

Melhoria da qualidade da água de rios urbanos: novos paradigmas a explorar – Bacia hidrográfica do rio Pinheiros em São Paulo

Improvement of water quality in urban rivers: new paradigms to explore – Pinheiros river basin, São Paulo, Brazil

Maria Cristina Santana Pereira^{1*} , José Rodolfo Scarati Martins¹ , Fábio Ferreira Nogueira¹ , Ariel Ali Bento Magalhães¹ , Fábio Paiva da Silva¹ 

RESUMO

A questão da qualidade da água nos corpos d'água urbanos é complexa, pois passa pelo controle de cargas poluidoras pontuais e difusas. As cargas pontuais ainda são um problema recorrente no Brasil, porém são mais facilmente identificáveis. As cargas difusas não têm um ponto de lançamento específico, o que torna seu controle mais difícil, pois ocorrem principalmente em função da lavagem das superfícies durante as chuvas. Os corpos d'água em áreas urbanas são severamente afetados por tais descargas, que se refletem na qualidade das águas e em seus usos. Nesse contexto, este trabalho apresenta elementos do monitoramento da qualidade da água do rio Pinheiros nos últimos dez anos; analisa os resultados do monitoramento da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb); verifica se há relação com resultados do monitoramento diário do projeto *Avaliação da Qualidade das Águas do Sistema Pinheiros-Billings com o Protótipo Flotação*; e, por fim, avalia o uso de sistema de biorretenção, que apresenta resultados significativos de reduções da carga poluidora do escoamento superficial chegando, em alguns casos, a mais de 90%. Essa solução é uma alternativa para a redução da poluição difusa na bacia do rio Pinheiros.

Palavras-chave: poluição difusa; área urbana; biorretenção.

ABSTRACT

The issue of water quality in urban water bodies is complicated, as it involves controlling on point and diffuse pollution loads. Point loads are still a problem in Brazil, although more easily identifiable. Diffuse loads do not have a specific discharge point, which makes their control more difficult, and they happen mainly due to stormwater surface runoff. Urban water bodies are exposed to the diffuse pollution, which affects their water quality and multiple uses. Thus, this article presents the Pinheiros River's water quality monitoring over the last ten years, analyzes the monitoring results of São Paulo State Environmental Company (Cetesb), and verifies the existence of a relationship with these results with the daily monitoring of the project *"Avaliação da Qualidade das Águas do Sistema Pinheiros-Billings com o Protótipo Flotação"*. Finally, it evaluates the use of a bioretention system with average reductions of runoff pollutants loads, in some cases, more than 90%, being an alternative for diffuse pollution control in the Pinheiros River basin.

Keywords: diffuse pollution; urban area; bioretention.

INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e a expansão urbana geram impactos que causam desequilíbrio do meio ambiente em geral e de forma intensa no ciclo hidrológico. A urbanização, dada sua constante modificação do uso e da ocupação do solo, provoca alteração no sistema de drenagem natural, causando diminuição da infiltração e consequente aumento do escoamento superficial direto, redução do tempo de concentração, gerando altos picos de descarga, e inundações (KALNAY; CAI, 2003; VALIPOUR; SING, 2016; PENG *et al.*, 2019). Outra consequência é o aumento do aporte de constituintes transportados pela água,

entre eles a matéria orgânica, os nutrientes e os sólidos minerais. Essas cargas, principalmente a matéria orgânica, o nitrogênio e o fósforo, derivam do lançamento de esgotos e resíduos sólidos lançados diretamente nos sistemas de drenagem (WOLFF *et al.*, 2016), que são carregados para os rios e os córregos.

Em centros urbanos, o aporte de poluentes nos rios é frequentemente constituído das cargas pontuais, cujas origem, constituição e quantidade são conhecidas ou podem ser estimadas, e das chamadas cargas de origem difusa, ou simplesmente poluição difusa, compostas do material lavado pelo escoamento superficial durante as chuvas que chegará aos corpos hídricos. As cargas

¹Escola Politécnica, Universidade de São Paulo – São Paulo (SP), Brasil.

*Autor correspondente: maripereira@usp.br

Conflitos de interesse: os autores declaram não haver conflito de interesses.

Financiamento: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), processo número 88882.376704/2019-01.

Recebido: 14/09/2019 – **Aceito:** 29/06/2020 – **Reg. ABES:** 20190272

pontuais têm sua origem no lançamento de efluentes industriais, nas descargas do efluente final de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), assim como nos lançamentos indevidos, que compreendem desde a simples ausência de redes coletoras e de transporte de esgoto até os denominados despejos clandestinos e irregulares. Tais lançamentos são contínuos no tempo, sendo, portanto, considerados como cargas endêmicas. O lançamento de efluentes de uma ETE, ainda que tratado, é uma fonte de poluição pontual, pois contém cargas poluidoras elevadas. As cargas pontuais são quase sempre mais fáceis de serem identificadas, o que torna o seu controle ou eliminação mais rápido e eficiente (ARAÚJO, 2005).

As cargas difusas são caracterizadas por estarem relacionadas aos eventos de precipitação (PORTO, 1995; MARTINS, J.R.S., 2017), sendo carregadas pelo escoamento superficial gerado durante as chuvas e com origem na lavagem dos terrenos que aportam aos cursos d'água no decorrer de tais eventos, sendo afetadas por suas variabilidades espacial e temporal. São originárias das mais diversas fontes, por exemplo, do material disposto na superfície da bacia hidrográfica, da precipitação do particulado atmosférico, dos derrames de óleos e graxas, e dos resíduos sólidos arrastados pelas enxurradas. Pesquisas realizadas em várias partes do mundo, inclusive no Brasil, mostram que a poluição difusa contribui com uma parcela considerável da carga poluidora total lançada nos corpos hídricos urbanos, chegando a mais de 30% dessa totalidade (NOVOTNY, 2003; YAZAKI; HAUPT; PORTO, 2007; MORIHAMA *et al.*, 2012; MOURA; PELLEGRINO; MARTINS, 2013).

Estima-se que nos rios que cortam as grandes cidades, as cargas poluidoras de origem difusa superam aquelas de origem industrial, sendo suplantadas pela descarga irregular de esgotos não tratados nos sistemas de drenagem e pelos efluentes das ETES. Como essas fontes tendem a ser reduzidas no futuro, em função dos avanços da universalização do sistema de coleta de efluentes e com o aprimoramento tecnológico empregado nas estações, pode-se vislumbrar que as fontes difusas serão responsáveis pela principal parcela da carga poluidora (ALENCAR; PORTO, 2015; MARTINS, R.G., 2017).

Para a quantificação da poluição de origem difusa, empregam-se métodos que consideram a correlação entre o uso do solo, a precipitação e a massa transportada. Diversos trabalhos recentes apresentam resultados de estudos de quantificação da geração de cargas difusas no Brasil (COSTA, 2013; SECRETARIA DE SANEAMENTO E RECURSOS HÍDRICOS, 2016; FCTH, 2017; MACEDO, 2017; MARTINS, R.G., 2017; RIGHETTO; GOMES; FREITAS, 2017), empregando como forma de abordagem a concentração média de evento (CME), que representa a relação entre o total de massa do constituinte transportado pela lavagem do solo e o volume total escoado (USEPA, 1983).

Para mitigar os lançamentos de cargas difusas e atenuar os efeitos das cheias e das inundações nas áreas urbanas, há décadas os países europeus, da América do Norte e da Oceania adotam sistemas que agem diretamente sobre o escoamento superficial, próximos da fonte dessas cargas geradas nos eventos de precipitação. Por meio de técnicas de controle na fonte, seu uso corrente visa à mitigação dos problemas causados quando se tem somente a implantação de estruturas convencionais de drenagem urbana e de controle da poluição (PEREIRA, 2014). Regiões tropicais e subtropicais, como o Brasil, são carentes de estudos, adaptações e monitoramento de tais técnicas (MOURA; PELLEGRINO; MARTINS, 2016; MACEDO *et al.*, 2017; MACEDO *et al.*, 2018), o que leva certa resistência para aceitação e implantação dessas práticas como medida corrente.

Os benefícios gerados pela implantação de técnicas compensatórias (TC) são diversos não somente para a região onde foram implantados, mas para toda a vizinhança, especialmente a localizada a jusante (VANDERMEULEN *et al.*, 2011).

Experimentos realizados em São Paulo, para quantificação e estimativa do potencial mitigador de cargas poluidoras por meio de sistemas de biorretenção, mostraram-se promissores quanto às suas eficiência e viabilidade de implantação (MOURA, 2013; MOURA; PELLEGRINO; MARTINS, 2013; 2014).

As TC são também conhecidas como *Best Management Practice* — BMP (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011). No contexto de drenagem sustentável há também os termos correlacionados *Water Sensitive Urban Design* (WSUD), *Low Impact Development* (LID) e *Sustainable Urban Drainage Systems* (SUDS), que são abordagens de planejamento urbano que levam em conta desde a concepção até o projeto, a implantação e a operação do manejo das águas pluviais, podendo empregar TC que são equivalentes às BMP. No Brasil, o termo mais difundido é “tecnologias alternativas e compensatórias” (PARKINSON *et al.*, 2003), que são medidas não convencionais para controle das águas pluviais urbanas. Diversas dessas técnicas usam da ação biológica proporcionada pela associação de solo e vegetação para a remoção de poluentes do escoamento superficial, sendo denominadas de biorretenções (USEPA, 1999; TROWSDALE; SIMCOCK, 2011). Podem ser empregadas junto a projetos de paisagismo, reurbanização de áreas informais e renaturalização de bacias hidrográficas. Tais sistemas promovem o controle do escoamento na fonte, usam a biorretenção para remoção de poluentes e encontram espaços para sua implantação nos passeios, nos canteiros centrais e nas vagas de estacionamento de ruas e avenidas.

