



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
ESCOLA DE EXTENSÃO DA UNICAMP
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL



CLÁUDIA PICOLI
LÚCIO MENEZES GUIDOLIM
NÁDIA ZACHARCZUK

FATORES DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL À EUTROFIZAÇÃO DO
RESERVATÓRIO DUAS PONTES – RIO CAMANDUCAIA – AMPARO – SP

Campinas – SP

Setembro de 2014

CLÁUDIA PICOLI
LÚCIO MENEZES GUIDOLIM
NÁDIA ZACHARCZUK

FATORES DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL À EUTROFIZAÇÃO DO
RESERVATÓRIO DUAS PONTES – RIO CAMANDUCAIA – AMPARO – SP

Monografia de Conclusão de Curso
apresentada ao Curso de Especialização em
Engenharia Ambiental da Faculdade de
Engenharia Química - Escola de Extensão
da Universidade Estadual de Campinas.

Orientador: Prof. Dr. Edson Tomaz

Campinas – SP
Setembro de 2014

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	04
2. OBJETIVO	07
3. METODOLOGIA	09
4. ÁREA DE ESTUDO: RESERVATÓRIO DUAS PONTES	10
4.1 Reservatório Duas Pontes	14
5. SOLO	21
5.1 Efeitos Adversos no Meio Ambiente/Agricultura	22
5.2 Fatores que aceleram a Eutrofização em Reservatórios	29
5.3 Erosão	29
5.3.1 Erosão Urbana	31
5.4 Práticas Conservacionistas do Solo	33
6. IRRIGAÇÃO	36
7. PLUVIOSIDADE	39
8. ECOSSISTEMAS LÓTICOS, LÊNTICOS E HÍBRIDOS.	40
9. EUTROFIZAÇÃO	42
10. DISCUSSÃO	43
10.1 Avaliação Prévia da Qualidade do Rio Camanducaia	43
10.2 Dados dos Relatórios da Qualidade das Águas - CETESB	44
10.3 Índices da Qualidade das Águas	50
11. CONCLUSÃO	51
12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

1. INTRODUÇÃO

O aporte hídrico de regiões de intensa atividade antrópica, especialmente em regiões mais populosas, é uma necessidade cada vez mais problematizada e crítica, uma vez que envolve a disponibilidade deste recurso natural - a água - em condições adequadas para seu uso e aplicação.

A água é um recurso natural de grande importância ecológica e ambiental, integrando senão todos, grande parte dos ciclos ecológicos do planeta. Para o ser humano, a água tem sua importância tanto em nível fisiológico, através da necessidade para a saúde do organismo pelo consumo direto, quanto em nível social, econômico, ecológico e ambiental.

Como recurso natural que integra diversas atividades humanas tais como agricultura, pecuária e aquicultura, produção industrial, preservação de habitats, abastecimento público, transporte, harmonização de ambientes e lazer.

A água é portanto um recurso essencial às múltiplas formas de vida:

“Trata-se de um recurso natural essencial, seja como componente bioquímico dos seres vivos, como meio de vida de inúmeras espécies vegetais e animais ou como fator de produção de vários bens de consumo, tanto final quanto intermediário (LOBO, 2013 apud MOURA et. al., 2014).”

A tendência crescente à demanda de consumo promove o risco à escassez do recurso em condições adequadas para utilização, por se tratar de um recurso natural que apresenta seu ciclo nem sempre sincrônico à temporalidade de sua intensa exploração pelo homem. Atualmente veiculam-se pelos meios de comunicação as discussões e estudos sobre a crise hídrica nos Estados de São Paulo e Rio de Janeiro, especialmente.

A escassez hídrica vem se agravando gradativamente na última década, principalmente nos últimos sete anos e chegou em resultados alarmantes em Janeiro de 2013, provocando o colapso do Sistema Cantareira, que abastece regiões mais populosas do Estado de São Paulo. Isto afeta

também o abastecimento dos municípios e empresas das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ), colocando em risco a sustentabilidade da região e a qualidade de vida de nossa população. Atualmente a população atingiu os atuais 75% da população brasileira concentrada na zona urbana, com 35% concentrada nas cinco maiores regiões metropolitanas¹.

Veiculam-se pelos meios de comunicação as discussões e estudos sobre a crise hídrica nos Estados de São Paulo e Rio de Janeiro, especialmente. Alguns estudos apresentam como explicação as naturais características climáticas e sazonais de estiagem em período de inverno que foi acumulada nos últimos anos resultando no esvaziamento das reservas. Já outros apontam o avanço do desmatamento da Amazônia.

De acordo com o INPE, o desmatamento acumulado na Amazônia desde que se iniciou o mapeamento pelo Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal (PRODES) chega a 759.213km². Isto corresponde, por exemplo, a três vezes a área do Estado de São Paulo².

Segundos especialistas, o desmatamento fez com que diminuísse a evapotranspiração pelas árvores e conseqüentemente a ocorrência dos chamados Rios voadores “cursos de água atmosféricos” formados por massas de ar carregadas de vapor de água propelidas pelo vento da região norte para a região Sudeste³.

¹SINDUSCON-SP. Resíduos da Construção Civil e o Estado de São Paulo. Em <http://www.ambiente.sp.gov.br/cpla/files/2012/09/residuos_construcao_civil_sp.pdf>. Acesso em 06.09.2014.

² Em <<http://www.inpe.br>>. Acesso em 06.09.2014.

³PETROBRAS. Fenômenos dos Rios Voadores. Em < <http://Riosvoadores.com.br/o-projeto/fenomeno-dos-Rios-voadores/>>. Acesso em 06.09.2014.

De uma forma ou de outra, o decréscimo de precipitação se agravou nos últimos períodos anuais, o que impediu a plena recuperação hídrica dos mananciais e Reservatórios levando-os a níveis críticos.

A Figura 1 apresenta fotografia representando a escassez hídrica no Sistema Cantareira.



Fonte: Jorge Araujo/Folhapress

Portanto há necessidade de discussões das mais variadas para entender e propor medidas que possam mitigar em curto prazo e resolver numa escala de tempo maior a crise hídrica.

Reacendem-se então as propostas a respeito da necessidade de se priorizar planejamento e gestão do recurso hídrico. Como medidas houve a elaboração do plano de gestão do recurso hídrico, Plano das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí 2010-2020, e a aprovação de contratação de Estudos de Impacto Ambiental - EIA RIMA e projetos executivos pelo Governo do Estado de São Paulo para a construção de dois novos Reservatórios em rios paulistas.

Nesse contexto, buscou-se abordar a seguinte temática: se por um lado a construção de barragens e novos reservatórios podem amenizar a escassez perante o uso do recurso e amenizar o déficit hídrico das bacias;

por outro, a construção destes reacende a problemática e a necessidade de discussões a respeito da qualidade da água esperada nesses reservatórios, bem como um gerenciamento do recurso de modo sustentável, visto que reservatórios tornam-se vulneráveis à impactos ambientais: e *“acarreta uma série de impactos nos ecossistemas naturais decorrentes da transformação de ambientes lóticos em lênticos, provocando alterações no comportamento natural e na qualidade hídrica dos Rios e córregos represados”* (VON SPERLING, 1999 *apud* BUCCI *et al.*, 2014).

Como consequências um reservatório pode tornar-se vulnerável a partir do aumento de demanda de poluentes, tempo de residência e características que contribuem inicialmente para o desequilíbrio ecológico e limnológico, com o aumento da biomassa (produtores primários como algas e cianobactérias), inclusive com o potencial risco à saúde humana e de seres vivos, à depender de sua finalidade de uso, sujeitando-o à queda de sua qualidade hídrica se torná-lo favorável ao processo de eutrofização.

2. OBJETIVO

O presente trabalho objetiva avaliar aspectos relacionados à possível vulnerabilidade ambiental à eutrofização tendo como foco do estudo a construção do Reservatório Duas Pontes no Rio Camanducaia, pertencente à Bacia do Rio Piracicaba (Sistema Hídrico PCJ).

Dentre os beneficiários pela criação dessas barragens há como uma das principais a Refinaria de Paulínia, REPLAN/PETROBRAS, que capta água no Rio Jaguari e lança seus efluentes no Rio Atibaia e pretende nos próximos anos aumentar a sua produção, dependendo para tal de maior volume de captação e local de lançamento, através do projeto “Modernização da Refinaria de Paulínia – REPLAN/ PETROBRÁS”.

Segundo informações do Comitê do PCJ a vazão outorgada pela REPLAN no Rio Jaguari é de $0,52\text{m}^3/\text{s}$ e a requerida neste projeto, de $0,67\text{m}^3/\text{h}$, a partir de 2009⁴.

A construção do Reservatório tem por finalidade suprir o déficit hídrico da região e planejar a gestão hídrica, sendo solicitado através de estudos da necessidade de criação de novos sistemas hídricos pelo Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá - Comitê de Bacias do PCJ, buscando viabilizar aporte hídrico estratégico para períodos de estiagem principalmente, permitindo aprimoramento da operação do Sistema Cantareira com novos reservatórios e otimização de aporte hídrico para a macrorregião de Campinas e municípios circunvizinhos.

A vazão disponível na bacia do Jaguari é de $7,20\text{m}^3/\text{s}$ e a previsão com a construção das barragens é que essa vazão aumente $5,5\text{m}^3/\text{s}$, totalizando em $14,5\text{m}^3/\text{s}$. Vazão do Camanducaia $3,6\text{m}^3/\text{s}$.

Dentre os beneficiários pela criação dessas barragens, a principal beneficiária do setor industrial, será a Refinaria REPLAN/PETROBRÁS, localizada em Paulínia, que capta água no Rio Jaguari e lança seus efluentes no Rio Atibaia e pretende nos próximos anos aumentar a sua produção, dependendo para tal de maior volume de captação e local de lançamento, através do projeto “Modernização da Refinaria de Paulínia – REPLAN/ PETROBRÁS”. Segundo informações do Comitê do PCJ a vazão outorgada pela REPLAN no Rio Jaguari é de $0,52\text{m}^3/\text{s}$ e a requerida neste projeto é de $0,67\text{m}^3/\text{h}$, a partir de 2009⁴. Para efeito de comparação toda a captação realizada na bacia do Camanducaia é de $0,85\text{m}^3/\text{s}$.

⁴Márcio Alberto Cancellara (PROJECTUS Engenharia Consultiva, SP, BR). Programa de Ações no Âmbito dos Comitês PCJ. Bacia Rio Jaguari – Aumento da Disponibilidade Hídrica. São Paulo. Paulínia: Refinaria de Paulínia REPLAN/PETROBRAS; Mai e Jun/2013. Relatório Técnico Número 4672-00076-00.F7.00001-RE.

Diante do exposto, o Comitê do PCJ através do Parecer Técnico GT Empreendimentos nº 03/2006 se manifestou favorável à solicitação da REPLAN, porém relacionou algumas condições para o aumento da vazão de captação à realização de 11 ações de melhoria da qualidade e de quantidade dos recursos hídricos das bacias do PCJ, englobando a contratação de projetos básicos para construção das barragens de regularização.

A criação de barramentos otimiza o aporte hídrico para captação e geração de energia elétrica, porém o corpo d'água e seu entorno sofrem grandes impactos ambientais negativos, dentre estes as intervenções em Áreas de Proteção Permanente (APP). As alterações limnológicas tendem à diferenciais na vazão, sedimentação e turbulência da água, se comparado às características de águas correntes como as dos rios.

Em uma somatória de recebimento de cargas orgânicas difusas e pontuais, arraste de sedimento do solo exposto do entorno pela ausência de mata ciliar e aporte de nutrientes por escoamento superficial por ação pluviométrica, pode ter seu índice trófico alterado, levando a um quadro de eutrofização com possível floração de algas e cianobactérias que, a depender da biomassa, contribuem para a perda da qualidade do manancial e seu uso diversificado.

Por envolver diversos aspectos ambientais, sociais e ecodinâmicos são de extrema importância a adoção de medidas de planejamento, que resultem na preservação e conservação desses reservatórios, a fim de mantê-los adequados à atividade fim.

3. METODOLOGIA

A metodologia adotada para a realização do trabalho foi a revisão bibliográfica sobre os temas-chave, tais como: intervenções em Área de Proteção Ambiental (APP), conservação de solos, preservação de mananciais, construção de barragens, ecossistemas hídricos e eutrofização.

Fez-se uso de ferramentas de análises ambientais como geoprocessamento e sensoriamento remoto e de Relatórios Anuais de Parâmetros de Qualidade da Água monitorados e publicados pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, CETESB, em pontos de coleta da rede de monitoramento localizados no Rio Camanducaia.

Uma vez que o reservatório tem a previsão de finalização apenas em 2018, neste trabalho buscou-se avaliar os fatores que podem causar vulnerabilidade ambiental e favorecer a eutrofização do futuro manancial.

Em relação aos parâmetros de qualidade da água, foram selecionados aqueles que mais influenciam no aumento do grau de eutrofia, avaliando resultados de análises de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Oxigênio dissolvido (OD), turbidez, concentrações de Nitrogênio, Fósforo e Clorofila. Além destes, fatores como relevo, potencial erosivo, possíveis regiões de agricultura do entorno também foram apontados.

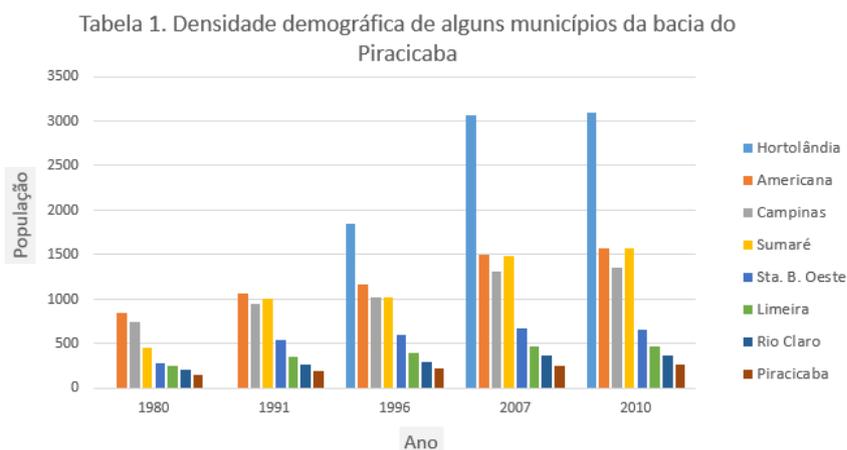
A partir da análise desses dados e uma avaliação preliminar dos fatores citados, a finalidade é avaliar o quanto o Reservatório estará vulnerável à eutrofização e conseqüente decréscimo em seu equilíbrio ecológico e ambiental.

