Parâmetros utilizados para determinação do índice de poluição difusa (IQApd) utilizando o método da teoria dos jogos cooperativos

Parameters used to determine the diffuse pollution index (IQApd) using the method of cooperative game theory

• **Data de entrada:**
10/09/2018

• **Data de aprovação:**
15/10/2018

Maurício Abud Gregório^{1*} | Antonio Carlos Zuffo¹

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2020.039>

ORCID ID

Gregório MA <https://orcid.org/0000-0003-3108-9856>

Zuffo AC <https://orcid.org/0000-0002-2186-9755>

Resumo

O presente trabalho apresenta a metodologia para obtenção dos parâmetros e pesos do Índice de Qualidade de Água do Escoamento Superficial Urbano, para o ribeirão Anhumas, localizado na cidade de Campinas-SP. É um método desenvolvido para um sistema misto de drenagem urbana e esgotamento de águas servidas. Esse índice indicará a existência ou não da poluição difusa contida no escoamento superficial urbano, determinando a existência de carga poluente. Deste modo, foram realizados estudos para a determinação de quais parâmetros e pesos fariam parte do Índice de Qualidade de Água para Poluição Difusa (IQApd), que indicará a qualidade da água do escoamento superficial urbano no exato momento da sua coleta. Esse número é adquirido da agregação dos dados físico-químicos, bacteriológicos e químicos por meio de metodologias específicas. A vantagem dessa metodologia se deve ao fato de esta sintetizar em apenas um número diversos parâmetros, facilitando a sua interpretação quando comparada com indicadores individuais e com pouca expressividade.

Palavras-chave: Método da Teoria dos Jogos Cooperativos. Índice de Qualidade de Água para Poluição Difusa. Indicadores de Qualidade das Águas. Escoamento Superficial Urbano.

Abstract

The present work presents the methodology for obtaining the parameters and weights of the Water Quality Index of the Urban Surface Drainage for the Anhumas riverside, located in the city of Campinas, São Paulo. It is a method developed for a mixed system of urban drainage and wastewater depletion. This index will indicate the existence or not of the diffuse pollution contained in the urban surface runoff, determining the existence of a pollutant load. In this way, they were studied to determine which parameters and weights would be part of the Water Quality Index for Diffuse Pollution (IQApd), which will indicate the water quality of the urban surface runoff, at the exact moment of its collection. This number is acquired from the aggregation of physical-chemical, bacteriological and chemical data by means of specific methodologies. The advantage of this methodology is due to the fact that it synthesizes in only a number of parameters, facilitating its interpretation when compared with individual indicators and with little expressiveness.

Keywords: Method of Cooperative Game Theory. Water Quality Index for Diffuse Pollution. Water Quality Indicators. Urban Surface Runoff.

Dedico este artigo em memória de minha mãe, Lela Abbud Gregório, falecida no dia 28/03/2020.

¹ Unicamp (Universidade Estadual de Campinas) – Campinas – São Paulo – Brasil.

* **Autor correspondente:** magud@hotmail.com.

1 INTRODUÇÃO

O considerável aumento das concentrações urbanas segue em ritmo cada vez mais intenso nas últimas décadas. Na maioria dessas regiões, a ocupação humana ocorreu sem controle, sem planejamento urbano e sem levar em consideração o problema da impermeabilização de grandes áreas, como a falta de controle dos sedimentos, do esgotamento sanitário, da disposição de lixo e da destruição da vegetação original da bacia. Esses efeitos passaram a gerar grande variedade e quantidade de poluentes para os corpos d'água, além do principal problema causado pelas precipitações, que são as inundações urbanas.

O problema das inundações em áreas urbanas vem se intensificado ao longo dos anos. As enchentes urbanas cada vez mais acarretam danos materiais e sociais sem precedentes. Os prejuízos ligados à elevação do nível dos córregos e rios, com invasão das águas e lama em residências, comércios e fábricas, não trazem apenas perdas materiais, mas, principalmente, causam problemas relacionados à saúde, não apenas física, mas também a mental. Esse último é causado pelo estresse da situação de se encontrar incapaz para evitar a destruição provocada pela força das águas sem controle. Outros transtornos, também causados pelas enchentes, afetam milhares de pessoas, impedindo-as de retornarem para suas casas após um dia de trabalho, porque os sistemas viários são afetados pelas águas, impedindo o transporte público e de cargas, provocando erosão de margens de rios, destruindo pavimentos e leitos carroçáveis, depreciando imóveis, entre outros. Além de todos esses problemas, ainda temos a contaminação dos ecossistemas aquáticos, resultante das atividades antropogênicas, o que passou a se constituir como uma das maiores preocupações ecológicas dos últimos anos, principalmente pela má gestão do uso do solo, aliada ao crescimento da população e à expansão industrial. Esses efeitos vêm provocando o decréscimo da qualidade da água de rios, lagos e reservatórios nas últimas dé-

cadadas (ALLAN, 2004; MENEZES et al., 2014; DUPA-SA et al., 2015; FIA et al., 2015, MENEZES, 2016).

No caso das áreas urbanas e industriais, o uso e a ocupação do solo têm sido associados com a poluição orgânica, bem como metais pesados e nutrientes (LI et al., 2009; KANG et al., 2010). Estes, associados ao escoamento superficial, podem gerar cargas poluidoras mais conhecidas como cargas difusas de grande magnitude, que são lançadas nos sistemas de drenagem, aumentando cada vez mais as preocupações no contexto do controle da poluição e da proteção dos recursos hídricos.

Estudos realizados comprovaram que a carga de choque devido ao escoamento superficial urbano de águas pluviais pode ser muitas vezes maior do que o efluente de tratamento secundário de esgoto doméstico. Em certos parâmetros, pode ser ainda maior que o esgoto bruto, podendo então prevalecer sobre a qualidade da água do corpo receptor.

Para a determinação da existência dessa carga, foi criado um Índice de Qualidade de Água para poluição difusa (IQApd), sendo este um número adimensional, que indica a qualidade da água do escoamento superficial urbano no exato momento da sua coleta. Esse número é adquirido pela agregação dos dados físico-químicos, bacteriológicos e químicos por meio de metodologias específicas; mediante a carga poluente detectada, será possível analisar que os eventos chuvosos são os grandes contribuintes para o aumento da concentração de poluentes nos corpos hídricos, uma vez que são transportadas elevadas cargas de poluição difusa durante esses eventos. A vantagem dessa escolha se deve ao fato de este sintetizar em apenas um número diversos parâmetros, facilitando a sua interpretação quando comparado com indicadores individuais e com pouca expressividade.

É um método desenvolvido para um sistema misto de drenagem urbana e esgotamento de águas servidas. Por meio da aplicação deste modelo

pode-se demonstrar que ainda há grande necessidade de estudar as cargas difusas nos corpos hídricos, em bacias de diferentes áreas, especialmente em áreas urbanas.

Os parâmetros de qualidade da água escolhidos para fazer parte deste IQApd foram: cor aparente, série de resíduos (filtrável, não filtrável, fixo e volátil), temperatura, turbidez, demanda química de oxigênio (DQO), fósforo total, oxigênio dissolvido, óleos e graxas, pH, série de nitrogênio total Kjeldahl, ferro total, coliformes fecais e coliformes totais. Espera-se que com a análise desses elementos seja possível distinguir o nível de deterioração na qualidade da água e verificar se os níveis aumentam no período da chuva, devido à lavagem do solo provocada pelo escoamento superficial, comprovando a existência ou não da poluição difusa.

