

IV-074 - EFEITO DA POLUIÇÃO HÍDRICA DEVIDO AO ESCOAMENTO SUPERFICIAL URBANO

José Biscaino Neto⁽¹⁾

Graduando do 5º Ano do curso de Engenharia Ambiental da Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente – FCT/UNESP.

Prof. Dra. Rosane Freire

Eng. Ambiental. Professora Assistente Doutora da Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente – FCT/UNESP.

Gabriel Coimbra Rabelo

Graduando do 4º Ano do curso de Engenharia Ambiental da Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente – FCT/UNESP.

Caio Augusto Veneno Vendramin

Graduando do 5º Ano do curso de Engenharia Ambiental da Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente – FCT/UNESP.

Endereço⁽¹⁾: Rua Felipe Carnevale, 197 – Jardim das Rosas – Presidente Prudente - SP - CEP: 190602-220 - Brasil - Tel: +55 (19) 98244-4108 - e-mail: josebiscainoneto@hotmail.com

RESUMO

Em uma área com influência urbana são através das galerias pluviais que escoam as águas de lavagem atmosférica e da superfície, e estas são encaminhadas para os rios e córregos, juntamente com todos os poluentes presentes nos meios pelos quais passaram. O tipo de poluição descrito é classificado como difusa por ser relacionada aos eventos de chuva e por ser difícil a identificação de um único ponto de origem. Nesse aspecto, foi analisado o efeito da poluição hídrica do tipo difusa na estação primavera, devido ao encaminhamento das águas de escoamento superficial urbano para rios e córregos urbanos de Presidente Prudente-SP, inseridos na bacia hidrográfica do córrego do Limoeiro. Para isso, foram amostradas as águas escoadas de quatro diferentes superfícies urbanas: topo de bacia, residencial, comercial e industrial. O monitoramento quantitativo e qualitativo das águas escoadas foi definido ao longo da duração da precipitação. Nesse primeiro momento, a análise dos resultados foi feita comparando os valores de cargas das variáveis estudadas, permitindo assim, discutir a contribuição do escoamento no corpo d'água receptor. As águas de escoamento superficial da porção urbana da bacia hidrográfica do córrego do Limoeiro apresentaram elevadas cargas possivelmente poluidoras na estação primavera, decorrente de sólidos totais, demanda química de oxigênio e fósforo total. Esses valores evidenciaram que a poluição originada do escoamento superficial urbano em áreas com influências industriais, comerciais e residenciais pode contribuir para a degradação e redução da qualidade dos corpos hídricos receptores.

PALAVRAS-CHAVE: Poluição difusa, córrego do Limoeiro, carga poluente.

INTRODUÇÃO

A água é um importante suporte ao desenvolvimento de um dos maiores potenciais de biodiversidade da Terra e de produção da biomassa. Assim, o grande potencial da água deve ser visto como um capital ecológico de inestimável importância e um fator competitivo fundamental ao desenvolvimento socioeconômico sustentado (NAIME & FAGUNDES, 2005). Para Von Sperling (2007), a qualidade de uma água vai além da sua caracterização molecular:

[...] o conceito de qualidade da água é muito mais amplo do que a simples caracterização da água pela fórmula molecular H₂O. Isto porque a água, devido às suas propriedades de solvente e à sua capacidade de transportar partículas, incorpora a si diversas impurezas, as quais definem a qualidade da água. (VON SPERLING, 2007, p. 15).

As ações antrópicas geram alterações na qualidade da água, aqui denominada poluição, por fontes pontuais e difusas em torno do corpo receptor. A poluição pontual é marcada por lançamentos individualizados, como os que ocorrem no despejo de esgotos domésticos, de efluentes comerciais ou industriais. Estes lançamentos são mais facilmente identificados e, portanto, seu controle é mais eficiente e mais rápido (BRAGA et al., 2005).

Segundo Tucci (2005), as fontes poluidoras difusas geralmente são de origem urbana, agrícola, produção agropecuária difusa, mineração dispersa e efluentes de esgotos em fossas. A carga poluidora difusa tem como principal característica uma localização que abrange uma determinada área. A carga poluidora transportada ao longo dessa área entra nos corpos receptores de forma intermitente, provenientes do escoamento superficial e subsuperficial (GIANSANTE, 2006).

Com a preocupação de estudar as águas urbanas, alguns pesquisadores iniciaram seus trabalhos visando o melhor conhecimento sobre os aspectos de qualidade e disposição das águas pluviais que escoam sobre uma superfície.

Harremoës et al. (1996) investigaram a influência do período de estiagem, períodos de precipitações e do escoamento superficial urbano na cinética de oxigênio dissolvido do rio Harrestrup, Copenhagen, Dinamarca. Os resultados obtidos mostraram uma clara não conformidade com os padrões estabelecidos em normativas para o parâmetro oxigênio dissolvido no curso d'água em estudo, tanto durante o tempo seco e chuvoso, quanto a influência do escoamento superficial urbano.

Robien et al. (1997) analisaram os poluentes inorgânicos e orgânicos presentes no escoamento superficial urbano de Bayreuth (Alemanha), com o objetivo de desenvolver modelos de qualidade da água. Os poluentes foram quantificados separadamente sobre suas formas dissolvidas e ligadas a partículas. Os resultados da análise de regressão demonstraram que os parâmetros de escoamento são apropriados para avaliar cargas de metais pesados dissolvidos e ligados às partículas. Os pesquisadores concluíram que a modelagem de poluentes dissolvidos (metais pesados e macro íons) estão relacionadas com os parâmetros de escoamento, sendo capazes de determinar a condutividade de metais pesados dissolvidos nas águas de escoamento superficial.

Com o intuito de estudar a influência do *first flush* no escoamento superficial urbano, Lee et al. (2001) definiram o mesmo como o período inicial de escoamento de águas pluviais, durante o qual a concentração de poluentes é substancialmente mais elevada do que durante as fases seguintes. Para efetuar o estudo, os pesquisadores monitoraram 13 bacias hidrográficas urbanas, escolhidas para representar influências residenciais e industriais e, analisaram 38 eventos de chuva. Os cálculos de sua magnitude se procederam utilizando o método de análise de dados que resulta na determinação da Concentração Média do Evento (EMC). Durante o *first flush* foram encontrados valores baixos de demanda química de oxigênio em áreas residenciais e depararam-se com altas magnitudes de sólidos suspensos em áreas industriais, podendo evidenciar diferentes resultados nas duas áreas de amostragem cada uma com sua influência de ocupação.

Na mesma vertente, Gnecco et al. (2005) estudaram os efeitos da primeira carga de lavagem (*first flush*) oriundo do escoamento superficial das vias de tráfego e dos telhados dos prédios da Universidade de Gênova (Itália). Os resultados mostraram que os sólidos suspensos respondem por 70% da carga inicial de lavagem. Foram encontrados elevados valores de concentração de sólidos suspensos e demanda química de oxigênio (DQO) nas águas provenientes das vias de tráfego enquanto que, elevados valores de concentração de zinco foram encontrados das águas provenientes dos telhados.

