

XXIII Encontro Técnico AESABESP

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA POLUIÇÃO DIFUSA EM CORPOS D'ÁGUA LIVRES DE CARGAS PONTUAIS. ESTUDO DE CASO: CORREGOS DE INTERESSE PERTENCENTES À PRIMEIRA ETAPA DO PROGRAMA "CÓRREGO LIMPO"

Juliana Caroline de Alencar da Silva⁽¹⁾

Tecnóloga em Hidráulica e Saneamento Ambiental pela Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo (2009), Graduada em Ciências Biológicas pelo Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo e Mestranda em Engenharia Civil, área de concentração: Hidráulica Sanitária, na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Monica Ferreira do Amaral Porto

Graduação em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (1978), mestrado (1983) e doutorado (1993) em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo. Professora Titular da Universidade de São Paulo e pesquisadora do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Vice-Chefe do Depto de Engenharia Hidráulica e Sanitária da EPUSP. Diretora Presidente da Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica - FCTH.

Endereço⁽¹⁾: Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. Av. Prof. Almeida Prado, 271 - Cidade Universitária - 05508-900 - São Paulo, SP – Brasil. Telefone: (11) 3091-5529 - e-mail: juliana.caroline.silva@usp.br

RESUMO

Nos últimos anos a preocupação com a poluição por carga difusa já é um assunto muito estudado nos locais onde a poluição por cargas pontuais já possui um controle efetivo, mas este assunto ainda é um grande desafio em países como o Brasil, onde o controle da carga pontual ainda não constitui uma realidade palpável. Muito se diz a respeito da despoluição dos corpos d'água nas regiões urbanas através da eliminação do lançamento de efluentes domésticos e industriais, mas o que se vê na realidade é que mesmo na ausência dessas fontes de poluição os corpos d'água continuam poluídos devido à inobservância da existência da carga difusa. Diante deste panorama, o presente estudo, através da avaliação da carga difusa em córregos pertencentes à primeira etapa do programa córrego limpo, visa contribuir para a melhor compreensão dos impactos efetivos causados pela carga difusa em córregos urbanos.

PALAVRAS-CHAVE: Poluição difusa, controle da poluição hídrica, córregos urbanos.

TEXTO

INTRODUÇÃO

Nossa sociedade enfrenta um grande desafio neste novo século, o desafio de conter a crise ambiental gerada pela irracional ocupação do espaço urbano. O processo de urbanização acelerado e a intensa concentração de estabelecimentos industriais, comerciais e de serviços têm exercido um poderoso efeito de atração de imigrantes das áreas rurais em busca de trabalho e de melhores condições de vida, mas a realidade que eles encontram ao chegarem aos grandes centros urbanos é outra, pois se deparam com a exclusão social e a falta de assistência governamental, e por falta de opção, acabam vivendo em moradias inadequadas e não têm acesso a serviços básicos como educação, saneamento e assistência hospitalar.

O crescente processo de mudança nas características de ocupação do solo tem trazido alterações na qualidade dos corpos d'água, alterações estas provocadas dentre muitos outros fatores pelo despejo de poluentes de forma direta ou indireta, alterações na geometria natural destes e pela

compactação e impermeabilização do solo do entorno. A diminuição da qualidade destes corpos d'água traz inúmeros e incalculáveis danos ao meio ambiente e à sociedade, já que todo ser vivo depende de diversas formas da água para existir.

A alteração da qualidade da água agrava o problema da escassez desse recurso, já que apesar de ser abundante, está distribuída de forma irregular no planeta, além disso, outro problema a ser considerado como resultado da alteração da qualidade da água é o das doenças de veiculação hídrica. A Organização Mundial de Saúde (OMS) estima que 25 milhões de pessoas por ano no mundo morrem devido a doenças como cóleras e diarreias, isso ocorre principalmente em países onde o acesso à água tratada e potável não é ainda uma realidade palpável. (BRAGA, 2002).

A poluição que chega a um corpo d'água pode ser caracterizada em dois tipos: pontuais, que é o tipo de fonte passível de ser caracterizada e rastreada, como por exemplo, esgotos domésticos e efluentes industriais; e difusas, que são aquelas geradas de forma distribuída ao longo da bacia contribuinte, sendo elas produzidas por inúmeros agentes poluidores, que afluem aos corpos d'água preferencialmente por ocasião dos eventos de chuvas. A poluição difusa está diretamente relacionada com o tipo de uso e ocupação do solo, ou seja, à urbanização, práticas agrícolas, desmatamento e mineração. Em áreas rurais a carga de poluição difusa pode ser proveniente de atividades agrícolas; atividades pecuárias; silvicultura; chácaras de lazer e recreação. Já em áreas urbanas, ela pode ser gerada por residências, comércios, pólos industriais, complexos esportivos, parques, meios de transporte e resíduos atmosféricos (PRIME, 1998).

O problema da poluição nos corpos d'água sempre se popularizou em torno das fontes de poluição pontuais, o que localiza o problema e não exige um manejo integrado de toda a bacia hidrográfica, mas em locais onde a poluição por fontes pontuais já é uma realidade do passado a preocupação com a poluição difusa vem crescendo e demandando estudos para quantificá-la, avaliá-la e eliminá-la. É o caso dos EUA, que vem aprimorando seus esforços para o controle de cargas difusas com investimentos maciços nesse setor desde 1993. (PORTO, 2002).

O início da preocupação com a poluição difusa se dá com a institucionalização da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA), na década 1970, quando surgem as primeiras pesquisas relacionadas com a poluição difusa urbana; porém este tema já vinha sendo estudado a partir do século XIX na Europa. Já no Brasil, a temática começou a ser abordada em algumas cidades brasileiras a partir da década de 1990 (PRODANOFF, 2005).

A poluição difusa está ligada diretamente ao tipo de ocupação do solo pelo homem, já que suas atividades geram poluição. A partir do momento em que o homem altera as características de uma bacia, a urbanizando, esta passa a contribuir para uma maior quantidade de sedimentos transportados para os corpos d'água. (NOVOTNY, 2003).

Segundo Porto (1995) e Tomaz (2006/2007) a poluição difusa é formada por diversas contribuições que são difíceis de detectar e quantificar, tais como freios de automóveis, resíduos de pneus, resíduos de pinturas em geral, fezes de animais, resíduos de ferro, zinco, cobre e alumínio de materiais de construção, deposição seca e úmida de particulados de hidrocarbonetos, restos de vegetação, derramamentos, erosão fuligem, poeira, enxofre, metais, pesticidas, nitritos e nitratos, cloretos, fluoretos silicatos, cinzas, compostos químicos e resíduos sólidos, entre outros.

Segundo Tomaz (2006/2007), a poluição difusa na região metropolitana de São Paulo é tão significativa que mesmo que 100% dos efluentes da região fossem coletados e tratados, o rio Tietê ainda seria poluído em 25% devido à poluição difusa proveniente do escoamento pluvial urbano. O fenômeno da poluição difusa é mais agravante em locais onde não há uma política efetiva de gestão de resíduos sólidos e onde a população desconhece a importância de gerenciar bem seus próprios resíduos sólidos, desta forma, fica evidente a importância da educação no processo e do interesse do poder público.

Segundo Novotny (2003), outra fonte importante de contribuição para a poluição difusa é a proveniente da atmosfera, já que nos primeiros instantes de precipitação há, grosso modo, a lavagem dos poluentes em suspensão na atmosfera, de modo que o destino final destes são os

corpos d'água. Desta forma, a emissão de poluentes atmosféricos também é outro fator importante a ser observado nas políticas de controle à poluição difusa.

Existem diversas maneiras de quantificar cargas difusas, dentre elas Novotny (2003) destaca três tipos, sendo eles: Unidade de Carga, Concentração Média de Evento (CME) e Modelos Matemáticos de simulação. Com o método de Unidade de Carga, é possível determinar cargas diárias ou anuais de bacias com diferentes tipos de ocupação do solo, mas não considera os mecanismos de transporte da carga. O segundo método, o de Concentração Média de Evento (CME), avalia os impactos causados pela carga difusa no corpo d'água pelo monitoramento das variáveis de qualidade de água do corpo. Por fim, os Modelos Matemáticos de simulação, que criam um modelo do comportamento da carga na bacia.

O PNPI (Potential Noun-point Pollution Índex) é uma metodologia que traduz o potencial de produção de carga difusa através do uso das características físicas da bacia, como uso e ocupação do solo, porcentagem de área impermeabilizada, topografia e sua geologia. O método utiliza o SIG (Sistema de Informações Geográficas) para montagem de mapas que façam a representação do comportamento da bacia quanto à produção de carga difusa.

Segundo Munafò et al. (2005), o potencial de carga difusa da bacia no PNPI varia de acordo com três fatores: DI (Distance Indicator) que considera a distância hidráulica da carga, ROI (Run-Off Indicator) que indica a mobilidade e infiltração do poluente segundo a impermeabilidade do solo e sua geologia e LCI (Land Cover Indicator) que considera o tipo de uso do solo.

Os níveis de poluição difusa aumentam com a velocidade do escoamento, já que com o aumento da velocidade há também o aumento do potencial de arraste, portanto uma maior quantidade de poluentes será conduzida até os corpos d'água. O aumento da velocidade do escoamento em áreas urbanas é provocado principalmente devido ao alto índice de impermeabilidade do solo. Com o alto índice de impermeabilização do solo, a velocidade do escoamento superficial é maior que em condições de terreno natural, o que agrava o processo de arraste de partículas, fazendo com que mais resíduos sólidos cheguem aos corpos d'água e mais rapidamente. (PORTO, 1995)

Além disso, a velocidade do escoamento varia em função das características topográficas da bacia, deste modo bacias que apresentam altas declividades, a princípio, apresentaram um maior potencial para geração de carga difusa do que bacias, que sobre as mesmas condições de ocupação e impermeabilização do solo, apresentem um terreno mais plano.

