para a Área de Proteção e Recuperação dos Mananciais da Bacia Hidrográfica do Guarapiranga (APRM-G) consubstanciada na Lei Estadual nº 12.233/2006 (São Paulo, 2006), e regulamentada pelo Decreto Estadual nº 51.686/2007. Este último decreto estabeleceu três tipos de áreas de intervenção e um zoneamento com diretrizes e parâmetros urbanísticos. Estas áreas de intervenção foram classificadas como: áreas de restrição à ocupação, áreas de ocupação dirigida e áreas de recuperação ambiental.

METODOLOGIA

Aquisição e organização dos dados

Com a finalidade de verificar os reflexos das ocupações urbanas nas águas da Bacia Hidrográfica do Rio Embu-Guaçu, os seguintes pontos de monitoramento da CETESB foram analisados:

- EMGU00700: Este ponto localizado no Rio Embú Guaçu, no município de Embu-Guaçu, a jusante da confluência com o Rio Cipó foi monitorado pela CETESB entre os anos de 2006 e 2008, a fim de elucidar as mortandades de peixes registradas anteriormente no local (CETESB, 2006). Este ponto foi substituído pelo ponto CIPO00900, pois apresentava dificuldades de acesso por estar em área de alagamento (CETESB, 2009);
- CIPO00900: Ponto localizado no Rio Cipó, em Embú Guaçu, a partir de 2009, este ponto substituiu o ponto

EMGU00700, conforme destacado anteriormente;

- EMGU00800: Ponto localizado no Rio Embú Guaçu, no município de Embú Guaçu, sendo analisado entre os anos de 2000 e 2013.

Os dados coletados referem-se aos parâmetros físico-químicos como temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$), turbidez (UNT), sólidos totais (mgL^{-1}), pH (UpH), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) ($\text{mg O}_2\text{L}^{-1}$), fósforo total (mgL^{-1}), nitrogênio total (mgL^{-1}) e oxigênio dissolvido (mgL^{-1}), microbiológicos como coliformes termotolerantes (UFC 100mL^{-1}), mais recentemente, em 2012, *E. coli* (UFC 100mL^{-1}), e foram empregados na composição do IQA (Índice de Qualidade da Água). Os parâmetros hidrobiológico, clorofila a (mg L^{-1}) e o fósforo total (mgL^{-1}) foram utilizados na determinação do IET (Índice do Estado Trófico) (CETESB, 2012).

A partir dos resultados analíticos foram realizados tratamentos estatísticos das séries temporais; análises gráficas do tipo Linha, Histogramas, Pareto, Boxplot; bem como correlação entre os parâmetros analisados e o uso e ocupação do solo.

Uma análise do uso e ocupação do solo foi realizada entre o período compreendido entre o 1999 a 2014, através da técnica de Classificação Supervisionada (Jensen, 2009). Para esta classificação foram elaboradas composições coloridas com as bandas 742 (RGB) de 24/06/1999 e 19/09/2008, das cenas

do sensor Landsat 7; e composição colorida 753 (RGB) da cena 02/03/2014 do sensor LandSat 8. A área de estudo está localizada no fuso 219/77 e foram utilizadas composições coloridas 742 e 753 (RGB) porque estas composições possuem menor correlação, o que desencadeia um melhor contraste entre as feições. O processo de classificação supervisionada foi realizado no Programa ENVI (versão 5.0). A etapa posterior, de elaboração dos mapas e quantificação das áreas, foi realizada no Programa ArcGIS (ArcMap, versão 9.2).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise das águas da Bacia Hidrográfica do Rio Embu-Guaçu

As águas da Bacia Hidrográfica do Rio Embu-Guaçu são enquadradas como classe especial, no entanto, em termos de legislação, compara-se com os padrões de qualidade de um corpo d'água de classe 1 (Brasil, 1977). Em análise do índice de qualidade da água do ponto

EMGU00800 para o período de 2000 a 2013, observa-se variação média de 57 a 69, o que implica em classificação BOA para as águas do Rio Embu-Guaçu neste ponto (Figura 5). No período analisado, 93% das amostras encontraram-se classificadas como BOA, 6% como REGULAR, e apenas 1% como ÓTIMA.

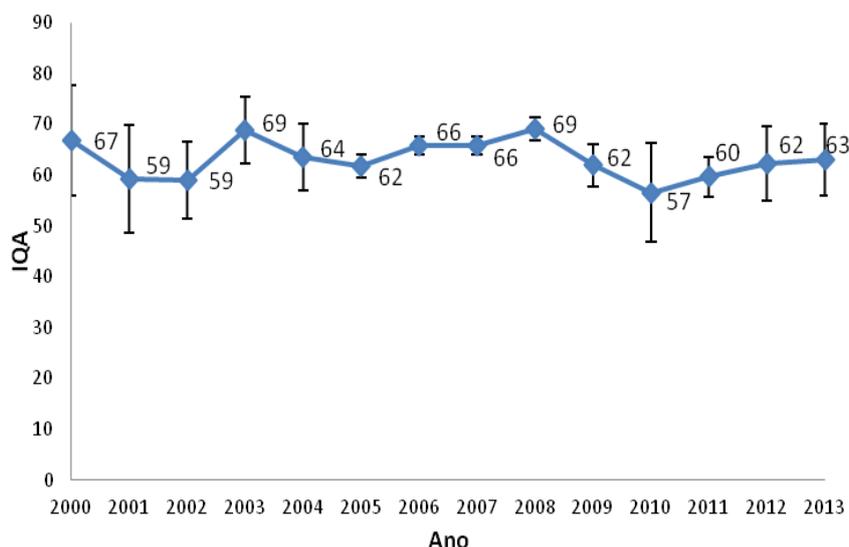


Figura 5. Valores médios de IQA para o ponto EMGU-00800 no período de 2000 a 2013.