Devido ao elevado crescimento econômico dos últimos anos, a China está passando por um grave problema de poluição atmosférica. Com o intuito de minimizar e sanar a situação, o país está investindo em estudos sobre a poluição difusa. Nesse aspecto, Luo et al. (2009) avaliaram o efeito da poluição do escoamento superficial urbano causado pela variedade de uso da terra e pelos poluentes presentes na zona urbana da cidade Shenzhen, China, e que são transportados por meio do escoamento pluvial até bacia do rio Futian. Os parâmetros de qualidade monitorados da água foram: DQO (demanda química de oxigênio), SST (sólidos suspensos totais), PT (fósforo total), NT (nitrogênio total) e DBO (demanda bioquímica de oxigênio). Concluíram que o

escoamento superficial urbano contribuiu para um agravamento da qualidade da água do rio Futian, pois, durante o *first flush*, foram determinados valores elevados nas cinco variáveis investigadas.

Xue et al. (2012) pesquisaram a qualidade da água da chuva sobre escoamento rodoviário, em áreas industriais, comerciais e de obras civis na cidade Harbin, China. De acordo com a pesquisa, os poluentes do escoamento das águas pluviais encontrados nas superfícies estudadas foram: sólidos suspensos (SS), compostos orgânicos, nitrogênio, fósforo, metais pesados, óleos e outros contaminantes. As concentrações encontradas foram extremamente altas, causando danos ambientais sobre os cursos d'água.

Em consonância, Wang et al. (2013) estudaram a concentração de poluentes que são transportadas pelo escoamento pluvial de diferentes superfícies urbanas da cidade de Chongqing, China. O estudo mostrou que valores elevados da concentração de sólidos totais, de demanda química de oxigênio, fósforo total, amônia, ferro, cádmio e chumbo foram obtidos nas amostras do escoamento de ruas com tráfego urbano e nas áreas comerciais.

No Brasil, Meneses Filho & Tucci (2003) apresentaram uma estimativa de polutograma baseada na concentração média de eventos de precipitação associados aos aspectos de volume e concentração de poluentes na avaliação dos impactos da ocupação urbana da Bacia do Arroio Moinho (Porto Alegre – RS). A duração adotada para os eventos de precipitação foi de 60 minutos e os parâmetros analisados foram: SST, DQO, PT e chumbo (Pb). Os pesquisadores ressaltaram a importância da utilização dos polutogramas em cenários ocupacionais diversos para a identificação de estratégias mitigadoras mais adequadas. Em síntese, demonstraram a possibilidade de se estender a abordagem quantitativa (volumes escoados e picos de vazão) da urbanização aos aspectos qualitativos (carga poluente sujeita a lavagem e transferência para os mananciais) e com isso, ser capaz de avaliar o impacto positivo ou negativo de um zoneamento ou de intervenções estruturais na bacia.

Vivacqua (2005) procurou discutir o conceito de uso das águas de escoamento superficial como uma das ferramentas para o desenvolvimento de empreendimentos e programas de gerenciamento de águas. Para a cidade de São Paulo, foram levantados dados sobre os poluentes em águas provenientes de telhados e das ruas. Analisaram-se os parâmetros de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), DQO, amônia (NH₃), PT, Pb, cobre (Cu), zinco (Zn), óleos e graxas, cor e patogênicos. O autor concluiu que, os percentuais significativos de valores de poluentes apresentaram-se menores que os limites normalizados em classificação superiores, classe 1 e classe 2, com relação ao enquadramento em normas vigentes.

Campana & Bernardeset (2010) determinaram a acumulação superficial de contaminantes em superfícies típicas da cidade de Brasília-DF. Calcularam a carga de lavagem dessas superfícies e mediram a vazão do escoamento superficial, analisando o pH, DQO, além das concentrações de material particulado, como: cobre (Cu), sulfatos, sódio (Na), zinco (Zn) e chumbo (Pb). Os autores concluíram que há a relação dessas cargas com o tempo de recorrência das chuvas e com a qualidade da água do escoamento pluvial urbano, sendo que o grau de comprometimento da qualidade da água da fração inicial do escoamento é diretamente proporcional ao tempo sem chuva antecedente.

Veronez (2011) utilizou dados de pluviometria, monitoramento hídrico e mapeamento do uso do solo da bacia hidrográfica do Igarapé Praiquara no município de Castanhal, estado do Pará, para identificar a influência da precipitação pluviométrica e de atividades antrópicas sobre a qualidade dos recursos hídricos de bacias hidrográficas localizadas na Amazônia Oriental. Para isso, analisou-se os parâmetros de qualidade de água, incluindo turbidez, sólidos dissolvidos suspensos, sólidos totais, OD, DBO, ferro (Fe) e coliformes termotolerantes. Os parâmetros que apresentaram violações dos padrões legais de qualidade de águas dos corpos receptores foram: pH, OD, DBO e coliformes termotolerantes.

Sottorivae & Garcias (2011) realizaram a avaliação da contribuição da poluição difusa gerada pelos componentes presentes nas coberturas das edificações e nos freios de veículos na bacia hidrográfica do Rio Belém, localizada em Curitiba-PR. Na bacia estão presentes ocupações residenciais e comerciais, incluindo diversos pontos turísticos. A quantidade de silício (Si) e magnésio (Mg) encontrados foi consideravelmente

alta, sendo que essas partículas acabam sendo carreadas e atingem os corpos hídricos, podendo causar danos ambientais.

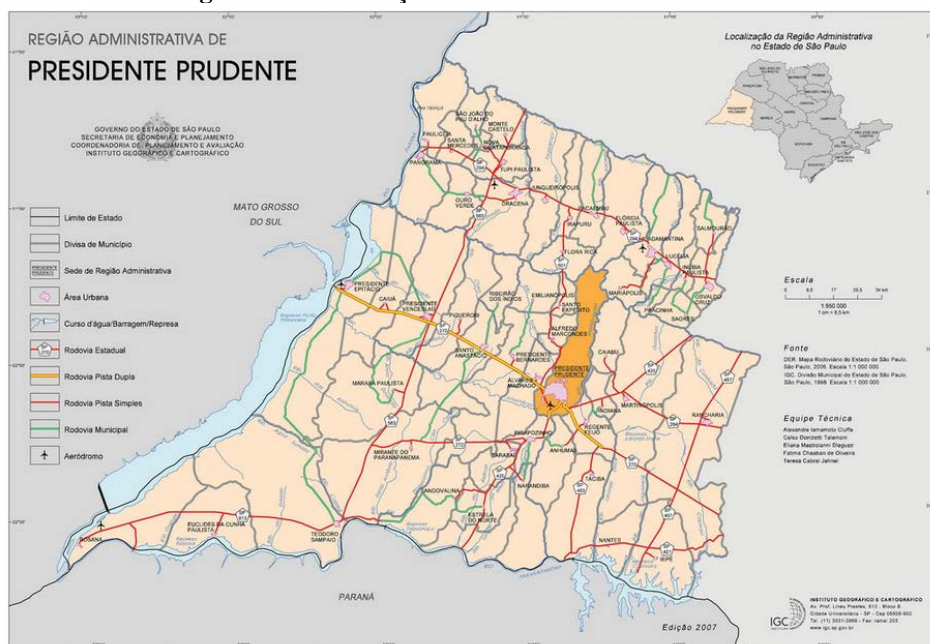
Portanto, verifica-se que o aumento acelerado e desordenado da urbanização, o crescimento econômico e o consumismo indiscriminado da população nos últimos 20 anos, mobilizaram pesquisadores de vários países em estudos voltados ao efeito da poluição hídrica devido ao escoamento superficial urbano.

