

ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA RELAÇÃO DO ESTADO TRÓFICO DO RESERVATÓRIO DE BARRA BONITA (SP) COM O POTENCIAL POLUIDOR DA BACIA HIDROGRÁFICA

Rachel Bardy Prado

Embrapa Solos (CNPS)

Rua Jardim Botânico 1024 - Jardim Botânico

Rio de Janeiro - RJ - CEP:22460-000

rachel@cnps.embrapa.br

Evelyn Márcia Leão de Moraes Novo

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Caixa Postal 515 – CEP:12201-970

São José dos Campos – SP

evlyn@ltid.inpe.br

RESUMO

Diante do processo de degradação acelerado da qualidade da água em regiões bastante populosas, relacionado em grande parte, ao uso e ocupação da terra de forma inadequada, foi proposto o presente trabalho. Este objetiva realizar uma análise espaço-temporal da relação do estado trófico do reservatório de Barra Bonita (SP) com o potencial poluidor da bacia hidrográfica de contribuição, aplicando ferramentas de geotecnologias. Os resultados mostraram que ocorreu um incremento significativo do nível trófico da água, de forma diferenciada para cada compartimento do reservatório em questão, durante o período avaliado. A análise integrada dos sistemas aquático e terrestre, no espaço e no tempo, permitiu concluir que a degradação da qualidade da água se deve às alterações no uso e cobertura da terra e ao aumento populacional, traduzidos em fontes difusas e pontuais de poluição. Desta forma, fica evidenciada a importância da gestão de recursos hídricos na bacia estudada e espera-se que as informações obtidas neste trabalho possam subsidiar ações direcionadas a este propósito.

INTRODUÇÃO

Diversos são os fatores que levam à deterioração da água, podendo ser suas fontes classificadas em pontuais e difusas. As fontes pontuais correspondem, essencialmente, aos efluentes domésticos e industriais, já as difusas incluem os resíduos provindos principalmente da agricultura (fertilizantes, herbicidas, inseticidas, fungicidas, entre outros). Este tipo de poluição pode ser intensificado

devido à irrigação, à compactação do solo derivada da mecanização, ao desflorestamento (inclusive de mata ciliar), à ausência de práticas conservacionistas do solo, aos processos erosivos, além da interferência de fatores naturais (geologia, geomorfologia, declividade, pedologia, forma e densidade de drenagem da bacia hidrográfica, regime de chuvas, permeabilidade do solo e outros). A situação parece grave visto que existem estimativas (Loague *et al.*, 1998) de que, aproximadamente, de 30 a 50% dos solos da Terra estejam afetados por poluentes provindos de fontes difusas os quais atingem os cursos d'água gradativamente.

No tocante aos reservatórios, a situação é ainda mais delicada, pois ocorrem impactos negativos consideráveis no sistema aquático desde a fase de sua construção. Esses impactos se refletem na qualidade da água visto que a presença do reservatório provoca a redução da capacidade de depuração do curso d'água, o aumento da retenção de sedimentos e nutrientes e a alteração das características físicas, químicas e biológicas do sistema. Desta forma, ocorre um incremento no processo de eutrofização o qual, dependendo do nível atingido, poderá comprometer os usos múltiplos a que esse é destinado.

No caso do reservatório de Barra Bonita, vários estudos vêm sendo realizados nas últimas décadas, o que tem contribuído para uma melhor avaliação de seu estado trófico. Matsumura-Tundisi, 1990; Calheiros, 1993; Novo e Braga, 1995; Wisniewski, 1998; Calijuri, 1999, entre outros, obtiveram resultados que demonstram a eutrofização intensa do reservatório.

Este processo tem ocorrido porque Barra Bonita é um reservatório antigo, localizado numa região sujeita a intensas transformações nos padrões de uso e ocupação da terra, o que o torna suscetível a problemas de poluição e assoreamento acelerado. Um fator agravante é a contaminação da água por substâncias químicas, provindas principalmente, de resíduos industriais e agrícolas. O aporte de nutrientes no reservatório é causado, em grande parte, pela entrada dos seus principais afluentes, o rio Tietê e o rio Piracicaba, os quais transportam, além dos resíduos agrícolas, descargas domésticas e industriais de grandes centros urbanos.

Existem numerosos estudos que demonstram haver uma alta correlação entre a distribuição espacial das atividades humanas, o estado de conservação da cobertura vegetal na bacia hidrográfica e o nível de degradação dos recursos hídricos (Thorton, 1990; Kira e Sazanami, 1995; Tufford *et al.*, 1998). Porém, no Brasil e, principalmente em Barra Bonita, são poucos os estudos relacionando o uso da terra com as propriedades da água. Pode-se citar Refosco (1994), Piao (1995) e Pereira-Filho (2000).

Neste sentido, o presente trabalho foi realizado buscando verificar as relações entre as mudanças de estado trófico do reservatório de Barra Bonita, entre 1990 e 2002, e as transformações no espaço e no tempo dos fatores antrópicos da bacia hidrográfica os quais podem ser considerados controladores das variações da qualidade da água.