Sistemas de biorretenção

O uso dos sistemas de biorretenção no abatimento de carga poluidora é realidade nos países do Norte global, onde são aplicados desde a década de 1990. No Brasil, seu conceito já está estabelecido, porém observa-se certa lentidão nos processos normativos e regulatórios para que sua implementação seja algo corrente.

Johnson e Hunt (2019) analisaram o abatimento de carga poluidora de nutrientes em sistemas de biorretenção. Após 16 anos de sua implementação, a redução inicial para nitrogênio total foi de 40% e para fósforo total, 65%; e após 17 anos, essas reduções passaram a 72 e 79%, respectivamente. Gao *et al.* (2015), em estudo de caso em área industrial na China, também verificaram a redução de sólidos suspensos totais, zinco, nitrogênio total, fósforo total e demanda bioquímica de oxigênio (DBO). David *et al.* (2015) analisaram a eficiência dos sistemas de biorretenção em áreas semiáridas para a remoção de metais e produtos químicos, e observaram redução da concentração desses poluentes.

Nos países do Norte global, as constatações da eficiência desses sistemas no abatimento da poluição são extensas, demonstrando, assim, que paradigmas precisam ser quebrados e essas técnicas, adotadas para auxiliar na melhoria da qualidade da água. Algumas dessas estratégias são os jardins de chuva, os canteiros pluviais e as biovaletas, a saber:

- **Jardins de chuva:** sistema de biorretenção que promove a retenção e/ou o tratamento da água pluvial combinando as características do paisagismo com a filtração em meio poroso. São depressões topográficas constituídas de material granular sob uma superfície vegetada (MOURA *et al.*, 2017). Os jardins de chuva agem como uma esponja que detém a água e os constituintes, e podem favorecer a recarga de águas subterrâneas. É uma solução eficaz para estacionamentos ou vias públicas em que o espaço verde é limitado (MOURA, 2013; USEPA, 2013).
- **Canteiros pluviais:** pequenos jardins de chuva que foram compactados em pequenas sobras de espaços urbanos. São usados para promover desde a infiltração da água no solo até a remoção de poluentes por processos biogeoquímicos, de forma a diminuir o escoamento pluvial e melhorar a qualidade da água.

São ideais para serem implementados em áreas urbanas com pouca disponibilidade de espaço (MOURA, 2013; PEREIRA; MARTINS; MARTINS, 2019).

- Biovaletas: faixas lineares rebaixadas compostas de vegetação, solo e outros elementos que atuam como filtro, realizando a despoluição da água, armazenando a água por determinado período e retardando a velocidade do escoamento superficial (CORMIER; PELLEGRINO, 2008). São semelhantes aos jardins de chuva, mas as biovaletas também contribuem para a filtração dos poluentes carregados pelo escoamento superficial por meio do substrato e da vegetação implantada, dirigindo este aos jardins de chuva (MOURA, 2013). Sua característica principal é aumentar a taxa de infiltração.

As técnicas apresentadas, embora aparentemente singelas e de fácil compreensão pelo público em geral, na verdade, encerram um conteúdo tecnológico relativamente complexo, como forma de permitir seu bom funcionamento e garantir sua eficiência. Na realidade, um canteiro pluvial é bem mais que um “elemento paisagístico”, tendo partes constitutivas, como drenos e mantas, que precisam ser dimensionadas para que funcionem bem e deem a resposta esperada.

Em São Paulo (SP), dado o alto grau de urbanização, o uso de TC tem potencial para auxiliar na gestão e no manejo da drenagem urbana, desde a redução dos volumes escoados para a jusante durante as chuvas até a melhoria da qualidade da água desse escoamento. Há tempos a melhoria da qualidade da água dos rios Pinheiros e Tietê, dois importantes rios urbanos de São Paulo, é almejada, de forma

a possibilitar que os usuários desfrutem de seus múltiplos usos. Mesmo sabendo que a questão da qualidade da água nesses grandes rios depende primeiramente da solução dos problemas ligados ao aporte das cargas endêmicas, o papel das TC será fundamental no controle das cargas geradas de forma distribuída na bacia.

O presente estudo analisa resultados do monitoramento da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb) nos últimos dez anos, do monitoramento diário realizado no projeto *Avaliação da Qualidade das Águas do Sistema Pinheiros-Billings com o Protótipo Flotação* e dos estudos de Morihama *et al.* (2012), para verificar a conformidade das águas do rio Pinheiros com a legislação ambiental e o potencial de uso de sistemas de biorretenção na bacia para auxiliar na contenção da poluição difusa.

METODOLOGIA

Estudo de caso

Atualmente, o rio Pinheiros é um canal artificial com características bem diferentes das originais. Ele foi retificado, canalizado e teve seu curso alterado entre 1927 e 1960 para permitir a transposição de águas do rio Tietê, por bombeamento, para o Reservatório Billings, visando à geração de energia na hidrelétrica Henry Borden. A Figura 1 apresenta a localização do rio Tietê, do rio Pinheiros e das bacias do Reservatório Billings e do Reservatório Guarapiranga.

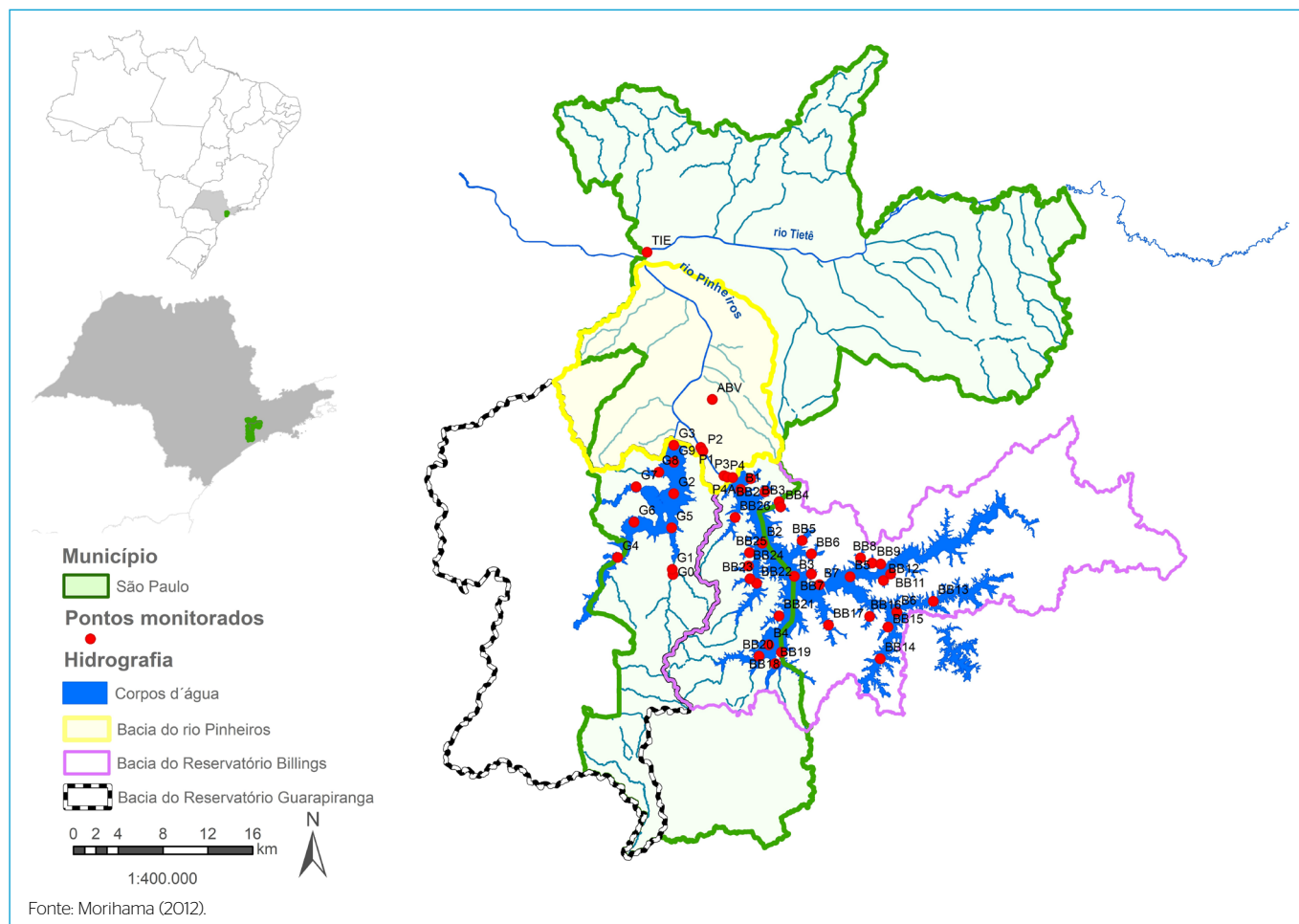


Figura 1 - Localização dos pontos de monitoramento do projeto Flotação.

Neste estudo, destaca-se o rio Pinheiros. Os dados utilizados têm como fonte o monitoramento realizado no projeto *Avaliação da Qualidade das Águas do Sistema Pinheiros-Billings com o Protótipo Flotação* (FCTH, 2010) e dos pontos de monitoramento da rede básica de qualidade da água da Cetesb. Foram considerados os dados desde o ano de 2009 e, em seguida, foi avaliado o uso de sistemas de biorretenção para o abatimento da poluição difusa com base nos resultados obtidos por Moura (2013).