A cidade de Presidente Prudente – SP também teve uma urbanização acelerada e indiscriminada não dando a devida importância à logística de infraestrutura do sistema das galerias pluviais da cidade. A maneira com que o solo foi e continua sendo ocupado, não só afeta diretamente a existência de enchentes e alagamentos, mas também, proporciona o carreamento, por meio do escoamento superficial urbano, de poluentes para rios e córregos urbanos.

Por esse motivo e pela inexistência de um estudo voltado a essa problemática, a finalidade inicial do presente trabalho é investigar o efeito da poluição difusa no período da primavera em áreas com as influências comerciais, industriais, residenciais e de topo de bacia, causada exclusivamente pelo encaminhamento de águas do escoamento superficial para nos rios e córregos urbanos de Presidente Prudente – SP, de modo a ser possível prever ações futuras de controle locais e específicas.

Neste contexto, o trabalho foi realizado na região do Pontal do Paranapanema, precisamente no município de Presidente Prudente – SP, oeste do Estado de São Paulo (Figura 1). O município possui latitude 22° 07' S e longitude 51° 22' W e apresenta uma população de 218.960 habitantes, estimada em 2013 segundo IBGE (2013). É a cidade de maior importância dentro do contexto do Oeste Paulista, sendo considerado um polo regional.

Figura 1 – Localização de Presidente Prudente – SP.



Fonte: Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC), 2007.

Similar à maioria das cidades brasileiras, Presidente Prudente-SP, possui um histórico de uso e ocupação indiscriminado, sem a consciência de preservação dos cursos d'água. O resultado foi a desarticulação do espaço urbano, a linearização e a impermeabilização dos corpos hídricos, juntamente com a ocupação das cabeceiras de drenagem e dos fundos de vale por loteamentos residenciais (FRANCISCO, 2012).

Comparando os cursos d'água Córrego Colônia Mineira e o Córrego do Limoeiro de Presidente Prudente – SP, Santos & Barbosa (2013) analisaram o processo de urbanização da cidade e como este incorporou os córregos à malha urbana da cidade em momentos históricos distintos, gerando efeitos diversos para a população residente próxima aos córregos. O Córrego Colônia Mineira foi canalizado, enquanto que o Córrego do Limoeiro teve parte de sua Área de Preservação Permanente cercada pela Prefeitura Municipal, ou seja, houveram tratamentos distintos no que tange as formas de planejamento e ocupação das áreas. Porém, o cercamento não impediu a invasão de animais, causando a compactação do solo e contribuindo para o empobrecimento da vegetação. No córrego Colônia Mineira, integralmente inserido na área urbana, a canalização como uma solução de curto prazo não resolveu os problemas de disposição de lixo no córrego. Concluíram-se que cercar córregos ou canalizá-los não representa uma solução definitiva nas medidas que visam resolver problemas futuros como enchentes e alagamentos.

Em um estudo realizado por Teodoro & Nunes (2010), os autores ressaltaram a importância do mapeamento geomorfológico, a base teórica do Subsistema Hidrodinâmico e declividades, associando-os a elementos do clima, para compreender o impacto do excedente de escoamento superficial da água em setores de constante alagamentos da Zona Leste, mais precisamente na Avenida Tancredo Neves, na cidade de Presidente Prudente – SP. Concluíram que além das ineficientes logísticas de infraestrutura dos sistemas das galerias de águas pluviais, assim como das áreas impermeabilizadas, os alagamentos são devidos à canalização fechada dos córregos, os quais não respeitam as formas naturais dos leitos dos cursos d'água.

Pedro & Nunes (2012) ressaltam que há a ocorrência de pontos de alagamento na zona Leste e Oeste do município de Presidente Prudente, e outros ao longo do córrego do Veado devido aos problemas de drenagem. Os pesquisadores perceberam que a forma de ocupação do solo está diretamente relacionada com as possíveis enchentes e alagamentos. Concluíram que, para evitar impactos ambientais ou a geração de áreas de risco/vulnerabilidade, o setor público ou privado deve levar em consideração a dinâmica da natureza, envolvendo os solos, o relevo e os cursos d'água.

Além dos fatores de alagamento relacionados à infraestrutura pluvial e fluvial existente no município, os córregos urbanos recebem uma grande quantidade de materiais que foram encaminhados pelo escoamento superficial por ação da precipitação. Esses materiais, que se encontravam depositados nas superfícies urbanas não são computados nos cálculos hidráulicos de dimensionamento de galerias pluviais. Esse impasse no projeto contribui para os efeitos de alagamento recorrentes no município, contudo ainda não foi feito um estudo com esse propósito.

Além disso, os materiais carreados podem conferir uma nova característica ao corpo hídrico receptor ao ponto de causar poluição. Segundo Prodanoff (2005), a medida da carga difusa é um método eficiente para essa investigação e o cálculo da concentração média do evento pluviométrico e a elaboração de um polutograma referente às cargas transportadas serão ferramentas adequadas para analisar a problemática apresentada.

Ressaltando a inexistência de estudos relacionados a essa problemática no município, considera-se importante a iniciativa de investigar o efeito da poluição difusa e reconhecer qual a influência que o escoamento superficial urbano causa nos rios e córregos urbanos de Presidente Prudente – SP de modo a ser possível prever ações de controle locais e específicas.

1. OBJETIVO GERAL

O objetivo desse trabalho foi analisar o efeito da poluição hídrica, do tipo difusa, causado pelo encaminhamento das águas de escoamento superficial para rios e córregos urbanos de Presidente Prudente – SP.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Estudo hidrológico

Com o banco de dados dos últimos 30 anos, fornecidos pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), foi possível analisar o comportamento da chuva ao longo de doze meses e suas médias pluviométricas, estabelecendo os quatro períodos sazonais. Com esses dados, foi possível analisar também o comportamento da chuva durante o primeiro período de coleta, representando a primavera, ou seja, de setembro/2015 ao mês de novembro/2015.

