



Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Geografia - UFPR

PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO RÁPIDA: UMA PROPOSTA PARA RIOS URBANOS

RAPID BIOASSESSMENT PROTOCOL: A PROPOSAL FOR URBAN RIVERS

(Recebido em 30-04-2018; Aceito em: 29-07-2019)

Janaina Cassia Campos

Pós-graduada em Análise Ambiental pela Universidade Federal do Paraná
Laboratorista na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
janaccampos@gmail.com

João Carlos Nucci

Doutor em Geografia pela Universidade de São Paulo
Professor do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Paraná
jcnucci@gmail.com

Resumo

Não há contestação para o fato de que as ações antrópicas alteram a natureza, mas há muito ainda para compreender sobre os efeitos dessas ações. Os espaços urbanos ultrapassam, em sua maioria, a resiliência do meio em que estão inseridos, gerando impactos ambientais negativos irreversíveis. Entender como o ambiente reage às alterações antrópicas, bem como suas aptidões e limitações, é fundamental para o planejamento e gestão territorial urbana. Assim, o objetivo aqui é apresentar de forma detalhada os critérios que compõe o Protocolo de Avaliação Rápida de Rios (PAR) adaptado, além de uma proposta de representação cartográfica destes critérios e parâmetros e ainda os resultados de sua aplicação no Rio Palmital, localizado na Região Metropolitana de Curitiba (PR). Sobre a análise da paisagem, os resultados demonstram que existe um declínio na qualidade geral do rio de montante para jusante, embora não seja constante. Sobre a análise do método, foram observadas algumas inconsistências entre os critérios e parâmetros propostos e o observado em campo, informações estas importantes para o aprimoramento do mesmo (método), que se dá em um movimento de síntese para análise e de análise para síntese dos dados. O PAR, quando adequados ao contexto de estudo, é uma ferramenta de fácil entendimento e aplicação, que pode ser utilizada por órgãos governamentais, tanto ambientais quanto de planejamento, e pela sociedade em geral, promovendo a participação social de forma ativa sobre a governança da água, em áreas urbanas ou não.

Palavras chave: Qualidade da água; Monitoramento ambiental; Ecologia Urbana.

Abstract

There is no objection for the fact that anthropic actions change Nature, but there is a lot to be understood about those actions' effects. Urban spaces, in their vast majority, go well beyond the resilience of the environment they are inserted in, generating irreversible negative environment impacts. For territorial planning and management, it is fundamental to understand how the landscape reacts to anthropic changes, as well as its aptitudes and limitations. Thus, the objective here is to present the criteria that compose the adapted Rapid Bioassessment Protocol (RPB), as it is also to present a proposal of cartographic representation of these criteria and parameters and the results of its application in the Palmital River, located in the Metropolitan Region of Curitiba, Paraná State – Brazil. On the landscape analysis, the results show that there is a decline in the overall quality of the river, from upstream to downstream, although it is not constant. Regarding the method, some inconsistencies have been observed between proposed criteria and parameters and what has been observed in the field, which are important information for its improvement, that occurs in a movement from the data synthesis to the analysis and from analysis to the data synthesis. When appropriate to the study context, RPB is easy to understand and apply and can be used by environmental and planning governmental agencies or by society in general, promoting active social participation on the water governance, in urban areas or not.

Key words: *Water quality; Environmental monitoring; Urban Ecology.*

Introdução

A Constituição Federal, instrumento de hierarquia máxima que regula as normas nacionais, traz em seu Art. 225 que “todos tem direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para a presente e futuras gerações” (BRASIL, 1988, p. 131). No Estatuto da Cidade, Art. 2º, Inc. VI, alínea g e Inc. XII, encontra-se como um dos objetivos da política urbana o ordenamento do uso do solo de forma a se evitar a poluição e a degradação ambiental; além da proteção, preservação e recuperação do meio ambiente natural, entre outros (BRASIL, 2001).

Apesar disso, observa-se que o ambiente urbano está cada vez mais impregnado com a presença e a atuação do ser humano, sendo que, a forma de ocupação, principalmente os processos de urbanização e industrialização, geralmente, resulta em quadros negativos para a qualidade ambiental (MONTEIRO, 1986).