ÁREA DE ESTUDO

O reservatório de Barra Bonita começou a operar em 1963, sendo formado pelo represamento dos rios Tietê e Piracicaba, contando com a participação de vários afluentes. Este reservatório foi construído, principalmente, para a geração de energia elétrica. Porém, atualmente, é também utilizado para transporte fluvial (Hidrovia Tietê-Paraná), irrigação, turismo, lazer, pesca, abastecimento urbano e como suporte ao desenvolvimento do complexo industrial da região. A bacia hidrográfica de contribuição para o reservatório de Barra Bonita, adotada neste trabalho, é constituída por parte das bacias hidrográficas Piracicaba/Capivari/Jundiá (BHPCJ) e Tietê/Sorocaba (BHTS), correspondendo a aproximadamente 19.164,43 km². Encontra-se inserida entre as coordenadas geográficas 21°54'20'' e 23°57'26'' Sul e 46°39'27'' e 48°34'52'' Oeste. A Figura 1 mostra a localização da bacia no Estado de São Paulo e no Brasil, estando em UTM fuso 23 estendido, porque foi a projeção adotada no presente trabalho.

Trata-se de uma das regiões mais populosas e desenvolvidas do interior do Estado de São Paulo, concentrando cerca de 16% de sua população. Os problemas referentes à qualidade da água advindos do uso e cobertura da terra são bastante representativos da realidade de toda a extensão da BHPCJ e BHTS.

METODOLOGIA

Índice de Estado Trófico do reservatório para 1990 e 2002

Para estimar o estado de trofia do reservatório de Barra Bonita, utilizou-se o Índice de Estado Trófico (IET) de Carlson (1974), modificado por Toledo *et al.* (1983), considerando os dados obtidos na superfície da água do reservatório em 1990 e 2002, referentes a 30 pontos amostrados durante a estação chuvosa. Os dados de qualidade da água referentes a 1990 foram obtidos a partir do projeto Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos (SISA) (Novo e Braga, 1991 e 1995). Já os dados de 2002 foram obtidos por Prado (2004), sendo os pontos de coleta e métodos analíticos

utilizados (APHA, 1995) mantidos constantes para que fossem passíveis de comparação. Para facilitar a análise multitemporal dos dados limnológicos, os 30 pontos amostrados foram agrupados por compartimento do reservatório de Barra Bonita: “braço” do rio Piracicaba – P (pontos de 1 a 11), “braço” do rio Tietê – T (pontos de 14 a 24), “corpo” central – C (pontos de 25 a 29) encontro dos “braços” – E (pontos 12 e 13) e barragem – B (ponto 30), como mostra a Figura 2. O IET considera os valores obtidos para transparência da água (S) em m, fósforo total (P) em µg/L, fósforo inorgânico (PO₄) em µg/L e clorofila (CL) em µg/L, cujas expressões são dadas, respectivamente, pelas equações:

$$\text{IET(S)}=10 \times \{6 - [(0,64 + \ln S) / \ln 2]\} \quad (1)$$

$$\text{IET(P)}=10 \times \{6 - [\ln (80,32 / P) / \ln 2]\} \quad (2)$$

$$\text{IET(PO}_4\text{)}=10 \times \{6 - [\ln (21,67 / \text{PO}_4) / \ln 2]\} \quad (3)$$

$$\text{IET(CL)}=10 \times \{6 - [(2,04 - 0,695 \ln \text{CL}) / \ln 2]\} \quad (4)$$

De acordo com Toledo *et al.* (1983), a profundidade do disco de Secchi é muito afetada pela elevada turbidez dos reservatórios na maior parte do ano. Assim, para controlar tal problema, estes autores sugerem ponderar o IET médio, de forma a dar menor peso à variável transparência da água, da seguinte forma:

$$\text{IET (méd)} = \text{IET(S)} + 2[\text{IET(P)} + \text{IET(PO}_4\text{)} + \text{IET (CL)}] / 7 \quad (5)$$

A partir do IET médio obtido pela equação 5, o critério de classificação adotado foi:

Oligotrófico se: IET ≤ 44

Mesotrófico se: 44 < IET < 54

Eutrófico se: IET ≥ 54

Potencial poluidor difuso da bacia em função da dinâmica do uso e cobertura da terra

Primeiramente, foram obtidos os mapas de uso e cobertura da terra de 1990 e 2002 da bacia hidrográfica em questão, em escala aproximada de 1:50.000. Para tal, foram processadas, segmentadas e classificadas imagens TM e ETM+ dos satélites Landsat 5 e 7, para 1990 e 2002, respectivamente. Os *softwares* utilizados nesta fase foram Envi 3.4 RT e Spring 3.6. As classes obtidas a partir do processamento foram posteriormente ponderadas. Para se atribuir os pesos às classes contou-se com a experiência profissional de técnicos especialistas no assunto, bem como o conhecimento prévio da área de estudo. Os critérios de ponderação encontram-se amplamente descritos em Prado (2004).