2.2. Caracterização da Área de Estudo

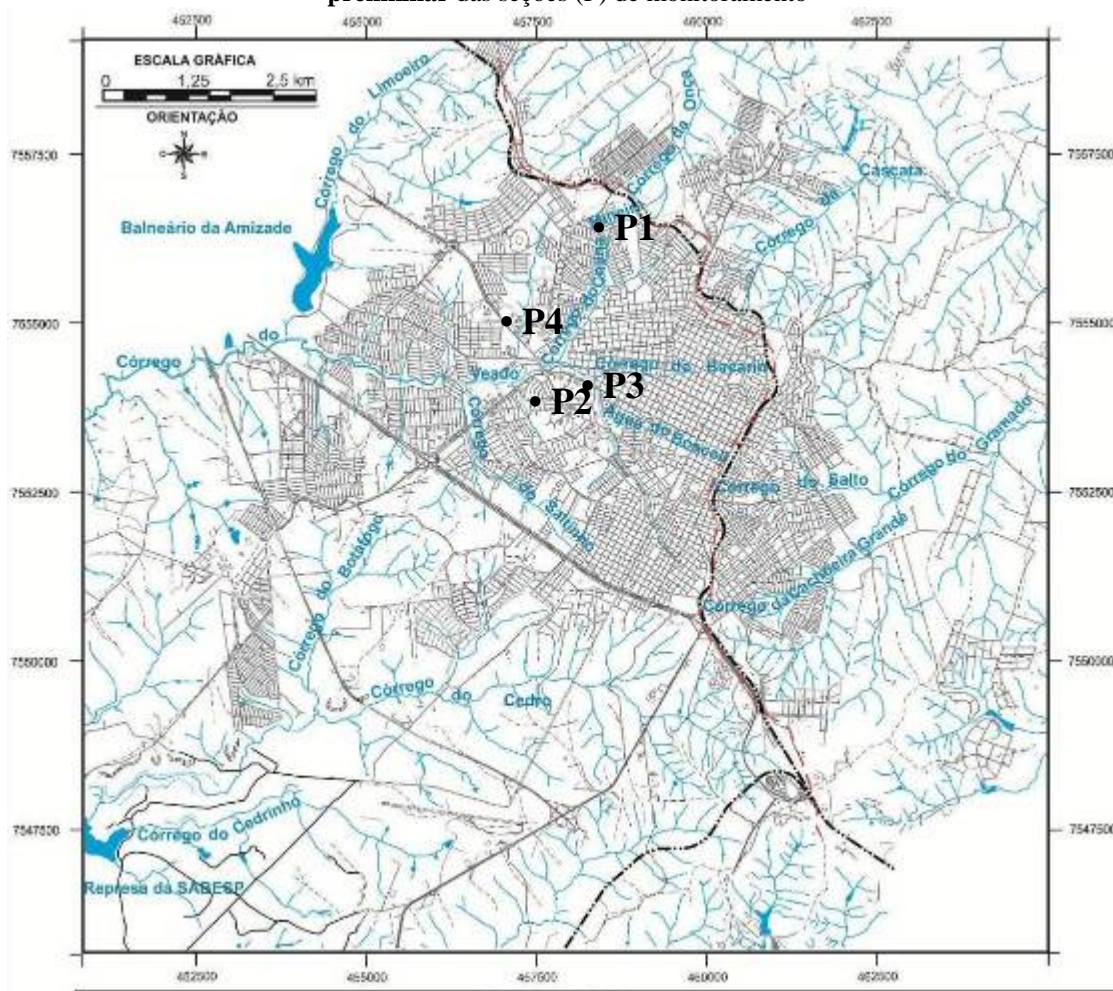
No presente relatório parcial, a bacia hidrográfica em estudo situa-se na porção urbana da bacia hidrográfica do córrego do Limoeiro, localizada em Presidente Prudente – SP, considerando seus principais tributários: córrego do Veado, córrego Colônia Mineira, córrego Guaiuvira e córrego do Saltinho. Com base ao atendimento dos objetivos do projeto, não foi de interesse considerar as contribuições do Balneário da Amizade (represamento do córrego do Limoeiro), nem as contribuições de um bairro do município adjacente, Álvares Machado - SP, ambos inseridos na bacia hidrográfica do córrego do Limoeiro.

Para atingir a melhor representatividade possível do meio natural estudado quanto às ações de monitoramento das águas urbanas fluviais, foram selecionadas quatro áreas de amostragem qualitativa e quantitativa de água (Figura 2).

As áreas de amostragem foram selecionadas considerando as potenciais fontes de poluição bem como o aspecto de acessibilidade, linearidade do trecho, ausência de obstáculos, profundidade acessível para tomada de dados e proximidade das áreas de influência residencial, comercial, industrial. Por questões de segurança, foram consideradas apenas as precipitações que ocorreram durante o período diurno.

Os trechos monitorados foram estabelecidos em parceria com Comitê de Bacia Hidrográfica do Pontal do Paranapanema (CBH-PP), visando atender os interesses da Câmara Técnica de Planejamento, Avaliação e Saneamento. Desse modo, os resultados gerados com o projeto já se configuram como um instrumento de tomada de decisão frente aos atores da sociedade. Na região de “cabeceira de bacia”, com pouca influência urbana, encontra-se a primeira área de amostragem qualitativa e quantitativa de água (P1), situado na Rua Fernando Soler, no bairro Parque Residencial São Lucas, com as seguintes coordenadas -22,101414 S, -51,402939 O. Com predominância de residências domiciliares, encontra-se localizado na Rua Felipe Carnevale, 197, no bairro Jardim das Rosas, coordenadas -22,119887 S, -51,413705 O, tem-se segunda área de amostragem (P2). A terceira área (P3), com influência de ocupação tipicamente comercial, encontra-se na Avenida Manuel Goulart, 2060, no Bairro Jardim Santa Helena, coordenadas -22,118574 S, -51,403194 O. Com predominância industrial, a quarta área de amostragem qualitativa e quantitativa (P4), coordenadas -22,109895 S, -51,416617 O, localiza-se na Avenida Salim Farah Maluf, 780, no Bairro Jardim das Rosas (Figura 2).

Figura 2 – Rede hidrográfica da área urbana do município de Presidente Prudente com a alocação preliminar das seções (P) de monitoramento



Fonte: Adaptado de Pedro e Nunes (2012).

Como o monitoramento quantitativo e qualitativo das águas de escoamento superficial baseou-se no efeito da sazonalidade, nesse primeiro momento as coletas foram feitas na Primavera. Os trabalhos ocorreram nos dias 08, 15, 17 e 24 de novembro, todos no período da tarde.

A amostragem das águas de escoamento superficial foi definida em intervalos de tempo preestabelecidos, considerando a duração total da precipitação conforme a metodologia descrita em Luo et al. (2009). Assim, no ponto P1 coletou-se 4 amostras a cada 5 minutos durante um evento pluviométrico de 20 minutos. Em P2 coletou-se 6 amostras a cada 5 minutos durante um evento pluviométrico total de 30 minutos. Nos pontos P3 e P4 coletaram-se 6 amostras a cada 5 minutos durante um evento pluviométrico de 25 minutos.

Em todos os pontos, no canal de passagem (sarjetas), foi calculada a área da seção, mensurando, por meio de uma trena, a altura da lâmina d'água e a largura do escoamento superficial urbano, seguindo as recomendações de Azevedo Neto (1998) e Gribbin (2014). Como foi adotada uma área retangular, a seção transversal do escoamento superficial foi determinada a partir do produto entre a largura e altura da lâmina d'água, (Equação 1).

$$\text{Área (m}^2\text{)} = \text{largura (m)} \times \text{altura (m)} \quad [1]$$

Para calcular a vazão nas áreas de amostragem utilizou-se o método indireto, empregando flutuadores para estimar a velocidade média do escoamento. Sendo assim, para determinar a velocidade foram utilizados

objetos de baixa densidade, como folhas e galhos. Esses flutuadores foram lançados em uma distância previamente determinada e, utilizando-se cronômetro, foi registrado o tempo de deslocamento. Com isso, obteve-se a velocidade média pela relação espaço por tempo, representado na Equação 2.

$$Velocidade\ Média\ \left(\frac{m}{s}\right) = \frac{Distancia\ (m)}{Tempo\ (s)} \quad [2]$$

Após os cálculos da área e da velocidade média foi possível determinar a vazão de cada ponto estudado, Equação 3.

$$Vazão\ \left(\frac{m^3}{s}\right) = Velocidade\ Média\ \left(\frac{m}{s}\right) \times Área\ (m^2) \quad [3]$$

As amostras de escoamento coletadas foram armazenadas em garrafas de Politereftalato de Etileno (PET), com capacidade de 1 L, as quais foram limpas previamente, seguindo os procedimentos analíticos de amostragem, armazenamento, descritos em APHA (1998) e CETESB (2011), e acondicionados em uma caixa de isopor com gelo para transporte.