Outro fator importante a ser considerado na geração de carga difusa é o tipo de tráfego viário presente nas vias presentes na bacia, já que a frota viária é uma grande geradora de compostos orgânicos voláteis e de metais. (NOVOTNY, 2003).

OBJETIVO

O objetivo do presente estudo é avaliar o potencial de poluição por carga difusa em pequenas bacias em áreas urbanas e o nível de alterações que este tipo de poluição causa sobre estes corpos d'água. O objeto de estudo serão córregos de interesse pertencentes à primeira etapa do programa "Córrego Limpo", os quais através do programa passaram por um processo de despoluição pela eliminação de cargas pontuais. Tal estudo será possível através da análise do histórico de monitoramento da DBO dos córregos do programa, realizado pela Sabesp – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - e dos aspectos físicos e sociais das bacias.

Deste modo, pretende-se especificamente: estudar as interações entre o transporte de materiais na bacia e o corpo d'água; estudar as diferentes respostas apresentadas pelo corpo hídrico em relação à carga difusa e de que modo esta afeta as características físico-químicas e biológicas da água; avaliar a influência das características físicas da bacia, tais como a topografia e o tráfego, sobre o aporte de poluentes; e a quantificação teórica com base em dados de campo da produção de carga difusa nas bacias estudadas.

ÁREA DE ESTUDO

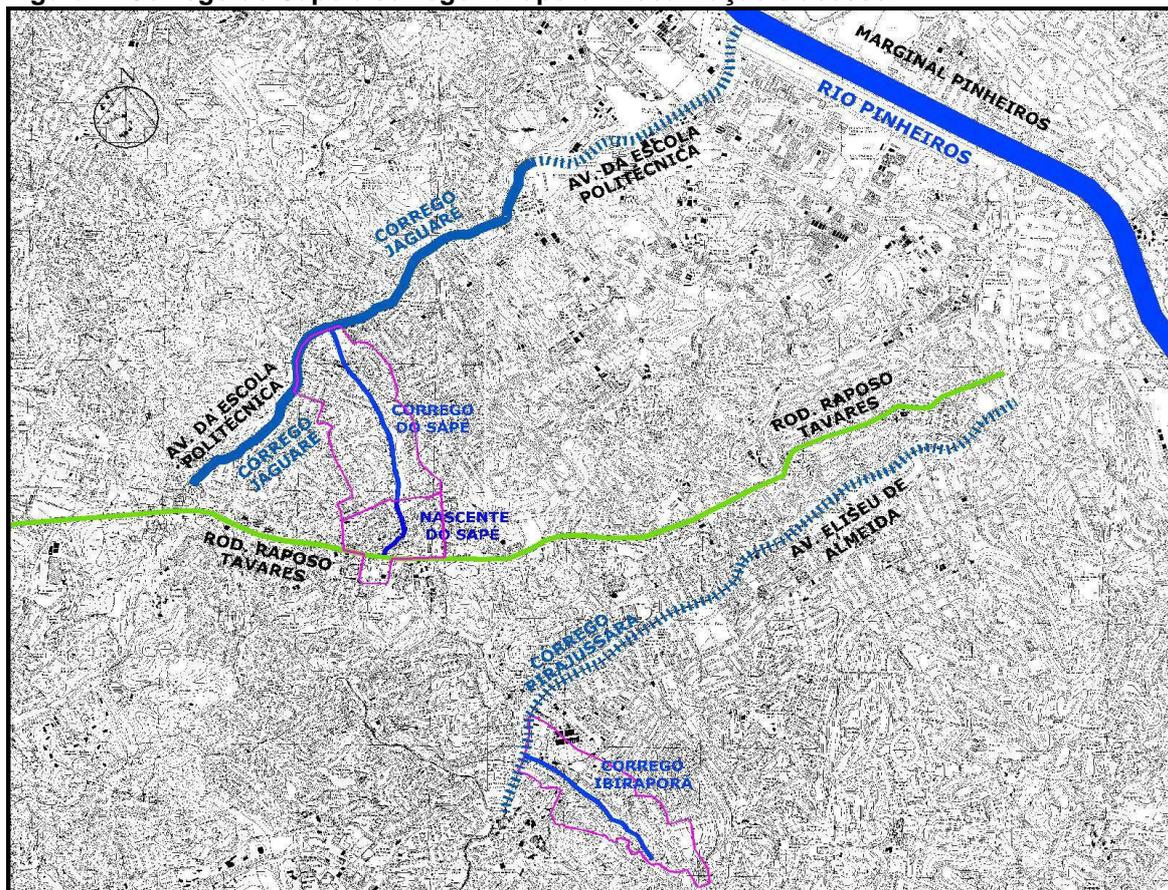
O programa “córrego limpo” iniciou-se em março de 2007, tendo sua primeira etapa concluída em março de 2009, nesta etapa houve a total despoluição de 28 córregos e recuperação de trechos de outros 14. O programa consiste na recuperação dos córregos através da ampliação das redes coletoras de esgoto e do seu tratamento, eliminação de ligações clandestinas e de lançamentos em galerias pluviais. O programa usa como indicador da despoluição a queda no nível da DBO5-20. (CÓRREGO LIMPO, s/d).

Além dessas ações o programa conta com um programa auxiliar de capacitação de técnicos para implantação de estratégias de governança colaborativa junto à população residente na bacia para que a recuperação do córrego seja efetiva. O projeto encontra-se em fase piloto, onde as bacias contempladas foram as dos córregos Cruzeiro do Sul, Charles de Gaulle, Cipoába, Ibiraporã e Itupu. (SABESP, 2010).

A área de influência da primeira etapa do projeto é o município de São Paulo, que possui uma grande heterogeneidade no seu uso e ocupação do solo, caracterizando assim uma área de estudo complexa, cujos diferentes tipos de uso e ocupação do solo exercem diferentes pressões sobre os corpos d'água, que por sua vez respondem a essas pressões de maneiras distintas.

O objeto desse estudo serão a nascente do córrego do Sapé e o córrego Ibiraporã. A Figura 1 mostra a localização das áreas de estudo, bem como os principais pontos de acesso a elas.

Figura 1: Córrego do Sapé e córrego Ibiraporã– Localização e acesso.



As duas áreas foram escolhidas em função no caso da Nascente do Sapé, por se tratar de um trecho pequeno que propicia a obtenção de melhores resultados, uma vez que há menos variáveis que os afetem. Já o Córrego Ibiraporã foi escolhido por apresentar um bom resultado de recuperação devido à implantação do programa de governança colaborativa em sua bacia.

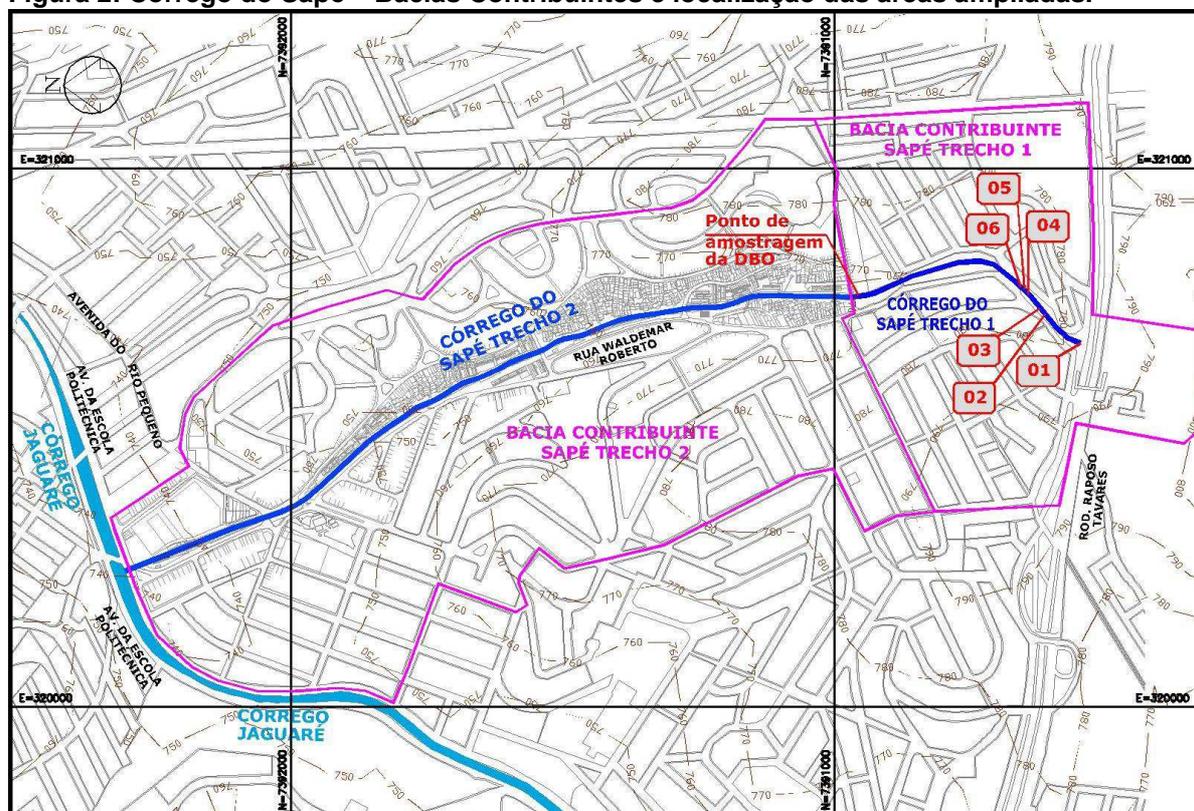
CÓRREGO DO SAPÉ

O córrego do Sapé pertencente à bacia do Jaguaré, localizado na subprefeitura do Butantã, tem como principais pontos de acesso à área são a Avenida da Escola Politécnica, a Avenida do Rio Pequeno e a Rodovia Raposo Tavares. A nascente do córrego fez parte da primeira etapa do programa “córrego limpo”, passando por uma série de ações no ano de 2009 que resultaram na despoluição do trecho, pela eliminação de fontes pontuais de poluição. O trecho seguinte possui em suas margens a favela do Sapé, que atende hoje uma população de cerca de 10mil habitantes. A favela atualmente está passando por diversas intervenções que resultarão na urbanização e regularização da área. A despoluição deste segundo trecho do córrego está prevista para a segunda etapa do programa. (CÓRREGO LIMPO, s/d).