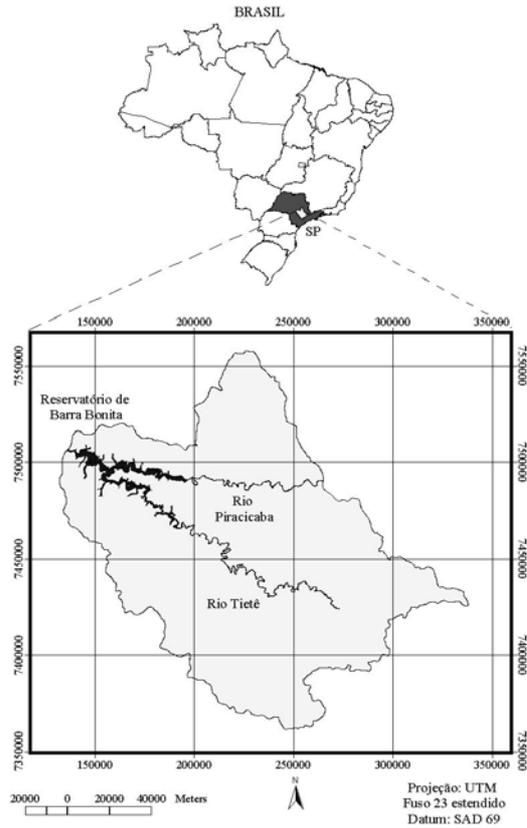


Figura 1: Localização da bacia hidrográfica de estudo no Estado de São Paulo e Brasil.

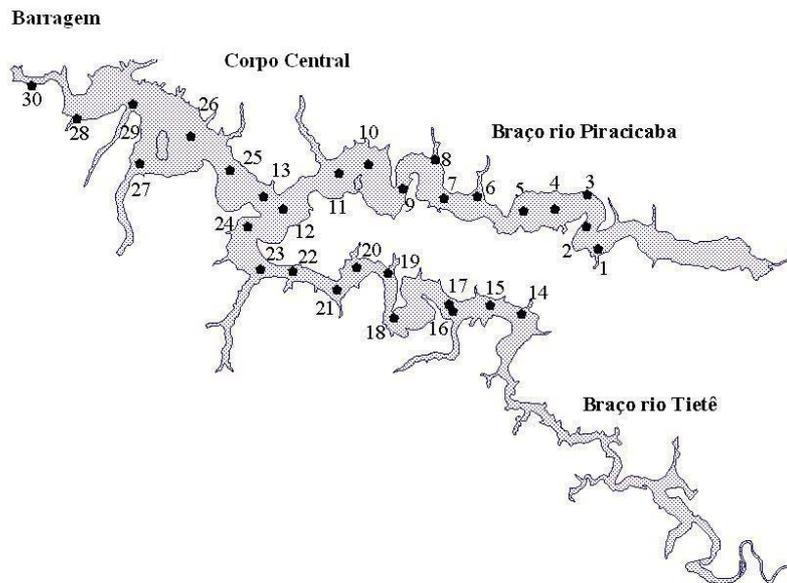


Figura 2: Pontos de amostragem de água no reservatório de Barra Bonita.

Adotou-se o pressuposto de que quanto mais tempo o solo permanecer exposto, maior o seu potencial para processos erosivos e, portanto, para o transporte de poluentes aos cursos d'água. Por outro lado, quanto maior a densidade da cobertura vegetal, menor o potencial erosivo. Modelos empíricos preditivos têm sido desenvolvidos considerando fatores relacionados às perdas de solo como características do solo, declividade, cobertura vegetal, entre outros aspectos (Ranieri, 1996; Donzeli *et al.*, 1994; Pinto, 1996).

Desta forma, as classes obtidas para os mapas de uso e cobertura da terra 1990 e 2002 foram organizadas em cinco níveis de contribuição quanto ao potencial poluidor que afeta o reservatório de Barra Bonita, conforme mostra a Tabela 1.

Crescimento populacional e aumento da carga de nitrogênio e fósforo como fontes de poluição pontual

O crescimento populacional é uma das principais causas da degradação da qualidade da água, visto que proporcionalmente a ele, há um aumento também da produção de resíduos líquidos, que na sua maioria são lançados *in natura* nos corpos d'água. A partir do levantamento do número de habitantes de 1990 e 2002 nos municípios com mais de 70% de sua área na bacia estudada (SEADE, 2004), foi possível determinar o crescimento da população neste período.

O cálculo da carga anual destes elementos lançada por uma determinada população baseou-se em estudos de Arceivala (1981), segundo o qual cada habitante elimina, em média, por meio do esgoto sanitário 0,002 kg de fósforo (P) e 0,008 kg de nitrogênio (N) por dia. Isto permitiu que fossem aplicadas as seguintes equações:

Carga anual de fósforo (P):

$$P = H * \alpha * 0,002 / 1000 \quad (6)$$

P: quantidade de fósforo em determinado ano (ton) ano (ton)

H: número de habitantes no ano a

α : número de dias do ano = 365

Carga anual de nitrogênio (N):

$$N = H * \alpha * 0,008 / 1000 \quad (7)$$

N: quantidade de nitrogênio em determinado ano (ton)

H: número de habitantes no ano a

α : número de dias do ano = 365

Análise espaço-temporal da relação do estado trófico do reservatório de Barra Bonita (SP) com o potencial poluidor da bacia hidrográfica.