O uso que se faz do solo e a cobertura nele apresentada, influenciam diretamente e, geralmente, de modo negativo na qualidade ambiental urbana, atuando, por exemplo, sobre os corpos hídricos, a fauna, a flora e o clima (FERREIRA, 2015). Estêvez e Nucci (2015) salientam que as avaliações realizadas sobre a qualidade ambiental urbana possibilitam a tomada de decisões para o planejamento e a gestão e buscam diminuir ou mesmo evitar os impactos causados por ações antrópicas sobre o ambiente urbano.

No caso dos rios urbanos, Saraiva (1999, p. 1) coloca que são “o elemento linear visível que reflete os processos naturais e antrópicos que ocorrem na área de sua influência de escoamento”. Os

corpos d'água apresentam concentrações naturais de componentes químicos e biológicos e de sedimentos que estão relacionadas com as características fisiográficas da bacia hidrográfica. A alteração, direta ou indireta, das águas no meio urbano, pela adição de substâncias ou de formas de energia, prejudicando os legítimos usos que dela são feitos, é entendida como poluição e suas fontes, usualmente, estão divididas em pontual e difusa, referindo-se à forma como adentram o corpo d'água (VON SPERLING, 2005). A forma como as cargas difusas afluem aos cursos d'água torna difícil a identificação precisa de seu ponto de entrada no sistema hídrico, por isso o controle dessa poluição deve incluir ações de planejamento sobre a área geradora (APRÍGIO, 2012; HAUPT, 2009; PORTO, 1995).

Muitos estudos apontam para a relação entre a poluição das águas e o uso e cobertura da terra da bacia de drenagem, no entanto, estabelecer padrões nessa relação tem se mostrado uma tarefa bastante difícil devido à complexidade desses processos. A começar pelo fato de que a qualidade da água é avaliada por meio de parâmetros físicos, químicos e biológicos, os quais apresentam três características que dificultam a análise: (i) multivariáveis - são muitas variáveis a serem analisadas por ponto; (ii) frequência temporal da amostragem - observações esporádicas em intervalos de tempo irregulares, séries de dados com muitos intervalos, valores falhados e longos intervalos sem observações, além do período de observações normalmente muito curto; (iii) representação espacial - variáveis diferentes são monitoradas em locais diferentes (RIGO, 2005).

O diálogo com o real em sua complexidade reconhece os acontecimentos, ações, interações, retroações, determinações e acasos decorrentes da relação dos diversos constituintes do nosso mundo fenomênico (MORIN, 2011). Tais relações podem ser assimiladas dentro de uma perspectiva holística e integradora dos componentes e processos da paisagem, derivada e fundamentada no paradigma sistêmico.

O pensamento sistêmico despontou com os trabalhos de Ludwig von Bertalanffy sobre a Teoria Geral dos Sistemas e ganhou força na área científica no final dos anos 60 e início dos anos 70, passando a ser utilizada como referencial teórico para muitos estudos. A multidisciplinaridade inerente é uma das características-chave da abordagem sistêmica, assim como várias mudanças de perspectiva: das partes para o todo; de objetos para relações; de medição para mapeamento; de quantidades para qualidades; de estruturas para processos; da ciência objetiva para epistêmica; da certeza cartesiana ao conhecimento aproximado (CAPRA e LUISI, 2014, p. 113-116).

A determinação estática da qualidade da água contraria a análise integrada dos ecossistemas aquáticos, a qual, segundo Rodrigues (2009, p. 8), "deve englobar, além das características intrínsecas

à determinação da qualidade da água, também aquelas que determinam a qualidade do meio, bem como a relação entre estas características”.

Um método de avaliação dos ecossistemas fluviais que avalia tanto a estrutura quanto o funcionamento dos ecossistemas fluviais é o Protocolo de Avaliação Rápida de Rios (PARs). Tais protocolos são baseados na observação da paisagem e permitem estabelecer uma pontuação para o estado em que o ambiente se encontra. Como as características dos corpos d'água mudam em função de fatores como clima, relevo, geologia e vegetação são necessárias adaptações nos PARs para aplicação em diferentes regiões e contextos (RODRIGUES, 2008). Diante disso, este estudo apresenta a proposta de um PAR adaptado para paisagens urbanas, bem como os resultados de sua aplicação no Rio Palmital, localizado na Região Metropolitana de Curitiba (PR).