Com a criação da lei 13.430 em 2002, que instituiu Plano Diretor Estratégico do Município de São Paulo, houve a criação da proposta de parques lineares, como uma forma de recuperação ambiental de cursos d’água e aumentar a área permeável nas áreas urbanas. Com isso foi criado o Parque linear 28, no córrego do Sapé. Portanto a urbanização da Favela e a despoluição dos dois trechos pelo programa resultarão na implantação completa deste Parque Linear. (AKINAGA/ MORINAGA/ PELLEGRINO, 2007).

Durante o período de 20 de abril de 2009 a 15 de maio de 2009 foi realizada a criação de um comitê de monitoramento das ações da SABESP na região oeste, reuniões para acompanhamento da PMSP, monitoramento da qualidade da água no córrego do Sapé, realização de 132m de redes coletoras e 119 metros de travessia da Rodovia Raposo Tavares. O programa completo de despoluição da nascente foi resultado de um investimento 250 mil reais e beneficiou uma população de cerca de 16mil habitantes residentes na bacia. (CÓRREGO LIMPO, s/d). Desta forma tem-se um objeto de estudo a priori livre da influencia de outros tipos de poluição que não a difusa. A Figura 2 mostra a bacia do córrego do Sapé e a divisão em Trecho 1 e 2.

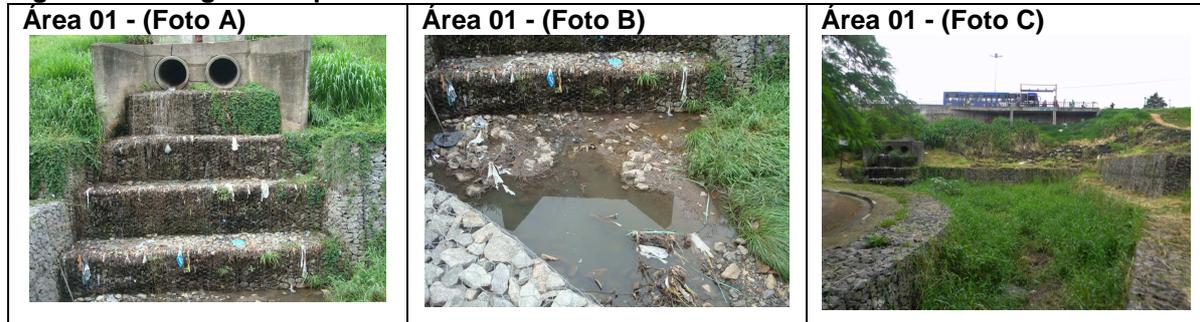
Figura 2: Córrego do Sapé – Bacias Contribuintes e localização das áreas ampliadas.



A Figura 3 mostra imagens da nascente do Sapé (Área 1, cuja localização esta destacada na planta da Figura 2), obtidas em 13/08/2008 (Foto A e B), onde, por tratar-se de um período marcado pela baixa precipitação, pode-se notar pouco deposito de resíduos sólidos trazidos pelo escoamento

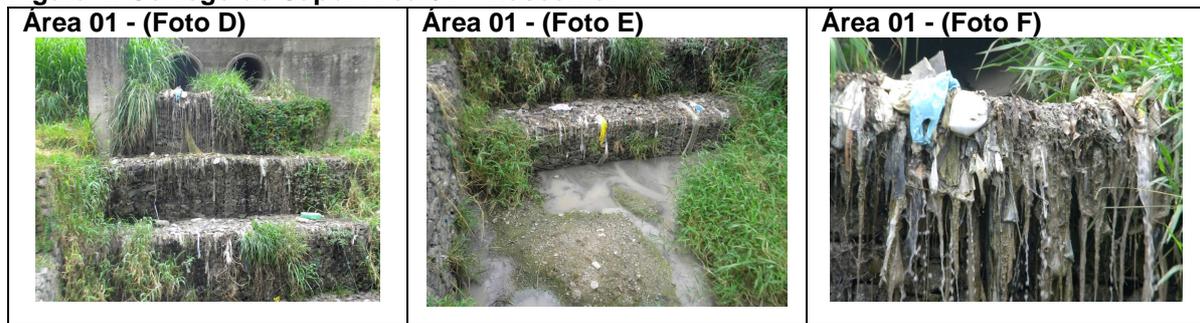
superficial. Visualmente podemos notar que o curso d'água possuía cor característica daqueles sob a influência de cargas pontuais, por se tratar de uma imagem obtida antes das intervenções do programa serem concretizadas.

Figura 3: Córrego do Sapé: Área 01 – Nascente.



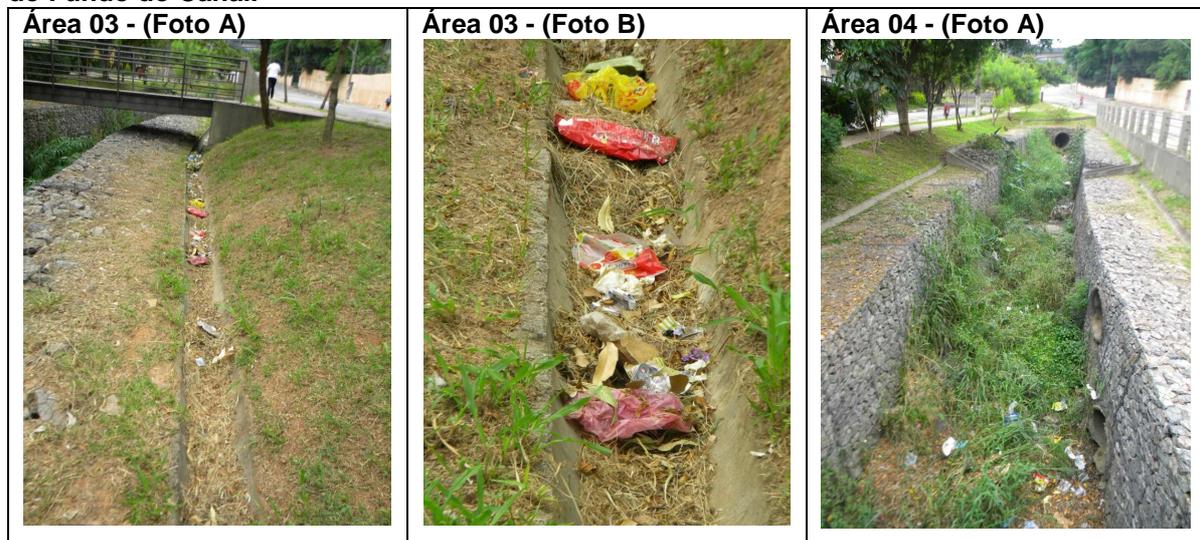
Na Figura 4, que também mostra fotos da nascente, são apresentadas fotos obtidas em 08/02/2012 (Foto D, E e F), onde nota-se que por se tratar de uma imagem obtida no período chuvoso, há um considerável acúmulo de resíduos sólidos na nascente. Além disso, a Foto E retrata a situação atual da nascente, pós-intervenções para eliminação de cargas pontuais.

Figura 4: Córrego do Sapé: Área 01 – Nascente.



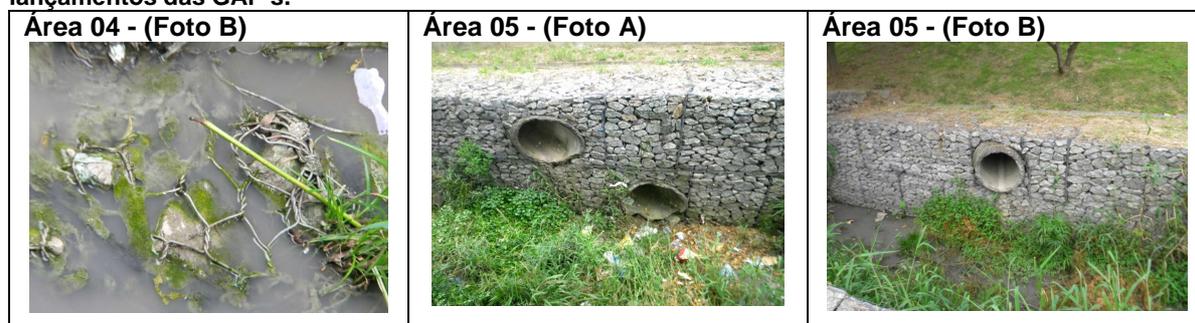
A Figura 5 mostra imagens obtidas em 08/02/2012 onde se pode visualizar o acúmulo de resíduos sólidos trazidos pelo escoamento superficial nas canaletas marginais ao canal (Foto A e B) e uma visão geral do primeiro trecho aberto do canal (Foto C). (Áreas 3 e 4, cuja localização esta destacada na planta da figura 2).

Figura 5: Córrego do Sapé: Área 03 - Detalhe da canaleta marginal ao canal e Área 04 - Detalhe do Fundo do Canal.