Os valores resultantes da aplicação do IET médio foram espacializados na forma de mapas para 1990 e 2002 (Arcview 3.2 da ESRI), sendo os níveis tróficos diferenciados com o auxílio da legenda, para cada um dos 30 pontos amostrados ao longo da bacia.

Utilizando-se o módulo Média Zonal do Spring 3.6 (INPE, 2004) foi possível espacializar os valores médios das informações contidas nas classes de uso e cobertura da terra por sub-bacia, obtendo-se os mapas de potencial poluidor da bacia. Posteriormente, foi realizado o cálculo de áreas para identificar a evolução das classes de 1990 para 2002.

Os mapas do estado trófico dos pontos de amostragens no reservatório de Barra Bonita, em 1990 e 2002 foram interpretados em conjunto com os mapas de potencial poluidor do uso e cobertura da terra referente também à estação chuvosa de 1990 e 2002. Foram ainda consideradas nesta análise as informações censitárias de densidade demográfica da bacia de drenagem, contabilizando a sua contribuição para o processo de eutrofização do reservatório por meio da aplicação das equações de Arceivala (1981) já descritas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos com a aplicação do Índice de Estado Trófico (IET) de Carlson (1974), modificado por Toledo *et al.* (1983) e as Figuras 3 e 4 apresenta os mapas indicando no espaço o estado trófico de cada ponto de amostragem no reservatório de Barra Bonita para 1990 e 2002, no período chuvoso.

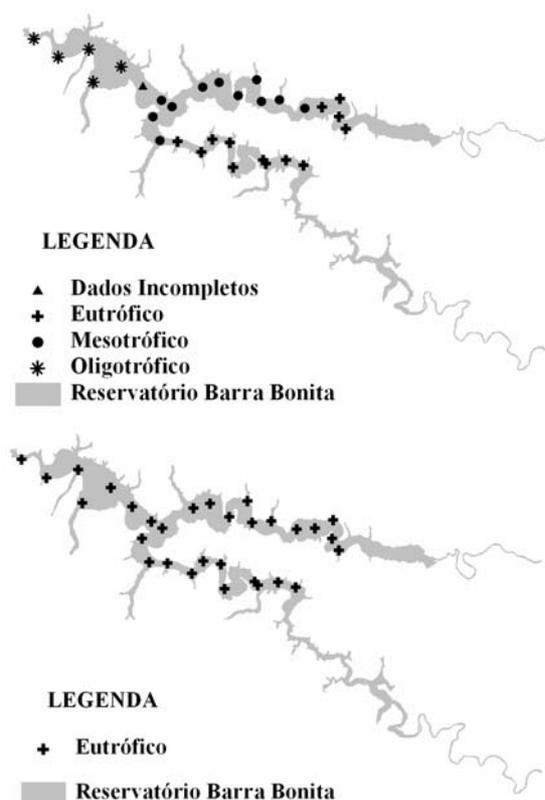
Primeiramente, observou-se que o nível eutrófico foi mais freqüente no ano de 2002, sendo que todos os pontos analisados apresentaram-se no estado eutrófico. Este fato indica que o processo de eutrofização no reservatório foi intensificado de 1990 para 2002, pela entrada de nutrientes por fontes pontuais ou difusas. Na época de maiores precipitações, o transporte de nutrientes da bacia de contribuição ao reservatório, por meio do escoamento superficial, é muito maior e, conseqüentemente, o processo de eutrofização é estimulado.

Verifica-se, pois, que em 1990, no período chuvoso, os compartimentos do reservatório de Barra Bonita apresentaram situações diferenciadas quanto ao estado trófico. Os pontos de amostragens do “braço” do rio Tietê apresentaram-se como eutróficos enquanto que os pontos do “braço” do rio Piracicaba apresentaram-se na sua maioria como mesotróficos e os pontos do “corpo” central e barragem apresentaram-se como oligotróficos.

Tabela 1: Ponderação das classes de uso e cobertura da terra quanto à sua contribuição para o transporte de poluentes ao reservatório de Barra Bonita.