Por fim, neste trabalho buscou-se pontuar fatores importantes referentes à conservação do entorno, além de propostas que visem minimizar o impacto que a construção da barragem pode ocasionar.

4. ÁREA DE ESTUDO: Reservatório DUAS PONTES

Bacia hidrográfica pode ser definida como uma área em que ocorre a captação natural da água de precipitação, convergindo o escoamento para um único ponto de saída. A bacia é formada por um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu ponto de menor

O Gráfico 1 aponta o crescimento populacional em alguns dos principais municípios da região.

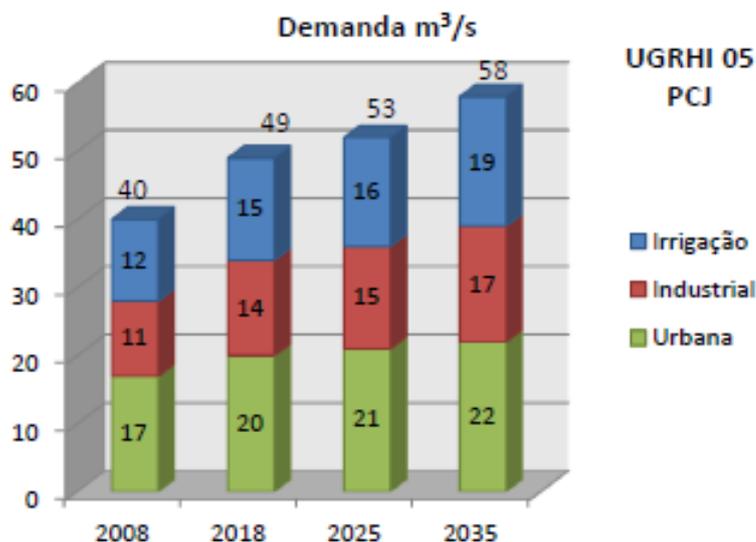


Fonte: Anos 1980 1991 e 1996. Fundação Seade e Relatório Zero. Ano 2007, IBGE população recenseada estimada e 2010 IBGE população recenseada.

O aumento da população concomitantemente aumenta a demanda de água para o consumo humano, para irrigação na produção de alimentos, para dessedentação de animais, indústria e comércio. Com isso, pode-se concluir que o crescimento populacional é um dos fatores que elevam a demanda dos recursos hídricos em todos os setores, sendo fundamental a análise da dinâmica populacional para o planejamento da demanda de recursos hídricos.

Na bacia do Piracicaba, as principais fontes de abastecimento provem de corpos hídricos superficiais da região.

A Gráfico 2 aponta a demanda hídrica por atividade na bacia:



Fonte: EMPLASA, 2008

Dentro da Bacia do Rio Piracicaba está a sub-bacia do Rio Camanducaia, que possui uma área de aproximadamente 863 km² e permeia os municípios de Pinhalzinho, Monte Alegre do Sul, Amparo, Jaguariúna, Serra Negra e Socorro⁷.

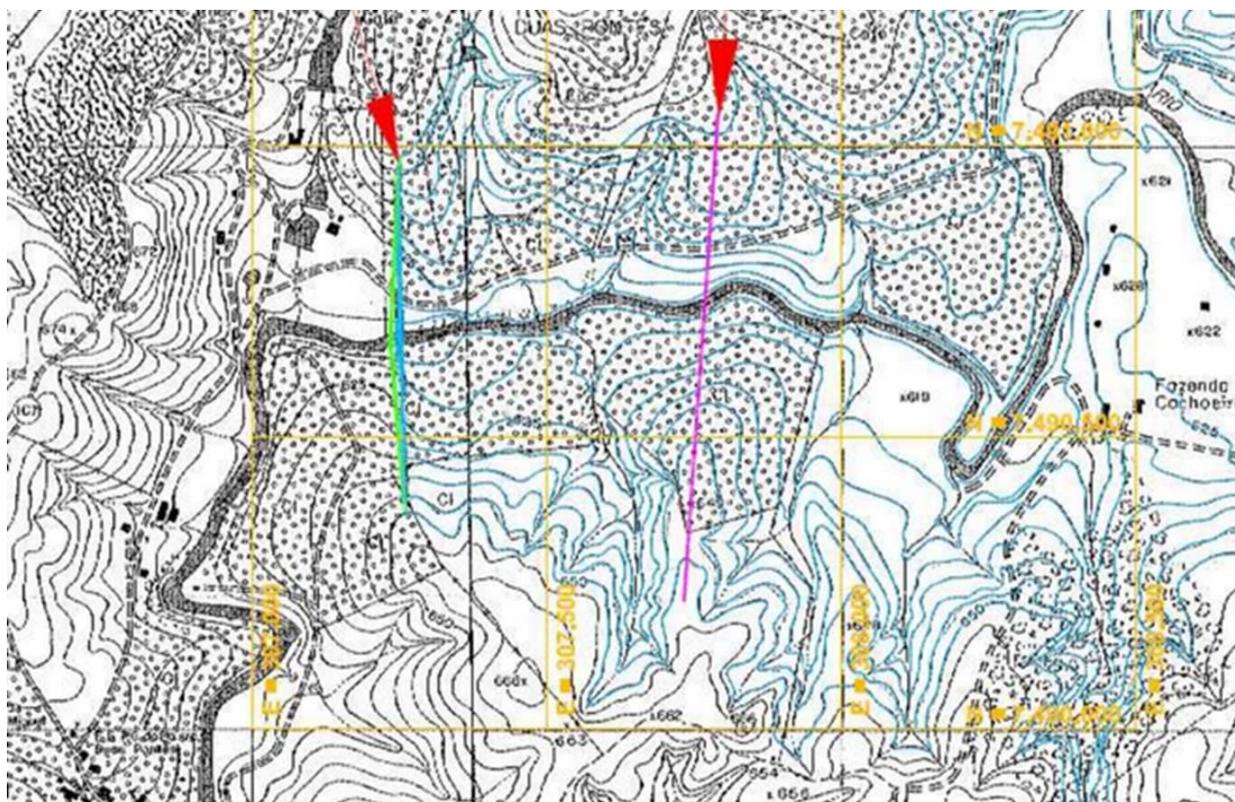
⁷Comitês das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (CBH-PCJ e PCJ FEDERAL) e Comitê da bacia Hidrográfica dos Rios Piracicaba e Jaguari (CBH-PJ). CONSÓRCIO PCJ. Consórcio intermunicipal das bacias hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. Piracicaba, SP. Jul/2013. Termo de Referência para Identificação de Aproveitamentos Hidráulicos para a Regularização de Afluências na Bacia do Rio Camanducaia à jusante do Sistema Cantareira. Em <<http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/TR-Barragens-Rio-Camanducaia.pdf>>. Acesso em 17.09.2014.

A tabela 1 apresenta as principais características do Reservatório:

Característica	Duas Pontes
Área de Drenagem (km ²)	863
Produção específica anual média (t/km ² /ano)	45
D _{st} – Deflúvio Sólido Anual (t/ano)	38.816
NA mín. operação (m)	621,00
Volume Total (10 ⁶ m ³)	55,81
Vazão Média de Longo Termo (m ³ /s)	14,13
Comprimento do Reservatório (m)	7.280
IS – Índice de Sedimentação	2,10E+10
% que sai do Reservatório	1,5%
E _r – Eficiência de Retenção	98,5%
Peso Específico Aparente (t/m ³)	1,3
S – Volume de Assoreamento Anual (m ³)	29.411
T – Vida Útil do Reservatório (anos) - NA máx.	1858
T – Vida Útil Operacional do Reservatório (anos) - NA mín.	57

Fonte: Quadro 3.1. Relatório Técnico PROJECTUS 4672-00076-00.F7.00001-RE.

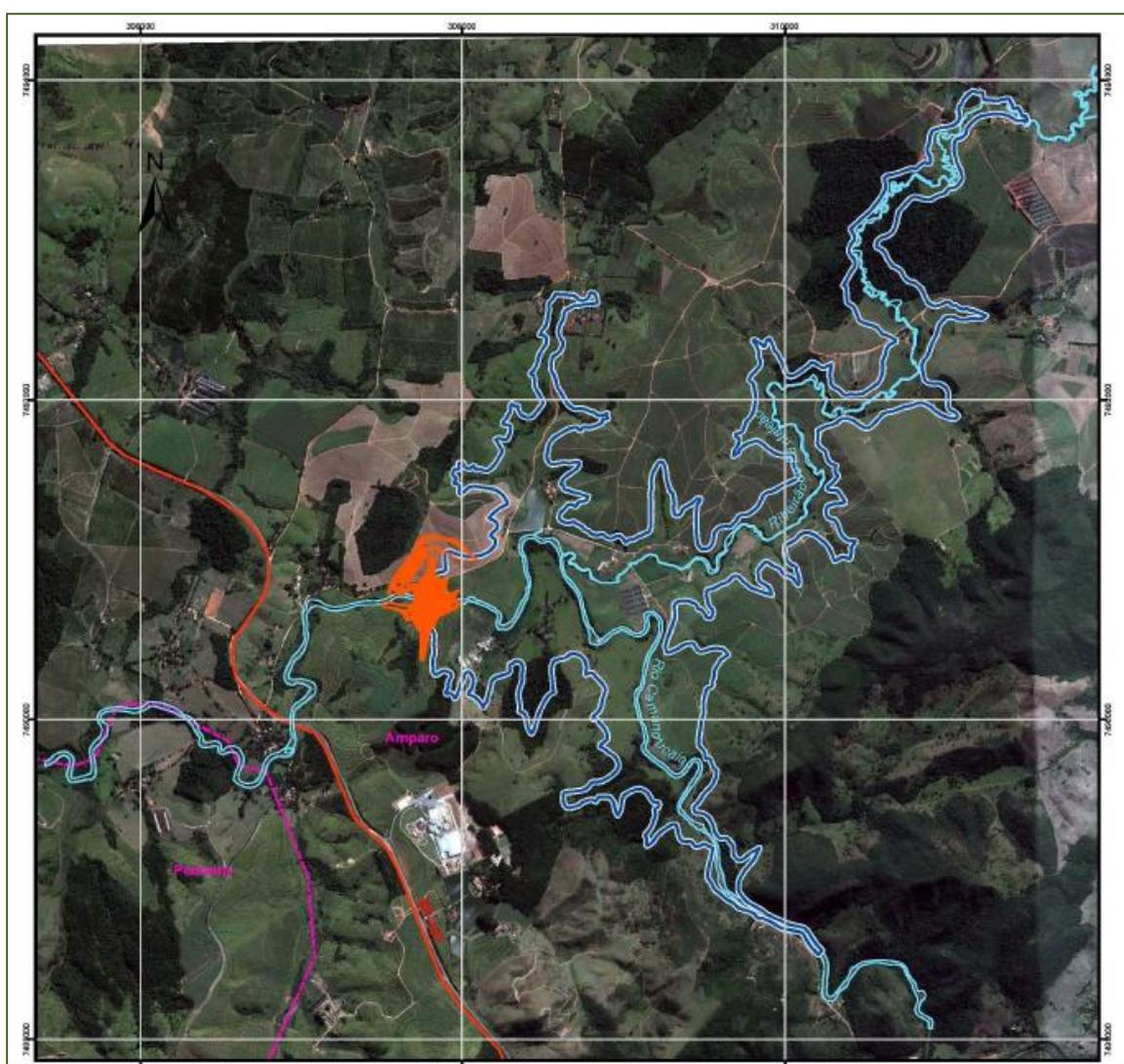
Para que pudessem estimar a cota máxima de cheia do barramento utilizou-se de cartas topográficas, conforme Figura 4:



Fonte: Relatório Técnico PROJECTUS 4672-00076-00.F7.00001-RE

O estudo topográfico elaborado para a localização do Duas Pontes foi realizado demarcando a cota de nível máximo atingido pelo barramento. A Figura 4 aponta dois perfis transversais (linhas verticais de cores verde e rosa) que indicaram em estudos preliminares as possíveis localizações do barramento atingindo a cota máxima de 645,00 metros.

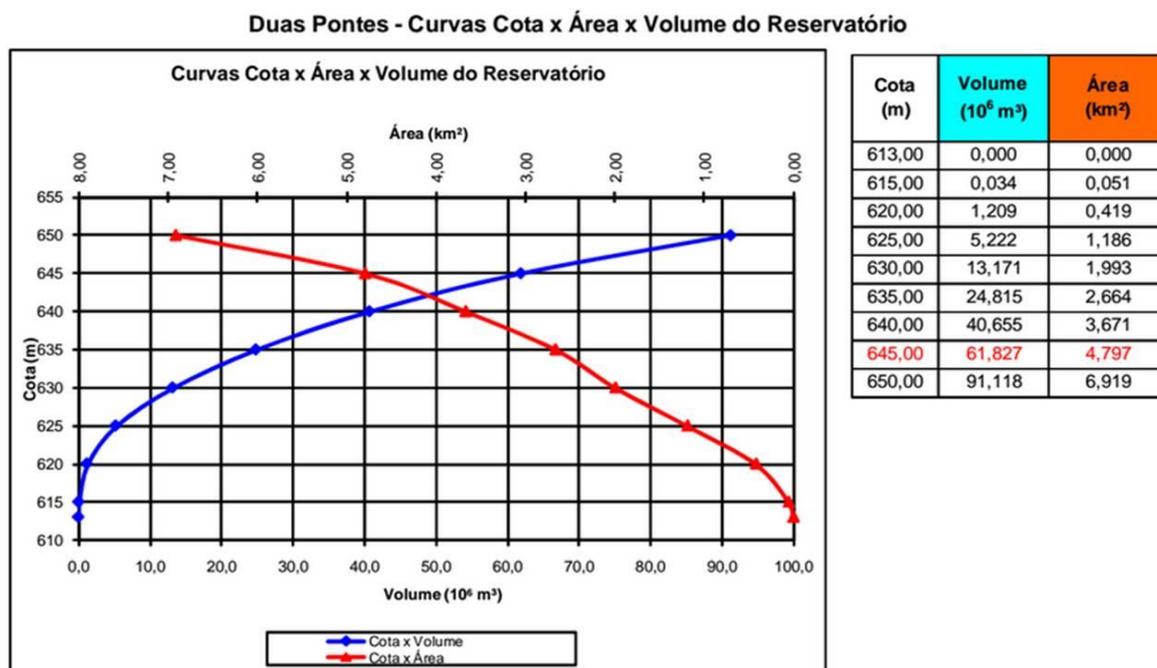
A Figura 5 representa a área definida para o reservatório, demonstrando o Nível Máximo da Água (NA) extraído da carta topográfica anterior sobreposta a uma imagem de satélite de alta resolução:



Fonte: Composição ESRI ArcGIS

- ✓ N.A. máximo normal: 645,00m
- ✓ N.A. mínimo: 621,00m

A Figura 6 demonstra o estudo realizado para otimização entre volume atingido pela água, área e altitude da localidade:



Fonte: Relatório Técnico PROJECTUS 4672-00076-00.F7.00001-RE

Conforme os estudos finais da Projectus Engenharia Consultiva, para um nível de garantia de 100% do tempo, utilizando-se os mesmos níveis operacionais de simulação, podem ser esperados os seguintes benefícios de vazões regularizadas⁹.