A Figura 6 mostra imagens obtidas em 08/02/2012 onde se observa o fundo do canal em gabião (Foto A) e os lançamentos de GAP's no canal (Foto B e C). (Áreas 4 e 5, cuja localização esta destacada na planta da figura 2).

Figura 6: Córrego do Sapé: Área 04 - Detalhe do Fundo do Canal e Área 05 - Detalhes dos lançamentos das GAP's.



Na região há diversas nascentes que convergem para o trecho inicial do canal, nota-se uma delas na Foto B da Figura 6, onde foi possível observar o deságue de uma delas na GAP apresentada. Além desses casos de deságue em GAP, há outras nascentes na bacia que são usadas pela comunidade local para lavagem de automóveis e recreação, tornando-se pontos críticos por poderem ser possíveis focos de doenças de veiculação hídrica se não observado pela população os devidos cuidados necessários.

Na Figura 7, são mostradas duas fotos do mesmo ponto, mas em instantes diferentes. A primeira (Fotos A), obtida em visita ao canal em 08/02/2012 onde não havia ocorrência de chuva nos últimos dias e havia agentes da prefeitura realizando a limpeza do canal, e a segunda (Foto B), obtida em 14/03/2012 horas depois de um evento de chuva. Pode se notar claramente a grande quantidade de resíduos sólidos no canal, trazidos pelo escoamento superficial, além da carga difusa poluidora que fica oculta pelo material grosseiro, como óleos, graxas, metais, etc., mostrando o quão obvia é a carga difusa em bacias urbanas. (Área 6, cuja localização esta destacada na planta da figura 2).

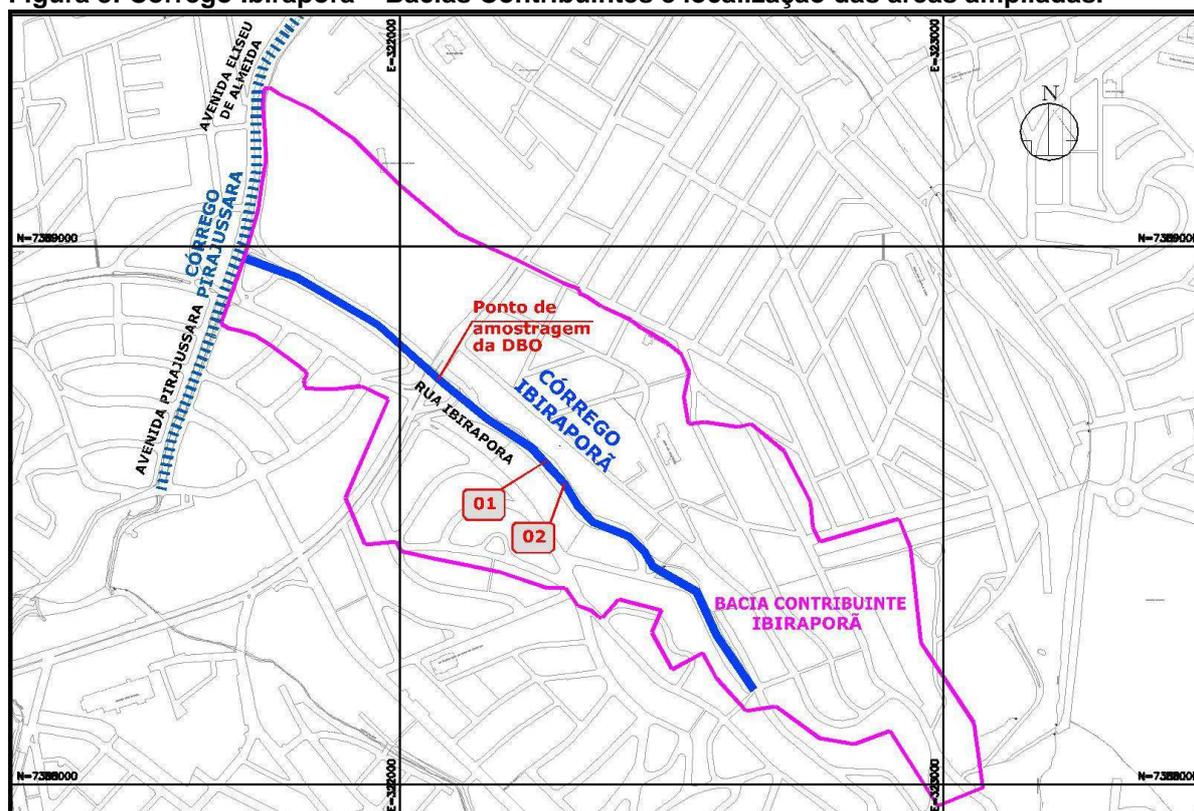
Figura 7: Córrego do Sapé: Área 06 – Acumulo de resíduos sólidos no Canal.



CÓRREGO IBIRAPORÃ

O córrego Ibiraporã pertencente à bacia do Pirajussara, localizado na subprefeitura do Butantã, tem como principais pontos de acesso as Avenidas Eliseu de Almeida e Francisco Morato, a bacia de drenagem do córrego conta com uma população tipicamente residencial, com cerca de 9mil habitantes. O córrego Ibiraporã é um dos córregos que fazem parte do programa de governança colaborativa, que através do envolvimento da população residente na bacia, no processo de recuperação do córrego, tem apresentado resultados mais efetivos na sua despoluição. A figura 8 mostra a bacia de contribuição do córrego Ibiraporã. (CÓRREGO LIMPO, s/d).

Figura 8: Córrego Ibiraporã – Bacias Contribuintes e localização das áreas ampliadas.



A participação da comunidade torna mais efetiva o processo de despoluição, já que ao contrário da carga pontual que exige ações localizadas e que na maioria das vezes devem ser executadas pelo poder público, o controle da carga difusa demanda ações em toda a bacia, portanto exige participação da população da bacia diretamente e indiretamente, situação que ocorre na bacia do córrego Ibiraporã, onde a população residente na bacia auxilia o programa na fiscalização de eventuais anomalias no canal, como por exemplo, lançamentos clandestinos, irregularidade na coloração das águas do córrego ou despejo de resíduos sólidos nas proximidades que por ventura possam ser carreados pelo escoamento superficial até ele.

Como parte das ações do programa de governança colaborativa, a SABESP em parceria com a Fundação SOS Mata Atlântica, o Centro Brasileiro de Análise e Planejamento (Cebrap) e as lideranças locais, realizou em 26/03/2012 uma “Ecomobilização” no córrego Ibiraporã para envolver a comunidade no processo de manutenção da despoluição do córrego. Na “Ecomobilização” houve discussões sobre o papel da comunidade na despoluição do córrego, palestra sobre a preservação e educação ambiental, além de caminhada e mutirão de limpeza. (CÓRREGO LIMPO, s/d).

A Figura 9 mostra a área 01 do córrego Ibiraporã em dois momentos distintos, a primeira foto foi obtida em 12/02/2009 no início das ações do programa no córrego, onde se pode notar a alta turbidez do curso d’água, bem como a cor característica daqueles sob a influência de cargas

pontuais. Já na segunda foto, obtida em 17/02/2011, visualmente é possível perceber a melhoria da qualidade da água, constatada através da diminuição da turbidez e redução da vazão.

Figura 9: Córrego do Ibiraporã – Antes e depois das intervenções do programa – Área 1.



A Figura 10 mostra a área 02 do córrego Ibiraporã em dois momentos distintos, as fotos A e B foram obtidas em 02/04/2008 e a foto C em 17/02/2011. Antes e depois das intervenções do programa.

Figura 10: Córrego do Ibiraporã – Antes e depois das intervenções do programa – Área 2.



MATERIAIS E MÉTODOS

Para a avaliação da influência da carga difusa sobre os córregos do programa “Córrego Limpo”, foram realizados dois estudos, o primeiro baseado na análise do histórico de monitoramento da DBO dos córregos do programa e o segundo baseado no método de avaliação de produção de carga difusa da Unidade de Carga (UC). Para tanto foi utilizado, no primeiro caso o histórico de monitoramento da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) medida para os córregos da Zona Oeste e no segundo caso imagens digitais para caracterização do tipo de uso do solo na bacia.

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO)

Segundo o manual de procedimentos e técnicas laboratoriais do laboratório de saneamento da escola politécnica (2004) a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) consiste em um teste empírico, onde procedimentos padronizados de laboratório onde é possível determinar a quantidade de oxigênio relativa em determinada amostra. Tal parâmetro pode ser utilizado para avaliar cargas poluidoras corpos d’água, já que o oxigênio é item essencial para manutenção da vida. A Tabela 1 apresenta a classificação apresentada pelo programa “Córrego Limpo”, para caracterizar a qualidade da água de um corpo d’água em função da sua DBO.

Tabela 1: Caracterização dos Córregos em função da DBO. Fonte : Adaptado de Córrego Limpo (s/d).

Caracterização dos Córregos em função da DBO Demanda Bioquímica de Oxigênio	
0 a 5 mg/litro	Condições naturais, permite o contato primário das pessoas e a rega de hortaliças
5 a 10 mg/litro	Condições boas, já não se recomenda o contato primário nem a rega de hortaliças, mas possibilita a existência de peixes, o uso da água para animais e o tratamento convencional da água.
10 a 30 mg/litro	Condições boas, aspecto estético bom, permite a existência de peixes, não exala odores e possibilita o tratamento convencional da água.
30 a 70 mg/litro	Condição estética ainda boa, porém com restrições a existência de peixes e exalação de odores em determinadas épocas do ano (verão seco, principalmente); tratamento de água com consumo alto de produtos químicos.
Acima de 70 mg/litro	Poluído.