In loco foram realizadas a medição da temperatura (T - °C) e a do Oxigênio Dissolvido (OD - mg/L), utilizando um termômetro de mercúrio e um oxímetro HANNA (HI 9146), respectivamente. As outras variáveis físicas, químicas e biológicas foram analisadas na Central de Laboratórios da Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente – FCT/UNESP. Os dados coletados foram armazenados em planilhas eletrônicas para a realização de cálculos e geração de gráficos para posterior análises. Para isso, foi utilizado o software Microsoft Office Excel[®].

Foram realizadas análises laboratoriais para a caracterização das águas urbanas fluviais e de escoamento por meio da medida de sólidos totais (ST - mg/L), demanda química de oxigênio (DQO – mg/L), fósforo total (FT - mg/L), condutividade elétrica (CE - $\mu S cm^{-1}$), pH, turbidez (Turb - NTU), no qual foram utilizados condutivímetro (Tecnopon, mca 150), pHmetro (Gehaka, PG 2000), turbidímetro (Tecnopon, TB 1000), espectrofotômetro (Femto 700), seguindo os procedimentos de preservação e execução descritos em APHA (1998).

A carga do poluente foi calculada por meio da Equação 4 (VON SPERLING, 2007):

$$Carga = C . Q \quad [4]$$

em que:

Carga representa a relação ente massa de poluente em um intervalo de tempo (g/s);

Q é a quantidade de água da chuva escoada durante o intervalo de tempo (L/s);

C é a concentração do poluente durante o intervalo de tempo (g/L).

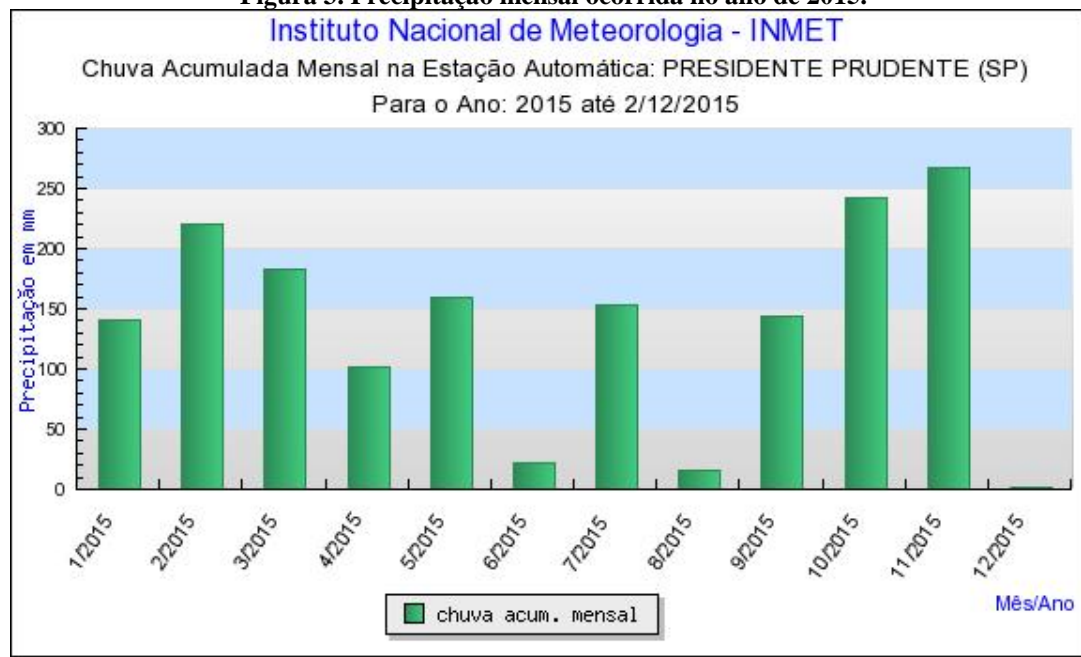
A construção do banco de dados ocorreu de forma contínua compreendendo toda a etapa do monitoramento. Para o processamento dos dados obtidos na amostragem da primavera foi utilizado o software Microsoft Excel[®].

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO PARCIAIS

3.1. Estudo hidrológico

A partir dos resultados apresentados na Figura 3 foi possível observar os padrões de precipitação nos meses estudados.

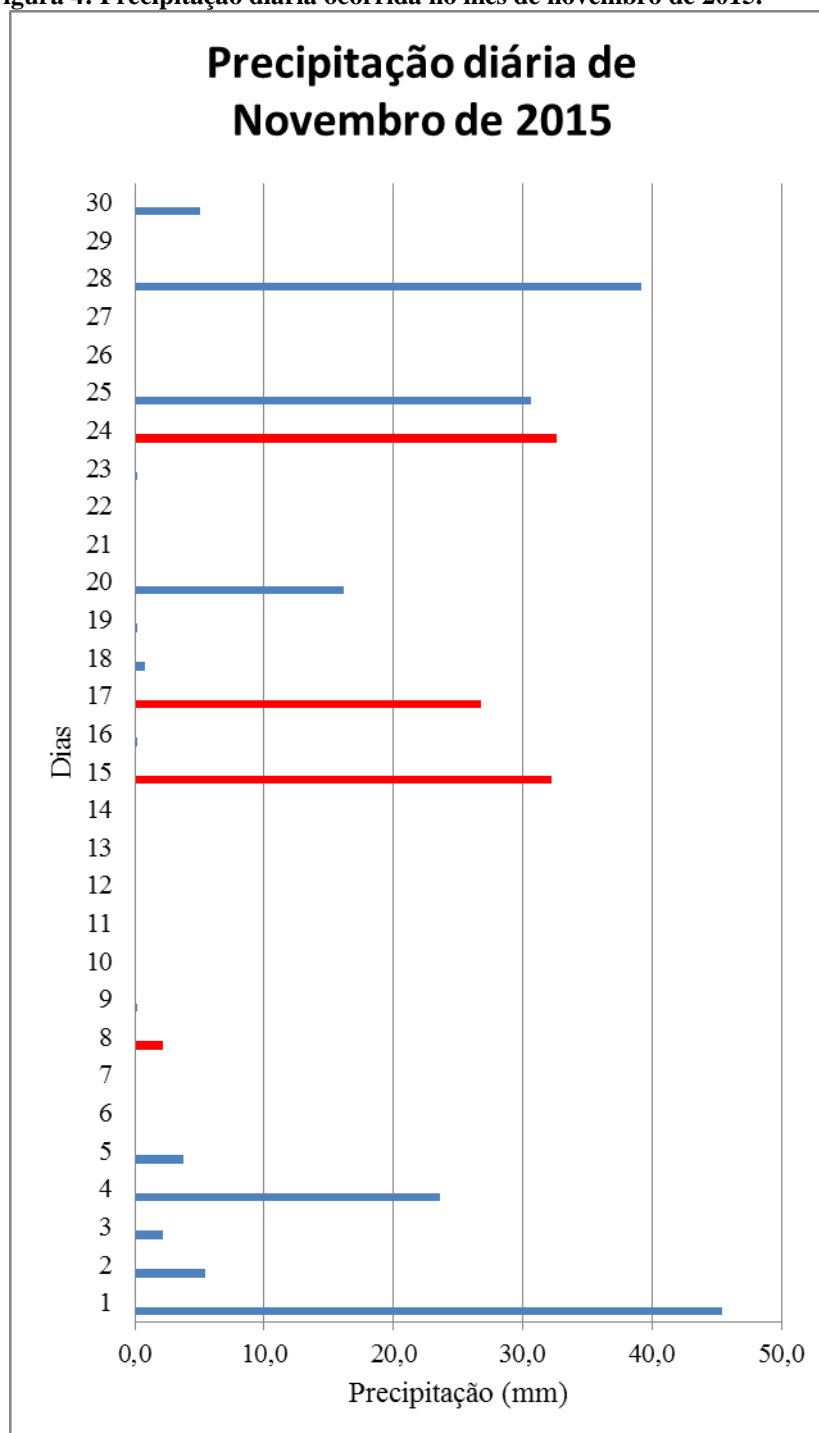
Figura 3. Precipitação mensal ocorrida no ano de 2015.