Estudo do protótipo do sistema de flotação

Durante o período de agosto de 2007 a dezembro de 2009 foi realizado o acompanhamento diário dos rios Pinheiros e Tietê, no âmbito do projeto *Avaliação da Qualidade das Águas do Sistema Pinheiros-Billings com o Protótipo Flotação*. Foi o mais longo programa de monitoramento da qualidade da água com alta resolução temporal já realizado no Brasil, com mais de 200 mil análises de qualidade da água, coletadas em 53 diferentes pontos localizados no rio Pinheiros, no rio Tietê e no Reservatório Billings (MORIHAMA et al., 2012), sendo assim um material robusto para análises da qualidade da água na bacia do rio Pinheiros. Para a coleta das amostras, foi instalado no rio Pinheiros um amostrador automático. A Figura 1 apresenta a localização dos pontos de monitoramento do projeto Flotação.

Neste trabalho, foram obtidas a CME e a carga difusa, determinadas conforme as Equações 1 e 2. Esses valores foram calculados para as amostras coletadas no período de 21 de agosto a 28 de dezembro de 2009.

Concentração média de evento e cargas difusas

A CME é amplamente utilizada na literatura nacional e internacional. Para determinado uso e ocupação do solo, junto a análises estatísticas aplicadas a um conjunto de eventos de chuva, resulta em uma concentração “típica” que, multiplicada pelos volumes escoados, produz estimativas de cargas “geradas” durante esses períodos. A Equação 1 representa o cálculo da CME e a Equação 2, o cálculo da carga difusa.

$$CME = \frac{M}{V} = \frac{\int_0^{tr} C_t Q_t dt}{\int_0^{tr} Q_t dt} \cong \frac{\sum C_t Q_t \Delta t}{\sum Q_t \Delta t} \quad (1)$$

Em que:

CME = concentração média de evento (mg.L⁻¹);

M = massa total de poluente durante o evento (g);

V = volume total durante o evento (m³);

t = tempo (s);

tr = tempo de duração do evento (s);

C_t = concentração no tempo t (mg.L⁻¹);

Q_t = vazão no tempo t (m³.s⁻¹);

Δ_t = intervalo de tempo (s).

$$CD = \int_0^{tr} (C_t Q_t - CD_{t_{base}}) \cong \sum (C_t Q_t - CD_{t_{base}}) \quad (2)$$

Em que:

t = tempo (s);

tr = tempo de duração do evento (s);

C_t = concentração no tempo t (mg.L⁻¹);

Q_t = vazão no tempo t (m³.s⁻¹);

CD_{t_{base}} = carga difusa caracterizada pela qualidade da amostra do dia mais próximo do evento.

Monitoramento da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

O monitoramento do rio Pinheiros é realizado pela Cetesb desde a década de 1970. Os pontos de monitoramento ativos estão apresentados na Figura 2. Até o ano de 2012, eram monitorados apenas os pontos do rio Pinheiros. Um dos objetivos desse monitoramento é a realização do diagnóstico e avaliar sua conformidade com a legislação ambiental. Neste trabalho, utilizaram-se dados de monitoramento dos últimos dez anos, para verificação de sua conformidade ao enquadramento do corpo d'água, e o índice de qualidade da água (IQA).

O rio Pinheiros está enquadrado na Classe 4, conforme estabelecido pelo Decreto nº 10.755/1977 (SÃO PAULO, 1977), e, para tal, a Resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, do Ministério do Meio Ambiente (MMA), estabelece limites somente para o oxigênio dissolvido (OD) e para o pH (BRASIL, 2005), conforme mostra a Tabela 1. Para as análises deste trabalho, foram consideradas apenas as variáveis OD e pH. Assim, é possível verificar se o corpo hídrico se enquadra na meta estabelecida, ou seja, na Classe 4.

Como não há dados de vazão associados à série histórica monitorada pela Cetesb, não é possível fazer o cálculo da CME e da carga difusa diretamente para comparação com os dados monitorados em 2009 (MORIHAMA et al., 2012). Dessa forma, usou-se a série de IQA calculada e apresentada pela Cetesb para a avaliação da qualidade da água do rio Pinheiros.

O IQA foi desenvolvido pela National Sanitation Foundation (NSF) para avaliar a qualidade dos corpos d'água e monitorar as alterações espaciais ou temporais da qualidade da água, que está relacionada à contaminação por esgoto doméstico, resíduos industriais ou agropecuários (ANDRADE et al., 2005; SÁNCHEZ et al., 2007; LOPES et al., 2008; FERREIRA et al., 2015; CETESB, 2019). Varia de zero (pior qualidade) a 100 (melhor qualidade) e utiliza nove parâmetros, sendo: OD, coliformes fecais, pH, DBO, nitrogênio total, fósforo total, temperatura, turbidez e sólidos totais. O IQA caracteriza, principalmente, a contaminação dos corpos d'água ocasionada pelo esgoto doméstico (CETESB, 2019). Neste trabalho, serão usados os valores de IQA divulgados pela Cetesb, cujo cálculo é realizado pela Equação 3.

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (3)$$

Em que:

n = número de variáveis que entram no cálculo do IQA;

q_i = qualidade do i-ésimo parâmetro, um número entre zero e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida;

w_i = peso correspondente ao i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade.

Sistema de biorretenção

A instalação, da qual se obteve o percentual de remoção da carga difusa, é um sistema de biorretenção construído em 2012, sendo um protótipo em escala real de jardim de chuva, localizado no *campus* da Cidade Universitária “Armando Salles Oliveira” (CUASO), na zona oeste da capital paulista. A bacia contribuinte é tipicamente urbana, ocupada pelos edifícios e pelas vias do *campus*, e a carga afluente é determinada a partir do monitoramento dos parâmetros de qualidade da água do escoamento superficial durante eventos de chuva. O monitoramento realizado permitiu

determinar o aporte de poluentes e avaliar a eficiência de sua remoção por meio de um sistema de biorretenção.

O sistema de biorretenção deu subsídio para o desenvolvimento da tese “Biorretenção: tecnologia ambiental urbana para manejo das águas de chuva” (MOURA, 2013). A Figura 3 apresenta a localização do sistema de biorretenção e a Figura 4, o sistema já implantado e em funcionamento.

Este experimento analisou os parâmetros de qualidade da água do escoamento superficial que afluía para o sistema pela canaleta de meio fio. Foram analisados os mesmos parâmetros, para o escoamento superficial, antes e depois de passar pelo sistema de biorretenção.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste estudo, são apresentados os seguintes resultados: CME e porcentagem de poluição difusa dos eventos do período de 21 de agosto a 28 de dezembro de 2009, apresentados por Morihama *et al.* (2012); valores de OD, pH e IQA de 2009 a 2018, apresentados pela Cetesb (2019); e a eficiência da melhoria da qualidade de água observada no trabalho de Moura (2014).

Estudo do protótipo do sistema de flotação

As Tabelas 2 e 3 apresentam os resultados da CME para seis parâmetros de qualidade da água, monitorados durante eventos de precipitação e apresentados

por Morihama *et al.* (2012), nos quais se observa grande variabilidade e sem padrão definido (MORIHAMA *et al.*, 2012). Isso demonstra a característica intrínseca de cada evento, assim como reflete que há interferência das chuvas dos dias precedentes — fato relevante, pois promove a lavagem dos poluentes da superfície.

Tabela 1 – Limite de Classe 4.

| Parâmetro | Valor máximo |
|--|--|
| OD | superior a 2 mg.L ⁻¹ O ₂ em qualquer amostra |
| pH | 6 a 9 |
| materiais flutuantes, inclusive espumas não naturais | virtualmente ausentes |
| odor e aspecto | não objetáveis |
| óleos e graxas | toleram-se iridescências |
| substâncias facilmente sedimentáveis que contribuam para o assoreamento de canais de navegação | virtualmente ausentes |
| fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina) | até 1 mg.L ⁻¹ de C ₆ H ₅ OH |

OD: oxigênio dissolvido.
Fonte: Brasil (2005).