Segundo o manual de procedimentos e técnicas laboratoriais do laboratório de saneamento da escola politécnica (2004) o método parte do princípio simples de que todos os organismos vivos dependem do oxigênio direta ou indiretamente. Desta forma, como toda matéria orgânica presente em um corpo d'água tende a ser mineralizada por organismos aeróbios, neste processo o oxigênio dissolvido no corpo é absorvido, assim é possível quantificar através da DBO a quantidade de matéria orgânica presente na amostra. O método mais empregado para determinação da DBO é o da diluição, incubação em uma solução nutritiva e uma solução tampão para garantir o pH por volta de 6,5 a 7,5 por um período de 5 dias na ausência de luz a 20°C, assim pode-se determinar os níveis iniciais e finais de oxigênio.

A SABESP realiza o monitoramento da DBO dos córregos do programa mensalmente e através da série histórica de monitoramento foi possível obter os resultados apresentados no item de resultados. Os pontos onde são realizadas as amostragens em cada área de estudos estão mostrados nas Figuras 2 (Nascente do Sapé) e 8 (Córrego Ibiraporã).

UNIDADE DE CARGA (UC)

Segundo Novotny (2003) o método da Unidade de Carga consiste em aplicar índices de geração de carga difusa para diferentes tipos de uso de solo existentes na bacia em estudo. O método não faz correlação com a hidrologia e a morfologia da bacia, mas o método tem como vantagem ser de fácil aplicação e apresentar resultados eficientes, podendo ser aplicado em bacias com diferentes tipos de uso do solo. A tabela 2 apresenta os valores de contribuição por tipo de uso do solo elaborado pelo *Corine Land Cover (CLC)*.

Tabela 2: Produção de Poluição Difusa para classes de uso do solo do *Corine Land Cover (CLC)*. Fonte: Adaptado de Cecchi et al (2007).

Classes de Uso de Solo do CLC		
1. Tecidos Artificializados		Média (0-10)
1.1. Tecido Urbano	1.1.1. Tecido Urbano Continuo	8,22
	1.1.2. Tecido Urbano Descontínuo	6,89
1.2. Industria, Comercio e Transporte	1.2.1. Industria, Comercio e Equipamentos Gerais	7,78
	1.2.2. Redes Viárias e Ferroviárias e espaços associados	5,67
1.3. Zonas Verdes Orientadas	1.3.1. Espaços Verdes Urbanos	2,33
	1.3.2. Equipamentos desportivos e de lazer	3,00

Com base nas proporções obtidas pelo *Corine Land Cover* (CLC) e no valor fornecido por Steinke (2007) para produção de carga difusa para tecido Urbano (Tabela 3), foi produzida a Tabela 4, que será usada como referência para o cálculo da produção de carga difusa nas bacias em estudo.

Tabela 3: Produção de Poluição Difusa para Tecido Urbano. Fonte: Steinke (2007).

Produção de Carga Difusa (Kg/Km ² /dia)				
Tipo de cobertura	N total	P total	Ss Total	TOTAL
Tecido Urbano	1,274	0,034	50,000	51,308

Tabela 4: Produção de Poluição Difusa para classes de uso do solo.

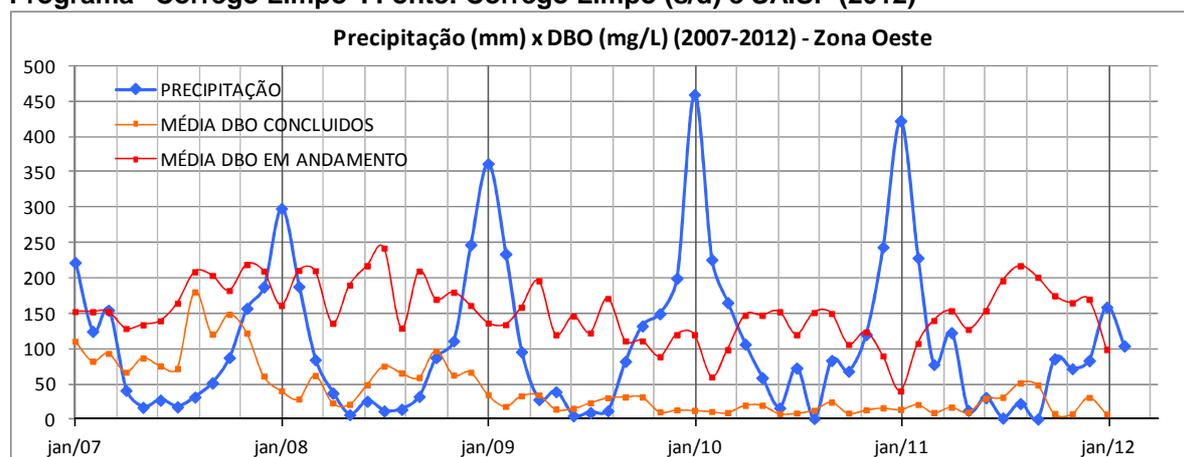
Produção de Carga Difusa por Tipo de Uso do Solo (Kg/Km ² /dia)					
1. Tecidos Artificiais		N total	P total	Ss Total	TOTAL
1.1. Tecido Urbano	1.1.1. Tecido Urbano Contínuo	1,274	0,034	50,000	51,308
	1.1.2. Tecido Urbano Descontínuo	1,068	0,028	41,910	43,006
1.2. Indústria, Comércio e	1.2.1. Indústria, Comércio e Equipamentos Gerais	1,206	0,032	47,324	48,562
	1.2.2. Redes Viárias e Ferroviárias e espaços associados	0,879	0,023	34,489	35,391
1.3. Zonas Verdes Orientadas	1.3.1. Espaços Verdes Urbanos	0,361	0,010	14,173	14,544
	1.3.2. Equipamentos desportivos e de lazer	0,465	0,012	18,248	18,726

RESULTADOS

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO)

O Gráfico 2 mostra a relação entre a precipitação e a DBO média dos córregos da zona oeste do programa, cujas ações estão em estado inicial (Córrego Antonico, Córrego Esmeralda, Córrego Itapaiúna e Córrego Ribeirão dos Pires) e naqueles onde as ações de despoluição (eliminação das cargas pontuais) já foram concluídas (Nascente do Sapé, Córrego José de Araujo, Córrego Caxingui, Córrego Corveta e Córrego Ibiraporã). Nota-se que houve redução significativa da DBO nos córregos livre de cargas pontuais, além disso, é possível notar a variação da DBO ao longo do ano em função das mudanças na precipitação.

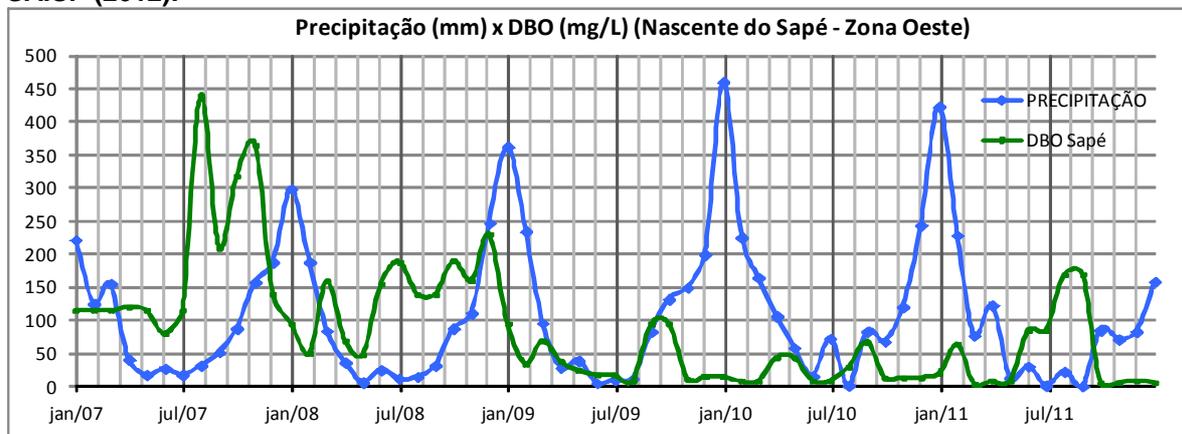
Gráfico 2: Relação entre a Precipitação (mm) e a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) no período de 01/01/2007 a 01/01/2012 nos córregos da Zona Oeste pertencentes ao Programa “Córrego Limpo”. Fonte: Córrego Limpo (s/d) e SAISP (2012)



O Gráfico 3 mostra a relação entre a precipitação e a DBO na Nascente do Sapé. Pode-se notar que houve uma redução significativa na DBO do corpo d'água, no entanto devido à ausência de uma gestão participativa na bacia, a bacia tem um alto potencial gerador de carga difusa, o que faz com que haja maior oscilação nos valores da DBO da Nascente, mesmo depois das ações do programa. Além disso, há relatos por parte dos moradores da área mais próxima ao canal de despejos clandestinos, provavelmente de origem industrial, que fazem com que em determinados

dias haja mudança brusca na qualidade da água do corpo (Mudança de cor, turbidez e temperatura).

Gráfico 3: Relação entre a Precipitação (mm) e a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) na Nascente do Sapé no período 01/01/2007 a 01/01/2012. Fonte: Córrego Limpo (s/d) e SAISP (2012).



A SABESP informou ainda que, a mudança brusca na DBO apresentada nos meses de agosto e setembro foi devido a um vazamento de esgotos domésticos durante a realização de uma de suas intervenções na área, nestes meses a DBO da nascente chegou a atingir 170mg/L, devido à elevada presença de matéria orgânica presente no esgoto doméstico, como se pode ver na Tabela 3. A Tabela 5 mostra valores característicos para concentração média de poluentes segundo Lima (1998) e Larentis (2004) para diferentes tipologias.