Fonte: INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), 2015.

Observando a Figura 3, notou-se que as maiores evidências de precipitação para o ano de 2015 foram encontradas nos meses de fevereiro, outubro e novembro, aproximadamente 220, 240 e 270 mm, respectivamente. Os menores valores de precipitação média ocorreram em junho e agosto, respectivamente, com 20 mm e 15 mm. Para o presente estudo, foi relevante quantificar a precipitação diária para o mês de novembro (Figura 4), quando foram realizadas as coletas amostrais.

Figura 4: Precipitação diária ocorrida no mês de novembro de 2015.



Fonte: INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), 2015. Adaptado.

A Figura 4 permite visualizar as ocorrências de chuvas durante o mês de novembro. Analisando-a, pode-se perceber que foi um mês chuvoso. As precipitações de maiores volumes se acumularam nos dias 1, 15, 24 e 28 de novembro, sendo que para os dias 08, 15, 17 e 24 (destacado em vermelho), quando foram realizadas as coletas amostrais, precipitaram 2,2 mm, 32,2 mm, 26,8 mm e 32,6 mm, respectivamente. A Tabela 1 indica a quantidade pluviométrica ocorrida dos dias 08, 15, 17 e 24 de novembro e a sua intensidade, ou seja, o quociente entre a precipitação (mm) e a duração (hora) durante a coleta.

Tabela 1: Valores de Precipitação e Intensidade Pluviométrica nos dias coletados.

Dias das Coletas	Local da Coleta	Precipitação (mm)	Intensidade Pluviométrica (mm/h)
08/11/15	P2	2,2	2,2
15/11/15	P3	32,2	3,8
17/11/15	P4	26,8	4,0
24/11/15	P1	32,6	3,4

Fonte: Autor, 2015.

O estudo de precipitação de Presidente Prudente - SP foi importante com vistas a avaliar a influência da quantidade de precipitação nos resultados, pois, com elevada quantidade de volume de chuva houve um aumento na vazão de escoamento superficial, consequentemente, maior lavagem superficial e, possivelmente, maior encaminhamento de materiais aos corpos hídricos receptores das águas urbanas.

3.2. Banco de Dados

A Tabela 2 apresenta os valores das concentrações de sólidos totais (ST - mg/L), demanda química de oxigênio (DQO - mg/L), fósforo total (FT - mg/L) e os valores condutividade elétrica (CE - μScm^{-1}), pH, turbidez (Turb - NTU), temperatura (T - °C) e vazão (Q - m^3/s), para as quatro áreas de amostragem (P1, P2, P3 e P4), de acordo com a duração de suas respectivas precipitações.

Tabela 2: Valores CE, pH, T, Turb e vazão e concentração de DQO, OD, FT e ST analisadas em cada área de amostragem, com sua respectiva duração da precipitação, na Estação Primavera.

Áreas	Tempo (min)	DQO (mg /L)	OD (mg /L)	FT (mg/L)	ST (mg/L)	CE (μScm^{-1})	pH	T ($^{\circ}\text{C}$)	Turb (NTU)	Q (L/s)
P1	0 – 5	245,50	5,28	27,60	221	73,81	6,78	22	66,2	26,27
	5 – 10	65,50	5,21	5,85	106	59,65	6,85	22	23,5	13,78
	10 – 15	50,50	5,39	6,02	12,5	46,24	7,32	22	17,7	3,93
	15 – 20	35,50	5,23	5,02	75,0	41,81	7,67	22	17,6	1,52
P2	0 – 5	180,67	4,80	11,60	411	288,10	7,05	27	23,7	6,58
	5 – 10	172,33	6,20	7,44	288,5	198,10	6,96	27	20,2	2,42
	10 – 15	142,33	5,90	5,98	243,5	153,80	7,00	26	18,8	7,42
	15 – 20	135,67	4,40	3,98	116,5	116,00	7,25	26	14,4	3,87
	20 – 25	94,00	3,20	3,87	86	95,06	7,63	26	13	3,93
	25 – 30	105,67	3,00	0,35	64	85,71	7,56	26	12,1	2,70
P3	0 – 5	132,33	6,01	3,68	208	57,57	7,76	28	22,3	3,35
	5 – 10	69,00	5,32	3,85	174,5	51,15	7,62	28	15,6	2,90
	10 – 15	74,00	4,95	2,85	280	47,74	7,6	28	18,9	1,63
	15 – 20	65,67	4,94	2,56	236	42,29	7,65	28	18,4	1,37
	20 – 25	64,00	4,98	1,81	302,5	42,18	7,73	28	13,9	0,75
P4	0 – 5	124,00	5,25	57,43	406,5	635,60	8,96	26	87,8	5,23
	5 – 10	199,00	5,43	56,27	522,5	359,80	8,74	26	52,4	5,23
	10 – 15	170,67	4,72	58,05	412	317,90	8,57	27	48,5	3,92
	15 – 20	140,67	4,41	38,14	224,5	201,00	8,47	28	41,3	2,42
	20 – 25	125,67	5,12	32,43	184	201,00	8,47	28	41,4	0,83

Fonte: Autor, 2015.

Na Tabela 3 é apresentado os valores calculado para as cargas de sólidos totais (ST - g/min), demanda química de oxigênio (DQO - g/min), fósforo total (FT - g/min), nitrato (NO_3 - g/min) e oxigênio dissolvido (OD - g/min), para as quatro áreas de amostragens (P1, P2, P3 e P4), de acordo com a duração de suas respectivas precipitações.

Tabela 3: Valores de cargas das variáveis analisadas em cada área de amostragem, com sua respectiva duração da precipitação, na Estação Primavera.

Áreas	Tempo (min)	DQO (g/s)	OD (g/s)	FT (g/s)	ST (g/s)
P1	0 – 5	6,448	0,139	0,725	5,805
	5 – 10	0,903	0,072	0,081	1,462
	10 – 15	0,199	0,021	0,024	0,049
	15 – 20	0,054	0,008	0,008	0,114
P2	0 – 5	1,191	0,032	0,076	2,709
	5 – 10	0,415	0,015	0,018	0,695
	10 – 15	1,056	0,044	0,044	1,806
	15 – 20	0,524	0,017	0,015	0,450
	20 – 25	0,370	0,013	0,015	0,339
	25 – 30	0,286	0,008	0,001	0,173
P3	0 – 5	0,443	0,020	0,012	0,697
	5 – 10	0,200	0,015	0,011	0,506
	10 – 15	0,122	0,008	0,005	0,460
	15 – 20	0,090	0,007	0,004	0,323
	20 – 25	0,048	0,004	0,001	0,225
P4	0 – 5	0,648	0,027	0,300	2,124
	5 – 10	1,040	0,028	0,294	2,731
	10 – 15	0,669	0,019	0,228	1,615
	15 – 20	0,339	0,011	0,092	0,542
	20 – 25	0,105	0,004	0,027	0,154

Fonte: Autor, 2015.