Apesar da água do Rio Embu-Guaçu ser classificada, de maneira geral, como BOA, quando os parâmetros que constituem o IQA são analisados separadamente, observa-se que alguns deles encontram-se fora dos limites estabelecidos pelo CONAMA 357/05 (Brasil, 2005). Como exemplo, destaca-se uma análise do tipo Pareto para os dados de 2011, a partir dos valores médios dos parâmetros que compõem o IQA (Tabela 1). A partir dos dados da Tabela 1 observa-se que o parâmetro

coliformes termotolerantes é destacadamente o de maior impacto na qualidade das águas do Rio Embu-Guaçu neste ponto EMGU00800. Na análise deste parâmetro microbiológico de 2000 a 2013, constata-se que todos os valores médios estão acima do valor máximo permitido por Legislação que é de 200 UFC 100mL⁻¹ (Brasil, 2005). O valor médio para o período analisado foi de 5.500 UFC 100mL⁻¹ e desvio padrão de 12.000, sendo que 95% dos valores estavam acima do limite máximo. O segundo parâmetro

de maior impacto na qualidade das águas foi a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), que apresentou para o período analisado valor médio de 3,0 e desvio padrão 1,0, sendo que 12% das amostras analisadas no período apresentaram valores acima do limite de 3,0 mgO₂L⁻¹ estabelecido pela legislação (Brasil, 2005).

Estes dois parâmetros, coliformes termotolerantes e DBO, com valores elevados indicam a presença de lançamento de esgoto doméstico nas águas do Rio Embu-Guaçu devido à presença de área urbana, conforme pode ser observado no mapa de uso e ocupação da terra (Figura 2).

Tabela 1. Valores médios dos nove parâmetros que compõem o IQA em 2011, e suas contribuições na diminuição da qualidade das águas.

Parâmetro (unidade)	CONAMA 357/05	Valor médio	Contribuição (%) Pareto
Temperatura (°C)	-----	19,7	0,0
pH (Unidade de pH)	entre 6 e 9	6,7	2,9
DBO (mg O ₂ L ⁻¹)	máximo 3,0	3,7*	7,7
Fósforo total (mgL ⁻¹)	máximo 0,1	0,043	1,7
Nitrogênio total (mgL ⁻¹)	----	1,09	1,1
Oxigênio dissolvido (mgL ⁻¹)	mínimo 6,0	7,0	4,4
Turbidez (UNT)	máximo 40	11,8	3,4
Sólidos Totais (mgL ⁻¹)	----	Menor que 100	0,3
Colif. Termo. (UFC 100mL ⁻¹)	máximo 200	21400*	78,6

*Valores acima do limite CONAMA 357/05.

Com relação ao nível de estado trófico das águas do Rio Embu-Guaçu, para o período de 2002 a 2013, observa-se uma diminuição do IET para o ponto EMGU00800, ou seja, uma melhora no grau de trofia (Figura 6). Quando se analisa a distribuição do nível de estado trófico, constata-se uma grande variação: ultraoligotrófico (11%), oligotrófico (32%), mesotrófico (42%), eutrófico (3%), supereutrófico (5%), e hipereutrófico (6%). Os valores de IET são médias aritméticas dos valores de IET do fósforo, IET (PT), e da clorofila a, IET (CL) (Lamparelli, 2004). O comportamento do fósforo total foi analisado para o período de 2002 a 2013, onde também se constata uma tendência de queda. Esta diminuição nos valores de fósforo total e por consequência do IET, deve-se provavelmente ao adensamento de cobertura vegetal proveniente do processo de reflorestamento, conforme exigido pela legislação estadual (São Paulo, 1997). Cabe destacar que a cobertura vegetal, soma de vegetação arbórea densa e campo/capoeira, mantiveram-se praticamente constante no período de 1999 a 2014 (Figura

12), no entanto, é importante destacar que o crescimento da vegetação, em especial na área reflorestada, resulta em uma maior qualidade no processo de auto-depuração das águas. No ano de 2013 a área reflorestada representava 4,5% (6,4km²) da área total da bacia (Figura 2).

Como os pontos de análise das águas mudaram de local ao longo do período estudado, foram analisados os Índices de Qualidade de Água (IQA) e Índice de Estado Trófico (IET) para os pontos EMGU00700 e EMGU00800 no mesmo período, ou seja, entre 2006 e 2008. Os valores médios de IQA para os dois pontos apresentaram qualidade de água BOA, de acordo com a classificação da CETESB (Figura 7).

Ao analisar-se o Índice de Estado Trófico (IET) para os pontos EMGU00700 e EMGU00800, observa-se uma pequena melhora na qualidade da água, com os índices variando de Mesotrófico (54) para o ponto EMGU00700, a Oligotrófico (52) para o ponto EMGU00800, de acordo com a classificação da CETESB (Figura 8).