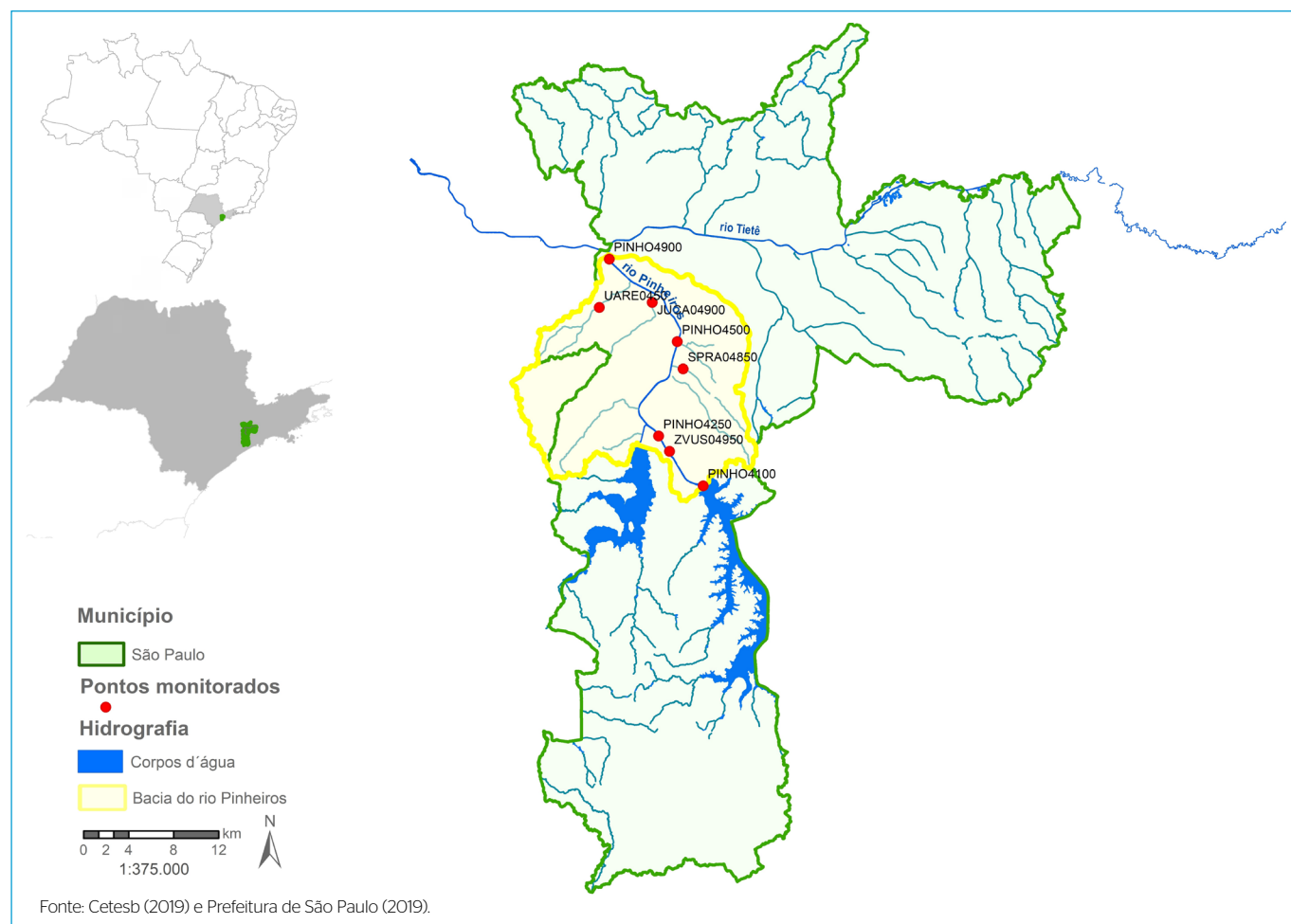


Figura 2 – Localização dos pontos de monitoramento da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.

Novotny (2003), Yazaki, Haupt e Porto (2007) e Morihama *et al.* (2012) realizaram pesquisas que mostram que a poluição difusa contribui com uma parcela considerável da carga poluidora lançada nos corpos hídricos urbanos, chegando a mais de 30% da carga total. A Tabela 4, calculada com os dados de monitoramento do rio Pinheiros, demonstra que a carga de poluição difusa desse rio é maior do que a apresentada na literatura.

Monitoramento da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

A Figura 5 apresenta os valores de OD e pH observados no rio Pinheiros e seu respectivo limite de classe, ou seja, Classe 4, para o período de 2009 a 2018. Observa-se que o limite de OD de 2 mg.L⁻¹, mesmo sendo um valor baixo, não foi atingido em diversos períodos, nem mesmo durante o período do projeto

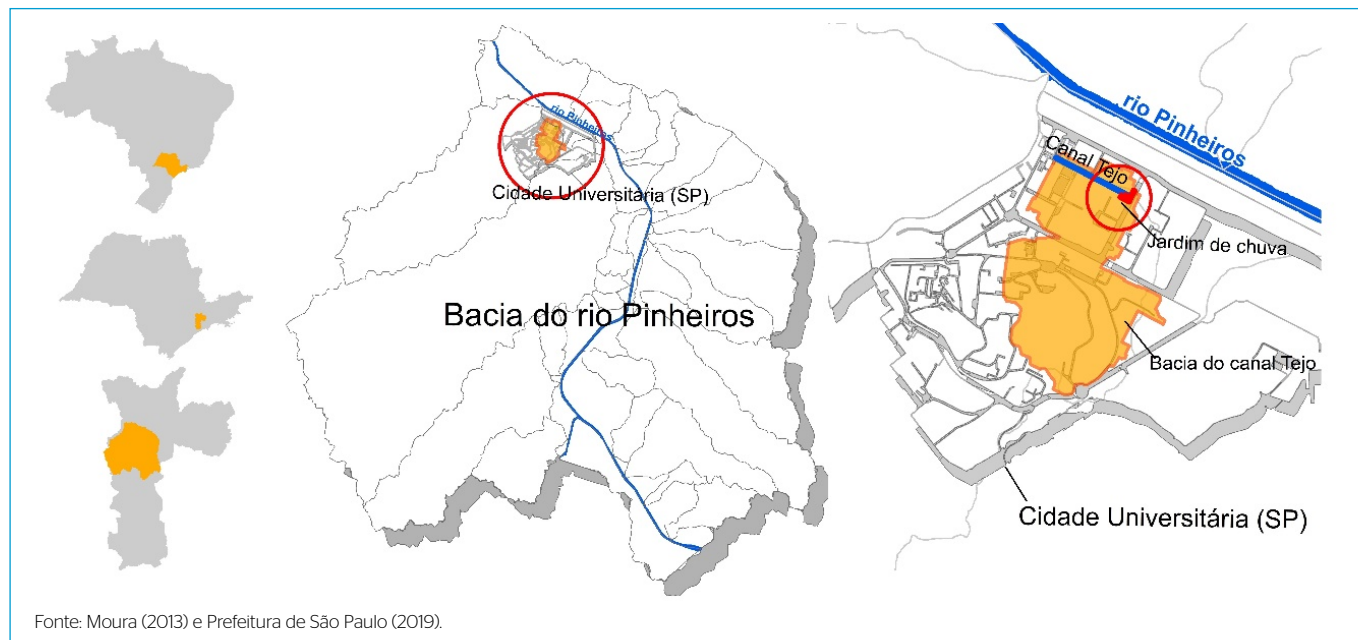


Figura 3 - Localização do experimento de biorretenção.

Tabela 2 - Concentração média de evento.

| Parâmetros de qualidade | CME (mg.L ⁻¹) | | | | | | | | |
|-------------------------|---------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 21/08/09 | 03/09/09 | 06/09/09 | 28/09/09 | 06/10/09 | 17/10/09 | 22/10/09 | 26/10/09 | 15/11/09 |
| COT | 6,29 | 11,53 | 16,65 | 10,00 | 8,03 | 9,33 | 9,14 | 11,64 | 7,93 |
| DBO ₅ | 72,24 | 124,58 | 82,65 | 59,96 | 44,90 | 39,98 | 38,03 | 61,49 | 44,67 |
| DQO | 148,12 | 225,12 | 180,60 | 116,11 | 105,86 | 96,66 | 76,48 | 140,01 | 96,33 |
| PT | 1,44 | 1,88 | 1,49 | 1,87 | 0,97 | 0,91 | 1,38 | 1,53 | 1,02 |
| N-NH ₃ | 12,44 | 11,59 | 9,77 | 11,11 | 6,98 | 9,46 | 4,71 | 7,20 | 4,91 |
| SST | 102,05 | 222,10 | 79,79 | 71,84 | 76,17 | 97,03 | 85,91 | 194,08 | 14,96 |

CME: concentração média de evento; COT: carbono orgânico total; DBO: demanda bioquímica de oxigênio; DQO: demanda química de oxigênio; PT: fósforo total; N-NH₃: nitrogênio amoniacal; SST: sólidos suspensos totais.

Fonte: Morihama *et al.* (2012).

Tabela 3 - Concentração média de evento.

| Parâmetros de qualidade | CME (mg.L ⁻¹) | | | | | | | | |
|-------------------------|---------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 20/11/09 | 21/11/09 | 24/11/09 | 26/11/09 | 01/12/09 | 03/12/09 | 07/12/09 | 16/12/09 | 26/12/09 |
| COT | 13,73 | 15,39 | 17,96 | 7,59 | 9,03 | 10,67 | 11,79 | 7,16 | 13,96 |
| DBO ₅ | 54,28 | 90,49 | 39,76 | 21,19 | 32,43 | 37,06 | 38,31 | 34,96 | 49,42 |
| DQO | 105,97 | 200,43 | 104,09 | 45,14 | 73,32 | 69,09 | 69,89 | 69,17 | 98,37 |
| PT | 0,60 | 0,73 | 0,45 | 0,37 | 0,47 | 0,59 | 0,51 | 0,43 | 0,65 |
| N-NH ₃ | 10,40 | 6,64 | 3,37 | 1,59 | 1,48 | 1,50 | 1,60 | 2,47 | 3,79 |
| SST | 55,07 | 234,18 | 242,71 | 105,90 | 64,71 | 191,73 | 168,92 | 91,95 | 48,92 |

CME: concentração média de evento; COT: carbono orgânico total; DBO: demanda bioquímica de oxigênio; DQO: demanda química de oxigênio; PT: fósforo total; N-NH₃: nitrogênio amoniacal; SST: sólidos suspensos totais.

Fonte: Morihama *et al.* (2012).

Flotação. O ponto mais crítico é o ponto 4900, que é confluência do rio Pinheiro com o rio Tietê.

A Figura 6 apresenta os valores de OD e pH dos afluentes do rio Pinheiros, para verificação do atendimento ao limite de classe, durante o período de 2012 a 2018. Verifica-se que o limite de OD de 2 mg.L⁻¹, mesmo sendo um valor relativamente baixo, não foi mantido em diversos períodos. O Programa Córrego Limpo, resultado de uma parceria entre a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) e a prefeitura do município, que tem o objetivo de despoluir córregos urbanos (SABESP, 2019), já estava em operação durante o período analisado, e, mesmo assim, a qualidade da água nesses pontos não atendeu ao preconizado para a classe. Na Figura 6, a pior situação é a do Córrego Zavuvus: das 42 amostras analisadas, somente seis apresentaram OD acima de 2 mg.L⁻¹. A Figura 7 apresenta os valores de IQA no período de 2009 a 2011 para os pontos de monitoramento do rio Pinheiros. Nessa figura, é possível observar que somente os pontos PINHO4100 e PINHO4250, localizados próximos da extremidade de montante, têm períodos de qualidade regular e somente em um período entre 2010 e 2011 teve avaliação de qualidade boa. Para os demais períodos analisados, a qualidade é ruim.