2 OBJETIVOS

Este estudo teve como objetivo a aplicação do método da teoria dos jogos cooperativos (Cooperative Game Theory - CGT) para auxiliar na avaliação dos padrões de qualidade da água do escoamento superficial urbano por meio da determinação de seus parâmetros e respectivos pesos, por meio de análises de parâmetros físico-químicos, químicos e microbiológicos.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Fontes de Poluição

A fonte de poluição difusa ocorre pela ação das águas de chuva, que lavam e transportam a po-

luição nas suas diversas formas, espalhada sobre a superfície do terreno (urbano ou rural) para os corpos hídricos (SCHUELER et al., 2016). Essa poluição alcança rios, lagoas, baías, etc. (ALCÂNTARA E SCHUELER, 2015). Distribuída ao longo das margens, não se concentra em um único local, como é o caso da poluição pontual.

As fontes de poluição relacionadas ao escoamento superficial são comuns em qualquer tipo de área em uma cidade. No entanto, algumas delas podem ser modificadas pelas condições climáticas predominantes (intensidade, direção do vento e dinâmica atmosférica) (MARTÍNEZ, 2010). Segundo Pereira Junior (2014), o grau de urbanização da área, o qual define a taxa de áreas impermeáveis e da vocação socioeconômica do uso do solo, refletirá no fluxo veicular presente, nos sistemas de drenagem existentes, material de construção da rua, densidade de árvores e taxa de acumulação de sedimentos. Richards (2013) cita que a partir de 10% de sua área impermeabilizada já começa a diminuir a qualidade da água de escoamento superficial.

Quando se estudam os impactos causados pelo lançamento aos escoamentos, é necessário entender as fontes poluentes. A acumulação destes poluentes dentro da área da bacia é imposta por diversas fontes individuais de difícil separação. Entretanto, o conhecimento qualitativo das prováveis fontes possibilita ao investigador concentrar-se nas áreas problemáticas.

Na Fig. 1 observam-se as principais fontes de poluição no meio ambiente.

Figura 1 - Principais fontes de poluição no meio ambiente (adaptado de Walesh, 1989).

3.2 Parâmetros de Qualidade de Água

As fontes dos parâmetros de qualidade de água possuem características próprias quanto aos poluentes que as carregam. Por exemplo, no caso dos esgotos domésticos, estes apresentam compostos orgânicos biodegradáveis, nutrientes e microrganismos patogênicos. Já para o caso dos efluentes industriais, há uma maior diversificação nos contaminantes lançados nos corpos de água, em função dos tipos de matérias-primas e processos industriais utilizados. O deflúvio superficial urbano contém, geralmente, todos os poluentes que se depositam na superfície do solo. Na ocorrência de chuvas, os materiais acumulados em telhados, gramados, ruas, valas, e bueiros etc., são arrastados pelas águas pluviais para os cursos de águas superficiais, constituindo-se numa fonte de poluição tanto maior quanto menos eficiente for a coleta de esgotos ou a limpeza pública.

No caso da poluição natural, esta está associada às chuvas e ao escoamento superficial, à salinização, à decomposição de vegetais e animais

mortos, enquanto a acidental é proveniente de derramamentos acidentais de materiais na linha de produção ou transporte. Deste modo, a poluição das águas tem como origem diversas fontes, dentre as quais se destacam:

- ✓ Efluentes domésticos;
- ✓ Efluentes industriais;
- ✓ Carga difusa urbana e agrícola;
- ✓ Natural;
- ✓ Acidental.

As análises de água, em pontos estratégicos ao longo de um curso d'água, caracterizam a qualidade da água por meio de variáveis hidrológicas, físicas, químicas e microbiológicas e relacionam-se, primordialmente, ao conjunto de informações de determinada bacia hidrográfica. Colaborando com este argumento, Guerreiro (1996) afirma que os fatores que interferem na quantidade e, principalmente, na qualidade das águas ocorrem em função dos meios físicos e antrópicos.

Os principais fatores desencadeadores de poluição hídrica são os despejos de efluentes domésticos e industriais, que são considerados fontes de poluição pontual, e as fontes mais difíceis de visualizar e quantificar, como o escoamento urbano, agrícola, além da precipitação atmosférica (poluição difusa) (BILLEN; GARNIER; HANSET, 1994; RAND; PETROCELLI, 1985; REBOUÇAS, 1999; TUNDISI, 1986).

As águas superficiais têm sua qualidade alterada em função de diversos fatores, tais como: influência do homem, ecossistema aquático, clima, vegetação circundante e solo da região, sofrendo variações devido a processos internos e externos ao corpo de água, temporais e espaciais.

Segundo Meybeck e Helmer (1992), a qualidade de um ambiente aquático pode ser definida segundo duas premissas:

- ✓ Segundo a presença de substâncias inorgânicas ou orgânicas em diferentes concentrações e especiações e;
- ✓ Segundo a composição e estrutura da biota aquática presente no corpo de água.

3.3 Escoamento Superficial Urbano

As fases do escoamento superficial urbano abrangem o escoamento de base do período de estiagem e o escoamento das cheias. A proporção relativa desses fluxos varia de forma considerável, dependendo da estação do ano e dos usos da terra – importantes fatores que afetam o escoamento de base e a qualidade da água.

Barco (2003) cita que o escoamento superficial urbano é caracterizado por apresentar qualidade semelhante a esgotos, tanto em termos de massa como na concentração máxima de poluentes. Segundo Pitt e Mclean (1986), amostras obtidas de escoamentos de base de áreas residenciais possuem altas concentrações de

diversos poluentes, destacando-se os sólidos dissolvidos e os coliformes fecais, a concentração de alguns constituintes do escoamento urbano, drenado de áreas industriais; estes foram tipicamente maiores do que as concentrações dos mesmos constituintes de áreas residenciais. No período chuvoso, a qualidade da água do escoamento base da área industrial está bem próxima do valor encontrado no caso do escoamento superficial do que se comparado com a das vazões de base das áreas residenciais e de seus escoamentos superficiais.

Os problemas da poluição são compostos por três estágios:

- ✓ Acumulação de poluentes;
- ✓ Lavagem da bacia;
- ✓ Transporte pelo sistema de drenagem.

O primeiro estágio ocorre durante os períodos secos, em que são acumulados os poluentes na superfície da bacia. Quando se inicia a chuva, é realizada a lavagem da bacia, removendo os poluentes para os sistemas de drenagem.

Segundo Tsihrintzis e Hamid (1997), são dois os principais objetivos dos estudos da qualidade da água pluvial em meio urbano:

- ✓ Caracterizar os micro poluentes;
- ✓ Fornecer os valores das cargas lançadas nos corpos hídricos receptores.

Ahyerre et al. (1998), depois de examinarem diversos modelos de qualidade de água, concluíram que nenhum dos modelos existentes consegue, de um modo generalizado, bons resultados, devido à complexidade da produção e do transporte de escoamento poluído em meio urbano, envolvendo diferentes meios e escalas de tempo e de espaço, com um modelo de difícil utilização e, na maioria dos casos, também, muito dispendioso.

A necessidade de investigar a qualidade da água dos córregos urbanos exerce grande importância, uma vez que a poluição dos corpos hídricos em áreas urbanas afeta seriamente a utilidade da água para diversos fins, além de comprometer a “saúde” dos ecossistemas aquáticos (Pauletti & Siqueira, 2011). Segundo Love e Woolley (1999), a toxicidade do escoamento urbano é muito maior do que a do esgoto tratado.

3.4 Poluição Difusa

Nas grandes áreas urbanas, o uso e a ocupação do solo de forma desordenada, associado ao escoamento superficial, pode gerar cargas poluidoras de grande magnitude. Estas são lançadas nos sistemas de drenagem, originando preocupações crescentes no contexto do controle da poluição e da proteção dos recursos hídricos.