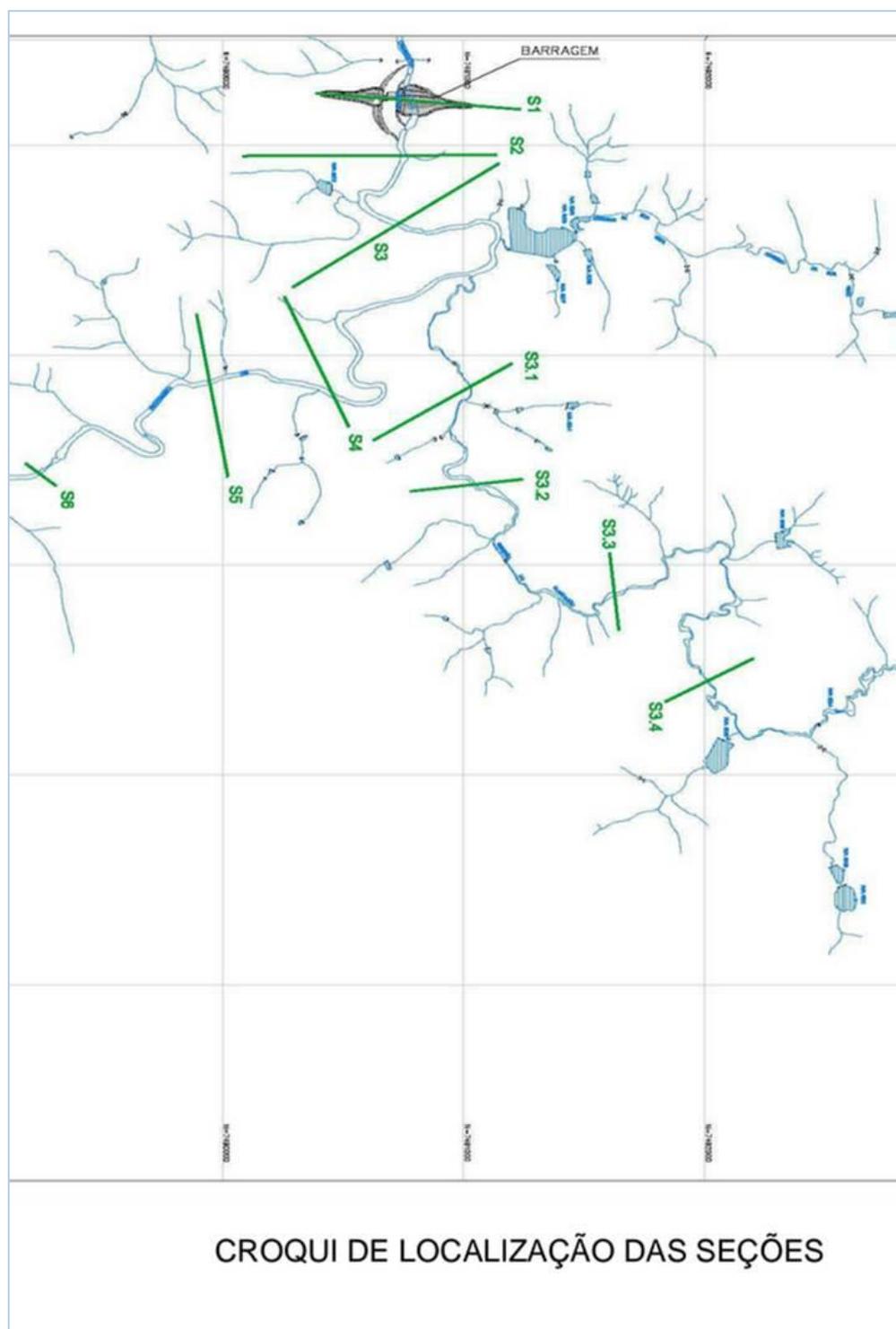
Duas Pontes => QR = 6,65 m³/s; N.A. 645,00; A = 4,33 km²

Legenda: QR = vazão/ N.A. = Nível do espelho d'água em relação ao nível do mar

A = área do Reservatório

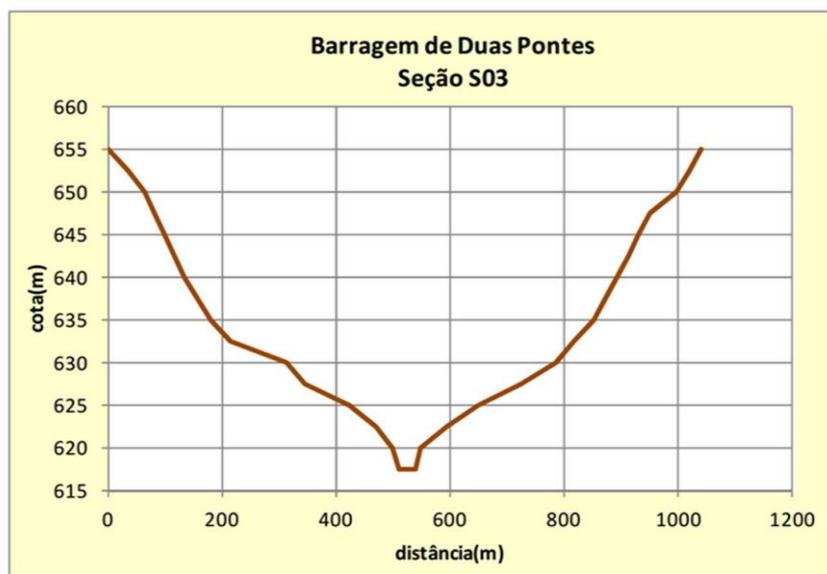
⁹Idem, *op.cit.*, p.8.

Figura 7. Croqui de Localizações das Seções

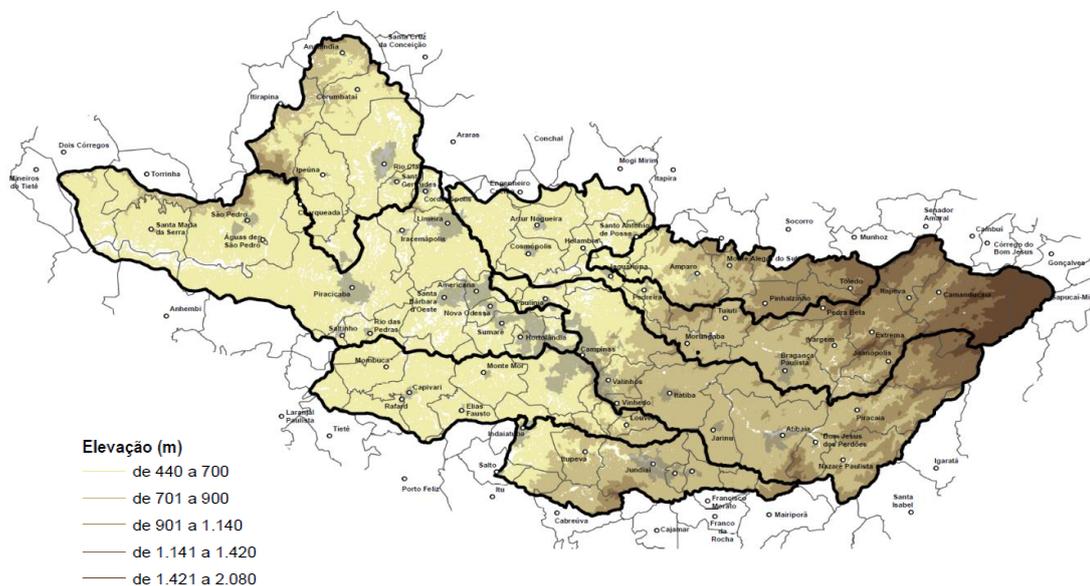


As Figuras 7 e 8, Croqui das Localizações das Seções e Pré-Diagnóstico da bacia de Drenagem realizado nos estudos preliminares apontaram como estudo conclusivo a cota e distância mais adequadas para o Reservatório, para aproveitamento otimizado da localização:

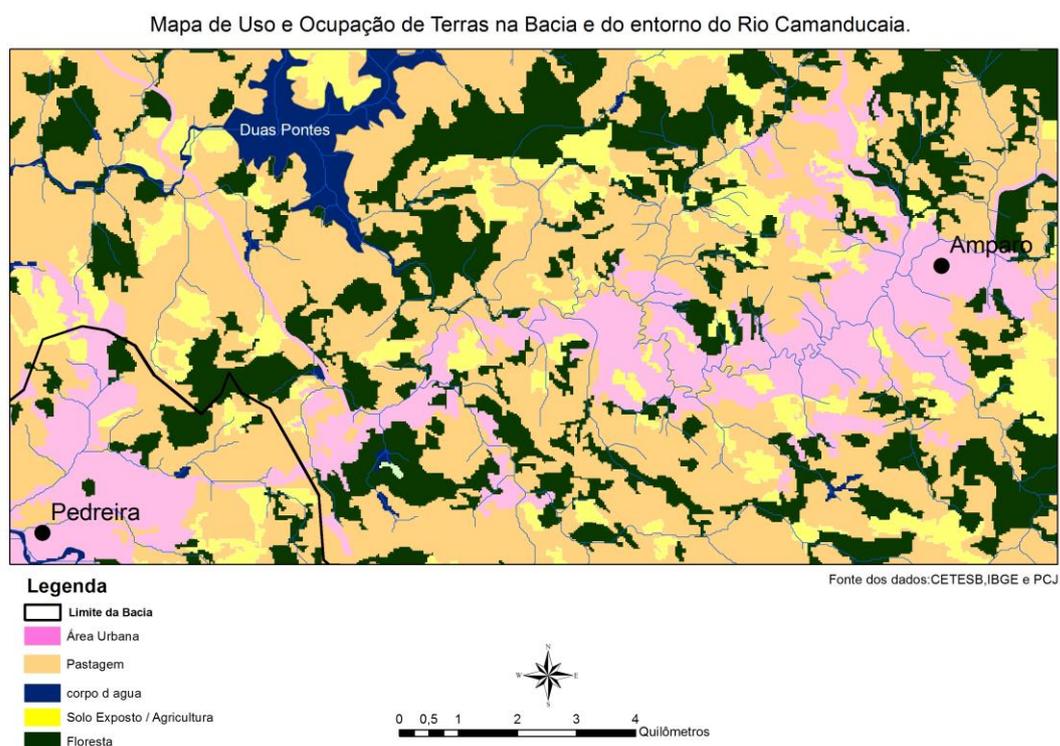
Figura 8. Pré-diagnóstico da Bacia de Drenagem do Reservatório:



Conforme Figura 9, a sub-bacia do Rio Camanducaia apresenta um relevo acentuado, sendo propícia a perda de solo impulsionada pela declividade, ação dos ventos e da pluviosidade. A perda de solo consequentemente gera o assoreamento, causando impactos dos mais variados.



A figura 10 apresenta o Mapa de Uso e Ocupação do Solo no entorno do Reservatório Proposto:



No Mapa pode-se verificar a presença de agricultura, pastagens e áreas bastante urbanizadas.

A região apresenta alguns resquícios de mata nativa, porém, estes remanescentes se apresentam de forma bastante espaçada não permitindo o fluxo gênico de fauna e flora.

O Mapa nos permite constatar o quanto as APP's estão desprovidas de mata Ciliar dificultando a recarga dos aquíferos e reserva hídrica.

De acordo com SKORUPA, 2003:

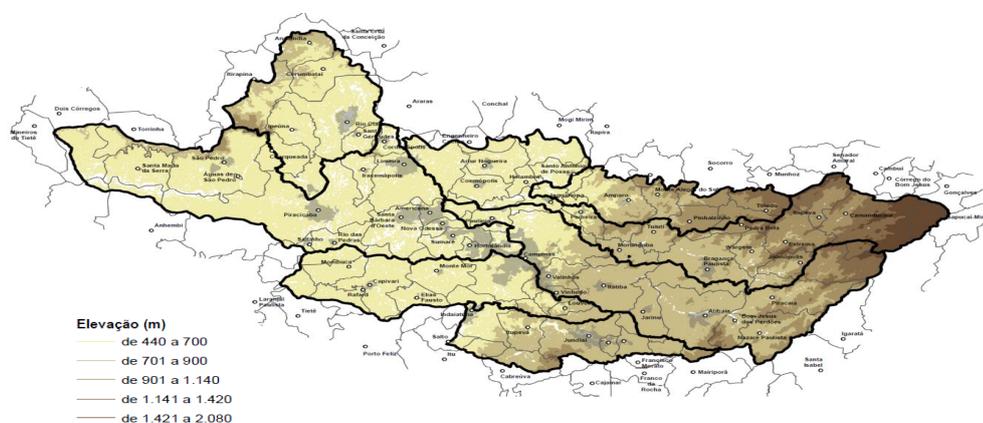
*“ O Código Florestal brasileiro define **Áreas de Preservação Permanente (APP)** são áreas “cobertas ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os*

recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas”.
(SKORUPA, L A, 2003)

A vegetação das APP's desempenham diversas funções como o amortecimento do impacto das chuvas no solo, prevenindo assim, processos de compactação, mantendo o solo poroso e capaz de absorver a água para os lençóis freáticos evitando o excessivo escoamento superficial da água, que acarreta o carregamento nutriente para o leito dos cursos d'água, poluindo e assoreando os rios e reservatórios.

5. SOLO

A Figura 11 aponta a altimetria das Bacias do PCJ:



No mapa podemos verificar as altitudes da região das bacias do PCJ onde o relevo apresenta uma declividade acentuada na direção das nascentes dos rios Camanducaia, Jaguarí e Atibaia.

Portanto é uma região de grande susceptibilidade a erosão e, desse modo, as práticas agrícolas as manejadas adequadamente.