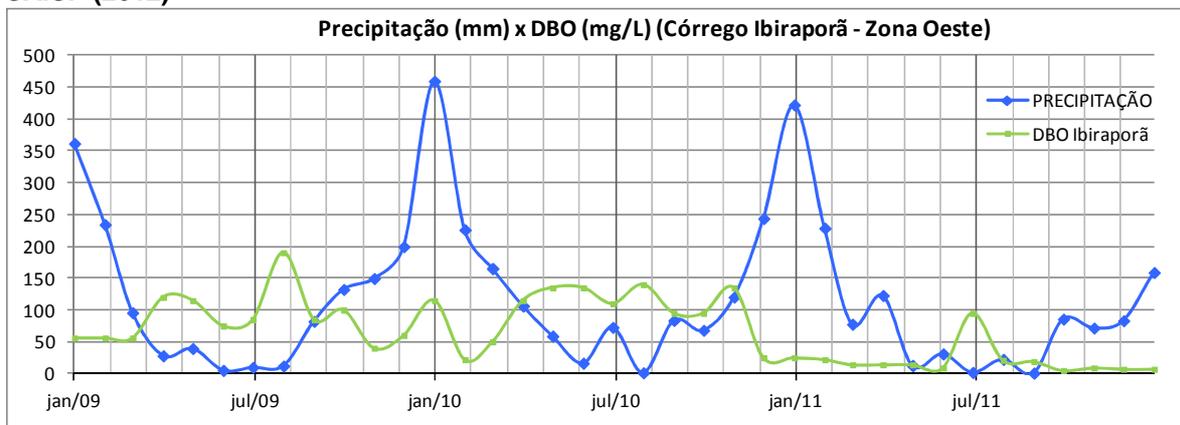
Tabela 5: Concentração média estimada de poluentes por tipologia (Adaptado de Lima, 1998 e Larentis, 2004).

Concentração Média de poluentes (mg/L) por tipologia				
Tipo	DBO ₅	Nitrogênio Total	Fósforo Total	Coliformes Fecais
Couros	210	3,3	2	1
Bebidas	350	10	1	0,2
Têxtil	22	27,5	1,2	8
Alimentos	260	30	5	7
Química	146	27,5	1,1	0,001
Metal	10	2,6	0,6	0,001
Papel	250	10	1,2	0,001
Esgoto doméstico	350	25	9	
Utilidade Pública	300	30	10	7

Através desta tabela é possível verificar o possível tipo de contribuição que estaria afetando a nascente do Sapé nos momentos em que o valor da DBO obtido fica acima do esperado, já que depois das ações do programa a DBO da nascente ficou controlada apresentando valores menores que 15mg/L, exceto nestes períodos específicos (Gráfico 2) onde a DBO atingiu valores de 24 a 95mg/L, devido possivelmente a lançamentos clandestinos provenientes de alguma indústria química presente na bacia (Característica da região, que possui elevada concentração de unidades comerciais e industriais devido à proximidade com a Rodovia Raposo Tavares).

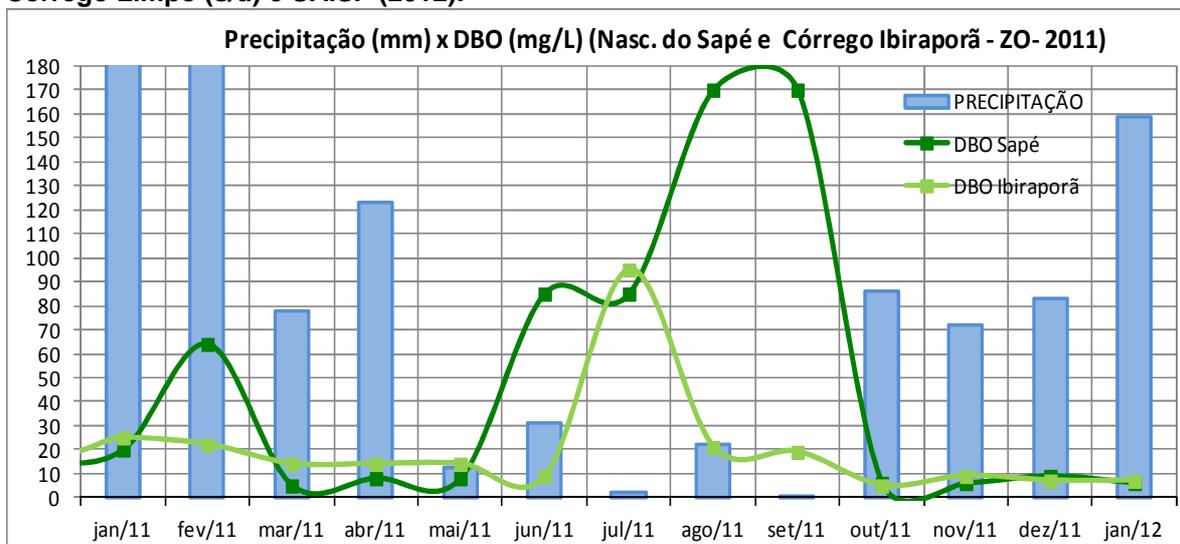
O Gráfico 4 mostra a relação entre a precipitação e a DBO no Córrego Ibiraporã. Pode-se notar que houve uma redução significativa na DBO do corpo d'água e graças ao processo de governança colaborativa na bacia, há uma estabilidade maior na DBO monitorada.

Gráfico 4: Relação entre a Precipitação (mm) e a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) no Córrego Ibiraporã no período 01/01/2007 a 01/01/2012. Fonte: Córrego Limpo (s/d) e SAISP (2012)



O Gráfico 5 mostra a relação entre a precipitação e a DBO na Nascente do Sapé e no Córrego Ibiraporã no período pós-intervenção. Nesta ampliação, focalizando somente o período pós-intervenção, podemos notar mais claramente a relação entre a precipitação e o comportamento da DBO, tal relação é mais nítida na série histórica do Córrego Ibiraporã, já que sua série histórica é mais estável.

Gráfico 5: Relação entre a Precipitação (mm) e a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) na Nascente do Sapé e no Córrego Ibiraporã no período de 01/01/2011 a 01/01/2012. Fonte: Córrego Limpo (s/d) e SAISP (2012).



*Para melhor visualização da variação da DBO foi ocultada a continuação do gráfico 4, impedindo a visualização completa da precipitação de janeiro e fevereiro de 2011, sendo elas respectivamente 422,33 e 228,53 mm.

À medida que a precipitação aumenta há o aporte de carga difusa da bacia para o canal e como essa carga fica diluída pelo aumento da vazão do canal a DBO neste instante cai. No segundo momento quando há a diminuição da precipitação há a concentração da carga difusa e aumento da DBO, já que a carga difusa urbana, que fica concentrada, é rica em matéria orgânica e nutrientes. A discrepância para o córrego Ibiraporã em julho, segundo informações da SABESP, foi ocasionada por um vazamento de esgotos sanitário durante a execução de intervenções na área.

A Tabela 6 mostra o valor da DBO encontrado para carga difusa no ambiente urbano, sendo ela por volta de 12mg/L.

Tabela 6: Concentração média estimada para poluição difusa (Adaptado de Larentis, 2004).

Concentração Média estimada para poluição difusa (mg/L)			
Tipo	DBO ₅	Nitrogênio Total	Fósforo Total
Urbano	12	2,2	0,7
Agrícola	6	0,8	0,15
Pastagem	3	0,8	0,1
Floresta	1	0,8	0,1
Água	0	0	0

Através da Média Aparada (Importante no caso do Córrego Ibiraporã devido à discrepância apresentada no mês de julho, já que elimina *outliers* - valores discrepantes) temos que a DBO de 14mg/L para o Córrego Ibiraporã no ano de 2011. Fazendo o comparativo do valor médio do Córrego Ibiraporã com a concentração média estimada por Larentis (2004), podemos concluir que a DBO monitorada e condizente com o previsto.

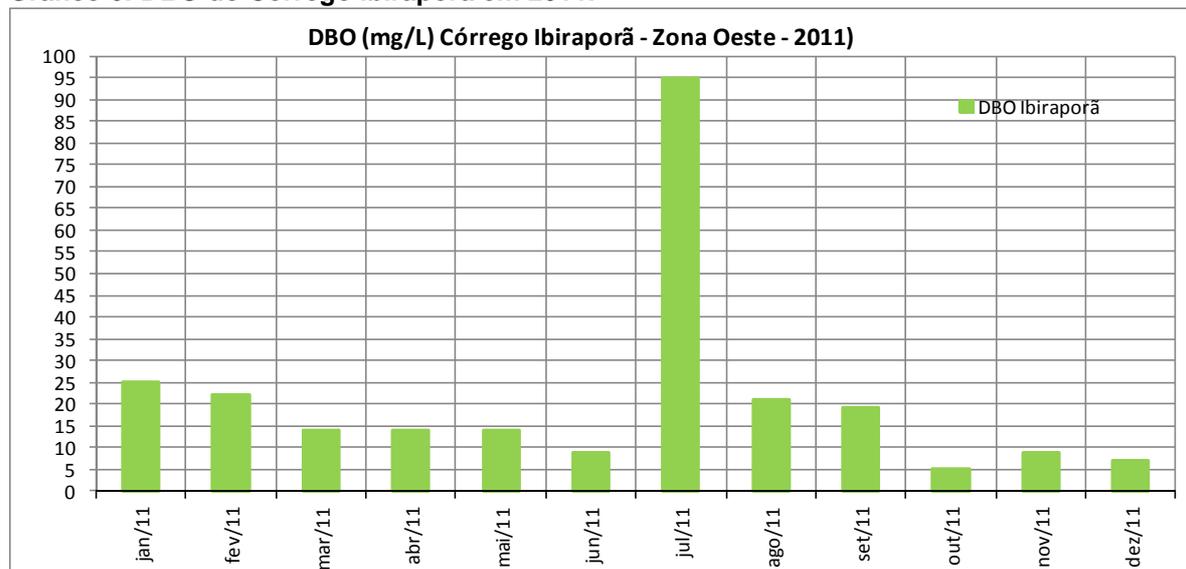
A resolução CONAMA 357 (2005), que dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para enquadramento, prevê no caso de corpos d'água de água doce as seguintes condições de DBO para cada classe, apresentado na Tabela 7.