Na Tabela 2 observou-se o decréscimo da condutividade elétrica no decorrer da duração da precipitação em todas as áreas de amostragem. Isso demonstra que nos primeiros momentos, com a lavagem superficial urbana, a água conduz uma quantidade alta de eletricidade, pois nela existem diversos íons dissolvidos. Outras variáveis, que não foram analisadas, podem ser responsáveis pelo comportamento indicado, como por exemplo, íons de sódio, magnésio, cálcio, ferro, alumínio e amônio todos contribuindo para o aumento da condutividade elétrica. Bertol et al. (2007) afirma que os altos valores de condutividade elétrica, analisados nos escoamentos superficiais com influência de dejetos líquidos suínos, estão relacionados pela alta quantidade de sódio presente, em decorrência da ração fornecida aos animais conter NaCl (cloreto de sódio).

Vale ressaltar os elevados valores de condutividade elétrica observados, durante o *first flush*, na área de amostragem do ponto P4, no qual possui uma influência industrial. Por possuir uma grande movimentação de veículos, transportando mercadorias/insumos, ou mesmo o próprio processo de operação industrial pode contribuir para a presença significativa de material particulado em suspensão ou depositado na superfície aumentando os valores de condutividade elétrica.

Em relação ao pH analisado, observou-se uma relação com a pesquisa de Luo et al. (2009). Ambos apresentaram valores de pH que não tiveram uma alteração significativa e permaneceram próximo de 7 no decorrer da precipitação em todas as áreas de amostragem. No presente trabalho, na área de amostragem quatro (industrial) foi obtido um pH acima de 8, ou seja, as amostras coletadas em todo período de precipitação estavam alcalinas. Uma possível explicação pode estar relacionada aos vazamentos de óleos combustíveis ou de insumos de produção que possuem um pH básico. Outra possibilidade está relacionada à enorme utilização de produtos saneantes como água sanitária e alvejantes à base de hipoclorito de sódio e hipoclorito de Cálcio, os quais possuem um pH extremamente alto, como descrito na Resolução – RDC ANVISA nº 55 (BRASIL, 2009), tornando o pH da região muito alto, consequentemente básicos.

Em relação à turbidez, observou-se uma redução dos valores em todas as áreas de amostragem ao longo da duração do evento pluviométrico. Isso é resultante do efeito “*first flush*”, comprovando que nos primeiros momentos de chuva a água proveniente do escoamento carrega todo o material depositado nas ruas, telhados de casas e indústrias, etc, deixando-as com uma aparência mais turva que as demais.

Os parâmetros de demanda química de oxigênio, oxigênio dissolvido, fósforo total e sólidos totais representados na Tabela 2 serão discutidos como cargas de contribuição, como apresentado na Tabela 3.

De modo geral, foi possível observar uma elevada carga de sólidos totais presentes nas águas do escoamento superficial urbano, pois há uma maior concentração de materiais depositados nas ruas e uma constante redução dos valores de sólidos com o decorrer da precipitação, devido a uma limpeza natural das ruas.

Verificou-se que a área de amostragem do ponto P4 apresentou as maiores de sólidos no tempo de 5 – 10 min, obtendo 2,73 g/s. Por estar em uma área de influência industrial e de elevada circulação de veículos (matérias-primas e produtos finais), a presença de materiais depositados foi mais marcante, contribuindo para os valores apresentados. Esse resultado possui uma grande semelhança com os resultados obtidos por Wang et al. (2013), os quais concluíram que as quantidades de sólidos totais encontradas em uma área com influências industriais foram maiores que áreas residenciais e comerciais.

Vale ressaltar, na área de amostragem 1, os altos valores de sólidos totais encontrados nos tempos de 0 – 5 min e 5 - 10 min, respectivamente, 5,80 g/s e 1,46 g/s, evidenciando uma situação não esperada para essa área. Por se localizar no topo da bacia, era de se esperar valores menores. Uma possível razão para os resultados encontrados pode estar na existência de erosão urbana a montante do local de coleta, amostrando assim, uma grande quantidade de partículas sólidas. Mas também, um fator preponderante para essa situação, foi o elevado valor da vazão de escoamento, contribuindo como um fator determinante na quantificação da carga sólida.

Em relação à DQO, foi observado uma constante redução de seus valores com o decorrer da precipitação em todas as áreas de amostragem. Com uma alta quantidade de matéria orgânica, destaca-se a área de amostragem do ponto P4, a qual apresentou a maior média de valores de DQO. O intervalo de 10 – 15 minutos foi o que apresentou a maior carga de DQO, 1,04 g/s. Como carga de contribuição, acredita-se que após a limpeza de pátios de caminhões e depósitos de armazenamento, os materiais foram encaminhados para a calçada, ali permanecendo até um evento de precipitação. Resultados como esses foram encontrados por Gnecco et al. (2005) que apresentou valores de DQO maior do que as normas europeias de qualidade para as descargas das estações de tratamento (EC Dir. 91/271) em 70% dos eventos monitorados.

A área de amostragem do ponto P1 destacou-se, porém, desta vez, pelo alto valor encontrado de DQO nas duas primeiras coletas, respectivamente 6,45 g/s e 0,903 g/s, a qual se esperava valores inferiores às demais áreas de coleta. A justificativa para esse comportamento pode estar na erosão urbana identificada e o alto valor da vazão decorrente do volume precipitado, determinando quantidades muito elevadas de matéria orgânica e, consequentemente, um elevado teor de DQO.

O parâmetro OD atingiu valores maiores de carga nos primeiros momentos e teve uma redução com o decorrer da precipitação. Porém, com excesso de matéria orgânica e, consequentemente, um elevado teor de DQO, esperava-se valores de carga de OD baixos. Uma justificativa para tal fato pode estar relacionada a alta vazão nos primeiros momentos de precipitação e pela presença de degraus na sarjeta, os quais somados pode promover uma turbulência na água, aumentando os níveis de oxigênio dissolvido da mesma. Esses altos níveis de OD proporcionados pela turbulência causam um aspecto positivo nos rios e córregos. Segundo Fiorucci & Benedetti Filho (2005), além de serem fundamental para a respiração de microrganismos aeróbicos e quaisquer outras formas aeróbicas de vida, o excesso de OD previne a formação de substâncias com odores desagradáveis que comprometem os usos da água.

Por meio da Tabela 3, notou-se que em todas as áreas de amostragem foram obtidos altos valores de cargas de fósforo total nos primeiros momentos da precipitação e, com o decorrer do tempo, houve um decréscimo dos mesmos. Na área de amostragem quatro, as altas cargas (0,3 g/s) podem ser justificadas pelo fato de se localizar próximo a um frigorífico. É provável que esta área sofra uma influência industrial marcada pela grande quantidade de tráfego de caminhões, podendo ocorrer vazamentos de óleos combustíveis, o que contribuem para o aumento dos valores de fósforo. Além disso, é possível que a limpeza de pátios de caminhões e depósitos também possam ter contribuído para os valores obtidos, devido ao uso de detergentes e sabões. Xue et al. (2012) concluíram que os valores de fósforo total são maiores para em regiões industriais. Também foi notado um decréscimo destes valores no decorrer da precipitação.

A área de amostragem 1 apresentou o maior valor de carga de fósforo total no início da precipitação, mas por estar localizada no topo de bacia, esperava-se valores de carga menores. Uma possível explicação para essa situação é a alta vazão apresentada nesse período de coleta, o qual se comporta como um fator limitante para o enorme valor quantificado da carga de fósforo total.