5.1 EFEITOS ADVERSOS NO MEIO AMBIENTE/AGRICULTURA

Em 2010 o agronegócio brasileiro atingiu o recorde das exportações e segundo o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada – ESALQ/USP e Confederação Nacional da Agricultura, CEPEA/CNA, elas representaram US\$ 76,4 bilhões. O Brasil se destaca nas exportações de suco de laranja e também na exportação de carne bovina, de frango e suína. Esse aumento nas exportações também é resultado mais do aumento da produtividade e menos do aumento da fronteira agrícola. Em 2003, o Brasil colheu 123,2 milhões de toneladas de grãos e de acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, MAPA.

Na safra agrícola 2010/2011, a colheita de grãos foi de 159,5 milhões de toneladas.

Nos próximos anos os desafios da agricultura estão relacionados com o fato de que na maior parte das regiões do mundo menos pessoas viverão da agricultura, e menos ainda serão agricultores. Também haverá a necessidade de novas tecnologias que deverão extrair mais de uma porção menor de área, utilizando menos mão de obra. Atualmente as propriedades estão cada vez mais tecnológicas e produtivas, por exemplo: na produção de milho enquanto o mundo cresceu 17% em produtividade, o Brasil cresceu 73%:

De acordo com a Associação Nacional para Difusão de Adubos, ANDA, o mercado nacional de fertilizantes movimentou em 2010 cerca de 24,5 milhões de toneladas, próximo ao recorde registrado em 2007, quando o mercado interno consumiu 24,6 milhões de toneladas. No período de Janeiro a Maio de 2011 foram comercializadas 8,5 milhões de toneladas, aumento de 23,8% sobre os 6,9 milhões de toneladas negociadas no mesmo período do ano passado.

Dos três meios: Ar, Água e solo, o solo é o mais facilmente modificável pelo homem. Toda civilização, através da necessidade de alimentos, depende do fato de trabalhar o solo, para fazê-lo mais produtivo.

O solo é formado de cerca de 90 elementos de ocorrência natural, sendo os mais comuns o Oxigênio, Silício, Alumínio e Ferro. Os elementos são encontrados sob a forma de minerais. O solo é formado a partir da desagregação das rochas e consiste de uma porção inorgânica e uma porção orgânica.

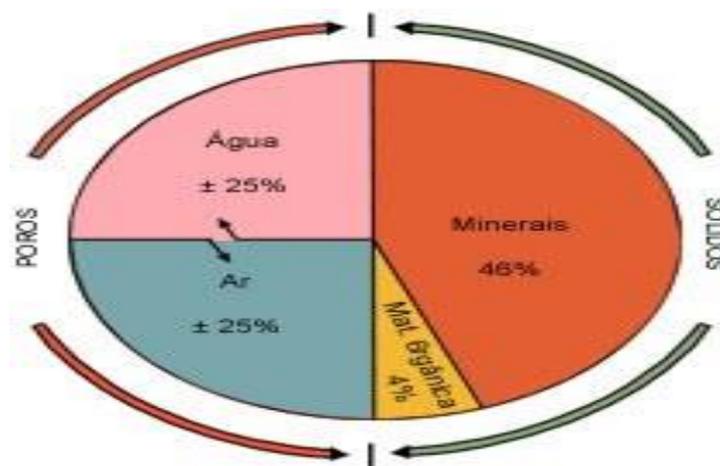


Figura 12: Composição volumétrica típica de um solo (in LEPSCH, 1976).

Dos componentes de qualquer planta, o Carbono vem do ar (CO_2), o Oxigênio vem do ar e água, o Hidrogênio, da água. Ar e água são responsáveis por 95% da composição do vegetal. O solo, no entanto, ainda que contribua com 5% tem sua parcela de importância. A planta não pode passar sem ele, pois os minerais que fornece são tão essenciais ($\text{N} < \text{P} < \text{K} < \text{Ca} < \text{S} < \text{Mg} < \text{Fe} < \text{Mn} < \text{Zn} < \text{Cu} < \text{B} < \text{Mo}$) como aqueles que formam a maior proporção (C, O e H). Os minerais mais comuns dos solos derivam do Silício e Alumínio, mas estes não contribuem diretamente para a nutrição dos vegetais. (MALAVOLTA, E., 1979).

O solo são partículas de argila e de húmus, conhecidas como coloides. As partículas coloidais constituem na camada iônica interior, formando em essência um imenso ânion, cujas superfícies possuem carga negativa poderosa. A camada iônica exterior é formada por um enxame de cátions frouxamente retidos que circundam e, em alguns casos, penetram na partícula. Assim, uma partícula de argila é acompanhada por um número espantoso de cátions adsorvidos, tais como, por exemplo Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ . (BRADY, C., 1983).

A Figura 13 ilustra a estrutura de um colóide de argila e outra de húmus (matéria orgânica). O cátion vai ser adsorvido pelos colóides do solo através da troca catiônica. O ânion, se lixiviado, carrega consigo cátions, necessários para manter a eletroneutralidade do meio.



As partículas atraem os cátions adsorvendo-os na sua superfície. O aspecto positivo dessa interação é que ao serem adsorvidos pelos colóides, os íons não são tão facilmente carregados pelas águas das chuvas através de lixiviação. A planta absorve a água do solo e com ela o nutriente que estava adsorvido e isto provoca a perda de íons das partículas coloidais. Ao perderem íons, atraem novos, estabelecendo-se a troca. A capacidade de um solo trocar seus íons é chamada capacidade de troca catiônica (CTC). Com cátions, e capacidade de troca aniônica (CTA), quando são ânions. Conhecer a CTC de um solo é muito importante para elevar sua produtividade.

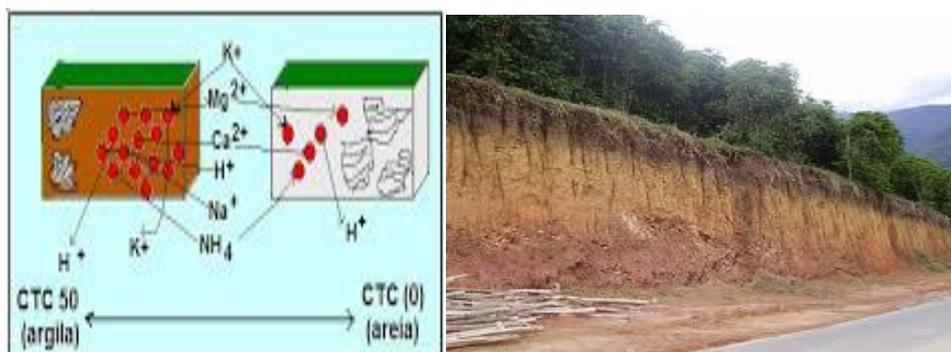
O perfil de um solo é formado de horizontes e/ou camadas de diferentes cores de acordo com a presença de Ferro hidratado, teores de Cálcio, Óxido de Silício e matéria orgânica. A matéria orgânica consiste de dois grupos gerais: tecido original e seus equivalentes parcialmente decompostos e húmus, que possui uma estrutura coloidal semelhante à da argila. (BRADY, C., 1983).

A matéria orgânica funciona como “granulador” das partículas. Assim, é a principal responsável pelo aspecto frouxo e pelo fácil manuseio dos solos produtivos. É uma das primeiras fontes de dois importantes

elementos minerais, Fósforo e Enxofre e também em essência a única fonte de Nitrogênio, pois na formação/destruição do húmus há liberação de diversos nutrientes, mas é de especial consideração a liberação do Nitrogênio, quando não fornecido por fertilização artificial via foliar.

Solos com argila de baixa reatividade, baixo teor de matéria orgânica e baixa CTC não retém cátions. Já solos com argila de alta reatividade apresentam CTC alta e podem reter grandes quantidades de cátions. Solos arenosos apresentam baixo teor de matéria orgânica e baixa CTC e são mais suscetíveis às perdas de nutrientes por lixiviação. Estas características são importantes para definir as doses e épocas de aplicação dos fertilizantes para aumentar a eficiência na adubação. O que o solo não pode reter de nutrientes será lixiviado e os nutrientes literalmente serão levados pela “água solo abaixo”.

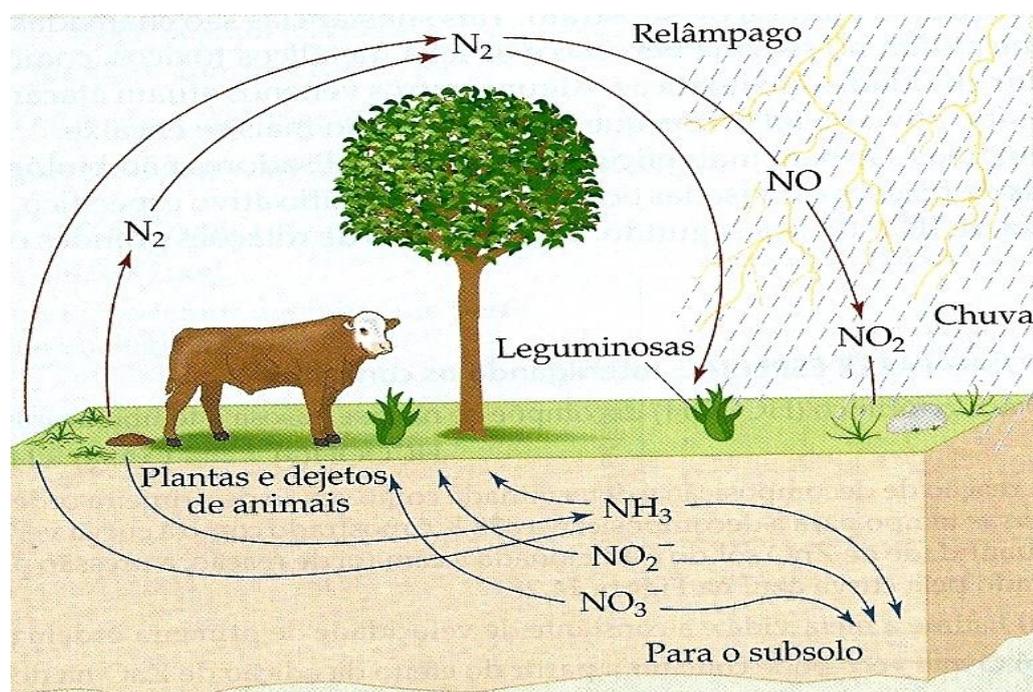
A Figura 14 possui ilustração da CTC. Ao lado o perfil do solo, com ênfase à matéria orgânica com intensa atividade microbiológica¹⁰.



A Figura 14 mostra o ciclo do Nitrogênio. Os ânions, NO_2^- e NO_3^- são repelidos pelas cargas negativas das partículas coloidais do solo e permanecem dissolvidos na solução diluída do solo, assim como a NH_3 ,

¹⁰NA SALA COM GISMONTI. Assuntos sobre Agronomia. A importância de conhecer a CTC do Solo.< <http://agronomiacomgismonti.blogspot.com.br/2009/08/importancia-de-conhecer-ctc-do-solo.html>>. Acesso em 08.09.2014.

ficando sujeitos à lixiviação, que podem se perder no subsolo. O Nitrogênio compõe aproximadamente 80% da atmosfera. Entretanto, animais e plantas não podem absorvê-lo diretamente do ar e sim na forma de amônia solúvel em água ou na forma de nitrato, nas quais é convertido por bactérias¹¹. Existem também associações do tipo micorriza entre fungos e raízes de plantas que são importantes no funcionamento deste sistema e na mediação direta da captação dos íons¹¹.

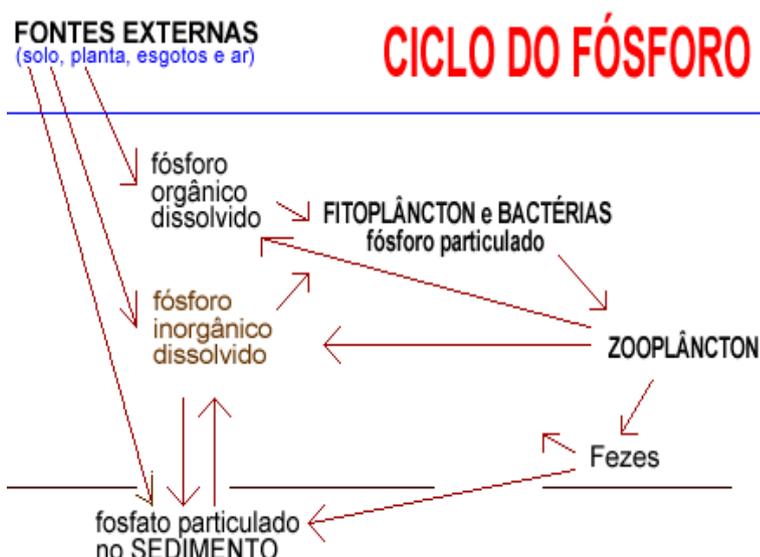


<http://www.agracadaquimica.com.br/index.php?&ds=1&acao=quimica/ms2&i=28&id=672>

O solo perde o Nitrogênio por remoção das culturas nele instaladas, erosão, fogo, lixiviação e ação das bactérias desnitrificantes. O Nitrogênio é fornecido ao solo pela fixação do Nitrogênio que consiste na incorporação de Nitrogênio elementar em componentes orgânicos.

A Figura 15 mostra o Ciclo do Fósforo. Fosfatos ($H_2PO_4^-$ e HPO_4^{2-}) podem permanecer no solo, contendo Al^{3+} e Fe^{3+} , em uma forma “fixada” como sais insolúveis $AlPO_4$ e $FePO_4$ ¹².

¹¹A GRAÇA DA QUÍMICA. Fixação de Nitrogênio e Nitrogenase. <<http://www.agracadaquimica.com.br/index.php?&ds=1&acao=quimica/ms2&i=28&id=672>>. Acesso em 08.09.2014.



Os nutrientes (íons) são removidos das partículas (argila, húmus e água) pelas raízes da planta, naturalmente ou por fertilização artificial. Em geral, nutrientes exigidos pelas plantas estão presentes em grandes quantidades nos solos férteis e as quantidades removidas por culturas simples são pequenas. Entretanto, quando uma série de culturas cresce num determinado campo e quando os nutrientes são continuamente removidos do ciclo pela sua colheita exigindo o uso de fertilizantes para adequar a concentração necessária. Nitrogênio, Fósforo e Potássio (NPK) podem constituir também fatores limitantes para o crescimento vegetal, sendo comumente aplicados por fertilização artificial.