Silva (2010) cita que a precipitação promove a lavagem dos poluentes atmosféricos, assim como também das superfícies edificadas, de ruas, calçadas, passeios públicos, estradas, ciclovias, telhados, quadras esportivas, estabelecimentos comerciais, praças e jardins. Esse escoamento superficial produzido será o responsável por transportar os poluentes dispostos sobre as superfícies para os corpos hídricos.

As águas conduzem maior quantidade de poluição na ocasião das chuvas, especialmente as do deflúvio superficial urbano, cujos materiais acumulados em bueiros e valas são conduzidos pelas águas até atingirem os rios (CHANG et al., 2014; ROBERTO, 2014).

A matéria orgânica é introduzida nos corpos hídricos por meio do lançamento de efluentes domésticos e também está presente em alguns efluentes de atividades agrícolas e industriais ou, até mesmo, de forma natural, devido aos ciclos biogeoquímicos (FRAGA, 2015). Esses ciclos ocorrem na natureza para garantir a reciclagem

dos elementos químicos no meio, possibilitando a interação entre os elementos com o meio ambiente e os seres vivos, garantindo, desse modo, que o elemento flua pela atmosfera, hidrosfera, litosfera e biosfera. Os principais ciclos são: da água, do carbono, do nitrogênio e do oxigênio.

Paoletti, Sanfilippo & Becciu (2011) relacionam a existência de inúmeros problemas relacionados ao escoamento superficial causado pela água de chuvas no corpo receptor, tais como: o acúmulo de poluentes na época de estiagem; a lavagem dos poluentes acumulados e o escoamento para as redes de esgoto a montante, o qual se mistura com águas residuais, ocasionando uma possível ressuspensão de materiais que estavam previamente sedimentados; e a desordem ambiental nos corpos hídricos, relacionados com a sua vulnerabilidade ecológica.

Segundo Porto (1995), a poluição difusa é originada por meio do escoamento superficial em áreas urbanas e provém de atividades que depositam poluentes sobre as superfícies, assim como aqueles presentes na atmosfera que são carregados para os corpos d' água durante os eventos chuvosos, de forma esparsa, sobre a área de contribuição da bacia hidrográfica. A intensa urbanização das últimas décadas veio a ocasionar uma crescente impermeabilização do solo nas cidades, levando a um significativo aumento do escoamento superficial, bem como a uma grande liberação de poluentes para o meio ambiente urbano. Esses fatores potencializam os efeitos de degradação da qualidade da água pela poluição difusa em corpos hídricos de áreas urbanas.

A poluição difusa é caracterizada pelas seguintes condições:

- ✓ Os poluentes são transportados a partir de extensas áreas;
- ✓ O lançamento da carga poluidora é intermitente e está relacionada com a duração, a intensidade, a frequência e a área de estudo da precipitação.

Como não é possível identificar exatamente a origem das cargas poluidoras, estas não podem ser monitoradas a partir do seu ponto de origem. Em vez de incluir somente o controle do efluente no lançamento, obrigatoriamente deve-se, no caso do controle da poluição de origem difusa, incluir as ações sobre a área geradora da poluição. Como a carga poluidora lançada varia de acordo com a intensidade e a duração do evento meteorológico, é difícil estabelecer padrões de qualidade para o lançamento do efluente.

Vários estudos têm quantificado a carga difusa e comprovaram que a primeira parte do escoamento superficial é a mais poluída, fenômeno conhecido como “carga de lavagem do escoamento superficial” (DELETIC (1998), WU et al. (1998), MATOS et al. (1998), PORTO & MASINI (2001)).

Os parâmetros de qualidade das águas pluviais são medidos por meio da avaliação das características físicas, químicas e biológicas das impurezas existentes, indicando o seu grau de poluição.

Pesquisas comandadas por Pitt et al. (2004), compilando dados do US Environmental Protection Agency (EPA), entre os anos de 1978 e 1983 e, do Federal Highway Administration (FHWA), em várias cidades dos Estados Unidos, Canadá, África do Sul, Europa e América Latina, verificaram que o escoamento superficial urbano está presente em todas as categoria de uso do solo (comercial, industrial, residencial e institucional) e que os metais pesados e os nutrientes apresentam altas concentrações no início da precipitação, com a exceção do nitrogênio e do ortofosfato; já no caso das bactérias, o fenômeno do abaixamento de alta concentração no início não foi observado.

Os ecossistemas aquáticos sofrem impactos ambientais com o despejo de águas pluviais. Esses impactos incluem a demanda de oxigênio, nutrientes, metais, compostos orgânicos naturais e sintéticos, sólidos em suspensão e dissolvidos,

íons alterados, organismos patogênicos, temperatura e pH. Os impactos listados podem interagir em diversos graus de formas antagônicas, aditivas ou por sinergia, afetando os organismos vivos.

A poluição difusa é um fenômeno aleatório como o evento hidrológico responsável pela sua ocorrência (EPA, 1983; DRISCOLL et al., 1990; PORTO, 1995). Tem sua origem no ciclo hidrológico, inicia-se com arraste dos poluentes atmosféricos pela precipitação e o escoamento superficial direto será o responsável pelo transporte dos poluentes dispostos sobre a superfície da área urbana até o lançamento final no corpo receptor (PRODANOFF, 2005).

A carga de lavagem, conhecida também como “*first flush*”, principia com o escoamento superficial no início de uma chuva e é mais pronunciada nas superfícies impermeáveis da cidade, como ruas, calçadas, pavimentos de residências e condomínios, telhados, galpões, coberturas e estacionamentos, carregando os poluentes que ficaram acumulados nos dias sem chuvas. Assim, esse material fica armazenado e origina o pico da poluição antes do pico das vazões. Essa ocorrência está diretamente relacionada com as perdas iniciais do escoamento superficial, e dependendo da rugosidade e do estado de conservação do pavimento, essas perdas poderão ser maiores ou menores, possibilitando a retenção de uma parte dos poluentes junto com a parcela de água acumulada (IDE, 1984; KANG et al. 2007).

De acordo com Sarukkalige (2012), dependendo do tipo do uso que se faz do solo em torno das bacias hidrográficas, o escoamento de águas pluviais em áreas impermeáveis pode conter diferentes substâncias. Dentre estas estão os metais pesados, as matérias orgânicas, os nutrientes e os hidrocarbonetos, além dos sólidos em suspensão e dos microrganismos patogênicos.

Para Jacobsen, Vollertsen & Nielsen (2010), a presença de superfícies impermeáveis é o prin-

cipal fator de alteração em relação ao desenvolvimento urbano, sendo que essas podem causar dois grandes prejuízos: se o escoamento não for gerido de forma adequada poderá ocorrer inundações devido a chuvas extremas, gerando uma grande quantidade de poluentes no escoamento devido ao resultado de atividades humanas.

A verificação local da ocorrência da carga de lavagem (*first flush*) é importante para uma futura detenção do escoamento superficial urbano, controlando a carga poluidora a ser lançada no

corpo receptor. Caso a carga de lavagem se verifique, grande parte da carga poluidora estará contida no volume inicial escoado que ficará retida; com a detenção e o tratamento, protegeremos a vida aquática nos cursos de água.

Na Fig. 2 observa-se que as amostras de águas pluviais, dispostas sequencialmente, apresentam-se com uma maior concentração no início, reduzindo substancialmente a concentração. Intervalo de tempo de coleta da amostra de 20 minutos.

Figura 2 - Amostradores de qualidade de águas pluviais. Início da precipitação com o recipiente mais escuro. Tempo de amostragem: 20 minutos.

Fonte: <https://sandiego.surfrider.org/2017/10/04/first-flush-messaging-2017/>, extraído em 11jan2018.

De acordo com Choe et al. (2002) e Line et al. (2002), cada tipo de precipitação e uso do solo da bacia hidrográfica está relacionado com as concentrações e as cargas para cada poluente. Essa poluição apresenta-se de forma bastante diversificada e depende de fatores como densidade populacional, estações do ano, uso e ocupação do solo, geologia, topografia, e das características e frequência das precipitações.