Classes de uso e cobertura da terra	Características	Nível de contribuição	Peso
Remanescente de vegetação natural	A vegetação natural proporciona maior infiltração da água evitando erosões, uma maior biodiversidade do solo e retenção de nutrientes evitando o seu carreamento até os corpos d'água, além de outros benefícios ao solo e à água.	Muito baixo	P1
Reflorestamento e cultura permanente	Apesar de não haver a contribuição pela diversidade das espécies, são árvores de porte significativo e permanentes, trazendo alguns benefícios ao solo e à água, quando cultivadas de forma adequada.	Baixo	P2
Cultura temporária	Solo exposto em parte do ano, vegetação de pequeno porte que não facilita a infiltração e nem segura o solo, propiciando um escoamento superficial significativo e até processos erosivos, principalmente, quando o cultivo e manejo agrícola são inadequados.	Médio	P3
Macrófita aquática	Uma vez mortas aceleram o processo de eutrofização, contribuindo para a degradação da água.	Médio	P3
Cana-de-açúcar	O solo fica exposto em parte do ano favorecendo os processos erosivos e para agravar a situação trata-se de uma monocultura na região de estudo, onde a quantidade de agroquímicos aplicada é considerável, bem como o lançamento do vinhoto gerando muitos resíduos que atingem os corpos d'água.	Alto	P4
Campo/pastagem	São plantas monocotiledôneas como a cana-de-açúcar não oferecendo muita proteção ao solo e as pastagens foram enquadradas nesta classe por ser uma atividade bastante intensa em certos trechos da bacia estudada, sendo muitas vezes mal manejadas, favorecendo processos erosivos, além do potencial dos agroquímicos aplicados.	Alto	P4
Nuvem e sombra	Estão cobrindo, essencialmente, regiões de campo/pastagem.	Alto	P4
Solo exposto	É a pior situação que se pode esperar, pois uma vez este solo exposto, iniciam-se os processos erosivos que vão causar dentre outros danos ambientais o assoreamento dos corpos d'água, bem como permitem um transporte livre de nutrientes por meio do escoamento superficial.	Muito alto	P5
Área urbana	Área geralmente impermeabilizada, facilitando o transporte de poluentes pelo escoamento superficial, bem como grande fonte de poluição pontual, visto que produz grande quantidade de resíduos industriais e domésticos que na sua maioria são lançados <i>in natura</i> nos corpos d'água, acelerando o processo de eutrofização.	Muito alto	P5
Corpo d'água	É exatamente a classe que está recebendo o impacto.	Nenhum	0

Em 1990, apenas o “braço” do rio Tietê se apresentou eutrófico, em sua maioria, devido à contribuição dos esgotos domésticos (principalmente N e P) dos grandes centros urbanos, com destaque para os resíduos da região metropolitana de São Paulo. O “braço” do rio Piracicaba apresentou-se como mesotrófico devido à contribuição também das fontes pontuais de poluição, porém, em menor escala que no rio Tietê, mas também devido à entrada de poluentes por fontes difusas (agricultura). O “corpo” central e barragem do reservatório apresentaram-se como oligotróficos. Isto se explica pelo maior volume de água e distância das fontes de poluição pontuais e difusas, mais uma vez comprovando a interferência dos processos de diluição e depuração na melhoria da qualidade da água. Há que se considerar também que grande parte do material que entra no reservatório é depositado antes de atingir o “corpo” central. Este, além disso, representa uma região mais profunda do reservatório, menos sujeita à ação do vento e a processos de resuspensão de nutrientes tão mais comuns nos braços do reservatório Calijuri (1988).



Figuras 3 e 4: Mapa do estado trófico dos pontos de amostragens no reservatório de Barra Bonita, em 1990 e 2002, respectivamente, na estação chuvosa.

Tabela 2: Resultado da aplicação do Índice de Estado Trófico.

Compar- timentos do reservatório	IET Médio		
	Pontos de coleta	1990 Estação Chuvosa	2002 Estação Chuvosa
P	1	Eutrófico	Eutrófico
P	2	Eutrófico	Eutrófico
P	3	Eutrófico	Eutrófico
P	4	Eutrófico	Eutrófico
P	5	Mesotrófico	Eutrófico
P	6	Mesotrófico	Eutrófico
P	7	Mesotrófico	Eutrófico
P	8	Mesotrófico	Eutrófico
P	9	Mesotrófico	Eutrófico
P	10	Mesotrófico	Eutrófico
P	11	Mesotrófico	Eutrófico
E	12	Mesotrófico	Eutrófico
E	13	Mesotrófico	Eutrófico
T	14	Eutrófico	Eutrófico
T	15	Eutrófico	Eutrófico
T	16	Eutrófico	Eutrófico
T	17	Eutrófico	Eutrófico
T	18	Eutrófico	Eutrófico
T	19	Eutrófico	Eutrófico
T	20	Eutrófico	Eutrófico
T	21	Eutrófico	Eutrófico
T	22	Eutrófico	Eutrófico
T	23	Mesotrófico	Eutrófico
T	24	Mesotrófico	Eutrófico
C	25	Dados incompletos	Eutrófico
C	26	Oligotrófico	Eutrófico
C	27	Oligotrófico	Eutrófico
C	28	Oligotrófico	Eutrófico
C	29	Oligotrófico	Eutrófico
B	30	Oligotrófico	Eutrófico

P= “braço” do rio Piracicaba (pontos de 1 a 11), T= “braço” do rio Tietê (pontos de 14 a 24), C= “corpo” central (pontos de 25 a 29), E= encontro dos “braços” (pontos 12 e 13) e B= barragem (ponto 30).

Por outro lado, os dados de estado trófico obtidos em 2002 mostram de forma clara a intensificação no processo de eutrofização deste corpo hídrico no período estudado e os resultados obtidos referentes ao crescimento populacional (Tabela 3), aumento da carga de nitrogênio e fósforo como fontes de poluição pontual (Tabela 4) e o incremento no potencial poluidor difuso das sub-bacias estudadas em função da dinâmica do uso e cobertura da terra (Figura 5 e 6 e Tabela 5), corroboram efetivamente para este pressuposto.

Tabela 3: Crescimento populacional de 1990 para 2002 na área de estudo.