É importante ressaltar que a área de amostragem dois, a qual possui influência residencial, apresentou parâmetros com concentrações e valores de carga dentro de um intervalo esperado. Portanto, será preciso verificar um banco de dados mais amplo, ou seja, os resultados das coletas que serão realizadas nas estações verão, outono e inverno para poder analisar com maior eficiência. No entanto, a área de amostragem três, a qual possui influência comercial, esperava-se concentrações e valores de carga mais elevados daqueles apresentados anteriormente. Dessa forma, é necessário obter os resultados nas demais estações para poder compará-los e então, obter uma análise mais criteriosa dessas áreas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As águas de escoamento superficial da porção urbana da bacia do córrego do Limoeiro apresentaram elevados valores cargas poluidoras, considerando o período de investigação. Esses valores evidenciaram que a poluição originada do escoamento superficial urbano em áreas com influências industriais e comerciais podem contribuir para a degradação e redução da qualidade dos corpos hídricos receptores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA. American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Washington, D.C, 1998.
2. AZEVEDO NETO, J. M. **Manual de hidráulica**. São Paulo: Edgar Blucher, 1998, 669p.
3. BERTOL, O. J., RIZZI, N. E., BERTOL, I., ROLOFF, G. Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 04, p. 781-792, 2007.
4. BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; BARROS, M. T. L.; PENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável**. 2 ed. São Paulo: Person Prentice Hall, 2005.
5. BRASIL. ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 55, de 10 de novembro de 2009. **Dispõe sobre Regulamento Técnico para Produtos Saneantes Categorizados como Água Sanitária e Alvejantes à Base de Hipoclorito de Sódio ou Hipoclorito de Cálcio e dá outras providências**. Brasília, DF, 13 nov. 2009.
6. CAMPANA, N. A.; BERNARDES, R. S. Qualidade do escoamento na rede de drenagem pluvial urbana: a situação de Brasília-DF. **Revista de Gestão de Águas da América Latina**, Brasília, v.7, n.2, p. 53-65, 2010
7. CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011.
8. FIORUCCI, A. R.; BENEDETTI FILHO, E. A Importância de Oxigênio Dissolvido em Ecossistemas Aquáticos. **Química Nova na Escola**, n.22, 2005.
9. FRANCISCO, A. M. Os desafios do planejamento urbano em áreas de fundo de vale consolidadas: o caso da microbacia do Córrego do Veado em Presidente Prudente. **Appurbana**, n.2, 2012.
10. GIANSANTE, A. E. Avaliação de cargas poluidoras difusas para planejamento ambiental em bacias hidrográficas: aplicação na Bacia do Ribeirão Pirafá – SP. In: XXX Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 30, 2006, Montevideo. **Anais...** Montevideo. Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS), 2006. p.1-18.
11. GNECCO, I.; BERRETTA, C.; LANZA, L. G.; LA BARBERA, P. Storm water pollution in the urban environment of Genoa, Italy, **Atmospheric Research**, v.77, p.60-73, 2005.
12. GRIBBIN, J. E. **Introdução a hidráulica, hidrologia e gestão de águas pluviais**. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

13. HARREMOËS, P.; NAPSTJERT, L.; RYE C.; LARSEN, H. O.; DAHL, A. Impact of rain runoff on oxygen in an urban river. **Water Science and Technology**, v. 34, n.12, p. 41–48, 1996.
14. IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**. 2013. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=354140>>. Acesso em: 03. nov. 2015.
15. IGC. Instituto Geográfico e Cartográfico, 2007. Disponível em: <<http://www.igc.sp.gov.br/busca/index.html?cx=009323197618118939034%3A-h1-wuwpkky&cof=FORID%3A10&ie=ISO-8859-1&q=Presidente+Prudente+mapa&sa.x=0&sa.y=0&sa=Pesquisar>>. Acesso em: 16. out. 2015.
16. INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_iframe.php?codEst=A707&mesAno=2015> Acesso em: 01. dez. 2015
17. LEE, J.H.; BANG, K.W.; KETCHUM L.H.; CHOE, J.S.; YU, M.J. First flush analysis of urban storm runoff. **The Science of the Total Environment**, v.293, p. 163-175, 2002.
18. LUO, H.; LUO, L.; HUANG, G.; LIU, P.; LI, J.; Hu, S.; WANG, F.; XU, R.; HUANG, X. Total pollution effect of urban surface runoff. **Journal of Environmental Sciences**, v.21, p. 1186-1193, 2009.
19. MENESSES FILHO, A. S.; TUCCI, C. E. M. Impacto da Ocupação Urbana na Qualidade da Água do Escoamento Superficial. In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 20, 2003, Curitiba. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.
20. NAIME, R.; FAGUNDES, R. S. Controle da qualidade da água do Arroio Portão. **Pesquisas em Geociências**, v. 32, n.1, p. 27-35, 2005.
21. PEDRO, L. C.; NUNES, J. O. R. A relação entre processos morfodinâmicos e os desastres naturais: uma leitura das áreas vulneráveis a inundações e alagamentos em Presidente Prudente-SP. **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente, n.34, v.2, p.81-96, ago./dez.2012.
22. PRODANOFF, J. H. A. **Avaliação da poluição difusa gerada por enxurradas em meio urbano**. 266p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, 2005.
23. ROBIEN, A.; STRIEBEL, T.; HERRMANN, R. Modeling of dissolved and particle-bound pollutants in urban street runoff. **Water Science and Technology**, v. 36, n.8–9, p. 77–82, 1997.
24. SANTOS, F. R.; BARBOSA, H. P. Um estudo comparativo de dois córregos urbanos em Presidente Prudente (SP): Colônia Mineira e Limoeiro. **Geografia em Atos (Online)**, Presidente Prudente, v. 2, n. 13, 2013.
25. SOTTORIVAE, M.; GARCIA C. M. Poluição difusa urbana por compostos inorgânicos: avaliação da contribuição dos componentes do amianto presente nas telhas de fibrocimento e nos freios de veículos. **Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 11, n. 3, p. 89-97, 2011.
26. TEODORO, P. H. M.; NUNES, J. O. R. Os alagamentos em Presidente Prudente-SP: um trabalho interdisciplinar embasado no mapeamento geomorfológico. **Revista Formação**, n.17, volume 2 – p. 81-102, 2010.
27. TUCCI, C. E. M. **Gestão de águas pluviais urbanas**. Ministério das Cidades – Global Water Partnership - World Bank – Unesco, 2005.
28. VERONEZ, P. B. **Análise da influência da precipitação pluviométrica e do uso do solo sobre a qualidade da água em microbacias hidrográficas no nordeste paraense, Amazônia Oriental**. 2011. Dissertação (Programa de Pós Graduação) - Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. 2011.
29. VIVACQUA M. C. R. **Qualidade da Água do Escoamento Superficial Urbano – Revisão Visando o Uso Local**. 2005. 185 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, São Paulo. 2005.
30. VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. Belo Horizonte: DESA UFMG, 2007.
31. XUE, B.; KANG, X. Study on the Pollution Control and Resource Recovery of Urban Street Rainwater. **Energy Procedia**, v. 16, p.2-7, 2011.
32. WANG, S.; HE, Q.; AI, H.; WANG, Z.; ZHANG, Q. Pollutant concentrations and pollution loads in storm water runoff from different land uses in Chongqing. **Journal of Environmental Sciences**, v.25, n.3, p.502-510, 2013