A Figura 8 apresenta os valores de IQA para os pontos de monitoramento do rio Pinheiros e seus afluentes no período de 2012 a 2017. É possível observar que somente para o ponto PINHO4100 houve curtos períodos de avaliação boa, e que na maior parte dos períodos analisados o índice foi regular. Para os pontos UARE0450 e SPRA04850, a qualidade foi regular e todos os demais pontos e períodos tiveram qualidade ruim. Também é possível verificar a influência da precipitação, e a categoria boa foi alcançada somente no tempo seco. Essa melhora é esperada em razão da pouca influência das cargas difusas, que são mais acentuadas durante os períodos de chuva. Observa-se ainda que para os pontos classificados na categoria péssima houve uma sutil melhora do índice no período chuvoso, o que indica que a diluição prepondera no aporte de carga difusa em locais de elevada contaminação.

Sistema de biorretenção

No experimento de Moura (2014), a redução na massa total afluente pelo sistema de biorretenção é apresentada na Tabela 5, que traz a média individual para os parâmetros de qualidade da água quanto às massas totais acumuladas, que correspondem

às somas das cargas poluidoras no período de monitoramento dos eventos. A tabela apresenta resultados significativos de abatimento de carga acumulada do escoamento superficial, chegando, em alguns casos, a mais de 90%, o que significa que de todo o elemento que foi lançado nos canteiros, menos de 10% foi lançado para fora do sistema — o que corrobora a indicação do uso maciço, ou seja, por toda a bacia do rio Pinheiros, de sistemas de biorretenção como auxiliares no tratamento do escoamento superficial, para a melhoria da qualidade de suas águas.

Os sistemas de biorretenção têm ação contínua, ou seja, atuam na retenção do material da lavagem da superfície nos instantes iniciais dos períodos de chuva e na detenção da poluição acumulada no período seco, e podem ser alocados em locais públicos, sem depender da iniciativa privada. A Figura 9 apresenta um exemplo de aplicação.

Diante da realidade de deterioração da qualidade da água do rio Pinheiros e dos esforços que vêm sendo realizados nos últimos anos, a implantação de sistemas de biorretenção que atuem tanto na redução do escoamento superficial quanto na melhoria da qualidade da água deve ser avaliada. Franco (2010), em seu trabalho intitulado *Infraestrutura Verde em São Paulo: o caso do Corredor Verde Ibirapuera — Villa Lobos*, apresenta o conceito de infraestrutura verde aplicada ao sistema de espaços verdes da cidade de São Paulo, sendo a área em

Tabela 4 – Carga de poluentes no período de 21 de agosto a 28 de dezembro de 2009.

| Parâmetros de qualidade | Carga do período de 21 de agosto a 28 de dezembro de 2009 | | |
|-------------------------|---|---------------------|-------------------|
| | Total (ton.dia ⁻¹) | Poluição difusa (%) | Outras fontes (%) |
| COT | 23 | 37 | 63 |
| DBO ₅ | 106 | 36 | 64 |
| DQO | 207 | 39 | 61 |
| PT | 2 | 40 | 60 |
| N-NH ₃ | 9 | 43 | 57 |
| SST | 177 | 57 | 43 |

COT: carbono orgânico total; DBO: demanda bioquímica de oxigênio; DQO: demanda química de oxigênio; PT: fósforo total; N-NH₃: nitrogênio amoniacal; SST: sólidos suspensos totais.
Fonte: Morihama *et al.* (2012).



Fonte: Moura (2013).

Figura 4 – Sistema de biorretenção: jardim de chuva.

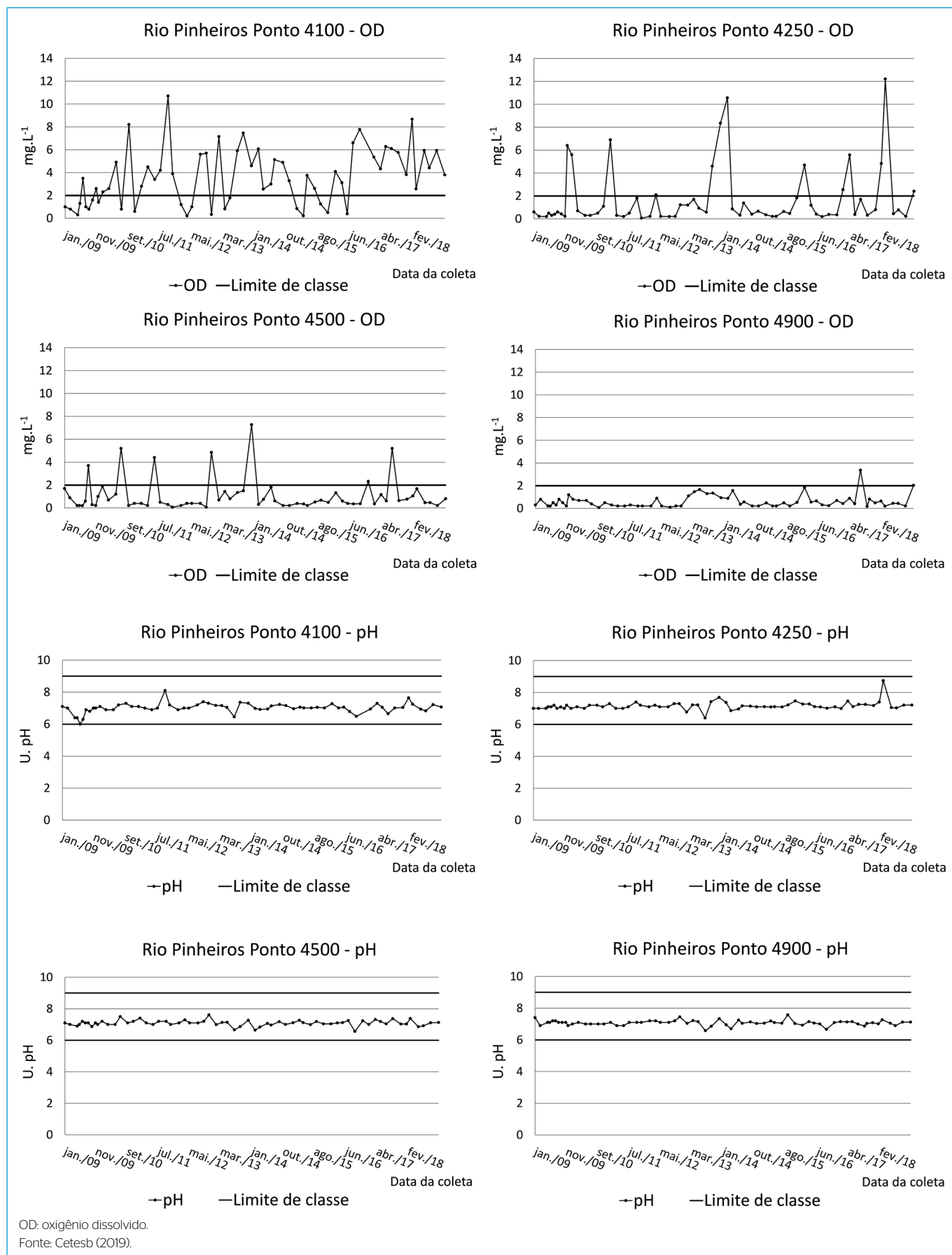


Figura 5 - Oxigênio dissolvido e pH com limite da classe para os pontos monitorados no rio Pinheiros.