A tabela 2 indica as concentrações e quantidades dos elementos essenciais em solos agrícolas representativos:

Elemento Essencial	%
Ferro	3,5
Potássio	1,5
Cálcio	0,5
Magnésio	0,4
Nitrogênio	0,1
Fósforo	0,06
Enxofre	0,05
Manganês	0,05
Boro	0,002
Zinco	0,001
Cobre	0,0005
Molibdênio	0,0001

Os fertilizantes podem ser considerados contaminantes por causarem desvios na composição normal do meio ambiente quando fornecem quantidades variáveis de elementos traços, muitos deles reconhecidos como metais pesados e outros como micronutrientes.

O uso de fertilizantes no solo deve obedecer sistematicamente às recomendações agrônômicas, mediante análises prévias da fertilidade do solo. Por se tratar de corpos estranhos ao solo. As reações e alterações processam-se física, química e biologicamente podendo causar efeitos negativos no agroecossistema. Deve-se considerar que os três principais elementos do solo, NPK, o Fósforo e o Nitrogênio são os principais agentes eutrofizantes em corpos d'água, mesmo em pequenas quantidades.



¹³EMBRAPA.AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA. Perda de Nutrientes.

Em<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agricultura_e_meio_ambiente/arvore/CO_NTAG01_38_210200792814.html>. Acesso em 24.09.2014

5.2 FATORES QUE ACELERAM A EUTROFIZAÇÃO EM RESERVATÓRIOS

A retirada da vegetação natural da bacia para ocupação por agricultura representa, usualmente, uma etapa intermediária no processo de deterioração de um corpo d'água. Com o uso do solo pela agricultura de modo contínuo para a alimentação há uma retirada não compensada naturalmente de nutrientes provocando uma interferência no ciclo natural dos mesmos. Para compensar o déficit e intensificar a agricultura ocorre a fertilização artificial. Os agricultores, visando garantir uma produção elevada, adicionam quantidades elevadas de N e P, frequentemente superiores à própria capacidade de assimilação pelos vegetais.

A substituição da vegetação nativa por agricultura provoca também a redução da percolação e o excedente dos fertilizantes são carregados superficialmente pelo terreno até atingir os corpos d'água. Em ecossistemas lênticos como lagos e represas, este excedente pode favorecer a proliferação do fitoplâncton e provocar a eutrofização. (VON SPERLING, M., 1996)

5.3 EROSÃO

Erosão: *sf.* desgaste da camada terrestre pela ação de agentes externos.

A erosão do solo é apontada como causa principal de comprometimento da sustentabilidade na agricultura. Em maior ou menor grau ela ocorre em todo planeta.

O Estado de São Paulo perde, a cada ano, 194 milhões de toneladas de terras férteis, sendo 40 milhões de toneladas para fundo de rios, lagos e reservatórios. Isto representa a perda de 20 cm de solo de uma área de 100.000 hectares e perdas com fertilizantes que chegam a US\$ 200 milhões. A Figura 15 mostra os maiores consumidores mundiais de fertilizantes, dentre eles o Brasil.

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	NPK
China →	33%	30%	22%	30%
Índia →	15%	15%	9%	14%
EUA →	12%	11%	16%	12%
Brasil →	3%	9%	14%	6%
Subtotal	63%	65%	61%	62%
Doutos →	37%	35%	39%	38%

Fonte: FMB Consultants Limited, 2011 *apud* TAVARES *et. al.*, 2011¹⁴.

A retenção física de sedimentos à montante do reservatório acentua a capacidade de gerar fenômenos erosivos pelo fluxo de água à jusante do reservatório, sendo que a retenção de sedimentos também interfere nos ciclos biogeoquímicos do Fósforo e Nitrogênio principalmente, podendo acentuar a eutrofização no reservatório e piora na qualidade da água em geral. A eutrofização ocorre também pela contaminação por lixiviados de fertilizantes, na área alagada e carga orgânica difusa. A retenção de sedimentos à montante carregados pela erosão diminui a vida útil de reservatórios, reduzindo seu volume disponível, que passa a ser ocupado por sedimentos.

As figuras 16 e 17 ilustram processos erosivos em solo^{15,16}.



¹⁴. TAVARES, M. F. F.; HABERLI JR, C. **O mercado de fertilizantes no Brasil e as influências mundiais**. Central de Cases. Escola Superior de Propaganda e Marketing. ESPM. Outubro 2011. Disponível em: <<http://www.espm.br/Publicacoes/CentralDeCases/Documents/FERTILIZANTES.pdf>> Acesso em: 25/09/2014.

¹⁵. RURAL PECUÁRIA. São José do Rio Preto, SP. Tecnologia e Manejo. O que é erosão? Quais são os seus tipos?. Em < <http://ruralpecuaria.com.br/tecnologia-e-manejo/solo/o-que-e-erosao-quais-sao-os-seus-tipos.html>>. Acesso em 25/09/2014.

¹⁷. PEDOLOGIA FÁCIL. Em http://www.pedologiafacil.com.br/images/enq_33_fig_5.gif. Acesso em 25/09/2014.

A drenagem sofre com os efeitos da construção de um reservatório. Inicialmente observa-se a diminuição da aeração do solo em torno do reservatório e ao longo das microbacias mais próximas. A água passa a ocupar os poros do solo. Ocorre a diminuição da condutividade hidráulica do solo e temperatura. Se a drenagem dos solos fica comprometida, aumenta-se o risco de erosão com as chuvas, pois a água não se infiltra, o que favorece o escoamento superficial, que arrasta o solo se este estiver desprotegido.

5.3.1 EROSÃO URBANA

A crescente aprovação de licenças para loteamento no entorno de mananciais e mesmo a urbanização desordenada provocam impactos. A implantação de loteamentos implica em movimentação do solo para as construções.

A urbanização reduz também a capacidade de infiltração das águas no terreno. As partículas de solo tendem, em consequência, a seguir pelos fundos de vale, até atingir o manancial e a sedimentar, devido às baixíssimas velocidades de escoamento horizontal. A sedimentação das partículas de solo causa o assoreamento, reduzindo o volume útil do corpo d'água, e servindo de meio suporte para o crescimento de vegetais fixos de maiores dimensões, as macrófitas, que causam uma evidente deterioração no aspecto visual do corpo d'água. A drenagem pluvial urbana lançada de forma irregular também contribui para o assoreamento. O maior fator de deterioração de águas de rios, lagos e reservatórios artificiais está, no entanto, associado aos lançamentos de esgotos domésticos irregulares e *in natura*, oriundos das atividades urbanas e ocupação desordenada. (VON SPERLING, M., 1996)

A Figura 18 mostra a fotografia do Reservatório de Salto Grande (Americana-SP) em local de assoreamento e crescimento das macrófitas.



Fonte: Google Earth

A Figura 19 mostra a imagem espacial do Reservatório Salto Grande, com o arrasto de solo provocado pela erosão no plantio de cana-de-açúcar. Este é um exemplo clássico da erosão provocado por intensa atividade agrícola e ocupação habitacional desordenada no entorno do manancial.



Fonte: Google Earth

5.4 PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS DO SOLO

Ao conservar o solo e ordenar seu uso e ocupação conseqüentemente há um impacto benéfico em relação aos mananciais.

Plantios convencionais rompem os agregados na camada preparada do solo e aceleram a decomposição da matéria orgânica, refletindo-se negativamente em sua resistência (CARPENEDO & MIELNICZUK, 1990).

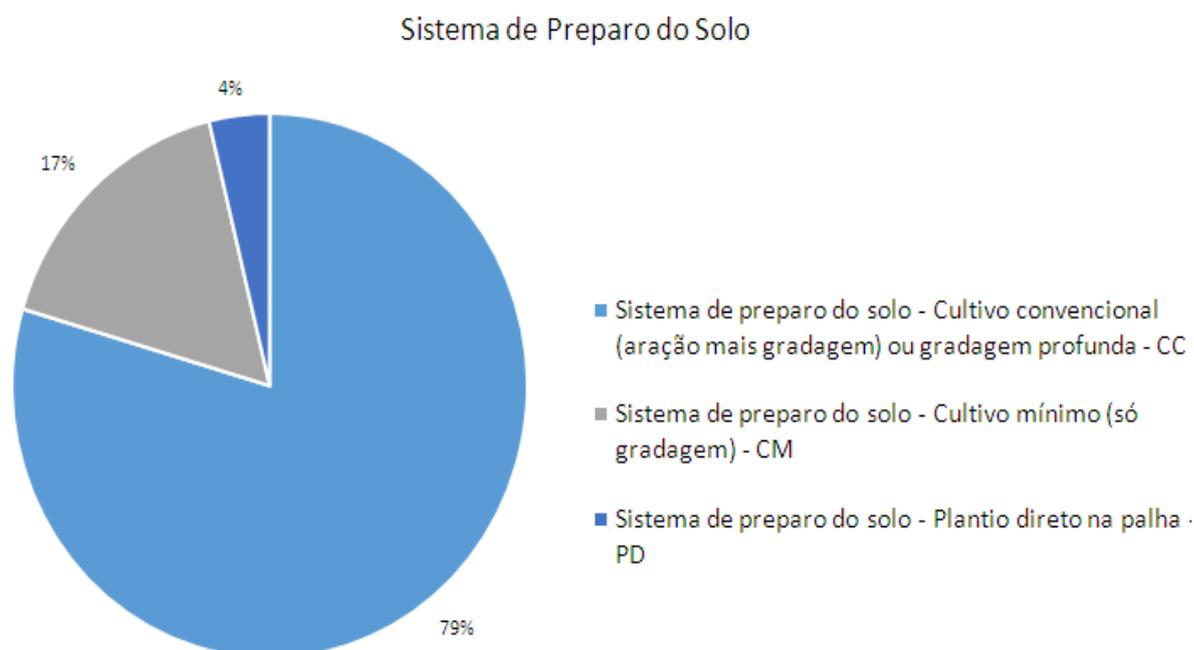
Quando os solos, descobertos pelo efeito do preparo, são submetidos às chuvas erosivas, as quais o desagregam na superfície pelo impacto das gotas, diminuem a taxa de infiltração de água e aumentam o escoamento superficial e a erosão hídrica. A erosão hídrica é o principal fator de degradação de solos agrícolas e está presente, em maior ou menor intensidade, em toda área cultivada. (DULEY, 1989; BERTOL *et al.*, 1997; BERTOL *et al.*, 1997)

A técnica do Plantio Direto é um sistema diferenciado de manejo do solo, visando diminuir o impacto da agricultura e das máquinas agrícolas (tratores, arados) sobre o mesmo. A utilização do plantio direto no lugar dos métodos convencionais tem aumentado significativamente nos últimos anos. Nele a palha e os demais restos vegetais de outras culturas são mantidos na superfície do solo, garantindo cobertura e proteção do mesmo contra processos danosos, tais como a erosão. O solo só é manipulado no momento do plantio, quando é aberto um sulco onde são depositadas sementes e fertilizantes. Não existe, além do supracitado, nenhum método de preparo do solo (arado e a gradagem). O mais importante controle que se dá nesse modo de cultivo é o das plantas daninhas, através do manejo integrado de pragas, doenças em geral e plantas infestantes. Também é muito importante para o sucesso do sistema que seja utilizado a rotação de culturas.

O sistema Plantio Direto (PD), com todos os seus fundamentos, ao se perseguir a manutenção do solo protegido ao longo do ano, seja com a palhada da cultura anterior ou por culturas para o fornecimento da

cobertura morta, bem como com proteção exercida pela própria cultura (perene ou temporária), com o menor revolvimento possível dos solos no plantio, nos tratos culturais e na colheita, esse sistema proporciona evoluções positivas no condicionamento físico e químico dos solos, principalmente com as sequências e as rotações de culturas econômicas e/ou de cobertura. O sistema PD pode proporcionar enormes benefícios em economia de água, seja pela menor evaporação, seja pela melhor infiltração e reservação das águas, tendo-as mais ao alcance do sistema radicular dos cultivos.

O Gráfico 3 indica a proporção de sistemas de plantios e preparo do solo das cidades da sub-bacia do rio Camanducaia:



Outra prática agrícola conservacionista é a curva de nível, que une todos os pontos de igual altitude de um certo terreno. As curvas ajudam a reter os elementos solúveis do solo, permitindo a intensificação da produção. A água das chuvas, ao encontrar os sulcos com as plantas, não escorre e se infiltra no solo, deixando-o úmido e evitando a erosão e a

lixiviação. As curvas de nível fazem com que não ocorra alta lixiviação dos nutrientes do solo, dando uma média de velocidade menor da água onde se perderiam muitos minerais.

A Figura 20 ilustra a fotografia de área em que foi aplicada a técnica de curva de nível:



Os terraços em curva de nível são verdadeiros degraus, mais largos, feitos em terrenos inclinados, para evitar que as águas das chuvas caiam sobre a terra e deslizem para baixo, levando sua camada superficial, de húmus, deixando-o cada vez mais "fraco" e menos fértil.

Portanto erosões mais pronunciadas levam à produção mais frequente de cheias e à deterioração dos recursos hídricos (assoreamento; aumento das taxas de escoamento superficial, reduzindo a infiltração e a recarga dos aquíferos; ampliação dos sólidos em suspensão, com perda da qualidade das águas) e do solo (diminuição da área para cultivo, compactação do solo, perda de matéria orgânica, perda de retenção de água e perda de nutrientes).

A erosão, além do enorme prejuízo causado pela perda de solo, dificulta o trabalho na lavoura (solo com sua bioestrutura destruída), diminuição da produção (perda de nutrientes), existe o custo quase incalculável de recuperação da capacidade produtiva de extensas áreas.

agrícolas, da extinção de espécies nativas e o comprometimento de todos os recursos hídricos.

6. IRRIGAÇÃO

No Brasil, estima-se que o potencial para o desenvolvimento sustentável da irrigação é de 14,6 milhões de hectares em “terras altas” e de 14,9 milhões de hectares e “várzeas”, totalizando 29,5 milhões de ha. Dessas encontram-se sob irrigação 3,149 milhões de ha, o que representa 10,7% do potencial de solos aptos para agricultura rural sustentável. Considerando que o setor é responsável por pelo menos, 1,6 milhões de empregos diretos e 3,2 milhões de empregos indiretos, fica evidenciado o seu grande potencial de crescimento pela tendência atual do agronegócio, em que se ampliam as áreas cultivadas com culturas irrigadas, em que exigem uso intensivo de mão de obra, como na olericultura e fruticultura. (CRISTOFIDIS, 2002)

A irrigação, segundo a Agência Nacional de Águas (ANA), representa mais de 70% do consumo de água no País. Logo, o setor foi um dos principais prejudicados pela falta de chuvas em regiões produtivas e problemas para armazenagem hídrica têm travado a expansão do setor agropecuário.