População	Número de Habitantes		Crescimento em percentual
	1990	2002	
Urbana	2.255.150	3.254.045	44,3%
Rural	206.278	200.847	-2,6%
Total	2.461.428	3.454.892	40,3%

Verificou-se que o crescimento populacional ocorreu na área urbana, havendo um decréscimo do número de habitantes na área rural, mostrando que houve neste período um êxodo rural, como ocorre em grande parte do país. O processo acelerado de urbanização, com a ocupação desordenada do espaço urbano também causa problemas relacionados à água, devido ao desmatamento e ocupação de encostas, nascentes e margens dos rios; lançamento de resíduos sólidos, óleos e graxas nos corpos d'água e canalização inadequada de rios. Encontram-se associados aos danos ambientais os problemas sócio-econômico-culturais como o desemprego, a marginalização, a violência, o aumento da desigualdade social, dentre outros.

Tabela 4: Carga de nitrogênio e fósforo produzidos na bacia estudada.

	Carga (toneladas)	
	1990	2002
Nitrogênio	7.187,37	10.088,28
Fósforo	1.796,84	2.522,07

Naturalmente, os dejetos humanos possuem uma quantidade maior de nitrogênio em relação ao fósforo, mas independente deste fato, observa-se um aumento significativo na carga de ambos os nutrientes, principalmente, nos de origem urbana que vêm sendo lançados nos corpos d'água da bacia em questão, atingindo o reservatório de Barra Bonita, com destaque para os resíduos provindos dos esgotos da Região metropolitana de São Paulo.

Comparando as Figuras 4 e 5, atenciosamente, verifica-se que ocorreram modificações de 1990 para 2002 (indicadas pelos círculos) na bacia estudada, mas não muito significativas em termos de área. A Tabela 4 confirma esta constatação, visto que os valores de área das classes para 1990 e 2002 indicam que ocorreu um aumento no potencial poluidor da bacia hidrográfica.

Vários estudos têm sido realizados nas últimas décadas, no reservatório de Barra Bonita, contribuindo para a determinação do seu nível trófico. Em 1979, com a finalidade de estabelecer uma tipologia dos reservatórios do Estado de São Paulo, foi feito um estudo limnológico de 52 represas, quando foi constatado que o Reservatório de Barra Bonita era um dos mais eutrofizados da bacia do Médio Tietê,

apresentando altos teores de nutrientes, alta condutividade e ocorrência de florescimentos de fitoplâncton (Matsumura-Tundisi *et al.*, 1981).

Tabela 5: Área das classes de potencial poluidor das sub-bacias com relação ao uso e cobertura da terra.

Classes	Área - 1990 (km ²)	Área - 2002 (km ²)
Muito baixa	3,65	3,65
Baixa	120,58	50,27
Média	826,39	831,79
Alta	12.744,45	12.084,76
Muito alta	5.118,86	5.843,46
Drenagem	350,50	350,50
Total:	19.164,43	19.164,43

Estudos realizados por Calijuri (1988) classificaram o reservatório como um sistema polimítico, controlado pela precipitação, vento, vazão e tempo de residência. De acordo com estes estudos, a coluna d'água do reservatório tende a ser permanentemente desestratificada devido à ação do vento, apresentando elevadas taxas de oxigênio dissolvido em toda sua profundidade. Quanto aos nutrientes, de modo geral, tanto o fósforo como o nitrogênio são fatores determinantes do processo de degradação da água, embora a adição de fósforo é a principal causa do processo de eutrofização.

CONCLUSÕES

Os valores obtidos com a aplicação do IET de Carlson (1974), modificado por Toledo *et al.* (1983), utilizando os resultados dos parâmetros de qualidade da água de 1990 e 2002, demonstraram que o processo de eutrofização no reservatório de Barra Bonita vêm se intensificando no decorrer dos anos.

Notou-se também que houve um comportamento diferenciado nos diversos compartimentos do reservatório, sendo que no "braço" do rio Tietê os parâmetros de qualidade da água analisados tenderam a apresentar teores mais elevados, principalmente, os relacionados às fontes pontuais de poluição.

Os resultados obtidos referentes ao crescimento populacional de 1990 para 2002 na bacia de estudo e o aumento da carga de nitrogênio e fósforo estimado, foram importantes para justificar o possível incremento na emissão de efluentes domésticos nos cursos d'água, uma das principais fontes de poluição pontual.