A intensidade da precipitação varia de forma irregular e imprevisível, afetando diretamente as taxas de erosão, escoamento, lavagem e suspensão de sedimentos, e de maneira complexa determinam a distribuição temporal dos poluentes, tornando extremamente variável a qualidade das águas de escoamento superficial urbano (EPA, 1983; DRISCOLL et al., 1990).

As concentrações de poluentes tendem a variar de evento para evento, pois as características de cada tempestade variam entre os intervalos de tempo dos eventos chuvosos, variando o transporte de poluente. A natureza transiente e imprevisível das fontes de poluentes e seus mecanismos de lançamento contribui para a grande variabilidade dos processos de produção e transporte de poluentes. Devido a sua grande variabilidade temporal e espacial, existem inúmeras barreiras para a previsão dos impactos na qualidade da água e os seus respectivos controles/tratamento. As concentrações dos poluentes variam com o tipo de área (residencial, industrial, comercial e rural), com o evento da precipitação e ao longo do mesmo evento.

De acordo com Driscoll et al. (1990), algumas das cidades dos EUA e países desenvolvidos que obti-

veram êxito na coleta e tratamento das águas residuais vêm mostrando que as fontes de poluição difusas passaram a ser as maiores causadoras de degradação da qualidade das águas superficiais.

Segundo o estudo realizado por Rasmussen (1998) em uma bacia em Fort Leavenworth, Kansas, nos Estados Unidos, a concentração média de sólidos suspensos em eventos de chuvas fortes foi até 24 vezes maior do que a amostragem realizada em períodos de baixa vazão para uma bacia que continha construções. Isso significa que mais de 70% da média da carga anual de sólidos em suspensão foram contribuídos em eventos de chuvas fortes. Nesse cenário, o escoamento da água de chuva contribuiu com mais da metade da média anual da produção de demanda química de oxigênio, sólidos em suspensão e a maioria dos nutrientes. Este estudo relaciona que a alta produção tem relação com a erosão dos solos expostos nos canteiros de obras na bacia hidrográfica.

Segundo Matos et al. (1998), os parâmetros poluentes mais representativos na drenagem urbana são as partículas (sólidos em suspensão), os metais e os hidrocarbonetos, no caso de sólidos suspensos. Comparando-se várias bacias urbanas, obteve-se o valor médio de 220 mg/l. No entanto, tal valor pode ser bastante variável, pois Gomes e Chaudhry (1981) na cidade de São Carlos, SP, encontraram concentrações de sólidos totais variando de 171 mg/l a 3.499 mg/l. De Luca et al. (1991) também observaram que uma bacia localizada na área urbana de Porto Alegre era mais rica em materiais minerais e apresentou valores para a concentração de sólidos totais, neste caso variando de 160 a 10.225 mg/l, com média de 1.522 mg/l.

No caso de implantação de reservatórios de retenção, o excesso de lixo é um empecilho, pois aumenta os riscos sanitários e o custo de manutenção da rede de drenagem (Parkinson et al., 2003).

Além disso, o acúmulo de resíduos sólidos carreados pelas águas das chuvas, aliado à má qualidade da limpeza urbana e à falta de conscientização da população, pode causar a poluição dos rios.

Com o passar dos anos, as cidades se desenvolvem e majoram as superfícies impermeáveis como: ruas, calçadas, ciclovias, telhados, passeios públicos, quadras esportivas, etc., aumentando o escoamento urbano e o carregamento de poluentes e reduzindo a infiltração das chuvas e do escoamento para o subsolo. Esse aumento na taxa do escoamento pode causar a erosão dos canais e das suas margens, ocasionando as cheias urbanas, que resultam na perda de vidas humanas e de propriedades.

Segundo Duda et al. (1982), a maior dificuldade da abordagem do levantamento da qualidade da água de escoamento urbano é a complexidade das fontes poluentes, as limitações quando se utilizam os padrões legais de qualidade de água e principalmente os problemas de monitoramento durante as chuvas intensas.

3.5 Indicador de Qualidade de Água - IQA

A Cetesb (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) utiliza desde 1975 um indicador, baseado em nove parâmetros considerados relevantes, na época, para a avaliação da qualidade das águas dos cursos d'água paulistas. O objetivo inicial para a sua aplicação seria a avaliação da água bruta para o abastecimento público. Esse indicador foi baseado no estudo da National Sanitation Foundation, realizado em 1970.

A criação do IQA, na época, foi baseada em uma pesquisa de opinião com especialistas em qualidade de águas, que indicaram as variáveis potenciais a serem avaliadas, seus pesos relativos e as condições com que se apresenta cada um dos parâmetros, segundo uma escala de valores. Inicialmente foram propostos 35 indicadores de qualidade de

água, porém somente nove foram selecionados, o que possibilitaria uma avaliação mais rápida, mas vale lembrar que na época nem todos os cursos d'água apresentavam grandes degradações da qualidade das águas. A poluição existente era em sua maioria de origem doméstica.

O índice adotado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb) utiliza o IQA, que é determinado pelo produtório ponderado entre os nove parâmetros indicadores da qualidade das águas, correspondentes aos parâmetros: resíduo total, temperatura da amostra, coliformes fecais, pH, nitrogênio total, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio (5 dias, 20°C), fósforo total e turbidez.

A seguinte Eq. 1 é utilizada:

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

Sendo a Eq. 2:

$$\sum w_i = 1 \quad (2)$$

Em que:

IQA = Índice de Qualidade de Água, um número entre 0 e 100;

Qi = valor do iésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade” (função de valor), em função de sua concentração ou medida e, as curvas médias de variação de qualidade que pode ser observado na Fig. 3;

wi = Peso correspondente ao iésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função de sua importância para a conformação global de qualidade é demonstrada na Tabela 1;

n = Número de parâmetros que entram no cálculo do IQA.

Os parâmetros que compõem o IQA (nove) e os respectivos pesos estão apresentados na Tabela 1. Para a formulação desse índice foi considerado o peso de cada variável, sendo algumas mais influentes que outras na determinação do índice de qualidade da água.

A qualidade das águas brutas, indicadas pelo IQA, numa escala de 0 a 100, pode ser classificada, para abastecimento público, segundo a escala apresentada pela Tabela 2.

Tabela 1 - Parâmetros do IQA e seus respectivos pesos. Fonte: ANA (2016).

Parâmetro de qualidade da água	PESO (w)
Oxigênio dissolvido	0,17
Coliformes termotolerantes	0,15
Potencial hidrogeniônico - pH	0,12
Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO5, 20	0,10
Temperatura da água	0,10
Nitrogênio total	0,10
Fósforo total	0,10
Turbidez	0,08
Resíduo total	0,08

Tabela 2 - Classificação da qualidade de água de acordo com os valores originais do IQA proposto em 1976.

Valor do IQA	Qualificação	Cor
80-100	Ótima	Azul
52-79	Boa	Verde
37-51	Aceitável	Amarela
20-36	Ruim	Vermelha
0-19	Péssima	Preta

Figura 3 - Curva média de variação dos parâmetros de qualidade das águas para o cálculo do IQA. Fonte: ANA (2016).

No Brasil, os índices de qualidade da água (IQA) existentes foram baseados em fórmulas que trabalham em função de um número fixo e/ou pré-estabelecido de parâmetros de qualidade da água. Quando é realizado o cálculo do valor do IQA para locais onde não foram realizadas todas as análises para cada um dos seus parâmetros, não é possível obter o valor desse índice.

Para a realização deste cálculo utilizou-se neste estudo um indicador de qualidade da água com-

posto baseado no método multicriterial conhecido como Cooperative Game Theory (CGT).