A agricultura é responsável por 24 % da captação de água na Europa e, apesar de isto não parecer muito em comparação com os 44 % captados para fins de arrefecimento na produção de energia, o seu impacto sobre as reservas é muito maior. Enquanto quase toda a água de arrefecimento é devolvida à massa de água, no que toca à agricultura este valor não ultrapassa normalmente um terço.

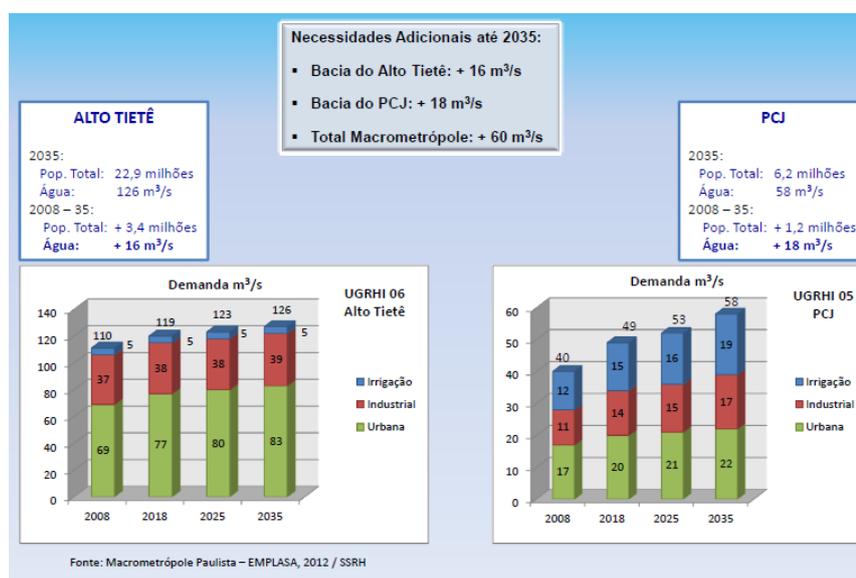
No caso da bacia do PCJ a construção dos Reservatórios Duas Pontes e Pedreira aumenta a reserva hídrica para a agricultura. Todavia, a região faz pouco uso da irrigação, seja pelo alto custo dos equipamentos ou pela topografia do terreno que a despropicia.

A demanda total de água nas Bacias PCJ é de 36,34 m³/s. A sub-bacia do Rio Atibaia apresenta a maior demanda de água, com 27% do

total das Bacias PCJ; a sub-bacia do Rio Piracicaba responde por 23% do total demandado.

O uso urbano é responsável por mais da metade das demandas (52%); os usos industriais e de irrigação representam, respectivamente, 29% e 18% do total. Cerca de 18,44 m³/s da demanda urbana (aproximadamente 97%) são providos por águas superficiais e 0,62 m³/s por águas subterrâneas.

A Figura 21 apresenta as demandas urbanas e as vazões outorgadas, conforme registradas no cadastro da cobrança pelo uso dos recursos hídricos. As demandas estimadas para os 10 maiores municípios equivalem a 63% do total. Estes municípios respondem por 67% da população urbana nas Bacias do PCJ.



É importante ter em mente o significado real da agricultura irrigada, que possibilita maior produção (mais de um plantio por ano) e produtividade (otimização no uso e áreas), bem como a geração de empregos permanentes com menores níveis de investimento, em comparação com outros setores da economia (indústria e comércio). Isso promove o aumento da renda e a diminuição do êxodo rural, melhorando sensivelmente as condições de vida dos produtores e suas famílias.

Por outro lado a irrigação torna-se desvantajosa e não recomendada para locais de ventos fortes e constantes, principalmente na utilização de aspersores e em regiões em que possa ocorrer evaporação devido a temperaturas elevadas. Em alguns casos pode causar doenças em plantas pelo aumento da umidade das folhas e aumentar a umidade relativa do ar, no caso de utilizar aspersores e pivô central. O ideal, até para evitar perdas significativas do uso da água seria a utilização de micro-aspersores e irrigação por gotejamento e superfície. A excessiva aplicação da água em processos de irrigação mais tradicionais provocam compactação e erosão.

A irrigação mal feita pode ocasionar problemas de salinização, seja pela qualidade da água rica em sais, ou pelo fato de os solos serem alcalinos e favorecer a lixiviação dos nutrientes no solo, principalmente do Nitrogênio e do Fósforo.

No caso da bacia do PCJ a construção dos Reservatórios Duas Pontes e Pedreira, poderão auxiliar como uma reserva hídrica para a agricultura. Todavia a região faz pouco uso da irrigação, quando comparado com a Europa. Nessa região, porém, a perda por distribuição ainda é maior que a demanda de água para a agricultura.

São apresentados, também, por município, os índices de perdas nos sistemas públicos de abastecimento de água. Estão mostradas as perdas totais, que incluem as perdas reais (as efetivamente perdidas nos sistemas) e as perdas aparentes (correspondente a volumes consumidos mas não medidos, por problemas de imprecisão de equipamentos ou ocorrência de fraudes).

Indicadores de Perdas – IPD	
Local	IPD (%)
Brasil	38,8
Região Sudeste	34,3
Estado de São Paulo	35,2
Região Nordeste	51,4

Fonte: SANASA, 2011.

7. PLUVIOSIDADE

Atrelado à escassez da água, o verão de 2013/2014 trouxe um fenômeno climático nunca antes registrado em nossa história. Os índices pluviométricos agravaram-se em função das chuvas que ficaram 70% abaixo das médias históricas na região Sudeste do Brasil. A seca somada às altas recordes de temperaturas impactou na queda histórica do nível do Sistema Cantareira e na Bacia do PCJ. Os climatologistas estão pessimistas quanto ao período chuvoso 2014/2015, ou seja, há a possibilidade de repetição de chuvas insuficientes para atender as demandas.

A região da sub-bacia do Camanducaia possui extensa área de pastagem, o que pode afetar o reservatório em relação às cargas difusas, oriundas do escoamento para o corpo d'água durante as precipitações do que é produzido a partir da atividade pecuarista.

MESES	PRECIPITAÇÃO 2013/2014 (mm)	PRECIPITAÇÃO MÉDIA (mm)
Janeiro	252,9	280,46
Fevereiro	136,5	198,64
Março	153,3	155,2
Abril	93,3	66,57
Maio	62,8	64,4
Junho	69,5	47,23
Julho	60,6	36,91
Agosto	3,5	21,57
Setembro	31,8	62,49
Outubro	81,1	116,96
Novembro	85,8	153,88
Dezembro	97,8	212,72
Janeiro 2014	181,4	280,46
Fevereiro 2014	14,1	198,6
Março	98,6	155,2
Abril	61,9	66,57
Maio	22,9	64,4
Junho*	8,9	47,2
TOTAL	1516,7	2229,46
Fonte: CIAGRO		

8. ECOSISTEMAS LÓTICOS, LÊNTICOS E HÍBRIDOS

Os ecossistemas aquáticos possuem propriedades ambientais que os caracterizam em lânticos, lóticos e híbridos. A Limnologia é a ciência de estudo dos corpos d'água juntamente com outras áreas de estudo que se relacionam (Biologia, Oceanografia, Ecologia, Matemática, Física, entre outras).

Sistemas lânticos ou lacustres são aqueles típicos de lagoas, lagos e sistemas lóticos, os característicos de Rios e riachos. Ambientes híbridos são aqueles que possuem áreas com características ora lóticas ora lânticas e são os ecossistemas que caracterizam represas, Reservatórios e barramentos.

O fator limitante entre um ecossistema e outro é a corrente de água. Em ecossistemas lóticos a água possui maior movimentação, turbulência, o que lhe confere aspecto ecológico diferente do que caracteriza o sistema lântico e por sua extensão as interações ecológicas ocorrem de maneira

horizontal, ao longo do rio, embora nas áreas de remanso possa vir caracterizar-se semelhantemente à ambientes lênticos.

Ecossistemas lênticos são os característicos de lagos, lagoas e pântanos, em que o corpo d'água se apresenta em uma movimentação menor em relação aos rios. Por esta característica torna-se um ambiente ecológico que favorece a inter-relação de ecossistemas fronteiros e bem definidos (ecótonos), proporcionando diversidade de fauna, flora e interações ecológicas, porém organizados de modo vertical. Ambientes lênticos são divididos em zonas características:

- ✓ Zona profunda: presença de bentos, zooplâncton e heterótrofos. Ausência dos fotossintetizantes;
- ✓ Zona litoral: região de contato direto com o ecossistema terrestre adjacente, com diversidade dos níveis tróficos (produtores primários, consumidores e decompositores). Presença de vegetação, macrófitas, fronteiros da superfície da água. Subdividida em sublitoral e eulitoral;
- ✓ Zona limnética: As principais comunidades são o plâncton (bactérias, fitoplâncton e zooplâncton) e o néston (peixes). Presença de organismos aquáticos maiores;
- ✓ Zona de interfase: Predominância de macrófitas e seres vivos que dependem da tensão superficial água-ar e bactérias, fitoplâncton e zooplâncton (plêuston).
- ✓ Zona fótica: região de predominância dos produtores primários aquáticos, o fitoplâncton, devido à presença de luz solar.

Represas e Reservatórios são considerados sistemas híbridos ou mistos por apresentarem compartimentalização, em que algumas regiões possuem características de ambientes lóticos e demais, com características de ambientes lênticos. Isto é variável com o tempo de residência da represa ou reservatório, uma vez que estas áreas podem não ser tão delimitadas e confluírem-se.

Como definido por VON SPERLING, 2009¹²:

“Estes sistemas apresentam dinâmicas e complexidade de suas características, em função das influências climáticas e interações muito especiais de interação de seus fatores bióticos e abióticos envolvidos. Sistemas lênticos, característicos de lagos, lagoas e represas (lagos e represas) estão permanentemente sujeitos a uma alternância de processos de estratificação e de circulação. (...) Cabe destacar que a dinâmica de circulação e estratificação do corpo d’água é o principal fator que regula a distribuição de substâncias e de organismos na massa líquida, sendo portanto fundamental o estudo do comportamento deste processo físico.”

9. EUTROFIZAÇÃO

Os primeiros relatos que buscaram correlacionar nutrientes na água e aumento de proliferação dos produtores primários (microorganismos aquáticos fotossintetizantes) datam de 1907 na Europa (SCHINDLER, 2006 *apud* DE SOUZA, J.S. *et al.*, 2014)

Em meados do século XX moradores de regiões próximas a lagos começaram a observar este processo pela proliferação aumentada de plantas macrófitas, *blooms* de algas e eventos de mortandade de peixes. Em 1960, a Academia Nacional de Ciências dos Estados Unidos realizou um simpósio internacional, em que pesquisadores começaram a associar este aumento de proliferação de algas planctônicas com o aumento de macroelementos em ecossistemas lênticos. A partir de então, no final da

¹²Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas (CBH-Rio das Velhas). VON SPERLING, E. Belo Horizonte, MG. Nov/2009. Estudo Sobre Influência na Qualidade da Água decorrente da Implantação da Barragem de Santo Hipólito, Rio das Velhas-Mg. Em <<http://www.igam.mg.gov.br/images/stories/SEGRH/CTPLAN/4.0-estudo-edu-von-sperling-a-versao-13-nov-09.pdf>>. Acesso em 03.09.2014.

de 60, com o aumento de pesquisas nesta área apontou-se para a necessidade de regular a entrada de macronutrientes a fim de proteger os mananciais da deterioração da qualidade das águas (SCHINDLER, 2006).

Nitrogênio e Fósforo são fatores limitantes para crescimentos destes microorganismos e suas fontes são oriundas em geral de utilização de fertilizantes agrícolas que são lixiviados para o Reservatório, naturalmente pelo intemperismo de rochas e solo, lançamento de efluentes com compostos nitrogenados e fosfatados em concentrações tais que dificulta o ciclo natural gerando um excedente que é consumido e provoca o desequilíbrio e proliferação do fitoplâncton.

10. DISCUSSÃO

10.1 AVALIAÇÃO PRÉVIA DA QUALIDADE DO RIO CAMANDUCAIA

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, a CETESB, possui um programa de monitoramento das bacias do Estado de São Paulo gerando dados desde 1974, buscando a melhoria e ampliação do programa constantemente. O Rio em estudo faz parte da UGRHI 5, sigla que define uma unidade territorial de gerenciamento de recursos hídricos, como definido:

“As UGRHIs constituem unidades territoriais “com dimensões e características que permitam e justifiquem o gerenciamento descentralizado dos recursos hídricos” (art.20 da Lei Estadual 7663 de 30/12/1991 e sucedida pela Lei Estadual 9034, de 27/12/1994) e, em geral, são formadas por partes de bacias hidrográficas ou por um conjunto delas, que de forma alguma podem ser consideradas como bacias hidrográficas.” (DAEE, PERH 2004-07, grifo nosso)

A rede de monitoramento da CETESB estabeleceu para o Rio Camanducaia cinco pontos de monitoramento, em que avalia múltiplos parâmetros físico-químicos, químicos e biológicos. Destes parâmetros utilizou-se a avaliação de dados de Demanda Bioquímica de Oxigênio

(DBO), Oxigênio dissolvido (OD), pH, turbidez, concentrações de Nitrogênio, Nitrogênio amoniacal, Fósforo e clorofila-a, à montante e jusante do local previsto para a construção do Reservatório Duas Pontes.

A tabela 2 mostra os pontos de coleta de água e sua descrição. Para a realização deste trabalho foram utilizados dados coletados entre 2007 e 2013, dispostos nos Relatórios Anuais publicados pela CETESB:

UGRHI	Manancial	Pontos de coleta Código CETESB	Descrição	Lat	Long	Município
5	Rio Camanducaia	CMDC 02050	Ponte no Distrito de Mostardas, Amparo.	22°44'26"	46°38'28"	Monte Alegre do Sul
		CMDC 02100	Ponte no Bairro Ponte Preta no acesso à Osato, em Monte A. do Sul	22°42'17"	46°41'42"	
		CMDC 02300	Ponte na Estrada de acesso ao Bairro Climáticas da Bocaina, km 136,8, da Rodovia das Estâncias, à montante da captação de Amparo	22°42'09"	46°44'58"	Amparo
		CMDC 02400	Ponte a jusante do Córrego do Mosquito na SP - 107, Rodovia que liga Pedreira a Santo Antônio da Posse.	22°41'21"	46°52'51"	
		CMDC 02900	Ponte na rodovia SP-340 no trecho que liga Campinas à Mogi-Mirim.	22°39'42"	47°00'11"	Jaguariúna

Em 2012 a CETESB estabeleceu um ponto de coleta de sedimentos no Rio Camanducaia, a fim de avaliar a carga de poluentes da sub-bacia, através do ponto de coleta CMDC 02370.