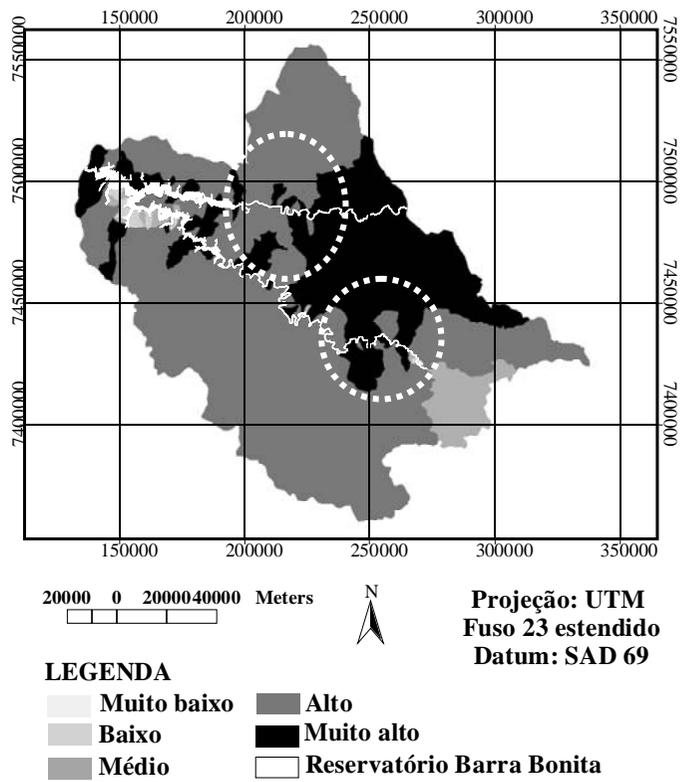


Figura 5: Potencial poluidor da bacia estudada no que se refere ao uso e cobertura da terra em 1990.

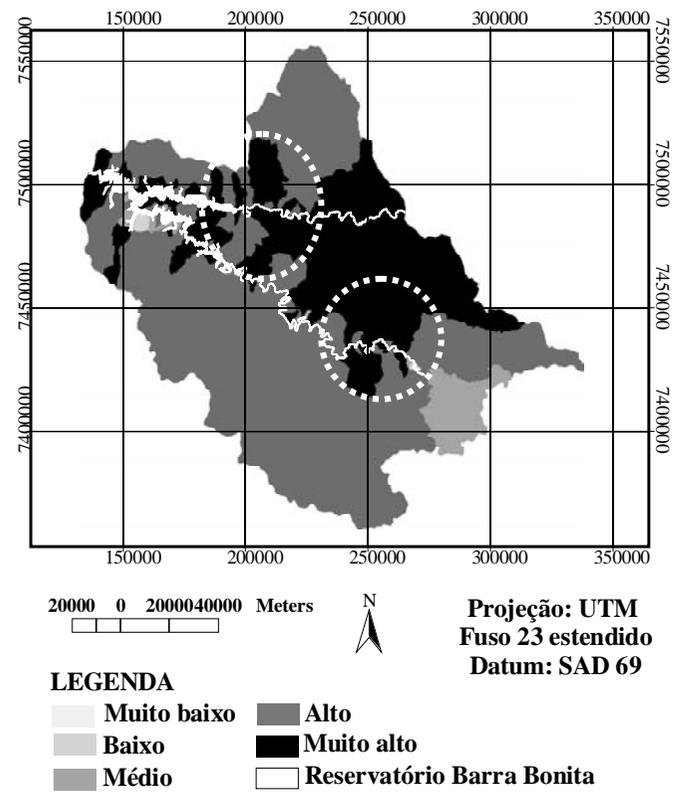


Figura 6: Potencial poluidor da bacia estudada no que se refere ao uso e cobertura da terra em 2002.

Quanto às alterações no uso e cobertura da terra na bacia estudada, de 1990 a 2002, o cálculo de áreas indicou que tem ocorrido um processo gradativo de expansão das fronteiras agrícolas e urbanas, comprometendo os remanescentes de vegetação natural e gerando uma carga maior de poluentes (poluição pontual e difusa) que terão como destino os corpos d'água.

Ao se considerar o potencial poluidor da bacia de contribuição para o reservatório de Barra Bonita de 1990 para 2002, em relação ao uso do solo, percebe-se que mudanças estão ocorrendo, porém, ainda pouco perceptíveis em termos de área para a escala de estudo adotada para o mapeamento.