Esse método foi escolhido por ser o que melhor classifica a qualidade das águas, pois seu resultado é computado por meio de um produtório. Neste caso, quando um único parâmetro for muito ruim ele provoca a queda do número global que representa uma determinada amostra de água.

A principal vantagem desse método é a sua flexibilidade, pois, no caso de não termos um dos pa-

râmetros utilizados nas fórmulas dos índices oficiais de qualidade de água, o indicador composto poderá ser adaptado para essa nova situação. Da mesma forma, se para o local do estudo houver disponibilidade de outros(s) parâmetro(s) além daqueles necessários para a estimativa de um IQA em particular, ainda existe a possibilidade de ampliar o número de parâmetros de indicadores de qualidade da água para poder enquadrá-los, mais precisamente, em suas respectivas Classes de qualidade (por exemplo, as classes definidas pela Resolução CONAMA 357/2005).

O IQA, apesar de fornecer uma avaliação direta, não substitui uma avaliação mais detalhada da qualidade das águas de uma determinada amostra de água (ZUFFO e GENOVEZ, 2006).

4 METODOLOGIA

4.1 Enquadramento das Águas do Ribeirão Anhumas

A pesquisa realizada por Grillo (2003) relatou que as águas do ribeirão Anhumas são tão ruins que isso chega a comprometer a qualidade dos Rios Atibaia e Piracicaba. Porém ele não está sozinho; outros afluentes comprometidos também colaboram com a degradação desses rios.

De acordo com SILVA (2004), o ribeirão Anhumas é responsável por cerca de 50% da carga orgânica doméstica que chega ao Rio Atibaia, tornando o ribeirão Anhumas o maior poluidor individual do Atibaia. Esse índice diminuiu após a instalação de 25 ETEs ao longo dos anos; em 2016, o índice caiu para 13,69 % (SNIS, 2016).

Segundo o Comitê da Bacia Hidrográfica do Piracicaba-Capivari-Jundiaí, o ribeirão Anhumas é enquadrado como um rio de Classe 4, ou seja, um rio com os piores padrões previstos para a qualidade das águas.

Admitindo essa preocupação, faz-se necessário o acompanhamento da qualidade e quantidade de água na região sudeste do Estado de São Paulo onde se inserem os Rios Jaguari, Atibaia e Capivari, que percorrem área de intenso desenvolvimento agrícola, industrial e adensamento humano. Essa necessidade ficou evidenciada quando foi criado em 1991 o Comitê de Bacias PCJ, a partir do qual houve uma intensa mobilização governamental em prol dos recursos hídricos do Estado de São Paulo e posteriormente do país.

A partir da criação desse Comitê, os órgãos de controle da qualidade da água passaram a apresentar monitoramentos mais frequentes de qualidade e quantidade. O principal índice de classificação da qualidade passou a ser o IQA. Monitoramento este realizado em todas as bacias hidrográficas do Estado de São Paulo.

4.2 Resolução CONAMA 357/2005 e Suas Atualizações (410/2009 e 430/2011)

A resolução CONAMA 357/2005, seus complementos e atualizações dispõem sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Essa Resolução substitui a Resolução antecedente, conhecida como CONAMA 20/86 (RESOLUÇÃO CONAMA Nº 410/2009 e RESOLUÇÃO CONAMA Nº 430/2011).

As águas de melhor qualidade podem ser aproveitadas em uso menos exigentes, desde que isso não prejudique a qualidade da água, além de outros critérios pertinentes. A Tabela 3 apresenta os limites das classes I, II, III e IV da Resolução CONAMA 357/2005 para os parâmetros utilizados neste trabalho.

Tabela 3 - Limites dos parâmetros de qualidade de água segundo Resolução CONAMA 357/2005 e suas atualizações.

Parâmetro	Unidade	Classe CONAMA 357/2005			
		Especial (I)	II	III	IV
Temperatura	°C	<40	<40	<40	<40
Fósforo Total (P)	mg/L P	< 0,020	< 0,030	< 0,050	Sem limite**
Cor Verdadeira	mg Pt/L	Natural	Natural	75	Sem limite**
Ferro Total	mg/L	0,3	0,3	5,0	-
Sólidos Totais	mg/L	500	500	500	500
Sólidos Suspensos Voláteis	mg/L	-	-	-	-
Sólidos Suspensos Fixos	mg/L	-	-	-	-
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	-	-	-	-
Sólidos Totais Voláteis	mg/L	-	-	-	-
Sólidos Totais Fixos	mg/L	-	-	-	-
Nitrogênio Amoniacal Total Kjeldahl	p/ pH<7,5	mg/L N	< 3,7	< 13,3	Sem limite**
	p/ 7,5<pH<8,0	mg/L N	< 2,0	< 5,6	Sem limite**
	p/ 8,0<pH<8,5	mg/L N	< 1,0	< 2,2	Sem limite**
	p/ pH>8,5	mg/L N	< 0,5	< 1,0	Sem limite**
DQO	mg/L O ₂	< 3,0	< 5,0	< 10,0	Sem limite**
OD	mg/L O ₂	> 6,0	> 5,0	> 4,0	> 2,0
Turbidez	UNT	< 40	< 100	< 100	Sem limite**
pH	---	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0
Coliformes Totais	# /100 ml	< 200	< 1000	< 2500	Sem limite**
Coliformes Fecais	# /100 ml	< 100*	< 500*	< 1000*	Sem limite**
Óleos e Graxas	mg/L	virtualmente ausentes	virtualmente ausentes	virtualmente ausentes	toleram-se iridescências

* Valores adotados (estimados, por não estarem definidos pela resolução CONAMA 357/2005).

** = valor mínimo para o parâmetro.

4.3 Metodologia Para Escolha dos Parâmetros Avaliados

As diferentes formas de aporte tornam, na prática, inexequível a análise sistemática de todos os poluentes que possam estar presentes nas águas superficiais. Deste modo, a escolha dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos indicativos para avaliar o índice de qualidade de água do escoamento superficial urbano (IQApd) foi realizada por meio de consultas via correio eletrônico, no qual foi solicitado aos especialistas (professores doutores e profissionais) com notório conhecimento na área elegerem, entre várias dezenas de elementos, quais eram os mais representativos para criar o índice de qualidade de água para o escoamento superficial urbano. Após a compilação minuciosa dos dados recebidos, os parâmetros mais representativos escolhidos foram:

✓ Parâmetros Físicos: coloração, série de resíduos (filtrável, não filtrável, fixo e volátil), temperatura e turbidez;

✓ Parâmetros Químicos: carbono orgânico dissolvido, demanda química de oxigênio (DQO), ferro total, fósforo total, oxigênio dissolvido, óleos e graxas, pH, série de nitrogênio (Kjeldahl, amoniacal, nitrato e nitrito);

✓ Parâmetros Microbiológicos: coliformes fecais, coliformes totais.

4.4 Metodologia para Cálculo do Índice de Qualidade de Água do Escoamento Superficial Urbano (IQApd)

Na elaboração do IQA, foram utilizados parâmetros que refletiam a contaminação dos corpos hídricos poluídos, principalmente pelo lançamento de esgoto doméstico. Esse índice foi criado com o intuito de possibilitar o controle das águas que tinham como principal finalidade o abastecimento público.

A utilização de poucos parâmetros de qualidade de água pode, por um lado, facilitar o estabelecimento

de um índice de fácil determinação, mas, por outro, pode ser insuficiente para garantir uma correta avaliação da real condição da água analisada.

Existe, em muitos casos, a disponibilidade de um número maior de parâmetros para a análise da qualidade, mas somente poucos entram no cálculo do IQA. Dessa forma, este trabalho apresenta uma metodologia que permita a incorporação de outros parâmetros, quando disponíveis, ou a substituição quando um ou mais desses parâmetros, que são utilizados na composição do IQA, não estejam disponíveis.