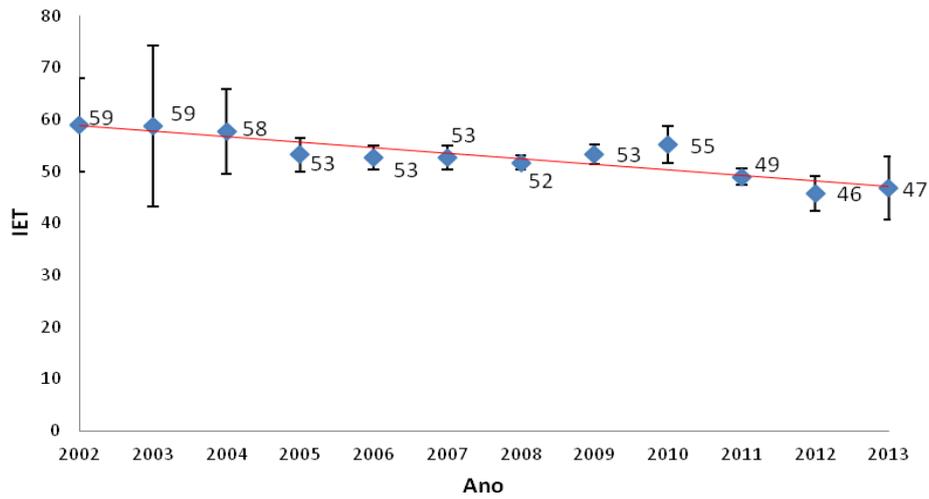


Figura 6. Valores anuais médios de IET para o ponto EMGU00800 entre 2002 e 2013.

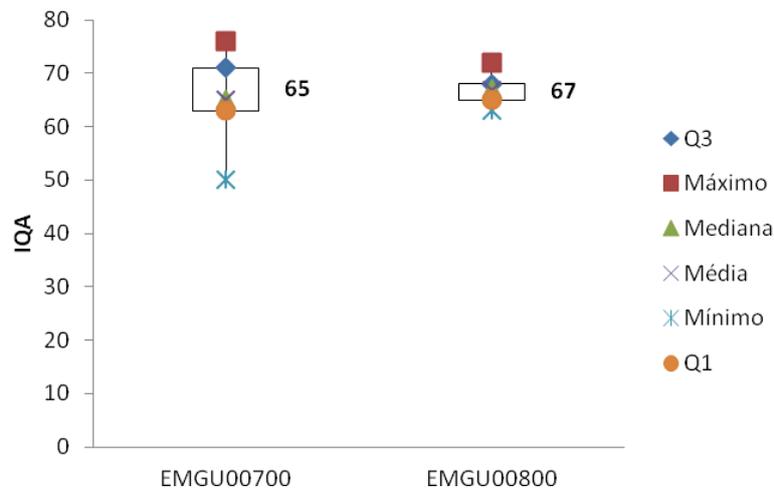


Figura 7. Gráfico Boxplot referente ao IQA nos pontos EMGU00700 e EMGU00800 entre 2006 e 2008.

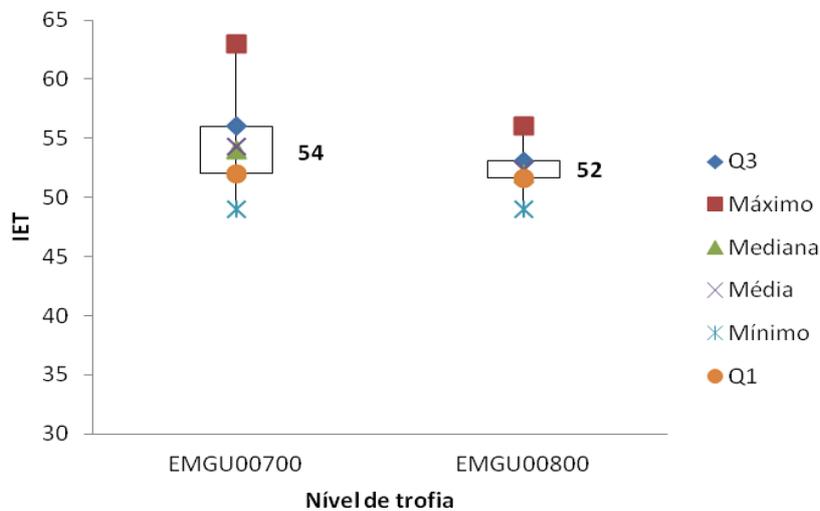


Figura 8. Gráfico Boxplot referente ao IET nos pontos EMGU00700 e EMGU00800 entre 2006 e 2008.

O ponto CIPO00900, localizado no Rio Cipó passou a ser monitorado a partir do ano de 2009 e, portanto, os valores analisados referem-se ao período entre 2009 e 2013. Durante os cinco anos de análise, 84% das amostras de água foram classificadas como Regular, 8% como Ruim, 4% como Péssima e apenas 16% como Boa. Trata-se, portanto, de um corpo d'água bastante comprometido da bacia (Figura 9). Neste período os valores de IQA variaram entre 19 e 59. Como estes valores foram bastante insatisfatórios, realizou-se uma análise de pareto para quantificar os principais parâmetros que mais auxiliaram no decréscimo do IQA. Os parâmetros que mais contribuíram foram

coliformes termotolerantes (52,9%), oxigênio dissolvido (28,5%) e DBO (7,1%), que estão relacionados à falta de saneamento básico na região. De acordo com o mapa de uso e ocupação da terra (Figura 2) constata-se uma ocupação urbana consolidada próximo ao Rio Cipó e próximo ao ponto de coleta, justificando os valores elevados destes parâmetros. O oxigênio dissolvido que de acordo com a legislação deve ser no mínimo de $6,0 \text{ mgL}^{-1}$ (Brasil, 2015), apresentou todos os valores abaixo deste limite para o período, assim como os coliformes termotolerantes, DBO e fósforo total que também apresentaram valores acima do limite permitido.