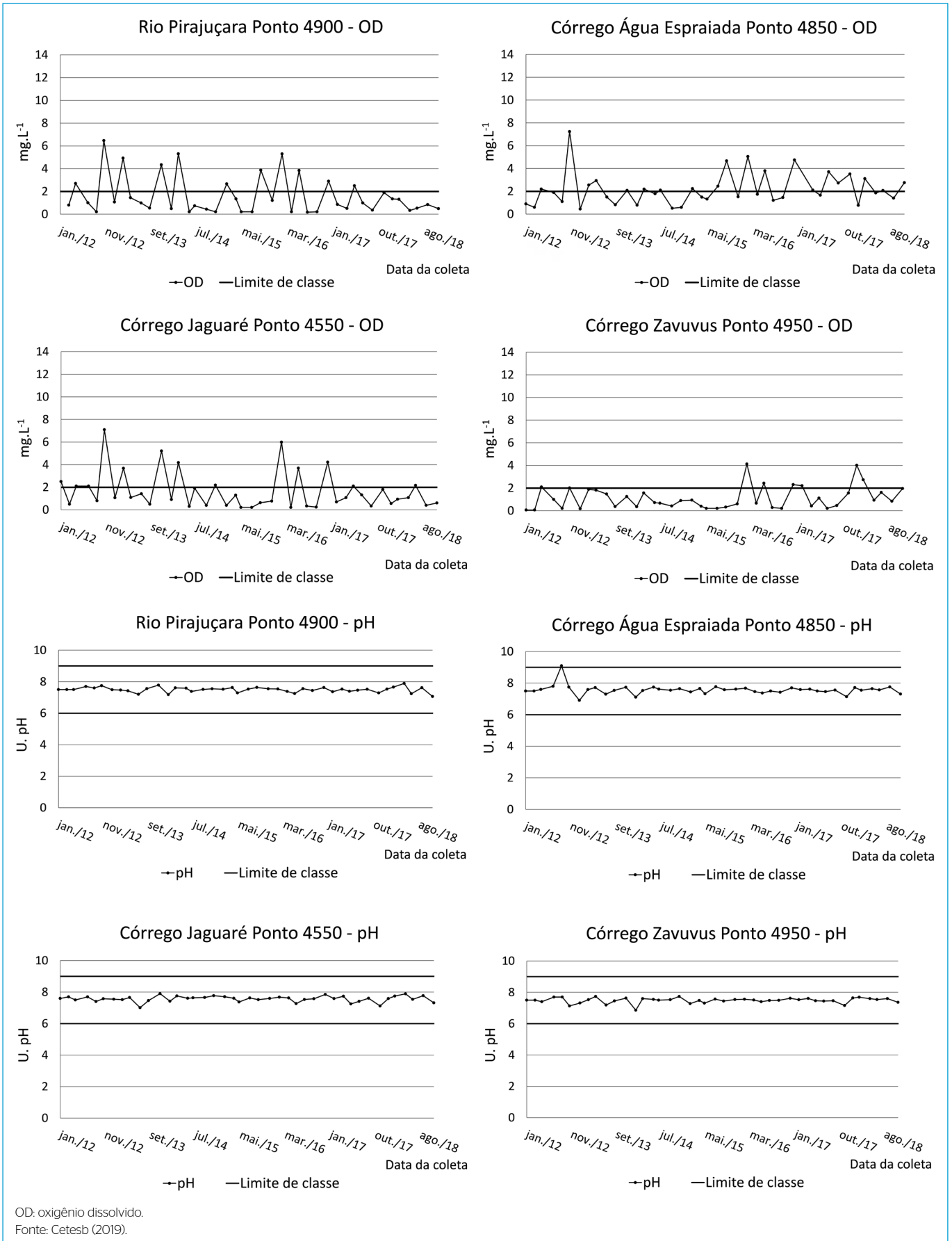


Figura 6 - Oxigênio dissolvido e pH com limite da classe para os pontos nos afluentes do rio Pinheiros.

análise a várzea do rio Pinheiros. Oliveira, Soares e Bonzi (2012) exploram o uso de infraestrutura verde na bacia do rio Pinheiros no estudo intitulado *Aplicação do desenho ambiental para a bacia do córrego das corujas: potencialidades e limitações na implantação de um parque linear*; a Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH; 2017) desenvolveu um projeto piloto para a revitalização da bacia do Córrego Jaguaré; e Pereira, Martins e Martins (2019)

analisam o potencial de aplicação de infraestrutura verde na bacia do Córrego Belini, afluente do rio Pinheiros. Esses e outros trabalhos corroboram de forma contundente para o potencial de uso de biorretenção na bacia do rio Pinheiros. Há também estudos que estão sendo desenvolvidos para o uso de TC como alternativa para a adaptação de centros urbanos em face das mudanças climáticas (MOURA; PELLEGRINO; MARTINS, 2014; SILVA et al., 2018).

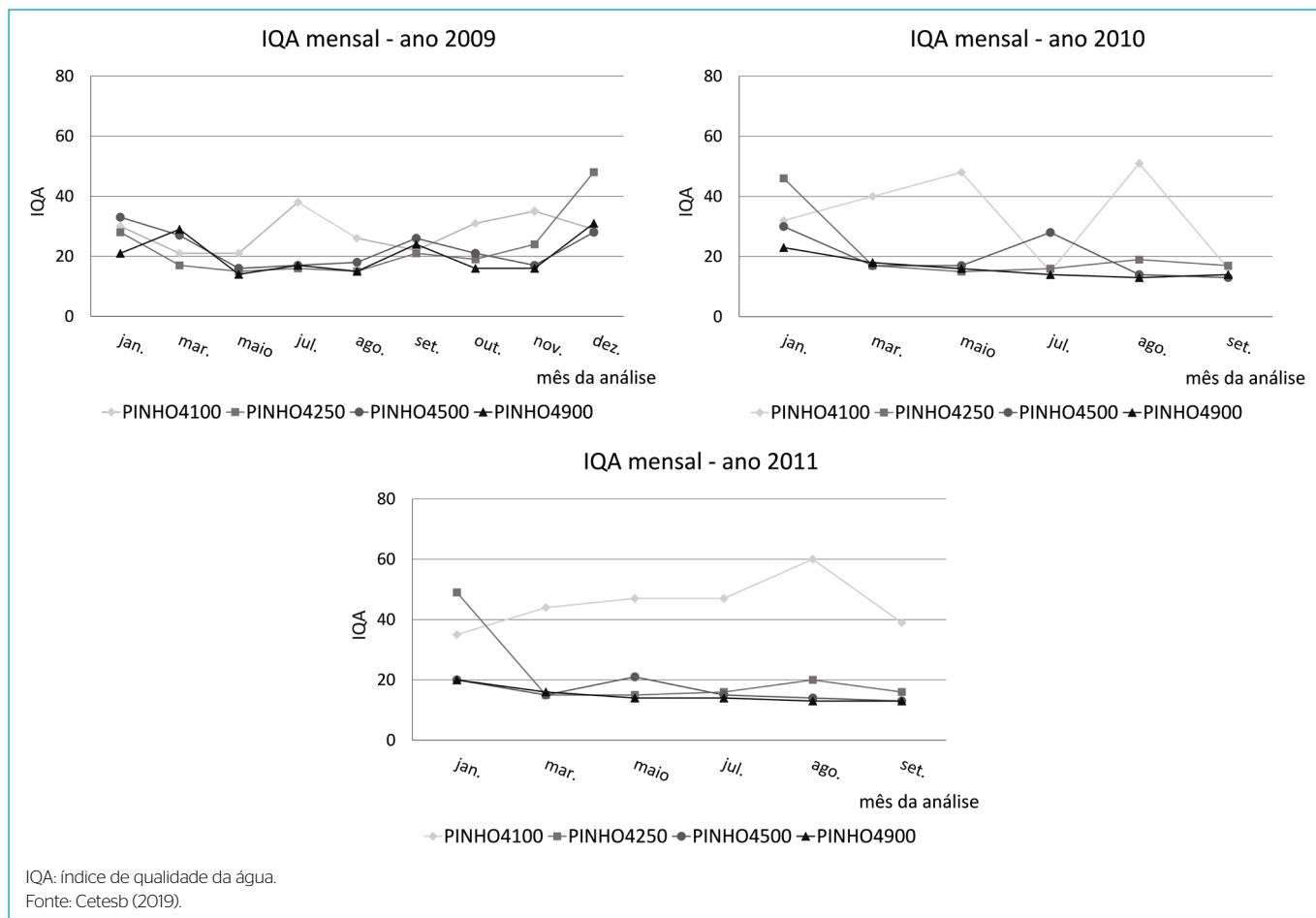


Figura 7 - Índice de qualidade da água para os pontos do rio Pinheiros durante o período de 2009 a 2011.

Tabela 5 - Média das reduções nas massas totais acumuladas para os indicadores analisados.

| Grupo de parâmetro | Parâmetro individual | Arbusto | Gramado | Grupo de parâmetro | Parâmetro individual | Arbusto | Gramado |
|--------------------|------------------------|---------|---------|-----------------------|----------------------|---------|---------|
| | Alcalinidade total (%) | 93,97 | 74,08 | Variáveis inorgânicas | Condutividade (%) | 93,17 | 85,19 |
| Matéria orgânica | DBO (%) | 99,38 | 97,90 | | Dureza (%) | 93,84 | 89,37 |
| | COT (%) | 99,11 | 96,85 | | Cálcio (%) | 87,39 | 81,28 |
| Nutrientes | Nitrato (%) | 95,76 | 91,29 | | Magnésio (%) | 73,11 | 73,56 |
| | Nitrito (%) | 98,21 | 93,26 | | Cloreto (%) | 88,65 | 87,90 |
| Óleos | Óleos e graxas (%) | 95,45 | 91,63 | | Sulfeto (%) | 93,17 | 85,19 |
| Metais | Ferro (%) | 99,73 | 98,22 | Sedimentos | Fluoreto (%) | 93,84 | 89,37 |
| | Cromo (%) | 99,70 | 97,45 | | SST (%) | 99,04 | 96,53 |
| | Zinco (%) | 99,36 | 97,61 | SDT (%) | 90,81 | 87,06 | |
| | Cobre (%) | 98,90 | 96,49 | | | | |
| | Cádmio (%) | 99,90 | 99,02 | | | | |

DBO: demanda bioquímica de oxigênio; COT: carbono orgânico total; SST: sólidos suspensos totais; SDT: sólidos dissolvidos totais.
Fonte: Moura (2013).