Os parâmetros de qualidade de água podem ser entendidos como indicadores de qualidade, mas que isoladamente não informam necessariamente a qualidade da água. Uma avaliação de um grupo de parâmetros, expressos em um número, pode facilitar a classificação da qualidade da água. Observa-se que a classificação aqui obtida não terá relação com o enquadramento da Classe para os usos preponderantes, mas simplesmente para identificação do grau de degradação da qualidade das águas do escoamento superficial urbano.

A metodologia aplicada para o equacionamento do método da Teoria dos Jogos Cooperativos (CGT – Cooperative Game Theory), ou seja, aquele utilizado como equacionamento do IQA originalmente proposto pela CETESB em 1976, foi analisada conjuntamente com as Classes definidas pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces. Essa inclusão serve para balizar os resultados da qualidade da água de pontos amostrados.

Segundo Zuffo e Genovez (2006), os pesos utilizados para cada um dos critérios devem ser relativizados e recalculados com a inclusão de novo(s) ou exclusão de algum(s) parâmetro(s). Dessa forma, os pesos de todos os critérios somados devem ser iguais à unidade, ou seja, devem ser padronizados. Dessa forma, com a inclusão de novo(s) parâmetro(s) ou a subtração de outro(s), os valores resultantes desse índice não corresponderão mais

aos valores globais que representam as classes de qualidade de água definidas pela Cetesb, como ilustrados na Tabela 1. Por essa razão torna-se necessária a inclusão das Classes I, II, III e IV da Resolução CONAMA 357/2005 nesta análise.

A função de distância utilizada nesse método é fornecida pela Eq. 3:

$$l_S = \prod_{i=1}^n |f_i(x) - f_{i,w}|^{\alpha_i} \quad (3)$$

Em que:

α_i = são os pesos atribuídos a cada um dos parâmetros;

$f_{i,w}$ = é o pior valor obtido para o parâmetro i ;

$f_i(x)$ = é o valor do parâmetro i na posição x .

Segundo Zuffo (1998), os métodos multicriteriais baseados na distância são aqueles que definem uma distância mínima entre a alternativa avaliada com uma “Solução Ideal”, ou uma distância máxima de uma solução “Status Quo”.

No caso da “Solução Ideal”, quanto menor for a distância da alternativa avaliada, mais próxima estará da solução ideal. Já no caso da solução “Status Quo” (aquela solução que engloba os piores desempenhos em todos os critérios), quanto maior a distância de uma solução, essa seria logicamente a solução de melhor compromisso, pois se está mais distante da pior solução, e pode ser entendido que está mais próxima da melhor solução (Zuffo et al., 2002).

5 RESULTADOS SOBRE O MÉTODO DA TEORIA DOS JOGOS COOPERATIVOS

A Fig. 4 apresenta as funções de valores para os parâmetros utilizados neste estudo. Para sua obtenção foram utilizados os valores preestabelecidos pela Cetesb, quando os parâmetros de qualidade de água correspondiam a um dos nove já utilizados pelo IQA, ou foram novamente definidos ba-

seados nas recomendações da Resolução Conama 357/2005 conforme os valores apresentados na Tabela 3, quando não definidos pela Cetesb.

Após a escolha dos elementos, foi realizada nova pesquisa com os especialistas (professores doutores e profissionais com notório conhecimento) por meio de correio eletrônico, com a finalidade de obter a opinião técnica desses profissionais quanto aos valores dos pesos relativos de cada um dos indicadores de qualidade adotados. Esses pesos são importantes para definir uma métrica a ser empregada para definir o grau de poluição das águas do escoamento superficial urbano e desse modo permitir a classificação dessas águas.

A Tabela 4 explana a solicitação realizada para obtenção dos valores dos pesos aos profissionais que avaliaram individualmente cada um dos parâmetros escolhidos, sendo que, após o recebimento de todas as Tabelas preenchidas, como poderá ser observado um exemplo desta preenchida na Tabela 5, os seus valores foram compilados e os resultados finais foram apresentados na Tabela 6.

Tabela 4 - Tabela comparativa para obtenção dos pesos utilizados no cálculo do valor do IQApd.

Tabela comparativa dos valores para atribuição do novo IQA Modificado Enviada para Preenchimento				
Nome	Peso Atribuído (w)	Valor Atribuído	Parâmetro De Qualidade Da Água	Peso (w)
Temperatura		<	Oxigênio dissolvido	0,17
Temperatura		<	Coliformes termotolerantes	0,15
Temperatura		<	Potencial hidrogeniônico - pH	0,12
Temperatura		<	Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO _{5,20}	0,1
Temperatura		<	Temperatura da água	0,1
Temperatura		<	Nitrogênio total	0,1
Temperatura		<	Fósforo total	0,1
Temperatura		<	Turbidez	0,08
Temperatura		<	Resíduo total	0,08
Σ		0,000	Σ	1
Peso Atribuído (w) 14 elementos		#DIV/0!		

Tabela 5 - Tabela comparativa preenchida para obtenção dos pesos utilizados no cálculo do valor do IQApd.

Tabela comparativa dos valores para atribuição do novo IQA Modificado Preenchida				
Nome	Peso Atribuído (w)	Valor Atribuído	Parâmetro De Qualidade Da Água	Peso (w)
Temperatura	0,075	<	Oxigênio dissolvido	0,17
Temperatura	0,070	<	Coliformes termotolerantes	0,15
Temperatura	0,070	<	Potencial hidrogeniônico - pH	0,12
Temperatura	0,065	<	Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO _{5,20}	0,1
Temperatura	0,100	=	Temperatura da água	0,1
Temperatura	0,075	<	Nitrogênio total	0,1
Temperatura	0,080	<	Fósforo total	0,1
Temperatura	0,055	<	Turbidez	0,08
Temperatura	0,085	>	Resíduo total	0,08
Σ	0,675	0,075	Σ	1
Peso Atribuído (w) 14 elementos		1,000		

Tabela 6 - Peso atribuído para os parâmetros de qualidade de água, utilizados neste estudo.

Nome	Peso Atribuído (w)
E. Coli	0,110
Coliformes Totais	0,115
Cor Aparente	0,015
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	0,075
Ferro Total	0,030
Nitrogênio Total Kjeldahl	0,075
Oxigênio Dissolvido	0,130
Óleos e Graxas	0,060
Fósforo Total	0,075
pH	0,090
Sólidos Suspensos Totais	0,030
Sólidos Totais	0,060
Temperatura	0,075
Turbidez	0,060

A Fig. 4 apresenta as curvas médias de variação de qualidade em funções de valores para cada um dos parâmetros de qualidade de água de escoamento superficial urbano (IQApd) avaliados neste estudo.

Figura 4 - Funções de valor para os parâmetros de qualidade de água utilizados neste estudo.

O método multicriterial CGT foi utilizado para estabelecer um indicador que representasse a variação da qualidade da água temporalmente. A metodologia foi adotada para possibilitar a classificação da qualidade das águas em locais onde há carência ou fatura desses parâmetros, utilizados ou não em indicadores de qualidade de água oficiais.

Os valores das funções preestabelecidas no cálculo do IQA foram aplicados aos parâmetros, obtendo-se os valores com sua respectiva análise multicriterial para a indicação dos padrões da qualidade das águas estimada pelo método CGT. Assim, verifica-se nos resultados que um único parâmetro com nota baixa é responsável pela redução do valor global de toda a amostra, o que é mais coerente com o tipo de análise a que se propõe.