Figura 9. Ponto CIPO00900. Área com disposição inadequada de resíduos sólidos domiciliares.

Em relação ao estudo da eutrofização das águas do Rio Cipó (CIPO00900), observa-se também um grande efeito do fator antrópico. A distribuição do nível de trofia varia desde condições ultraoligotróficas até hipereutróficas, com predominância dos estados eutrófico (30%) e mesotrófico (45%).

As águas do Rio Cipó começaram a ser monitoradas em 2009, e, portanto para efeito de análise conjunta, optou-se por analisar o mesmo

período para o ponto EMGU00800, ou seja, entre 2009 e 2013. A análise do IQA para os dois pontos da bacia, mostram realidades diferentes, pois o ponto EMGU00800 apresenta qualidade de seu corpo d'água superior ao do ponto CIPO00900. Os valores médios de IQA para o período foram de 61 (BOA) para o EMGU00800 e 45 (REGULAR) para o ponto CIPO00900 (Figura 10).

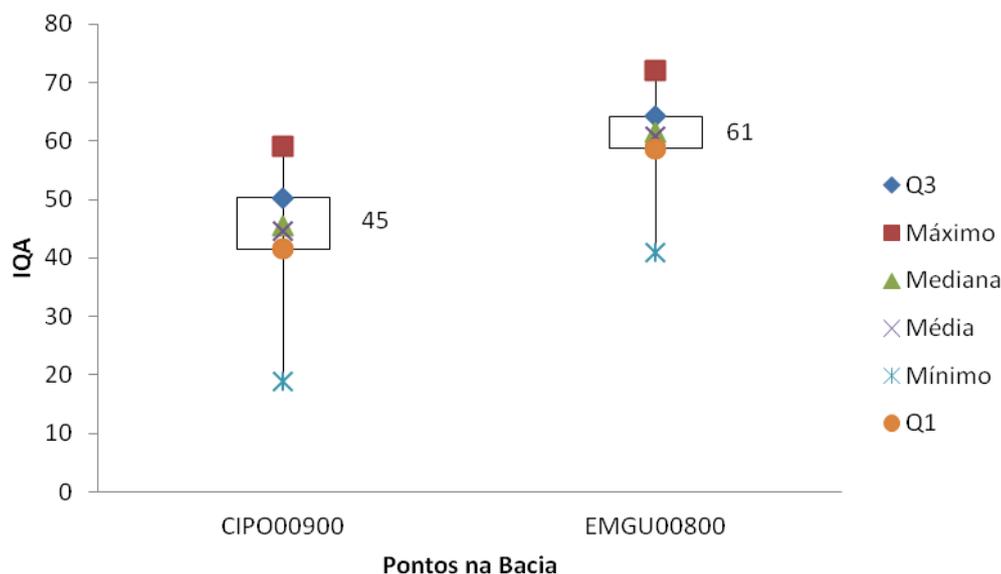


Figura 10. Gráfico Boxplot referente ao IQA nos pontos CIPO00900 e EMGU00800 de 2009 a 2013.

No trecho sul da bacia a ação antrópica é bastante reduzida, o que se reflete em uma maior qualidade do corpo d'água. Como o Rio Cipó é um contribuinte tributário do Rio Embu-Guaçu, ocorre um processo de diluição dos poluentes presentes nas suas águas devido ao lançamento de esgoto doméstico no Rio Cipó, de acordo com evidências nas análises físico-químicas apresentadas.

A mesma melhora também é observada no nível de trofia de suas águas. Cabe destacar que

apesar da mesma classificação de nível de trofia, mesotrófico, no ponto CIPO00900, o valor médio está no limite superior, enquanto que no ponto EMGU00800 está no limite inferior. O efeito da diluição do fósforo pelas águas do Rio Embu-Guaçu justifica a melhora deste índice (Figura 11), onde valores médios no ponto CIPO00900 para o ponto EMGU00800 passaram de 0,186 para 0,046, ou seja, um fator de diluição de 4,0.