10.2 DADOS DOS RELATÓRIOS DA QUALIDADE DAS ÁGUAS - CETESB

Algumas cidades da sub-bacia do Rio Camanducaia fazem a coleta do esgoto doméstico, porém possuem eficiência baixa quanto ao tratamento. Inevitavelmente o esgoto é lançado no rio sem tratamento. O parâmetro biológico de coliformes termotolerantes e recentemente a substituição apenas para a análise de detecção da *Escherichia coli*, bactéria utilizada como indicador de contaminação fecal demonstram que em todos os cinco pontos avaliados ficaram acima dos padrões legislativos, ou seja, o rio está fora do padrão de qualidade para este parâmetro. A correlação deste parâmetro com a eutrofização é que ele aponta claramente que o rio recebe cargas pontuais e difusas sem o tratamento adequado, o que pode afetar sua qualidade, assim como as séries de

análises de Fósforo dos pontos de coleta, acima do padrão legislativo (CONAMA 357/05 – 0,1mg/L), o que pode ser um indicador de vulnerabilidade à eutrofização.

Em 2007 a qualidade média verificada no ponto de coleta referente à captação de Amparo enquadrou-se na categoria regular do IET (Índice de Estado Trófico). Como já mencionado este índice relaciona a vulnerabilidade do manancial quanto à eutrofização. Neste mesmo ano, particularmente, houve toxicidade crônica devido à formação de trihalometanos (THMs), poluentes que também afetam a qualidade das águas.

O ponto CMDC 02900 apresentou-se como eutrófico quanto ao IET (Ptotal), com queda da trofia em Julho, mas com predominância de classificação em supereutrófico em demais meses. Neste ponto a concentrações de Chumbo, Cobre, Níquel e Zinco se apresentaram superiores aos limites de legislação. Isto indica que a reservação poderá trazer benefícios, porém é de grande importância medidas sustentáveis em relação a todos os aspectos relacionados à bacia hidrográfica.

Todos os corpos d'água que compõem as Bacias do PCJ se encontram uma região de alta densidade populacional, tendo como finalidade preponderante o abastecimento público. Estes mesmos corpos d'água encontram-se em alto grau de eutrofização, devido às elevadas cargas de Fósforo total, decorrentes, em boa parte do lançamento de esgotos domésticos. O tratamento de esgoto doméstico é fundamental, sendo um de seus aspectos principais, além da remoção de carga orgânica, a eliminação de nutrientes (Nitrogênio e Fósforo) que causam a eutrofização e o crescimento da comunidade fitoplanctônica. As ETES existentes, em sua maioria, contemplam apenas tratamento primário e secundário, portanto com baixa eficiência na remoção de nutrientes.

Em regiões como esta, é fundamental considerar a implantação de tratamentos avançados. Assim como em 2006, as vazões dos principais rios dessa UGRHI – Atibaia, Jaguari, Piracicaba e Camanducaia - mantiveram-se, na maior parte de 2007, com valores abaixo da média

histórica, comprometendo ainda mais a qualidade das águas, nos trechos críticos, principalmente onde ocorrem lançamentos de esgotos domésticos in natura.

Em 2008, o Rio Camanducaia apresentou qualidade regular em relação ao IQA. Ao longo do ano, nos três pontos de monitoramento, o IQA variou de regular a bom, com exceção do Ponto CMDC 02900, localizado em Jaguariúna, com qualidade ruim em Janeiro, devido às altas concentrações de Fósforo Total e de Turbidez. Apesar de apresentar qualidade regular em relação ao IQA, o Rio Camanducaia apresentou bons níveis de Oxigênio Dissolvido, de modo geral.

A captação de Amparo, no Rio Camanducaia apresentou, em 2008, IAP médio na categoria ruim. Ao longo do ano, os IAPs obtidos em Maio e Novembro enquadraram-se na categoria regular e, em Janeiro, na categoria péssima, devido ao elevado Potencial de Formação de Trihalometanos.

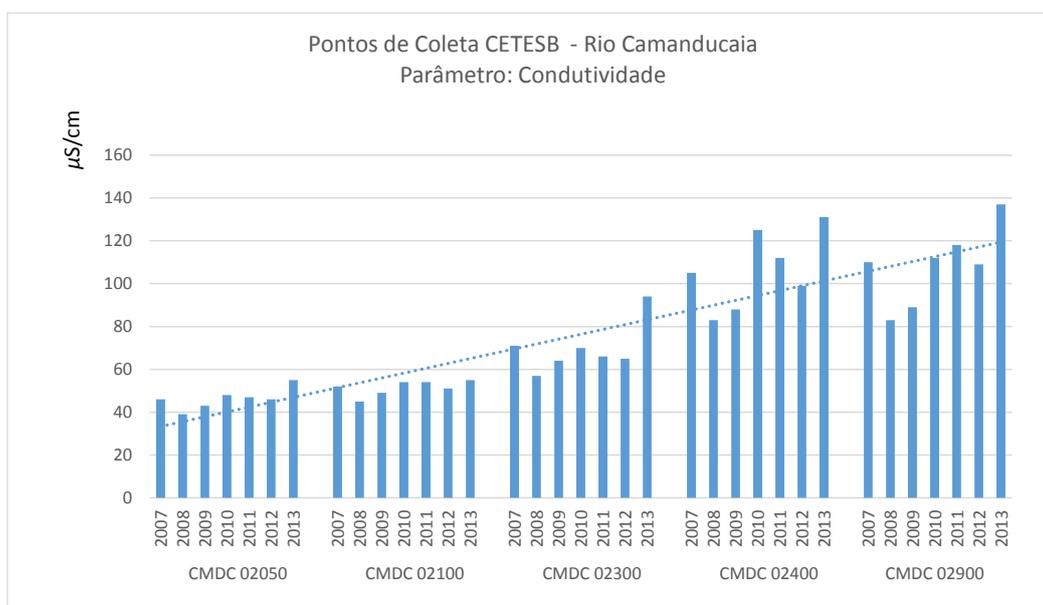
Nessa sub-bacia verificou-se toxicidade crônica em novembro nas amostras dos pontos CMDC 02900, JAGR 02100 e JAGR 02500. Os efeitos tóxicos observados não se correlacionaram com os resultados das análises químicas efetuadas, sendo que a ocorrência de tais efeitos pode estar associada a outras substâncias não avaliadas.

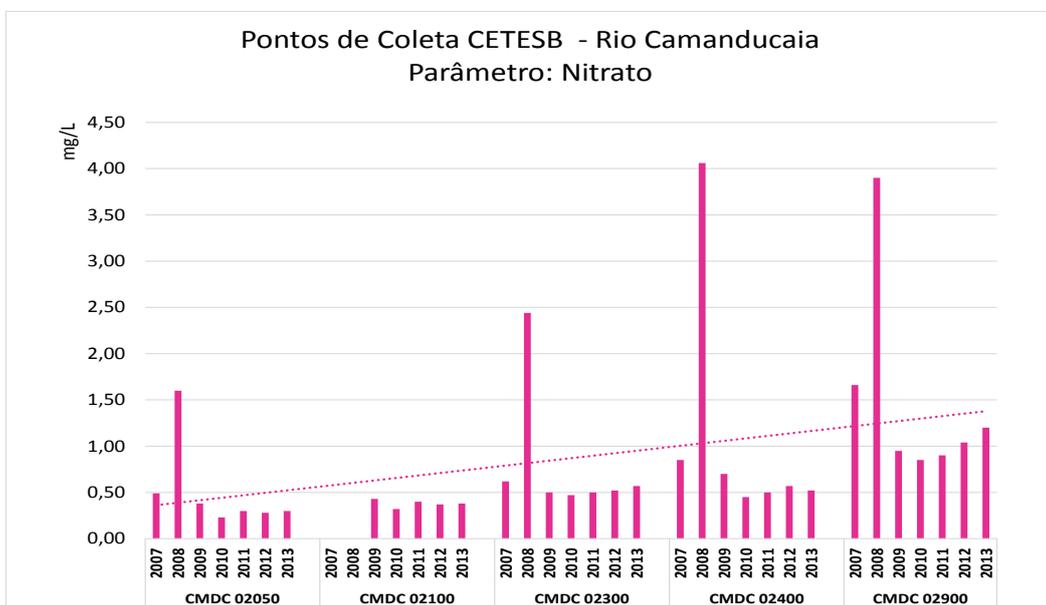
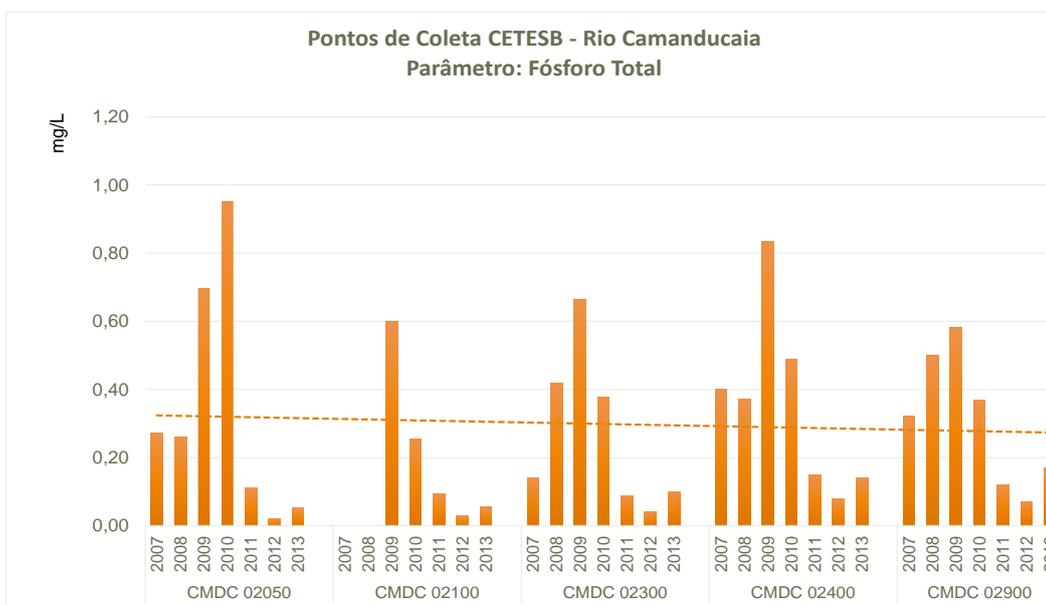
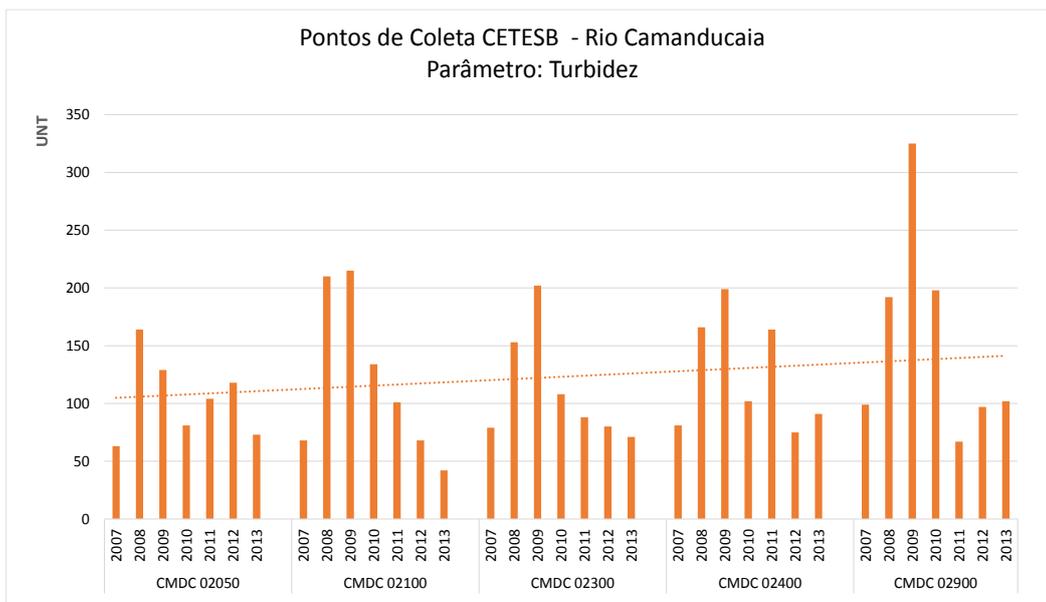
Em 2008, o ponto localizado no distrito de Mostardas em Amparo teve classificação do IET que o indicou em condição eutrófica, onde as concentrações de Fósforo Total, em alguns meses, e coliformes, no ano, estiveram superiores ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05. Quanto aos pontos CMDC02300 e CMDC02400, localizados em Amparo e CMDC02900, em Jaguariúna, a média anual do IET foi de supereutrófico, atingindo em Janeiro condições hipereutrófica. Nesse trecho, foi constatada uma piora na qualidade em relação a 2007 e salienta-se que no ponto CMDC02300, localizado a montante da captação de Amparo, a piora foi significativa, uma vez que em 2007 exibia condição mesotrófica. Nos pontos localizados em Amparo, tanto as concentrações de Fósforo Total quanto as de Coliformes Termotolerantes apresentaram,

em todos os meses, valores ultrapassando os limites para Classe 2. Em Jaguariúna, além das concentrações de Fósforo Total e coliformes ainda persistem alguns metais (Chumbo e Níquel) acima dos limites estabelecidos para classe 2 (CONAMA 357/05).

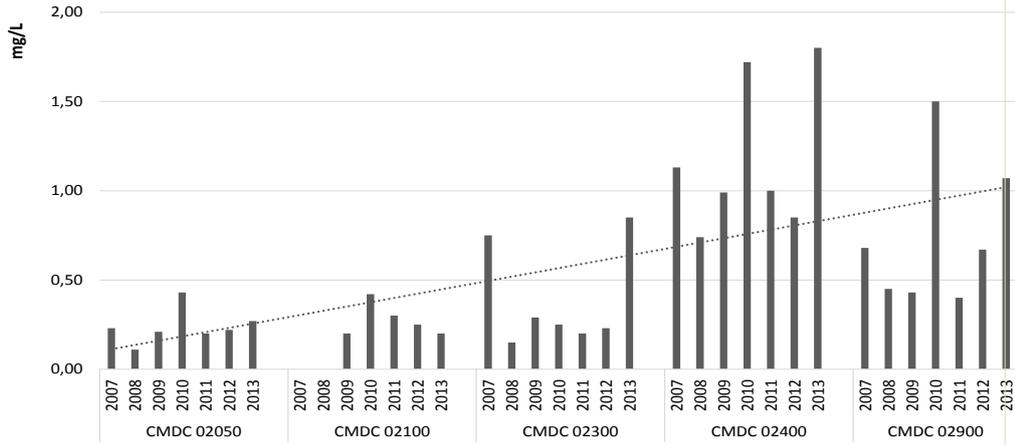
Dados do Relatório anual das Águas Interiores mais atuais (2013) continuam apontando o aumento das concentrações de Nitrogênio e Fósforo, este último acima do padrão legislativo.