Tabela 7: DBO para diferentes classes de corpos d'água de água doce (Adaptado da CONAMA 357, 2005).

DBO para diferentes classes (mg/L)	
Classe Especial	Condições Naturais
Classe I	3,00
Classe II	5,00
Classe III	10,00

Portanto, Córregos despoluídos pela eliminação da carga pontual como o caso do córrego Ibiraporã poderiam ser enquadrados, através de uma análise grosseira baseada somente na sua DBO, em alguns meses do ano na Classe III, como podemos ver através do Gráfico 6. Considerando ainda que em média aproximadamente 12mg/L desta DBO seja proveniente da carga difusa, como vimos na Tabela 6, o controle desta carga poderia resultar em DBO's, na maior parte do ano, características de corpos d'água de Classe II e até mesmo de Classe I.

Gráfico 6: DBO do Córrego Ibiraporã em 2011.



Para testar a correlação linear entre as variáveis, Precipitação e DBO, o coeficiente de relação de Pearson (ρ) que mede o grau de relação (e a direção dessa correlação - se positiva ou negativa) entre duas variáveis, pode ser usado para obter o grau de relação entre elas.

O coeficiente de relação de Pearson (ρ) pode resultar em valores entre -1 e 1, sendo:

$\rho = 1$, há correção perfeita e positiva entre as duas variáveis;

$\rho = -1$, há correção perfeita e negativa entre as duas variáveis, ou seja, à medida que uma diminui a outra aumenta; e

$\rho = 0$, não há correlação linear entre as duas variáveis, mas pode haver uma dependência não linear.

O coeficiente de relação de Pearson (ρ) é calculado pela equação 1 (ZAR, 1996):

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sqrt{\text{var}(X) \cdot \text{var}(Y)}} \quad \text{equação (1)}$$

Portanto, o coeficiente de relação de Pearson (ρ) para Precipitação (mm) e DBO para as diversas situações, são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8: Coeficientes de relação de Pearson obtidos

Coeficiente de relação de Pearson (ρ)	
P x DBO Média dos Concluídos	-0,21
P x DBO Média dos em andamento	-0,42
P x DBO Sapé	-0,34
P x DBO Ibiraporã	-0,11

Do resultado se pode concluir que há correlação linear negativa entre as duas variáveis apesar de não apresentarem um grau de correlação elevado.

UNIDADE DE CARGA (UC)

Através de imagens aerofotogramétricas e de visitas à área de estudo, foi possível elaborar o mapa com a classe de uso do solo para a bacia da Nascente do Sapé e para a bacia do Córrego Ibiraporã. As Figuras 11 e 12 mostram a divisão de classes de uso para as áreas de estudo.

Através da caracterização das bacias se podem notar as grandes diferenças entre elas, que além de possuírem tamanhos distintos, possuem ocupações também diferentes. Enquanto a bacia do Córrego Ibiraporã possui em sua bacia uma ocupação pouco adensada caracterizada por moradias de médio e alto padrão, com uma grande porção de espaços verdes e tráfego viário doméstico, a bacia da Nascente do Sapé possui uma ocupação residencial mais adensada, como moradias de baixo e médio padrão, espaços verdes restritos e tráfego viário intenso, devido à proximidade com a Rodovia Raposo Tavares. Há ainda o agravante, no caso da Nascente do Sapé, de estar próximo à área da Favela do Sapé, cuja qual esta passando por um processo de urbanização, o que torna ainda mais constante o tráfego de caminhões transportando materiais de construção civil.

Figura 11: Distribuição na bacia da Nascente do Sapé das classes de uso do solo do Corine Land Cover (CLC).

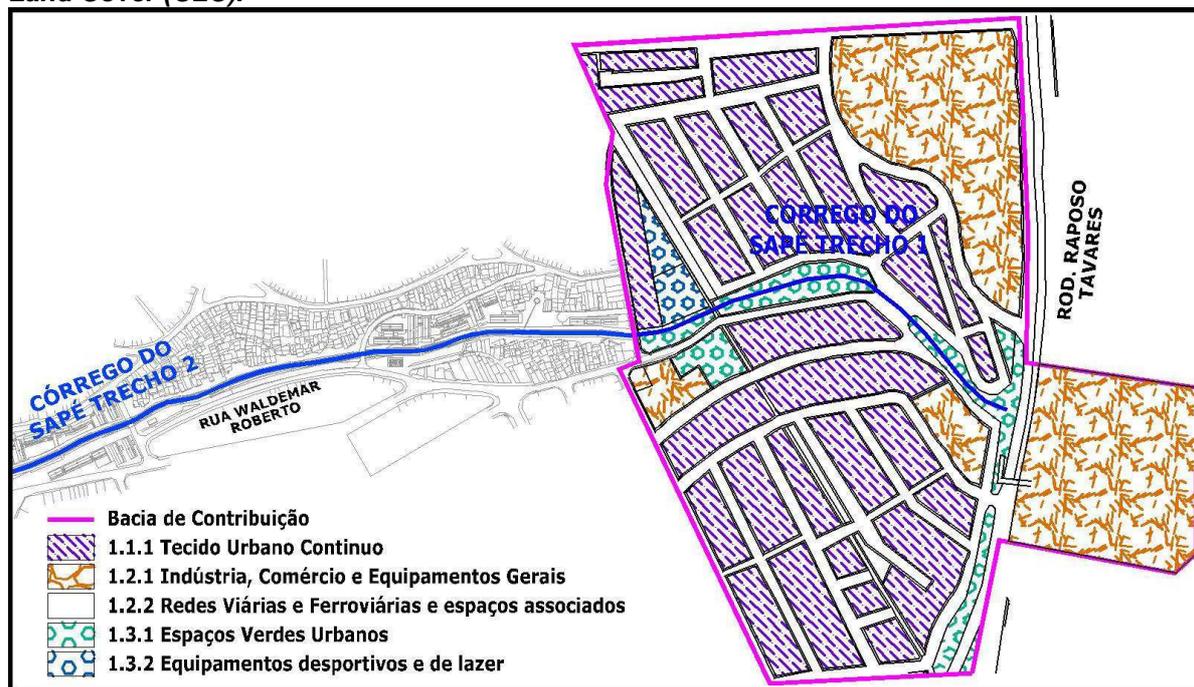
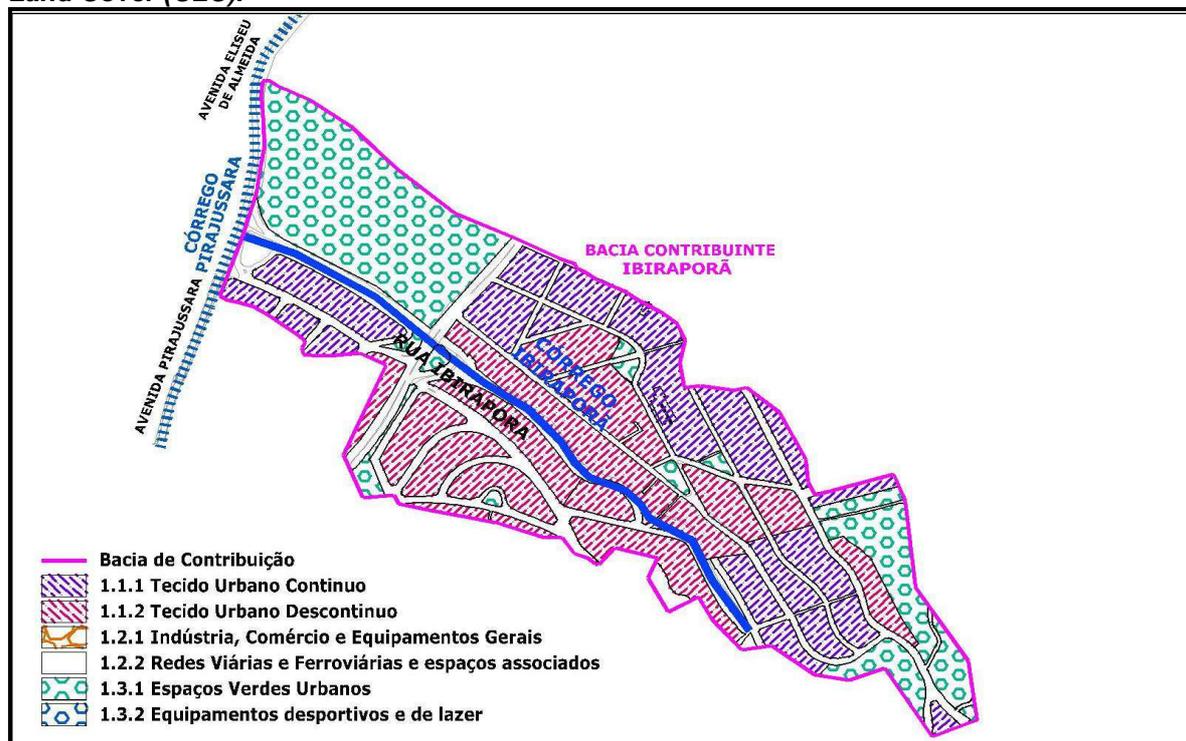


Figura 12: Distribuição na bacia do Córrego Ibiraporã das classes de uso do solo do Corine Land Cover (CLC).