A intensificação do processo de eutrofização do reservatório de Barra Bonita pode comprometer os usos múltiplos a que este se destina. Portanto, torna-se necessário, que haja uma articulação da sociedade, seja por meio dos comitês de bacias ou outro meio, no sentido de adotar medidas para minimizar a carga de efluentes que é lançada na água, além de melhor ordenar a ocupação do território e adotar práticas agrícolas conservacionistas, visando reduzir as fontes difusas de poluição.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Processo número 00/102682-1, pelo apoio financeiro e ao Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) pelo apoio técnico e de infra-estrutura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA. 1995. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 19a. Washington: Ed. Byrd. Reprint Springfield. 1.134 p.
- ARCEIVALA, S. J. 1981. *Waste water treatment and disposal*. New York: Marcel Dekker. 892 p.
- BISTRICHI, C.A.; CARNEIRO, C.D.R.; DANTAS, A.S.L.; PONÇANO, W.L.; CAMPANHA, G.A.DA C.; NAGATA, N.; ALMEIDA, M.A.DE; STEIN, D.P.; MELO, M.S.DE; CREMONINI, O.A. 1981. *Mapa geológico do Estado de São Paulo*. São Paulo: SICCT/Pró-Minério/DCET - Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). Escala 1:500.000, v. 1 e 2, 126 p.
- CALHEIROS, D. F. 1993. *Ecotoxicologia de compostos organoclorados persistentes em um ecossistema eutrófico: represa de Barra Bonita (Médio Tietê - SP)*. 198p. Dissertação (Mestrado) - Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- CALIJURI, M. C. 1988. *Respostas fisioecológicas da comunidade fitoplanctônica e fatores ecológicos em ecossistemas com diferentes estágios de eutrofização*. 293p. Tese (Doutorado). Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- CALIJURI, M. C. 1999. *A comunidade fitoplanctônica em um reservatório tropical (Barra Bonita, SP)*. 211p. Tese (Livre-Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.1999.
- CARLSON, R. E. 1974. *A trophic state index for lakes*. Contribution no 141. Limnological Research Center. University of Minnesota, Minneapolis. 17 p.
- DONZELI, P. L.; PINTO, S. A. F.; LOMBARDI NETO, F.; VALÉRIO FILHO, M.; VALERIANO, M. M. 1994. *Modelo MUSLE e sistemas de informações geográficas aplicados aos estudos de pequenas bacias hidrográficas*. Trabalho apresentado na X Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água (Florianópolis - SC). Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do solo, resumos, 140p.
- INPE. 2004. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *Manuais do Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING)*. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/manuais.html>> Acesso em: julho de 2004.
- KIRA, T. e SAZANAMI, H. 1995. Utilização de recursos hídricos e problemas de gerenciamento de lagos. In: HASHIMOTO, M. (ed.). *Diretrizes para o gerenciamento de lagos*. Japão. v. 2, 6 p.
- LOAGUE K.; CORWIN, D.L. e ELLSWORTH, T. R. 1998. The challenge of predicting nonpoint source pollution. *Environmental Science e Technology*, p. 130-133.
- MATSUMURA-TUNDISI, T.; HINO, K.; CLARO, S. M. 1981. Limnological studies at 23 reservoirs in southern part of Brazil. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, v. 21, p. 1.046-1.053.
- MATSUMURA-TUNDISI, T.; LEITÃO, S. N.; AGUENA, L. S.; MIYAHARA, J. 1990. Eutrofização da Represa de Barra Bonita: estrutura e organização da comunidade de

- rotífera. *Revista Brasileira de Biologia*, v. 50, p. 923-935.
- NOVO, E. M. L. M.; BRAGA, C. Z. F. 1991. *Relatório do projeto sensoriamento remoto de sistemas aquáticos*. Convênio CRHEA/USP-INPE/MCT. São José dos Campos. 75 p.
- NOVO, E. M. L. M.; BRAGA, C. Z. F. 1995. *Segundo relatório do projeto sensoriamento remoto de sistemas aquáticos*. Convênio CRHEA/USP-INPE/MCT. São José dos Campos. 103 p.
- PEREIRA-FILHO, W. 2000. *Influência dos diferentes tipos de uso da terra em bacias hidrográficas sobre sistemas aquáticos da margem esquerda do reservatório de Tucuruí – Pará*. 138p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- PIÃO, A. C. S. 1995. *Transporte de nitrogênio, fósforo e sedimentos pelo Ribeirão dos Carrapatos município de Itaipá, SP, sua relação com usos do solo e outros impactos antropogênicos e a sua deposição no braço do Taquari (Represa de Jurumim)*. 194 p. Tese (Doutorado) - Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- PINTO, S. A. F. 1996. *Contribuição metodológica para análise de indicadores da erosão do solo utilizando técnicas de sensoriamento remoto, geoprocessamento e modelo predictivo*. Tese de Livre-Docência - IGCE, UNESP, Rio Claro.
- PRADO, R. B. 2004. *Geotecnologias aplicadas à análise espaço-temporal do uso e cobertura da terra e qualidade da água do reservatório de Barra Bonita, SP, como suporte à gestão de recursos hídricos*. 172 p. Tese (Doutorado). Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- RANIERI, S. B. L. 1996. *Avaliação de métodos e escalas de trabalho para determinação de risco de erosão em bacia hidrográfica utilizando sistema de informações geográficas (SIG)*. 128p. Dissertação (Mestrado) - Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1996.
- REFOSCO, J. C. 1994. *Estudo comparativo da paisagem das bacias hidrográficas dos rios Araguá e da Prata. Modificações da paisagem e impactos na quantidade de material em suspensão no ambiente aquático*. 101 p. Dissertação (Mestrado) - Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1994.
- THORTON, W. K. 1990. Perspectives on Reservoir Limnology. In THORTON, W. K. et al. (ed.) *Reservoir limnology: ecological perspectives*. John Wiley and Sons, Inc.
- TOLEDO, A.; TALARICO, M.; CHINEZ, S. J.; AGUDO, E. G. 1983. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação do processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 12, Camboriú. *Anais*. p. 1-34.
- TUFFORD, D. L.; Mc KELLAR JR., H.N.; HUSSEY, J.R. 1998. Stream nonpoint source nutrient prediction with land-use proximity and seasonality. *Journal of Environmental Quality*.
- WISNIEWSKI, M. J. S. 1998. *Distribuição espacial e produção secundária da comunidade zooplânctônica do reservatório de Barra Bonita – SP*. 240p. Tese (Doutorado) - Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.