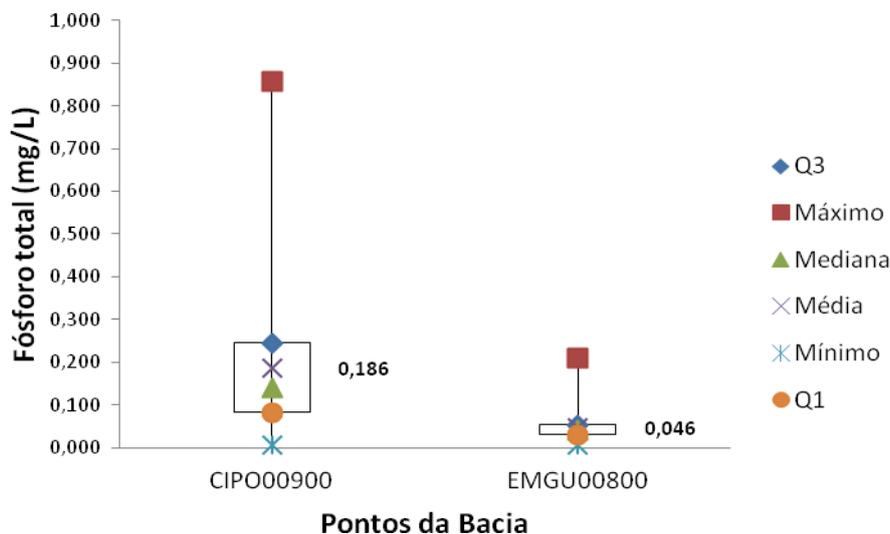


Figura 11. Gráfico Boxplot referente ao fósforo total nos pontos CIPO00900 e EMGU00800 de 2009 a 2013.

Diante do cenário da falta de saneamento básico e associado às condições naturais das formações rochosas, o teor de ferro dissolvido foi analisado em ambos os pontos, pois se trata de um solo rico em ferro (Oliveira et al., 2013).

Como consequência do intemperismo físico, em ambos os pontos, os valores apresentaram-se acima do limite estabelecido em legislação (0,3 mgL⁻¹). No entanto, ao analisar os teores de ferro dissolvido nos pontos EMGU00800 e

CIPO00900 observam-se valores médios maiores para segundo ponto ($0,70 \text{ mgL}^{-1}$) do que o primeiro ($0,56 \text{ mgL}^{-1}$). Este fato explica-se considerando que as águas no ponto CIPO00900 apresentam baixos teores de oxigênio dissolvido, portanto um meio mais redutor, o que facilita a presença de maiores concentrações de íons Fe^{2+} , que é mais solúvel em água (Manaham, 2013).

Apesar da grande importância do Reservatório do Guarapiranga para a população da região, um número reduzido de trabalhos é encontrado na literatura sobre estudos e avaliações do grau de poluição de suas águas. Dentre eles, destaca-se o estudo da composição química das águas do sistema Guarapiranga entre os anos de 2002 e 2003, quanto à presença de metais pesados e dos principais íons, tais como fosfato e amônio, principais fontes de fósforo e nitrogênio, respectivamente (Richter et al., 2007). Vários pontos foram amostrados no sistema Guarapiranga: Córrego Parelheiros, Rio Embu-Guaçu, Rio Embu-Mirim; Córrego Guavirutuba, Córrego Itupu e na barragem da Represa, próximo ao ponto onde a SABESP coleta água, para posterior distribuição à população. Richter et al. (2007) constataram que nos Córregos Guavirutuba e Itupu, os íons fosfato e amônio apresentaram concentrações acima dos máximos permitidos pelo CONAMA 357/2005, o que segundo os autores, pode estar diretamente relacionado às características de uso e ocupação da terra com precária infraestrutura sanitária. Os teores de metais pesados, principalmente o chumbo, apresentaram índices preocupantes apesar de estarem abaixo do estabelecido em legislação em diversos pontos analisados. Para as amostras de água do Rio Embu-Guaçu os parâmetros condutividade, metais pesados, íons fosfato e amônio, apresentaram ótimos resultados quando comparados aos demais pontos (Richter, 2007). A qualidade das águas da Bacia Hidrográfica do Rio Embu-Guaçu também foi analisada no plano de manejo da Prefeitura do Município de São Paulo, sendo que o trecho sul da bacia, denominado Alto Embu-Guaçu, apresentou grande porcentagem de vegetação nativa dentre as sub-bacias da Guarapiranga, sendo que grande parte da Bacia Hidrográfica do Rio Embu-Guaçu está inserida no Núcleo Curucutu do Parque Estadual da

Serra do Mar (Bellenzani, 2011). Esta área com mata mais preservada pode também ser evidenciado nas Figuras 3e, e 3f.

Os resultados apresentados neste trabalho destacam que, apesar de uma qualidade de água classificada como BOA pela CETESB fornecida pela BHREG para o Reservatório Guarapiranga, os coliformes termotolerantes encontram-se bem acima do limite estabelecido pela legislação (Brasil, 2005). A BHRBG pode contribuir com uma maior qualidade de água para o reservatório Guarapiranga desde que o aporte de esgoto doméstico no Rio Cipó seja reduzido e, preferencialmente, em sua totalidade. De acordo com estimativa do IBGE, censo 2000, cerca de 50% dos 200 mil domicílios da bacia têm coleta de esgoto, no entanto, de todo o esgoto coletado, a maior parte não é tratada, e acaba indo para os corpos de água vizinhos, afluentes da represa (São Paulo, 2008). Ainda segundo dados da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, o crescimento de ocupações urbanas aconteceu em loteamentos irregulares, concentrados nas vizinhanças do Reservatório e com precária infraestrutura de saneamento.

Despejos de esgoto comprometem a qualidade e a quantidade de água do reservatório fazendo com que seja necessário o aumento do uso de produtos químicos no processo de tratamento de água, realizado na Estação do Alto da Boa Vista, localizada na zona sul de São Paulo. Este aumento do uso de produtos químicos acarreta no aumento dos custos do tratamento. Segundo estudo realizado, o custo do tratamento de 1 milhão de litros d'água passou de R\$23,21 em 1998, para R\$54,03 em 2003 (Viveiros, 2003). Portanto, a coleta e tratamento de esgoto nas áreas urbanas existentes na BHREG certamente levarão a uma melhora significativa na qualidade das águas do Rio Embu-Guaçu e seus tributários.