Nos gráficos a seguir podemos avaliar a tendência do aumento das concentrações de determinados parâmetros. À medida que os pontos de coletas se aproximam de regiões de maior grau de impacto ao rio, como aumento de população e indústrias, há a tendência que indica diminuição da qualidade da água do Rio Camanducaia. Os Gráficos abaixo correlacionam dados anuais, de 2007 a 2013, dos cinco pontos de coleta ao longo do trecho do rio, CMDC 02050, mais próximo à nascente e CMDC 02900, mais próximo à área de deságue no rio Jaguari.

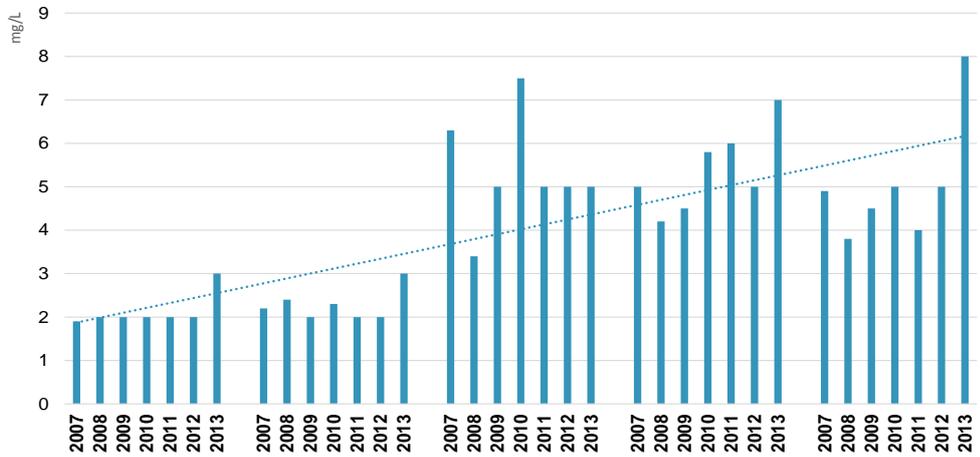




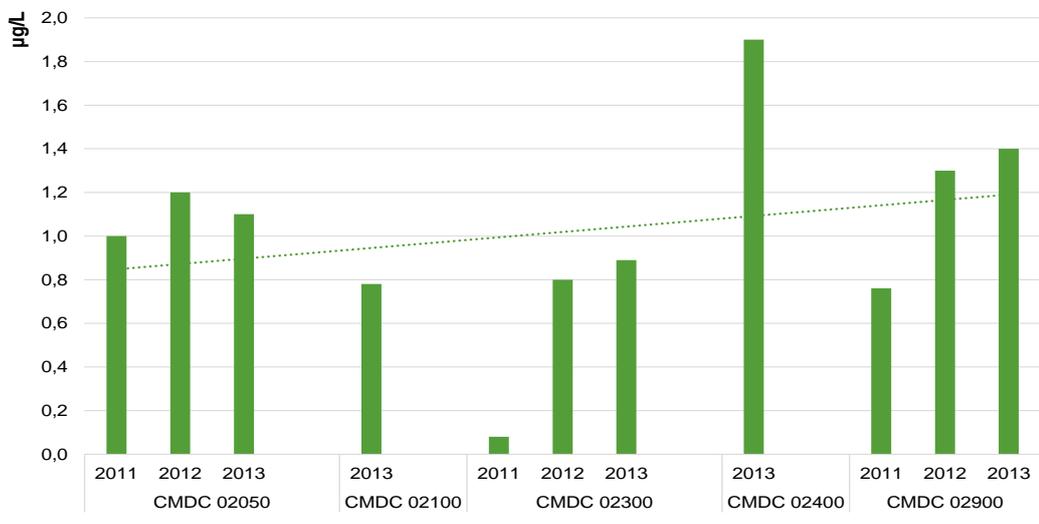
Pontos de Coleta CETESB - Rio Camanducaia
Parâmetro: Nitrogênio Amoniacal



Pontos de Coleta CETESB - Rio Camanducaia
Parâmetro: DBO 5,20



Pontos de Coleta CETESB - Rio Camanducaia
Parâmetro: Clorofila



10.3 ÍNDICES DE QUALIDADE DAS ÁGUAS

A avaliação da qualidade das águas realizadas pela CETESB é complementada pela elaboração de perfis sanitários dos principais corpos hídricos avaliados a fim de realizar uma análise para identificar pontos mais críticos e vulneráveis e através de mapas classificando estes corpos hídricos utilizando-se de índices.

Conforme citado por BORGES, 2004¹³:

“Índices de qualidade de águas tem como objetivo simplificar uma série de parâmetros em valores inteiros, fáceis de entendimento pelo público e uma ferramenta utilizada para gerenciamento da qualidade de águas interiores tanto para a comunidade científica, quanto para as autoridades relacionadas à saúde pública e ao saneamento (...)”

O Relatório anual de qualidade das águas contempla a apresentação dos seguintes índices (Relatório Anual CETESB, 2013, p.28-29):

- ✓ IQA: Qualidade das Águas;
- ✓ IAP: Qualidade das Águas para fins de Abastecimento Público;
- ✓ IVA: Proteção da Vida Aquática;
- ✓ IET: Estado Trófico;
- ✓ IB: Balneabilidade;
- ✓ ICF, ICZ e ICB: Comunidades Biológicas Fitoplanctônica, Zooplanctônica e Organismos Bentônicos, respectivamente;
- ✓ IAEM: Espacial da Rede de Monitoramento, introduzido em 2012, que considera fatores tais como a pressão populacional, o macro-uso do solo e informações de qualidade da água.

¹³. BORGES, J.T.; G.J.R. Utilização do índice de qualidade de águas (iaq-cetesb) e do índice de estado trófico (IET-Carlson) para classificar a qualidade das águas da lagoa do Taquaral–Campinas–SP. Departamento de Saneamento e Ambiente, Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP. Campinas, SP. Resumo SBQ. 2004. Em <<http://www.s bq.org.br/ranteriores/23/resumos/0386-1/> >. Acesso em 03.01.2016

Com relação ao índice de estado trófico IET, especialmente, este tem por finalidade “classificar os corpos d’água em diferentes graus de trofia, ou seja, avaliar a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito, relacionado ao crescimento excessivo de Algas e Cianobactérias”. (Relatório Anual CETESB, 2013). O IET foi inicialmente proposto por Carlson et al. em 1977, porém a proposta utilizou valores dos parâmetros que compõem o índice obtido em águas de climas temperados. Em 1985 e posteriormente em 1990 TOLEDO Jr. et al. publicou estudos modificando o índice proposto por Carlson adaptando-o a

águas subtropicais e em 2004, LAMPARELLI (LAMPARELLI, MC, 2004) adaptou-o às condições encontradas em Reservatórios do Estado de São Paulo.

11. CONCLUSÃO

Ao avaliar os dados obtidos dos pontos de coleta da CETESB referentes ao Rio Camanducaia, de 2007 a 2013, conclui-se que o barramento a ser criado poderá ao longo de seu uso impactar a qualidade da água no reservatório Duas Pontes. Positivamente ocorrerá um aumento da vazão do Rio Jaguari, de modo a permitir uma melhoria da demanda hídrica na bacia do PCJ.

Os dados apontaram que o reservatório, por sua característica lântica, sofrerá com impactos negativos, devido ao aporte de Fósforo e Nitrogênio, cuja tendência é de aumento da concentração desses macroelementos na sub-bacia ao longo dos anos. Existe uma correlação com o aumento populacional, desenvolvimento da macrorregião das Bacias do PCJ nas atividades industriais, o que aumenta a demanda hídrica. Conseqüentemente aumenta a pressão sobre os mananciais, ocasionando vulnerabilidade à eutrofização. O uso e ocupação do solo do entorno e a falta de tratamento adequado dos efluentes domésticos, principalmente aqueles que possam realizar a remoção desses macronutrientes.

A conservação dos mananciais está intimamente relacionada à preservação das nascentes dos rios, conservação da vegetação e ecossistemas das áreas de proteção ou sua recomposição, tratamento adequado dos efluentes, mas também relacionado a impactos que não se limitam apenas à região, uma vez que se tratando de bacia hidrográfica os aspectos ambientais se inter-relacionam dinamicamente de modo holístico.

A urbanização, a agropecuária, a industrialização e o desmatamento aumentam a carga de nutrientes nos Reservatórios, contribuindo para uma maior ocorrência do processo de eutrofização em mananciais. A ferramenta de análise da vulnerabilidade ambiental de Reservatórios à eutrofização apresentada nesse trabalho auxilia no processo de tomada de decisão das regiões mais críticas, onde devem ser adotadas ações de remediação desse problema. Os indicadores selecionados relativos à sensibilidade dos Reservatórios à eutrofização – tempo de retenção hidráulica e profundidade relativa do Reservatório – são de amplo conhecimento das organizações gerenciadoras de recursos hídricos. Os indicadores de pressão sobre os açudes -- erosão e carga pontual de fósforo – podem ser obtidos a partir de bases de dados disponíveis ao público, como o censo demográfico do IBGE, mapas de solo estaduais e municipais de Secretarias de Agricultura e Planejamento, imagens do satélite CBERS do INPE, precipitação diária, da FUNCEME, e modelo numérico do terreno, da NASA.

A aplicação dessa ferramenta em três sub-bacias cujos exutórios são açudes que abastecem vários municípios da região do Acaraú apontou alta vulnerabilidade dos três Reservatórios, devido à baixa profundidade relativa dos açudes, média propensão à erosão e alta susceptibilidade ao lançamento de cargas de fósforo provenientes do esgoto urbano e das vilas ribeirinhas, da criação de bois nas margens dos açudes e de peixes em gaiolas. Não foi possível priorizar uma das três sub-bacias devido ao fato de todas apresentarem valores críticos quanto aos indicadores utilizados.

Esse resultado é preocupante, uma vez que os referidos Reservatórios são fontes de abastecimento para as populações residentes

na região, devendo ser priorizadas ações de reflorestamento, saneamento e educação ambiental nessas áreas.

Os resultados obtidos são coerentes com os altos valores de fósforo total encontrados nos Reservatórios em estudo, indicando congruência e qualidade da metodologia proposta. A ferramenta descrita não utilizou indicadores relacionados ao lançamento de esgoto industrial rico em nutrientes.

Uma ampliação dos indicadores deverá integrar análises futuras. Outro aspecto a ser investigado é a ampliação da escala de classificação, incorporando níveis intermediários de vulnerabilidade de forma a tornar a ferramenta mais sensível aos indicadores ambientais.

12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERTOL, Ildegardis et al. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem numa pastagem natural. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 33, n. 5, p. 779-786, 1998.

BRADY, N.C. **Natureza e Propriedades dos Solos**. Trad. Antônio B. Neiva Figueiredo Filho, 7 ed. Rio de Janeiro. Freitas Bastos, 1989. 877 p.

BUCCI, Magaly H. S. & OLIVEIRA, Luiz Fernando C. de Índices de Qualidade da Água e de Estado Trófico na Represa Dr. João Penido (Juiz de Fora, MG). *Rev. Ambient. Água* [online]. 2014, vol.9, n.1, pp. 130-148. ISSN 1980-993X. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1290>.

CARDOSO, Christiany Araujo; DIAS, Herly Carlos Teixeira; SOARES, Carlos Pedro Boechat & MARTINS, Sebastião Venâncio. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. *Rev. Árvore* [online]. 2006, vol.30, n.2, pp. 241-248. ISSN 0100-6762. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622006000200011>>.

DE SOUZA, Juliana Sobreira et al. Aplicação das concentrações e proporções de nutrientes no diagnóstico da eutrofização. **Vértices**, v. 16, n. 1, p. 199-218, 2014.

LAMPARELLI, Marta Condé. **Graus de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. 2004. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

LOBO, E. (2013). O Perifíton Como Indicador da Qualidade da Água. In Schwarzbold, A., Burliga, A. L., & Torgan, L. C. *Ecologia do Perifíton*. São Carlos-SP: Editora Rima.

MALAVOLTA, E. **ABC da Adubação**. 4a ed. São Paulo SP, Editora Agronomia Ceres, 1979. 255 p.

MOURA, Daniela de et al. ASPECTOS DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO NA REPRESA PAULO DE PAIVA CASTRO—

SISTEMA CANTAREIRA-SÃO PAULO-SP. **Revista Metropolitana de Sustentabilidade**, v. 4, n. 2, p. 96-109, 2014.

PORTO, Monica F. A. and PORTO, Rubem La Laina. **Gestão de bacias hidrográficas**. *Estud. av.* [online]. 2008, vol.22, n.63, pp. 43-60. ISSN 0103-4014. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142008000200004>>.

SCHINDLER, D. W. Recent advances in the understanding and management of eutrophication. *Limnol. Oceanogr.*, v. 51, n. 1, p. 356-363, 2006.

SILVA, I. de F., and J. Mielniczuk. "Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados." *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 22.2 (1998).

SILVEIRA, A.L.L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C.E.M. (Org.). *Hidrologia: ciência e aplicação*. São Paulo: EDUSP, 2001. p 35-51.

SKORUPA, Ladislau Araújo. *Áreas de preservação permanente e desenvolvimento sustentável*. Jaguariúna, dezembro, 2003.

TAVARES, MFF; HABERLI JR.,

TOLEDO JR, A. P. et al. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processo da eutrofização em lagos e reservatórios Tropicais: In: *Anais do 12º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária*. Camboriú, Associação Brasileira de engenharia Sanitária. Camboriú (SC) 34p, 1983.

TOLEDO JR, A. P. Informe preliminar sobre os estudos para a obtenção de um índice para a avaliação do estado trófico de reservatórios de regiões quentes tropicais. São Paulo: CETESB, 1990.

VON SPERLING, E. *Morfologia de lagos e represas*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais (DESA/UFMG), 1999.

VON SPERLING, M. (1996). *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos* (Vol. 1). Editora UFMG.