Materiais e Métodos

O estudo foi desenvolvido em duas etapas, sendo que a primeira consistiu na adaptação do PAR para paisagens urbanas e a segunda na aplicação do PAR adaptado, para verificar a consistência dos critérios e parâmetros de base teórica com a realidade *in locu*.

A partir da revisão bibliográfica sobre os PARs aplicados no Brasil, foram eleitos dois protocolos-base para o estudo: (i) de Rodrigues e Castro (2008a), que tomaram como referência o trabalho de Barbour *et al.* (1999); e (ii) de Callisto *et al.* (2002), desenvolvido com base em outros dois protocolos propostos pela Agência de Proteção Ambiental de Ohio (EUA) (EPA, 1987¹) e por Hannaford *et al.* (1997).

Os critérios dos dois protocolos foram compatibilizados e selecionados de forma a atender recortes espaciais para estudos realizados em rios localizados em áreas urbanas. Novos critérios foram criados e os parâmetros indicativos das condições do rio foram adaptados para uma linguagem mais acessível ao público geral (sem formação técnica específica), sempre com a preocupação de não perder a qualidade da avaliação. As explicações sobre os processos atuantes em cada critério estão detalhadas nos resultados por fazerem parte da análise e escolha tanto dos critérios quanto dos parâmetros.

O PAR (Quadro 01), contém discriminados os critérios, com os respectivos parâmetros indicativos da condição do rio, classificada em boa, regular ou ruim. Cada uma destas condições recebeu uma pontuação: dez pontos foram atribuídos para a condição boa, cinco para a regular e nenhum para a ruim. A soma da pontuação resulta em uma escala de valoração de 0 a 120 pontos,

¹EPA (Environmental Protection Agency). **Biological criteria for the protection of aquatic life**. Division of Water Quality Monitoring and Assessment, Columbus, v.I-III, 1987.

subdividida em três classes de condição do rio: boa, de 80 a 120 pontos; regular, de 40 a 80 pontos; e ruim, de 0 a 40 pontos.

Quadro 01: Protocolo de Avaliação Rápida para rios urbanos (continua)

	CRITÉRIO	CONDIÇÃO DO RIO E PONTUAÇÃO		
		Boa (10 pontos)	Regular (5 pontos)	Ruim (0 pontos)
Margens	Estabilidade das margens (A e B)	Margens estáveis, ausência ou mínima evidência de erosão ou falhas.	Margens moderadamente estáveis, com erosões cicatrizadas.	Margens instáveis e muitas áreas erodidas. Erosão frequente ao longo da seção reta e nas curvas.
	Largura da mata ciliar	Maior que 30 metros.	-	Menor que 30 metros.
	Tipo de uso e ocupação predominante no entorno (A)	Mata ciliar em estágio médio/avançado de sucessão.	Agricultura com práticas de manejo e conservação dos solos.	Uso residencial, comercial, industrial ou mineração, agricultura sem práticas de conservação dos solos, solo exposto, pastagens.
Leito fluvial	Poluição pontual	Lançamento não perceptível de efluentes líquidos e resíduos sólidos no rio.	-	Pontos de lançamento de efluentes líquidos e de resíduos sólidos no rio.
	Alterações antrópicas na estrutura do rio (A)	Sem alterações no rio, como aterros, barragens e estabilização artificial das margens.	Pouca modificação presente no leito e nas margens.	Leito e margens bastante modificados.
	Deposição de sedimentos (A e B)	Feições deposicionais (ilhas ou barras) ausentes ou alargamento não perceptível.	Deposição moderada de cascalhos novos, areia ou sedimento fino, com pouca alteração nas feições deposicionais.	Elevada deposição de cascalhos novos, areia ou sedimento fino e aumento no desenvolvimento de feições deposicionais.
	Condições de escoamento do leito fluvial (A e B)	A água preenche todo o leito menor e há uma quantidade mínima de substratos expostos.	A água preenche parte do leito menor e a maioria dos substratos nas corridas estão expostos.	Pouquíssima água no leito menor, sendo a maioria de água parada em poços.
Coluna d'água	Odor na água (A)	Não perceptível.	-	Perceptível.
	Óleos, graxas e espumas na água (A)	Não perceptível.	-	Perceptível.
	Cor ou turbidez da água (A)	Não perceptível.	Levemente turva.	Turva, opaca ou colorida.