Análise e evolução do uso e ocupação do solo

De acordo com os dados obtidos através da classificação supervisionada, referente a 1999, observa-se que a área de estudo naquele ano era composta por 5,2% ($7,36 \text{ km}^2$) de área urbana; 0,3% ($0,42 \text{ km}^2$) de área coberta por corpos de água; 0,13% ($0,18 \text{ km}^2$) coberto por mineração; 11,89% ($16,81 \text{ km}^2$) com solo exposto; 59,78% ($84,56 \text{ km}^2$) de vegetação arbórea densa; e

22,71% (32,12km²) de vegetação de pequeno porte, como: campo, capoeira ou várzea (Figura 12a).

Referente ao ano 2008, observa-se que a área de estudo estava composta por 5,21% (7,37km²) de área urbana; 0,18% (0,25km²) de área coberta por corpos de água; 0,19% (0,26km²) coberto por mineração; 15,42% (21,81km²) com solo exposto; 63,52% (89,85km²) de vegetação arbórea densa; e 15,49% (21,91km²) de vegetação de pequeno porte (Figura 12b).

No último ano da análise, 2014, observa-se que a área de estudo estava coberta por 5,38% (7,61km²) de área urbana; 0,56% (0,79km²) de área coberta por corpos de água; 0,21% (0,30km²) coberto por mineração; 10,82% (15,31km²) com solo exposto; 58,57% (82,85km²) de vegetação arbórea densa; e 24,45% (34,59km²) de vegetação de pequeno porte, como: campo (Figura 12c).

Durante o período do estudo, nota-se que na primeira fase (1999 – 2008) ocorreu o aumento de área das classes de solo exposto (Figura 13d) e de vegetação arbórea densa (Figura 13e). Inversamente a estes dados, houve decréscimo na área de vegetação de pequeno porte (Figura 13f), fato que pode ser explicado por áreas que em 1999 eram de campo, capoeira ou várzea e que foram abertas frentes agrícolas; e áreas que, por sucessão ecológica, evoluíram para espécies arbóreas de maior porte.

Na segunda etapa do estudo (2008 – 2014), o comportamento destas classes muda de forma que as classes de solo exposto (Figura 13d) e de vegetação arbórea densa (Figura 13e) sofreu decréscimo de área; e a classe de vegetação de pequeno porte teve aumento de área (Figura 13f). Esse fato pode ser explicado pelo abandono de áreas agrícolas e redução de algumas áreas de mata para constituição de pastagens.

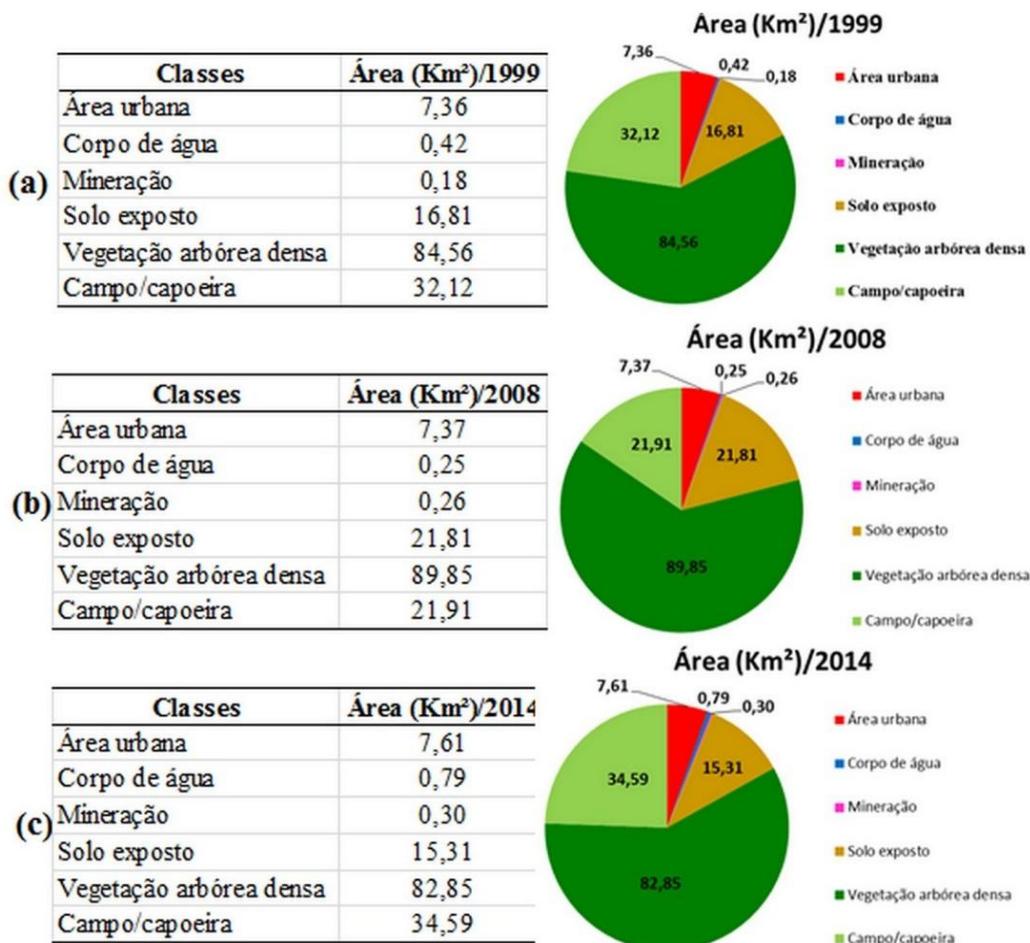


Figura 12. Quantificação das classes de uso e ocupação do solo (1999, 2008 e 2014).