Na Tabela 9 e 10, encontra-se a estimativa de produção de carga difusa na bacia da Nascente do Córrego do Sapé e do Córrego Ibiraporã. Podemos notar que as produções de carga difusa das bacias são próximas (39,782 Kg/km²/dia na Nascente do Sapé e 35,986 Kg/km²/dia no Córrego Ibiraporã), portanto o grande diferencial na consolidação da despoluição dos seus córregos mostra-se mais uma vez resultado do programa de governança colaborativa implantado no Córrego Ibiraporã.

Tabela 9: Produção de carga difusa para as diferentes parcelas de classe de uso do solo na bacia da Nascente do Sapé, calculada pelo método da Unidade de Carga.

Produção das Classes de Uso do Solo para Bacia da Nascente do Sapé					
Classe	Área (Km²)	N total (Kg/Km²/dia)	P total (Kg/Km²/dia)	Ss Total (Kg/Km²/dia)	Carga Total Gerada (Kg)
Tecido Urbano Contínuo	0,1269	0,1616	0,0043	6,3433	6,5092
Indústria, Comércio e Equipamentos Gerais	0,0904	0,1090	0,0029	4,2795	4,3915
Redes Viárias e Ferroviárias e espaços associados	0,3471	0,3050	0,0081	11,9718	12,2850
Espaços Verdes Urbanos	0,0251	0,0091	0,0002	0,3554	0,3647
Equipamentos desportivos e de lazer	0,0047	0,0022	0,0001	0,0859	0,0881
Total	0,5942	0,5870	0,0157	23,0359	23,6386

Tabela 10: Produção de carga difusa para as diferentes parcelas de classe de uso do solo na bacia do Córrego Ibiraporã, calculada pelo método da Unidade de Carga.

Produção das Classes de Uso do Solo para Bacia do Córrego Ibiraporã					
Classe	Área (Km²)	N total (Kg/Km²/dia)	P total (Kg/Km²/dia)	Ss Total (Kg/Km²/dia)	Carga Total Gerada (Kg)
Tecido Urbano Contínuo	0,1505	0,1917	0,0051	7,5254	7,7222
Tecido Urbano Descontínuo	0,1812	0,1935	0,0052	7,5945	7,7932
Redes Viárias e Ferroviárias e espaços associados	0,6656	0,5849	0,0156	22,9567	23,5572
Espaços Verdes Urbanos	0,0586	0,0212	0,0006	0,8309	0,8526
Equipamentos desportivos e de lazer	0,1115	0,0518	0,0014	2,0349	2,0882
Total	1,1675	1,0432	0,0278	40,9423	42,0134

CONCLUSÃO

Através do estudo foi possível constatar que o monitoramento da DBO para fins de avaliação de redução de carga pontual é extremamente eficiente, já que como vimos houve redução significativa da DBO nos córregos no período pós-intervenção do programa, além disso a DBO sinaliza nos córregos despoluídos os instantes em que há lançamentos irregulares, como no caso do córrego do Sapé, se tornando eficiente ferramenta de gestão para controle da carga pontual. No entanto, como indicador de carga difusa a DBO usada isoladamente, não indica claramente como a carga difusa atua no corpo d'água, sendo necessário o uso de indicadores auxiliares para sua melhor compreensão.

Como temos pouquíssimas bacias em áreas urbanas que estão livres de cargas pontuais, devido à ainda precária situação do saneamento básico no país, o uso de córregos do programa córrego limpo para estudos relativos à carga difusa é de grande importância, já que permite a avaliação da poluição gerada unicamente pela carga difusa nas bacias estudadas.

O estudo deixou claro como o envolvimento da população no processo de despoluição dos córregos urbanos, dentro do contexto de gestão integrada da bacia, é importante para efetividade dessas ações, uma vez que as bacias do programa, onde existe a governança colaborativa, vem apresentando melhores resultados no controle da DBO do que as demais. Tal efeito foi constatado no estudo através do histórico da DBO do Córrego Ibiraporã que é mais estável se comparada à DBO da Nascente do Sapé, onde há grandes discrepâncias no seu monitoramento da DBO em pontos isolados.

Portanto é possível concluir que a questão da despoluição dos corpos d'água em zonas urbanas é mais complexa do que se julga e a inobservância de fatores como a carga difusa e a participação da comunicação envolvida pode tornar o processo lento e dispendioso. Deve se pensar em formas viáveis de integrar os corpos d'água urbanos à população de modo que este proporcione aspectos positivos para a sua qualidade de vida e não só uma fonte de problemas. O problema do controle de carga difusa não deve ser ignorado em função de ainda haver problemas no controle das cargas

pontuais e sim deve ser integrado a este, de modo que haja a maximização da eficiência do sistema e redução dos gastos públicos com remediações.

RECOMENDAÇÕES

O Brasil carece de estudos que contemplem a poluição difusa, devido a isto ainda temos poucos valores de referência para serem usados, já que todos os métodos de quantificação da carga difusa são baseados em valores de referência de locais que nem sempre seguem os padrões climático, físico e biológico do Brasil, como os da *Environmental Protection Agency (EPA)* e da *Corine Land Cover (CLC)*, o que prejudica a fidelidade dos resultados obtidos. Portanto é necessário desenvolver esta área do conhecimento.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

1. BRANCO, S. M. Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária, São Paulo, 3 ed., CETESB/ASCETESB, 1986 - 616p.
2. BRAGA, Benedito et al. Introdução à engenharia ambiental. São Paulo: Pince Hall, 2002. 73p.
3. CHECCI, G.; MUNAFÒ, M.; BAIOTTO, F.; ANDREANI, P.; MANCINI, L. Estimating river pollution from diffuse sources in the Viterbo province using the potential non-point pollution index. *Annali dell' Istituto Superiore di Sanità*, Roma, v. 43, n. 3, p. 295 a 301 – 2007.
4. CONAMA 357 de 17 de Março de 2005 – Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2005.
5. CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE ASSENTAMENTOS HUMANOS - HABITAT II, 2, 1996, Istambul. Relatório nacional brasileiro. Brasília, 1996.
6. CORTES, R.; PINTO, P.; FERREIRA, M. T.; MOREIRA, I.– Qualidade biológica dos ecossistemas fluviais. MOREIRA, I., FERREIRA, M.T. CORTES, R. M. V., PINTO, P. & ALMEIDA, P.R. (EDITORES) - Ecossistemas Aquáticos e Ribeirinhos. Instituto da Água, Ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente, Lisboa, 2002.
7. Histórico de precipitação para Zona Oeste no período de janeiro de 2007 a março de 2012 – SAISP – Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo - FCTH – Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica.
8. LARENTIS, D. G. Modelagem Matemática da Qualidade da Água em Grandes Bacias: Sistema Taquari – Antas– RS. Dissertação de Mestrado. UFRGS. Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH, 2004.
9. LIMA, L.C.T.M. Simulação da Qualidade da Água em uma Bacia Hidrográfica: Aplicação a Bacia do rio Curu (CE). Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.
10. Manual de procedimentos e técnicas laboratoriais, voltado para análise de águas e esgotos sanitários e industriais. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária Laboratório de Saneamento “Profº Lucas Nogueira Garcez” – 2004.
11. MORENO, P.; FRANÇA, J.S.; FERREIRA, W.R.; PAZ, A.D.; MONTEIRO, I. & CALLISTO, M. *Use of the beast model for biomonitoring water quality in a Neotropical basin. Hydrobiologia* – 2009 - 225 a 250p.
12. MUNAFÒ, M et al., River pollution from non-point sources : a new simplified method of assessment. *Journal of Environmental Management*, 2005 Volume 77 – 90-99p.

13. NOVOTNY, Vladimir; OLEM, Harvey - Water quality: Prevention, identification and management of diffuse pollution – New York: Van Nostrand Reinhold, 1994.
14. NOVOTNY, Vladimir, Water quality: Diffuse pollution and watershed management – 2ª Edição – New York: J. Wiley, 2003.
15. PORTO, Mônica F. Aspectos qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas. TUCCI, C. E. M; PORTO, Rubem La Laina; BARROS, Mário T. de Barros (Org.). Drenagem Urbana. In: Porto Alegre: ABRH e Editora da UFRGS, 1995 - 387-414p.
16. PORTO, Mônica F. Sistema de gestão da qualidade das águas: Uma proposta para o caso brasileiro – Escola politécnica da Universidade de São Paulo, 2002 – 130-135p.
17. Programa Córrego Limpo – Disponível em: <<http://www.corregolimpo.com.br>> Acesso em 18/02/2011.
18. SABESP, 2010 - “Prestação de Serviços Técnicos Especializados para Capacitação dos Técnicos para Implementação das Estratégias de Governança Colaborativa” - Diretoria Metropolitana da SABESP - São Paulo, maio de 2010.
19. STEINKE, V.A. - Identificação de áreas úmidas prioritárias para conservação da biodiversidade na Bacia da Lagoa Mirim (Brasil - Uruguai) : subsídio para gestão transfronteiriça – 2007 - Dissertação de mestrado - Disponível em: http://vsites.unb.br/ib/ecl/docentes/saito/Tese_Dout_Valdir_A_Steinke.pdf.
20. TOMAZ, Plínio. Livro: Poluição Difusa - Editora Navegar - São Paulo - 1ª Edição – Publicação: 2006. Cap. 3.
21. Zar, J. H. – *Biostatistical Analysis* (3 rd Ed). New Jersey: Prentice Hall, 1996 - 662p.