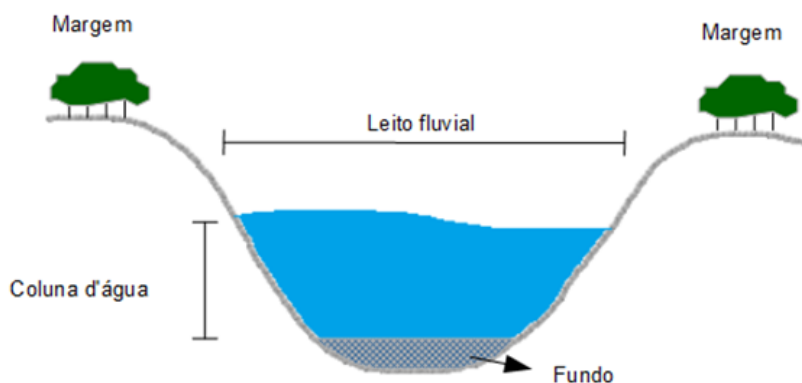
Quadro 01: Protocolo de Avaliação Rápida para rios urbanos (conclusão)

CRITÉRIO		CONDIÇÃO DO RIO E PONTUAÇÃO		
		Boa (10 pontos)	Regular (5 pontos)	Ruim (0 pontos)
Fundo	Substratos e/ou habitat disponíveis (A e B)	Vários tipos e tamanhos de substratos para a epifauna e abrigo para insetos, anfíbios ou peixes, tais como rochas, troncos, margens escavadas ou outros habitats estáveis.	Habitats estáveis mesclados. A velocidade da água não permite a estabilização dos substratos.	Habitats monótonos ou com pouca diversificação. Não há presença de galhos, cascalhos, seixos rolados ou vegetação aquática.
	Soterramento (A)	Fundo pouco ou nada coberto por sedimentos finos.	Cerca de metade do fundo coberto por sedimentos finos.	Quase todo o fundo é coberto por sedimentos finos.

Fonte: (A) Callisto *et al.* (2002) e (B) Rodrigues e Castro (2008a). Adaptação: os autores (2018).

Com o intuito de facilitar a observação e avaliação dos critérios, estes foram divididos em segmentos, com base no perfil transversal do rio, como mostra a Figura 01.

Figura 01: Perfil transversal do rio segmentado conforme o PAR



Fonte: os autores (2017).

Para a espacialização dos resultados, foi desenvolvido um esquema de representação catográfica, no qual foram atribuídos símbolos aos critérios e cores às condições de qualidade do rio, sendo que os critérios podem ser agrupados por segmento do perfil transversal do rio (Figura 01), antevendo problemas de sobreposição de informações. Os símbolos e cores estão demonstrados no Quadro 03.

Quadro 03: Representação cartográfica dos critérios do PAR e condição dos mesmos

CRITÉRIO	SÍMBOLO	SÍMBOLO AGRUPADO	SÍMBOLO EM CADA CONDIÇÃO		
			Boa	Regular	Ruim
Margens	Estabilidade das margens				
	Largura da mata ciliar				
	Tipo de uso e ocupação predominante no entorno				
Leito fluvial	Poluição pontual				
	Alterações antrópicas na estrutura do rio				
	Deposição de sedimentos				
	Condições de escoamento do leito fluvial				
Coluna d'água	Odor na água				
	Óleos, graxas e espumas na água				
	Cor ou turbidez da água				
Fundo	Substratos e/ou habitat disponíveis				
	Soterramento				

Fonte: os autores (2017).