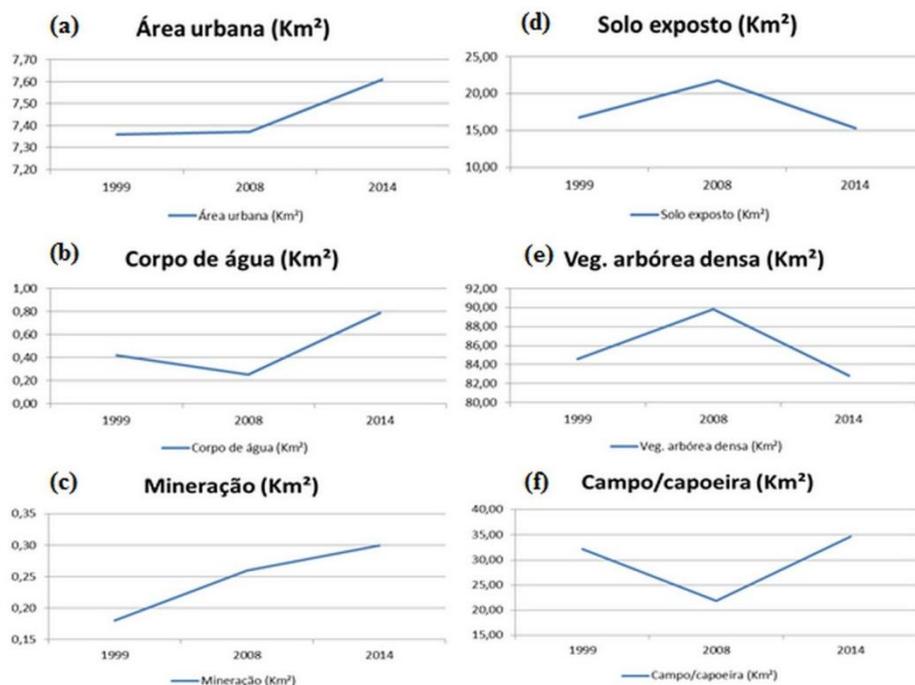


Figura 13. Comportamento da evolução do uso e ocupação do solo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Segundo estimativa, o Reservatório de Guarapiranga é responsável por produzir aproximadamente $14 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e abastece, cerca de quatro milhões de pessoas, o que corresponde a cerca de 20% de toda a população da RMSP (São Paulo, 2008). A BHREG, localizada no trecho sul do Reservatório de Guarapiranga exerce um papel importante na qualidade de suas águas. A ocupação em seu trecho norte, próximo ao reservatório, compromete a qualidade e a quantidade de suas águas. O Índice de Qualidade das Águas – IQA e Índice de Estado Trófico – IET (*sensu* Cetesb, 2012), foram analisados conjuntamente e conclui-se que a contribuição do Rio Cipó, devido à ocupação urbana, conduz a uma diminuição da qualidade da água do Rio Embu-Guaçu no ponto EMGU00800. De acordo com os limites estabelecidos pelo CONAMA 357/05 (Brasil, 2005), o ponto CIPO00800 para os parâmetros coliformes termotolerantes, oxigênio dissolvido, DBO e fósforo total apresentou valores fora dos padrões estabelecidos para um

corpo d'água classe 1. Ressalta-se que nessa bacia hidrográfica as classes de uso e ocupação do solo predominante são as matas, os campos/capoeiras e o reflorestamento, caracterizando a área de estudo como rural, este cenário auxilia na qualidade da água no ponto EMGU00800, próximo ao Reservatório de Guarapiranga, diluindo, e, portanto, minimizando os efeitos causados pelas ocupações urbanas nas proximidades do ponto CIPO00900.

Medidas como a proteção e recuperação das matas conforme estabelecido na legislação vigente e, principalmente a coleta e tratamento do esgoto nas áreas urbanas (entorno do ponto 12, Figura 2), bem como o controle mais efetivo da expansão de diferentes formas de uso e ocupação do solo nesta bacia hidrográfica certamente auxiliarão no abastecimento hídrico da Região Metropolitana de São Paulo, minimizando assim os custos no tratamento das águas do Reservatório de Guarapiranga.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDRADE, J.A. **Qualidade das águas da Bacia Hidrográfica do Rio Embu-Guaçu, contribuinte do Reservatório Guarapiranga – Região Metropolitana**

de São Paulo. 2014. 77f. Dissertação (Mestrado em Análise Geoambiental). Universidade Guarulhos. 2014.