CONCLUSÕES

Diante das análises realizadas e da premente necessidade de buscar alternativas para a melhoria da qualidade da água dos rios urbanos, e considerando ainda o momento em que o poder público se propõe a investir na despoluição do rio Pinheiros, é de interesse resgatar as tecnologias disponíveis e já estudadas para a atenuação das cargas poluidoras. A implantação de sistemas de biorretenção para auxiliar na melhoria da qualidade da água é uma alternativa que já se justificaria

pela questão sanitária. E também permite potencializar as funções ecológicas e hidrológicas dos ambientes naturais, além de sustentar ar e água limpos, como exposto por Franco (2010). Paralelamente, essas técnicas propiciam uma ampla variedade de benefícios por meio dos serviços ecossistêmicos, que deverão nortear as ações de planejamento e desenvolvimento territoriais de forma a garantir a existência de processos vivos. Existem diretrizes na cidade de São Paulo que incentivam a promoção à qualificação ambiental. A Lei nº 16.402/2016 define a quota

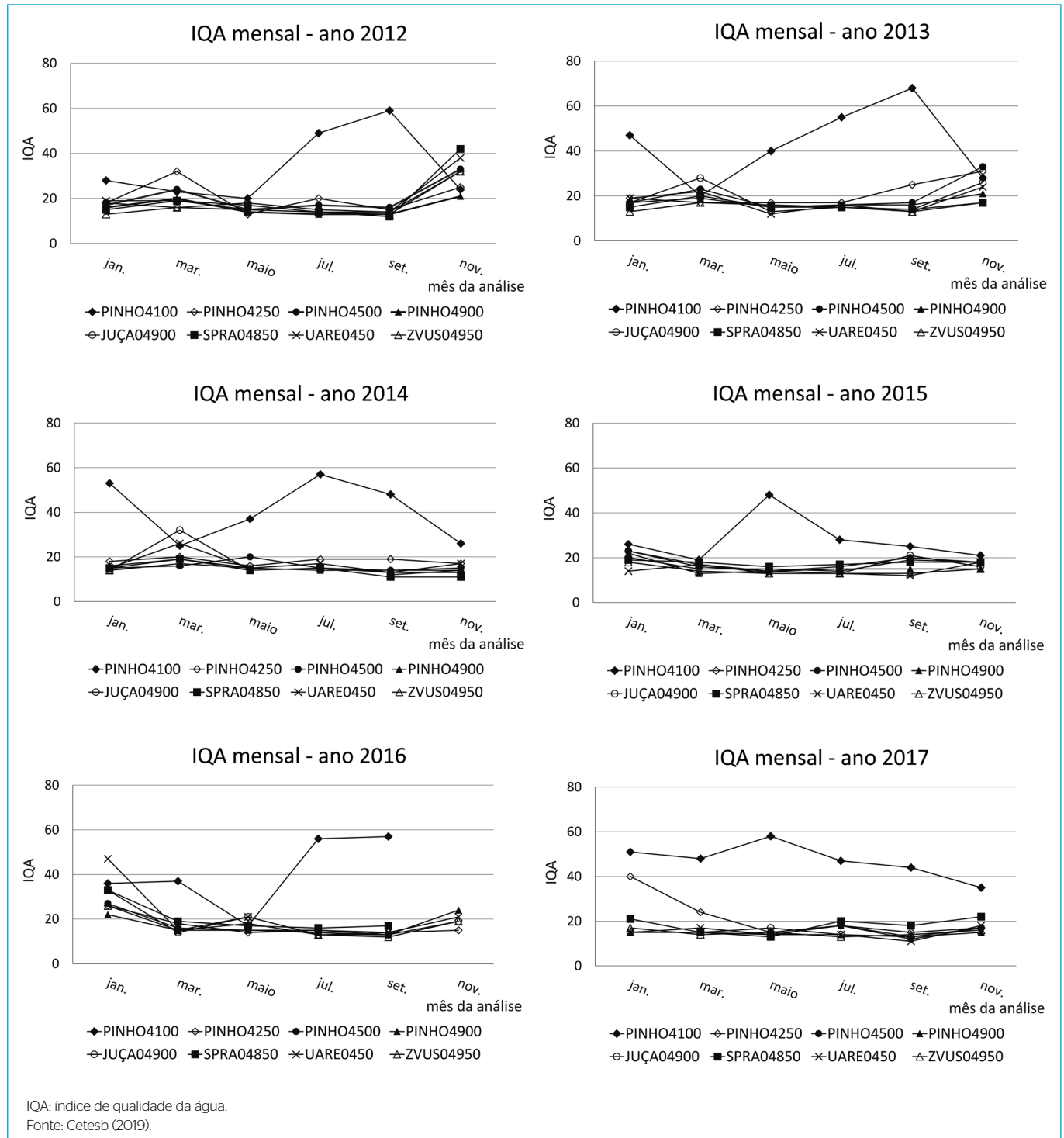


Figura 8 - Índice de qualidade da água para os pontos do rio Pinheiros e seus afluentes durante o período de 2012 a 2017.



Fonte: FCTH (2017).

Figura 9 - Exemplo de aplicação de canteiros pluviais em espaços públicos.

ambiental, que visa, entre outros objetivos, à melhoria da infiltração das águas nos lotes, à melhoria do microclima e à ampliação da vegetação (SÃO PAULO, 2016).

As soluções para recuperação da qualidade ambiental urbana demandam uso massivo de tecnologia para superar as dificuldades inerentes à mudança do paradigma atual atrelado ao processo de urbanização. A recuperação da qualidade das águas nos rios permite reintegrar esses espaços para a sociedade, além de promover serviços ecossistêmicos.

Sob o aspecto prático, nas áreas urbanas, onde o espaço é muito valorizado, as ruas e as avenidas dispõem de áreas públicas em seus canteiros e calçadas que são apropriadas para a utilização de TC, como os jardins de chuva e os canteiros pluviais.

Os sistemas de biorretenção têm ação contínua e permitem interceptar os primeiros milímetros de chuva, tendo, assim, ação efetiva nas precipitações de maior frequência. Podem ser alocados em locais públicos, instalados junto aos dispositivos da microdrenagem primária e independentemente da iniciativa privada. São obras pequenas que devem ser correntes, assim como as guias, as sarjetas e as bocas de lobo.

No momento em que a poluição endêmica for controlada, a carga de lavagem será preponderante, e o controle dessa carga na fonte impedirá o aporte de expressiva carga poluidora no rio Pinheiros. A aplicação de sistemas de biorretenção na

bacia do rio Pinheiros é propícia em razão da presença de áreas verdes, passeios e avenidas largas em todo o entorno do rio, o que favorece a sua implementação.

Como demonstram as pesquisas, esses dispositivos têm alta eficiência na contenção de cargas poluidoras de origem difusa e podem ser utilizados de forma corrente, inclusive em áreas com urbanização consolidada, como a bacia do rio Pinheiros.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte da Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH) e à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP).

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Pereira, M. C. S.: Conceituação, Metodologia, Supervisão, Escrita – Primeira Redação, Escrita – Revisão e Edição. Martins, J. R. S.: Conceituação, Escrita – Primeira Redação, Escrita – Revisão e Edição. Nogueira, F. F.: Visualização, Escrita – Revisão e Edição. Magalhães, A. A. B.: Visualização, Escrita – Revisão e Edição. Silva, F. P.: Visualização, Escrita – Revisão e Edição.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, J.C.; PORTO, M.F.A. Recuperação de córregos urbanos através do controle de cargas pontuais e difusas. Córrego Ibiaporã, SP. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 20, n. 1, p. 82-90, 2015.

ANDRADE, E.M.; PALÁCIO, H.D.A.Q.; CRISÓSTOMO, L.A.; SOUZA, I.H.; TEIXEIRA, A.S. Índice de qualidade de água, uma proposta para o vale do rio Trussu, Ceará. *Revista Ciência Agronômica*, v. 36, n. 2, p. 135-142, 2005.