Espera-se que o método CGT, utilizado pela Cetesb, cujo arcabouço corresponde a um produtório, seja eficiente para esse tipo de análise. A incorporação de novos parâmetros na análise juntamente com a comparação dos limites das classes segundo a norma oficial (Conama) também deve ser viável. A utilização dos limites inferiores das classes padrão definidas pelas agências como alternativas analisáveis possibilitará estabelecer em qual classe a amostra de água avaliada está inserida.

Ressalta-se que essa metodologia não tem o objetivo de enquadramento de cursos d'água, mas sim o de localizar um grau de poluição das águas em uma métrica já utilizada pela Cetesb para o controle de poluição difusa. Dessa forma, essa metodologia ampliada possibilita um acompanhamento do "grau" de poluição dos cursos d'água durante a ocorrência de eventos pluviosos.

6 CONCLUSÕES SOBRE O ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL URBANO (IQAPD)

O trabalho de caracterização das condições de qualidade da água do escoamento superficial e

da estimativa das cargas poluidoras na bacia do ribeirão Anhumas, nos períodos seco (de abril a setembro) e chuvoso (outubro a março), irá conceituar bem a necessidade do conhecimento da avaliação de um corpo hídrico em uma área urbana sob diferentes condições hidrológicas.

Por meio da aplicação do IQAPd será possível observar que as águas das precipitações poderão enquadrar-se em 5 classes diferentes, de péssimas a ótimas, salientando que na bacia estudada não existiu uma visão preservacionista dos recursos naturais durante seu desenvolvimento, sendo a tônica a ocupação desordenada dos solos, inclusive das áreas de proteção dos mananciais, em favor da expansão urbanística.

O IQAPd tem como principal objetivo traduzir os parâmetros de qualidade de um determinado evento pluvioso em nota de classificação, de modo a facilitar a comunicação com o público não técnico. Mostra-se como uma importante ferramenta para a avaliação da qualidade de água de escoamento superficial; entretanto, cabe ressaltar que esse índice deve ser adotado como uma complementação às informações geradas por cada um dos parâmetros avaliados em conformidade com os padrões de qualidade determinados pelas legislações específicas. Vale salientar ainda que as análises isoladas das variáveis que compõem o IQAPd não são suficientes para uma boa análise desta água, já que as oscilações dessas variáveis são compensadas umas às outras, mantendo o índice estável. Desse modo, espera-se a definição de um valor de referência, o qual indicará a qualidade da água do escoamento superficial em um determinado momento durante o evento. Os valores apontados nas análises devem corresponder veementemente àqueles cuja hipótese indicaria possíveis valores que refletissem a condição real dessas águas.

Portanto, o cálculo do IQApd, além de fornecer resultados de fácil interpretação, representará bem a qualidade das águas de escoamento pluvial do ribeirão Anhumas. Assim, poder-se-á avaliar que a intensidade, a duração e a precipitação total proporcionam um impacto marcante na qualidade e quantidade de poluentes presentes no corpo receptor (Rio Atibaia), promovido pelo escoamento superficial das águas de chuva.

7 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Todos os autores contribuíram de forma igualitária.

8 REFERÊNCIAS

- AHYERRE, M., CHEBBO, G., TASSIN, B., et al., 1998, "Storm Water Quality Modeling: An Ambitious Objective?", **Water Sci. Technol.**, v. 37, n. 1, 205.
- ALCÂNTARA, D. e SCHUELER, A.; Gestão das águas e sustentabilidade: desafios globais e respostas locais a partir do caso de Seropédica, na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. **Cadernos Metrópole / Observatório das Metrópoles – São Paulo: EDUC, v. 17, n. 33, p. 109-126 maio 2015.**
- ALLAN, J. D. (2004). Landscapes and riverscapes: the influence of land use on stream ecosystems. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 35, p. 257-284.
- ANA (Agência Nacional das Águas). **Portal da Qualidade das Águas**. Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/default.aspx> - Acesso em 24 de julho de 2018. 2016.
- BARCO, O. J.(2003) Quantitative and qualitative analysis of storm water runoff in an urban experimental catchment. In: **World Wide Workshop for Young Environmental Scientists**, 2, 2003, France. Anais...France: WWW-YES, 2003.10p.
- BILLEN, G.; GARNIER, J.; HANSET, P. Modelling phytoplankton development in whole drainage networks: the Riverstrahler Model applied to the Siene river system. **Hydrobiol.**, v. 289, p. 119-137, 1994.
- CHANG, H. ; THIERS, P.; NETUSIL, N.R.; YEAKLEY, J.A.; ROLLWAGEN-BOLLENS, G. ; BOLLENS, S. M. ; SINGH, S. Relationships between environmental governance and water quality in a growing metropolitan area of the Pacific Northwest, USA, **Hydrology and Earth System Sciences**, 18, 1383-1395, doi:10.5194/hess-18-1383-2014, 2014.
- CHOE, J. S.; BANG, K.W.; LEE, J.H. Characterization of Surface Runoff in Urban Areas. **Water Science and Technology**, v.45, n. 9, p. 249-254, 2002.
- CONAMA. Resolução **CONAMA** N° 20 (substituída pela CONAMA N° 357/05), de 18 de junho de 1986.
- CONAMA (2009). RESOLUÇÃO **CONAMA** N° 410/2009 DE 04 DE MAIO DE 2009.
- CONAMA (2011). RESOLUÇÃO **CONAMA** N° 430/2011 DE 13 DE MAIO DE 2011.
- DE LUCA, S.J.; MILANO, L.B.; IDE, C.N. Rain and urban stormwater quality. **Wat. Sci. Tech.** Kyoto, v.23, pp.133-140, 1991.
- DELETIC, A. The First Flush Load of Urban Surface Runoff. **Water Resource**. v. 32, n. 8, p. 2462-2470, 1998.
- DRISCOLL, E .D.; SHELLEY, P .E.; E.W. STRECKER, 1990, "Pollutant Loadings and Impacts from Stormwater Runoff", Volume III: Analytical Investigation and Research Report. FHWA-RD-88-008, **Federal Highway Administration**.
- DUDA, A.M.; D.R., LENAT, D., PENROSE, 1982, "Water quality in urban streams - what we can expect", **J. Water Pollut. Control Fed.**, v. 54, n. 7, pp. 1139-1147, July
- DUPASA, R.; DELMASC, M.; DORIOZD, J. M.; GARNIERE, J.; MOATARF, F.; GASCUEL-ODOUXA, C. (2015). Assessing the impact of agricultural pressures on N and P loads and eutrophication risk. **Ecological Indicators**, v. 48, p. 396-407.
- EPA, 1983, Results of the Nationwide Urban Runoff Program NURP. **Water Planning Division**, PB 84-185552 - Washington, D.C. December.
- FIA, R.; TADEU, H. C.; MENEZES, J. P. C.; FIA, F. R. L.; OLIVEIRA, L. F. C. (2015). Qualidade da água de um ecossistema lótico urbano. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 1.
- FRAGA, Micael de Souza. **Modelagem da qualidade da água do rio Piracicaba visando à avaliação de sua capacidade de auto-depuração**. 2015.
- GOMES, L. A.; CHAUDHRY, F.H. Aspectos qualitativos das águas pluviais urbanas. In: Congresso Brasileiro De Engenharia Sanitária E Ambiental, 11, 1981, Fortaleza. **Anais...**
- GRILLO, Newton. **Uma avaliação ambiental de alguns processos industriais nos municípios de Paulínia, Americana, Limeira e Piracicaba**. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica. Campinas: 2003. Orientador: Arsênio Oswaldo Sevá Filho.
- GUERREIRO, Elaine Maria Bessa Rebello. **Critérios de Uso e Ocupação do Solo em Bacias Hidrográficas Visando a Proteção dos Corpos D'Água**. 141p. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 1996.