2. ANDRADE, M.R.M. et al. (Coord.) **Análise geoambiental da Reserva da Biosfera do Cinturão Verde da Cidade de São Paulo e da bacia do Guarapiranga**. Uso da Terra. Relatório Geoambiental III. 2013.
3. BELLENZANI, M.L.R. et al., **Plano de manejo: APA Capivari-Monos**, São Paulo: Secretaria do Verde e do Meio Ambiente, 2011. Disponível em http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/chamadas/diagnostico_qualidade_ambiental_1302707773.pdf. Acesso em Fev 2014.
4. BRAGA, R. **Planejamento Urbano e Recursos Hídricos**. In: BRAGA, R.; CARVALHO, P. F. C. Recursos Hídricos e Planejamento Urbano e Regional. Rio Claro: Laboratório de Planejamento Municipal – IGCE-UNESP, 2003. p. 113-127.
5. BRASIL. **Decreto nº 10.755 de 22 de novembro de 1977**. Disponível em <http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/Decreto%20n%C2%BA%2010.755%20de%2022%20de%20novembro%20de%201977.pdf>. Acessado em 14mar2014.
6. BRASIL. **Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005**. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acessado em 14mar2014.
7. CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 2000-2012. Disponível em . Acessado em 14mar2014.
8. ESTAIANO, J. C. **Impactos da mineração de areia em planícies fluviais meândricas da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê: o caso do Rio Embu-Guaçu, São Paulo – SP**. 2007. 185 f. (Anexos). Dissertação (Mestrado em Geografia Física) Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Departamento de Geografia. Universidade de São Paulo. 2007.
9. JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos, SP. Parêntese Editora. 582f.
10. LAMPARELLI, M. C. **Grau de Trofia em Corpos d'água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. 2004. 130f. Tese (Doutorado em Saúde Pública) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, 2004.
11. MANAHAN, S.E., **Química ambiental**, 9ª. ed, Porto Alegre: Bookman, 2013.
12. OLIVEIRA, A.M.S. et al. (Coord.) **Análise geoambiental da Reserva da Biosfera do Cinturão Verde da Cidade de São Paulo e da bacia do Guarapiranga**. Relatório Geoambiental I. 2011. 25p.
13. OLIVEIRA, A.M.S. et al. (Coord.) **Análise geoambiental da Reserva da Biosfera do Cinturão Verde da Cidade de São Paulo e da bacia do Guarapiranga**. Relatório Geoambiental II. 2012. 38p.
14. OLIVEIRA, A.M.S. et al. (Coord.) **Análise geoambiental da Reserva da Biosfera do Cinturão Verde da Cidade de São Paulo e da bacia do Guarapiranga**. Meio Físico. Relatório Geoambiental III. 2013. 27p + Anexos.
15. PONÇANO, W.L. et al., **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 1981. 94 p. (Publicação nº 1183).
16. QUEIROZ, W. **Análise geoambiental da bacia contribuinte ao Reservatório Guarapiranga (SP) para a avaliação de sedimentos**. 2013. 69f. Exame de Qualificação (Mestrado em Análise Geoambiental). Universidade Guarulhos. 2013.
17. RAMPANELLI, A.M. **Os recursos naturais como condicionantes do desenvolvimento Econômico e cultural: um estudo aplicado à Bacia Sedimentar de Taubaté, nos municípios de Taubaté e Tremembé, Vale do Paraíba, estado de São Paulo**. 2010. 94f. Dissertação (Mestrado em Análise Geoambiental). Universidade Guarulhos. 2010.
18. RICHTER, E.M., FORNARO, A., do LAGO, C.L., ANGNES, L., **Avaliação da composição química de águas do sistema Guarapiranga: estudo de caso nos anos de 2002 e 2003**, Química Nova, Vol. 30, No. 5, 1147-1152, 2007.
19. SÃO PAULO, **Lei nº 898 de 18/12/1975**. Disponível em <http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1975/lei%20n.898,%20de%2018.12.1975.htm>. Acesso em 17Mar2014.
20. SÃO PAULO, **Lei nº 1.172 de 17/11/1976**. Disponível em <http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/Lei-1172-76.pdf> Acesso em 17Mar2014.
21. SÃO PAULO, **Lei nº 9.866 de 28/11/1997**. Disponível em http://www.comitepcj.sp.gov.br/gapb/LeiEstadualSP9866_97.pdf. Acesso em 17Mar2014.
22. SÃO PAULO, **Lei nº 12.233 de 16/08/2006**. Disponível em http://www.sigam.ambiente.sp.gov.br/sigam2/repositorio/259/documentos/12233_2006.pdf. Acesso em 17Mar2014.
23. SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. Coordenadoria de Educação Ambiental. **Caderno Ambiental Guarapiranga**. São Paulo: SMA/CEA, 2008.
24. TUCCI, C.E.M. **Programa Nacional de Águas Pluviais**. Brasília: Ministério das Cidades, 2005.
25. TUCCI, C.E.M. **Urbanização e Recursos Hídricos** In: Águas do Brasil: análises estratégicas (BICUDO, C.E.M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M.C.B. organizadores). São Paulo: Instituto de Botânica, 2010. P. 113 – 132.
26. TUNDISI, J.G. **A crise mundial da água**. In: Nussenzveig, H.M. (Org.). O futuro da Terra. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2011. p.61-88.
27. VIVEIROS, M. **Esgoto dobra custo de tratamento da água**. Disponível em <http://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u97316.shtml>. Acesso em 14 fev 2014.

*Manuscrito recebido em: 31 de Março de 2014
Revisado e Aceito em: 13 de Fevereiro de 2015*