- ARAÚJO, S.C.S. *Modelos de simulação baseados em raciocínio qualitativo para Avaliação da Qualidade da água em Bacias Hidrográficas*. Tese (Doutorado) – Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2005.
- BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. *Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana*. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 2011. 318 p.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). *Resolução nº 357, de 17 de março de 2005*. Brasil, 2005. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: 15 ago. 2019.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). *INFOÁGUAS*. Disponível em: <https://sistemainfoaguas.cetesb.sp.gov.br/>. Acesso em: 17 ago. 2019.
- COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (SABESP). *Córrego limpo*. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=116>. Acesso em: 20 ago. 2019.
- CORMIER, N.S.; PELLEGRINO, P.R.M. Infra-estrutura verde: uma estratégia paisagística para a água urbana. *Paisagem e Ambiente*, n. 25, p. 127-142, 2008. <https://doi.org/10.11606/issn.2359-5361.v0i25p127-142>
- COSTA, M.E.L. *Monitoramento e modelagem de águas de drenagem urbana na bacia do Lago Paranoá*. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.
- DAVID, N.; LEATHERBARROW, J.E.; YEE, D.; MCKEE, L.J. Removal Efficiencies of a Bioretention System for Trace Metals, PCBs, PAHs, and Dioxins in a Semiarid Environmental. *Journal of Environmental Engineering*, v. 141, n. 6, p. 04014092, 2015. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0000921](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000921)
- FERREIRA, K.C.D.; LOPES, F.B.; ANDRADE, E.M.; MEIRELES, A.C.M.; SILVA, G.S. Adaptação do índice de qualidade de água da National Sanitation Foundation ao semiárido brasileiro. *Revista Ciência Agronômica*, v. 46, n. 2, p. 277-286, 2015. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20150007>
- FRANCO, M.A.R. Infraestrutura Verde em São Paulo: o caso do Corredor Verde Ibirapuera – Villa Lobos. *Revista Labverde*, n. 1, p. 135-154, 2010. <https://doi.org/10.11606/issn.2179-2275.v0i1p135-154>
- FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA (FCTH). *Avaliação da Qualidade das Águas do Sistema Pinheiros: Billings com o Protótipo do Sistema de Flotação*. Relatório Final. São Paulo: FCTH, 2010.
- FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA (FCTH). *Desenvolvimento de metodologia e projeto piloto de revitalização de bacia urbana, replicável para as demais bacias da região metropolitana (Bacia do Córrego Jaguaré)*. Relatório Final. São Paulo: FCTH, 2017.
- GAO, J.; WANG, R.; HUANG, J.; LIU, M. Application of BMP to urban runoff control using SUSTAIN model: Case study in an industrial area. *Ecological Modelling*, v. 318, p. 177-183, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2015.06.018>
- JOHNSON, J.P.; HUNT, W.F. A retrospective comparison of water quality treatment in a bioretention cell 16 years following initial analysis. *Sustainability*, v. 11, n. 7, p. 1945, 2019. <https://doi.org/10.3390/su11071945>
- KALNAY, E.; CAI, M. Impact of urbanization and land-use change on climate. *Nature*, v. 423, n. 6963, p. 528-531, 2003. <https://doi.org/10.1038/nature01675>
- LOPES, F.B.; TEIXEIRA, A.S.; ANDRADE, E.M.; AQUINO, D.N.; ARAÚJO, L.D.F.P. Mapa da qualidade das águas do rio Acaraú, pelo emprego do IQA e Geoprocessamento. *Revista Ciência Agronômica*, v. 39, n. 3, p. 392-402, 2008.
- MACEDO, M.B. *Otimização de técnicas compensatórias de drenagem urbana em clima subtropical*. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.
- MACEDO, M.B.; LAGO, C.S.F.; MENDIONDO, E.M.; SOUZA, V.C.B. Performance of bioretention experimental devices: contrasting laboratory and field scales through controlled experiments. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 23, e3, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/02318-0331.0318170038>
- MACEDO, M.B.; ROSA, A.; LAGO, C.A.F.; MEDIONDO, E.M.; SOUZA, V.C.B. Learning from the operation, pathology and maintenance of a bioretention system to optimize urban drainage practices. *Journal of Environmental Management*, v. 204, parte 1, p. 454-466, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.08.023>
- MARTINS, J.R.S. *Hidrodinâmica aplicada à modelagem de qualidade das águas superficiais*. Tese (Livre-Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.
- MARTINS, R.G. *Modelagem da carga de poluição difusa em escala de bacia com valores de concentração média por evento a partir de dados de uma rede de monitoramento local*. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.
- MORIHAMA, A.C.; AMARO, C.; TOMINAGA, E.N.S.; YAZAKI, L.F.O.L.; PEREIRA, M.C.S.; PORTO, M.F.A.; MUKAI, P.; LUCCI, R.M. Integrated solutions for urban runoff pollution control in Brazilian metropolitan regions. *Water Science & Technology*, v. 66, n. 4, p. 704-711, 2012. <https://doi.org/10.2166/wst.2012.215>
- MOURA, M.P.; SILVA, L.H.O.; SILVA, V.J.; FERREIRA, L.T.L.M.; BRAGA, R.M.B.; SOUZA, V.C.B.; NEVES, M.G.F.P. Análise do funcionamento de um dispositivo de biorretenção. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22., 2017. *Anais [...]*. Florianópolis: ABRH, 2017.
- MOURA, N.C.B. *Biorretenção: tecnologia ambiental urbana para manejo das águas de chuva*. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.
- MOURA, N.C.B.; PELLEGRINO, P.R.M.; MARTINS, J.R.S. Best Management practices as an alternative for flood and urban storm water control in a changing climate. *Journal of Flood Risk Management*, v. 9, n. 3, p. 243-254, 2016. <https://doi.org/10.1111/jfr.312194>
- MOURA, N.C.B.; PELLEGRINO, P.R.M.; MARTINS, J.R.S. Melhores Práticas de Manejo das águas de Chuva como Estratégia de Drenagem Urbana: Experiência e Resultados. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2013. *Anais [...]*. Bento Gonçalves: ABRH, 2013.
- MOURA, N.C.B.; PELLEGRINO, P.R.M.; MARTINS, J.R.S. Transição em infraestruturas urbanas de controle pluvial: uma estratégia paisagística de adaptação às mudanças climáticas. *Paisagem e Ambiente*, n. 34, p. 107-128, 2014. <https://doi.org/10.11606/issn.2359-5361.v0i34p107-128>
- NOVOTNY, V. *Water Quality: Diffuse Pollution and Watershed Management*. 2. ed. Estados Unidos: Wiley, 2003. 888 p.
- OLIVEIRA, E.M.; SOARES, M.C.; BONZI, R.S. Aplicação do desenho ambiental para a bacia do córrego das corujas: potencialidades e limitações na implantação de um parque linear. *Revista Labverde*, n. 4, p. 31-62, 2012. <https://doi.org/10.11606/issn.2179-2275.v0i4p31-62>

- PARKINSON, J.; MILOGRANA, J.; CAMPOS, L.C.; CAMPOS, R. *Drenagem Urbana Sustentável no Brasil*. Relatório do Workshop. Goiânia, 2003.
- PENG, Z.; JINYAN, K.; WENBIN, P.; XIN, Z.; YUANBIN, C. Effects of Low-Impact Development on Urban Rainfall Runoff under Different Rainfall Characteristics. *Polish Journal of Environmental Studies*, v. 28, n. 2, p. 771-783, 2019. <https://doi.org/10.15244/pjoes/85348>
- PEREIRA, M.C.S. *Relação de Eficiência e Custos dos Reservatórios de Detenção e Pavimento Permeável na Bacia Hidrográfica do rio Pirajuçara*. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.
- PEREIRA, M.C.S.; MARTINS, J.R.S.; MARTINS, R.S. Potencial de Aplicação de Infraestrutura Verde na Bacia de Drenagem do Córrego Belini. *Revista Labverde*, v. 9, n. 2, p. 35-60, 2019. <https://doi.org/10.11606/issn.2179-2275.v9i2p35-60>
- PORTO, M.F. Aspectos qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas. In: TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L.; BARROS, M.T. (org.). *Drenagem Urbana*. Porto Alegre: ABRH; Editora da UFRGS, 1995. p. 387-414.
- PREFEITURA DE SÃO PAULO. *Mapa Digital da Cidade de São Paulo*. Disponível em: http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/PaginasPublicas/_SBC.aspx#. Acesso em: 8 ago. 2019.
- RIGHETTO, A.M.; GOMES, K.M.; FREITAS, F.R.S. Poluição difusa nas águas pluviais de uma bacia de drenagem urbana. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 22, n. 6, p. 1109-1120, 2017. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522017162357>
- SÁNCHEZ, E.; COLMENAREJO, M.F.; VICENTE, J.; RUBIO, A.; GARCÍA, M.G.; TRAVIESO, L.; BORJA, R. Use of the water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution. *Ecological Indicators*, v. 7, n. 2, p. 315-328, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2006.02.005>
- SÃO PAULO (Estado). Decreto nº 10.755, de 22 de novembro de 1977. *Diário Oficial do Estado de São Paulo*, São Paulo, n. 221, p. 1, 23 nov. 1977.
- SÃO PAULO (Município). Lei nº 16.402, de 22 de março de 2016. *Diário Oficial da Cidade de São Paulo*, São Paulo, 23 mar. 2016. Disponível em: <http://legislacao.prefeitura.sp.gov.br/leis/lei-16402-de-22-de-marco-de-2016>. Acesso em: 10 ago. 2019.
- SECRETARIA DE SANEAMENTO E RECURSOS HÍDRICOS. *Avaliação de poluição proveniente de fontes difusas na área de influência do sistema produtor alto Tietê - SPAT - reservatórios Taiaçupeba, Jundiá, Biritiba, Ponte Nova e Paraitinga*. Relatório Final. São Paulo: Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos, 2016.
- SILVA, C.V.F.; SCHARDONG, A.; GARCIA, J.I.B.; OLIVEIRA, C.P.M. Climate change impacts and flood control measures for highly developed urban watersheds. *Water*, v. 10, n. 7, p. 829, 2018. <https://doi.org/10.3390/w10070829>
- TROWSDALE, S.A.; SIMCOCK, R. Urban stormwater treatment using bioretention. *Journal of Hydrology*, v. 397, n. 3-4, p. 167-174, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.11.023>
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). *Greening EPA*. Washington, D.C.: USEPA, 2013. Disponível em: <https://nepis.epa.gov/>. Acesso em: 10 jan. 2020.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). Results of the Nationwide Urban Runoff Program. Final Report. Washington, D.C.: Water Planning Division, U.S. USEPA, 1983. v. 1. Disponível em: https://www3.epa.gov/nepdes/pubs/sw_nurp_vol_1_finalreport.pdf. Acesso em: 10 jan. 2020.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). *Storm Water Technology Fact Sheet Bioretention*. Washington, D.C.: USEPA, 1999. Disponível em: <https://nepis.epa.gov/>. Acesso em: 10 jan. 2020.
- VALIPOUR, M.; SINGH, V.P. Global experiences on wastewater irrigation: Challenges and prospects. In: MAHESHWARI, B.; THORADENIYA, B.; SINGH, V.P. *Balanced urban development: options and strategies for liveable cities*. Alemanha: Springer, 2016. p. 289-327.
- VANDERMEULEN, V.; VERSPECHT, A.; VERMEIRE, B.; HUYLENBROECK, G.V.; GELLYNCK, X. The Use of Economic Valuation to Create Public Support for Green Infrastructure investments in urban areas. *Landscape and Urban Planning*, v. 103, n. 2, p. 198-206, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.07.010>
- WOLFF, D.B.; GONÇALVES, I.H.; GASTALDINI, M.D.C.C.; SOUZA, M.M. Resíduos sólidos em um Sistema de drenagem urbana no município de Santa Maria (RS). *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 21, n. 1, p. 151-158, 2016. <https://doi.org/10.1590/S1413-41520201600100132089>
- YAZAKI, L.F.O.; HAUPT, J.P.; PORTO, M.F.A. Uso potencial de sistemas mistos de esgotos e águas pluviais para redução da poluição hídrica em bacias urbanas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17, 2007. *Anais* [...]. São Paulo: ABRH, 2007.