- IDE, C. N. **Qualidade da drenagem pluvial urbana**. Porto Alegre, 1984. 137p. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos) – IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- JACOBSEN, T.H.; VOLLERTSEN, J.; NIELSEN, A.H. (2010). **Urban and Highway Stormwater Pollution - Concepts and Engineering**. Denmark: Taylor and Francis Group, LLC, 334p.
- KANG, J. H.; LEE, S. W.; CHO, K. H.; KI, S. J.; CHA, S. M.; KIM, J. H. (2010). Linking land-use type and stream water quality using spatial data of fecal indicator bacteria and heavy metals in the Yeongsan river basin. **Water Research**, v. 44, p. 4.143-4.157.
- KANG, J. H.; KAYHANIAN, M.; STENSTROM, M.K.; Predicting the existence of stormwater first flush from the time of concentration. **Water Research**, n. 42, p.220-228. May. 2007.
- LI, S.; GU, S.; TAN, X.; ZHANG, Q. (2009). Water quality in the upper Han River basin, China: the impacts of land use/land cover in riparian buffer zone. **Journal of Hazardous Materials**, v.165, p. 317-324.
- LINE, D. E.; WHITE, N. M.; OSMOND, D. L.; JENNINGS, G. D.; MOJONNIER, C. B. Pollutant Export from Various Land Uses in the Upper Neuse River Basin. **Water Environment Research**, v. 74, n. 1, p. 100-108, 2002.
- LOVE, E., WOOLLEY, B., 1999, Environmentally Sustainable Stormwater Quality. In: **Proceeding the Eighth International Conference on Urban Storm Drainage**. August 30. September 3, 1999, Sydney, Australia. (Eds) IB Jolliffe and JE Ball. The Institution of Engineers Australia, IAHR/IAWQ, 50.
- MARTÍNEZ, Leidy Luz García. **Distribuição de poluição difusa por sedimentos urbanos em áreas impermeáveis em Porto Alegre**. 2010. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
- MATOS, J.S.; DAVID, L.M.; PAVÃO, L. Qualidade de escoamentos pluviais em zonas urbanas e impacto em meios receptores. In: Simpósio Luso-Brasileiro De Engenharia Sanitária E Ambiental, 8, 1998, João Pessoa. Anais. Rio de Janeiro: ABES, 1998, v.2, p.334-347. **Anais...**
- MENEZES, J. P. C.; BERTOSSI, A. P. A.; SANTOS, A. R.; NEVES, M. A. (2014). Correlation between land use and groundwater quality. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 19. p. 173-186.
- MENEZES, João Paulo Cunha. Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. **Eng. sanit. ambient**, v. 21, n. 3, p. 519-534, 2016.
- MEYBECK, M.; HELMER R. An introduction to water quality. In: CHAPMAN, D. (1992) **Water quality assessment**. Cambridge, University Press. 585p.
- PARKINSON, J., MILOGRANA, J., CAMPOS, L.C., et al., 2003, Relatório do Workshop - Drenagem Urbana Sustentável, Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, **Water Engineering and Development Centre**, Loughborough University, Reino Unido, 24 pp.
- PAOLETTI, A.; SANFILIPPO, U.; BECCIU, G. (2011). Critical Rainfall Events in Terms of Runoff Pollution Risk. In: International Conference on Urban Drainage, 12, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: I-CUD. CD-ROM.
- PAULETTI, L. I.; SIQUEIRA, E. Q. (2011). Acúmulo e carreamento de metais nas águas de drenagem urbana de Goiânia. In: Reunião Anual da SBPC, 10 a 15 de julho, UFG, Goiânia, GO, 63. **Anais...** Goiânia: SBPC. CD-ROM. **Anais...**
- PEREIRA JUNIOR, José Arimathea. **Estudo da acumulação e caracterização de sedimentos em sarjetas de vias urbanas**. 2014.
- PITT, R., J., MCLEAN, 1986, **Humber River Pilot Watershed Project**, Toronto, Canada.
- PITT, ROBERT et al. **The National Stormwater Quality Database** (NSQD, version 1.1). University of Alabama, Department of Civil and Environmental Engineering, 16 de fevereiro de 2004.
- PORTO, M. & MASINI, L.S. Avaliação Preliminar na Carga Difusa na Bacia do Rio Cabuçu de Baixo. In: I Seminário De Drenagem Urbana Do Mercosul, Porto Alegre, 2001. **Anais...**
- PORTO, MONICA F. A. Aspectos qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas. In: **Drenagem Urbana**, ABRH: 1995, 1ª ed. 428p. ISBN 85-7025-364-8
- PRODANOFF, J. H. A., 2005. **Avaliação da Poluição Difusa Gerada por Enxurradas em Meio Urbano**. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, Brasil.
- RAND, G. M., PETROCELLI, S. R. **Fundamentals of aquatic toxicology: methods and application**. London, Hemisphere Publishing Corporation, 1985.
- RASMUSSEN, PP. (1998). Concentrations, loads, and yields of selected water-quality constituents during low flow and storm runoff from three watersheds at Fort Leavenworth, Kansas, May 1994 through September 1996. **US Geological Survey of Water Resources Investigation Report** 98-4001.
- REBOUÇAS, A. C. Água Doce no Mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação**. São Paulo, Ed. Escrituras, 1999. Cap. 1, g. 12-21.
- RICHARDS, L. A água e o debate da densidade. In: FARR, Douglas. **Urbanismo Sustentável: Desenho urbano com a natureza**. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- ROBERTO, M. M. **Avaliação de recursos hídricos sob a influência de atividades de uma indústria do petróleo, por meio de análises ecotoxicológicas integradas a parâmetros ambientais**. 2014, 165p. Tese (Doutorado em Biologia Celular e Molecular). Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências - Rio Claro / SP, 2014.

SARUKKALIGE, R. (2012). Management of Storm Water Quality in Urban Areas. In: **International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)**. Volume-1, Issue-6, August.

SCHUELER, Adriana; SANTOS, Filipe Vieira Fernandes; SANTOS, Vinicius Perrut. Contaminação dos Rios Urbanos. **Cadernos de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo**, v. 15, n. 1, p. 18, 2016.

SILVA, Gilberto. **Avaliação do estado de degradação e capacidade de suporte da Bacia do Rio Atibaia – Região de Campinas/ Paulínia-SP**. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química. Campinas: 2004. Orientador: Wilson de Figueiredo Jardim.

SILVA, J. B. (2010). **Qualidade da drenagem pluvial urbana da bacia do Córrego Cabaça. Campo Grande, MS**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, UFMS.

SNIS. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2015**. Sistema Nacional De Informações Sobre Saneamento, 2016. Extraído em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2015>.

TSIHRINTZIS, V. A., HAMID, R., 1997, “Modeling and Management of Urban Stormwater Runoff Quality: A Review”, **Water Resources Management**, 11, 137–164.

TUNDISI, J. G. Limnologia de represas artificiais. **Boletim de hidráulica e saneamento**. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1986, v.11, 46p.

WALESH, S. G., 1989, **Urban Surface Water Management**, New York, John Wiley & Sons.

WU, J.S.; ALLAN, C.J.; SAUNDERS, W.L. et al. Characterization and Pollutant Loading Estimation for Highway Runoff. **Journal of Environmental Engineering**. v. 124, n.7, p. 584-592, 1998.

ZUFFO, A. C. (1998) – **Seleção e aplicação de métodos multicriteriais ao planejamento ambiental de recursos hídricos**. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 301 p.

ZUFFO, A. C. et al. (2002). “Aplicação de métodos multicriteriais ao planejamento de recursos hídricos”. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Vol. 7, No. 1.

ZUFFO, A.C., GENOVEZ, A.M. Método Multicriterial Utilizado Como Indicador da Qualidade de Água. Xxii Congresso Latinoamericano De Hidráulica, Ciudad de Guavana, 2006. **Anais...**