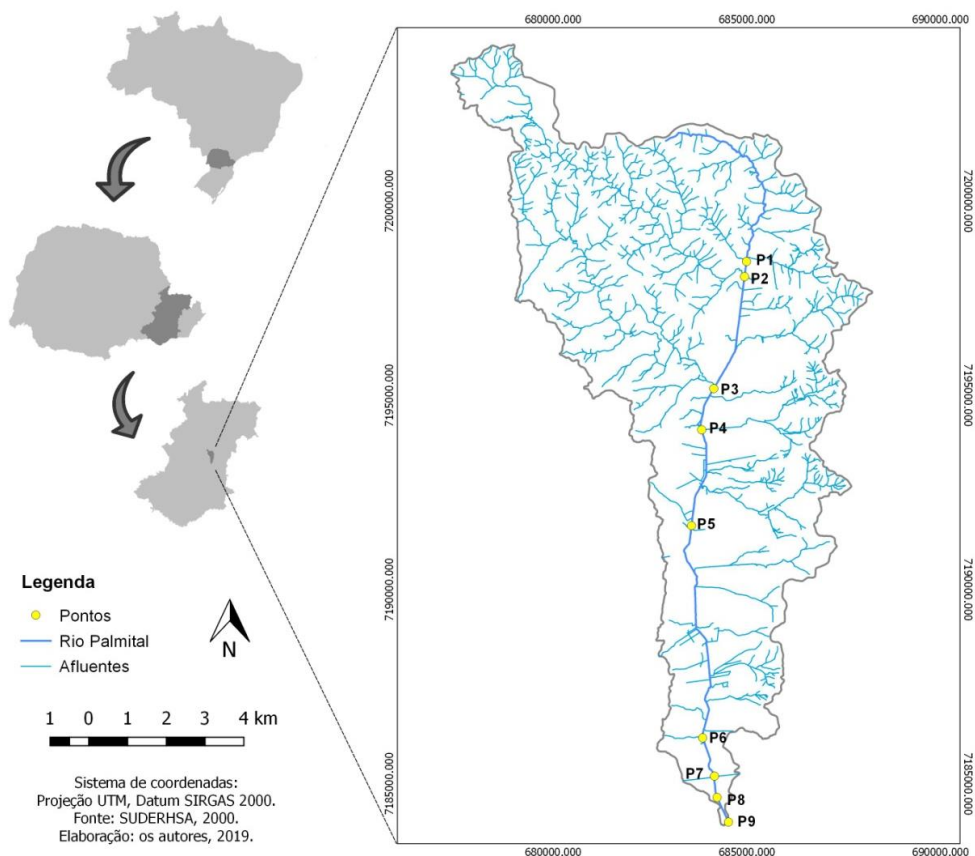
Para aplicação do PAR foi escolhido o Rio Palmital, cujas nascentes estão situadas no município de Colombo e foz no município de Pinhais, ambos na Região Metropolitana de Curitiba (RMC), no Estado do Paraná. O rio Palmital é afluente da margem direita do rio Iraí, que, por sua vez, é afluente da margem esquerda do rio Iguaçu. A confluência do rio Palmital com o rio Iraí ocorre à montante da captação de água bruta da Sanepar, neste rio, para adução à Estação de Tratamento de

ÁGUA (ETA) do Iguaçu e, dependendo do esquema operacional do sistema de captação de água bruta, a bacia do rio Palmital pode constituir manancial abastecedor da RMC (SUDERHSA, 2002).

O rio Palmital tem uma vazão de 372 l/s e sua bacia hidrográfica abrange uma extensão territorial de aproximadamente 95 km², na qual estão localizadas áreas densamente povoadas que influenciam na quantidade e qualidade da água do rio. As inundações em grandes áreas urbanizadas de ambos os municípios e as frequentes paralisações da ETA do Iguaçu devido às alterações da qualidade da água do rio Palmital pelo carreamento de esgotos sanitários e resíduos sólidos, levaram à construção do canal extravasor, por onde passaram a ser conduzidas as águas do rio Iraí até a captação do rio Iguaçu, desviando do rio Palmital (ANDREOLI, 1999 e SUDERHSA, 2002).

A aplicação do PAR ocorreu em nove pontos de observação ao longo do rio Palmital (Figura 02), selecionados a partir de imagem do Google Earth e observação *in locu* pautados nas diferentes paisagens e na acessibilidade. Os dois primeiros pontos fazem parte da área experimental da Embrapa Florestas, que demarca a transição entre áreas rural e urbana de Colombo. Os pontos 1 a 5 estão localizados no município de Colombo e os pontos 6 a 9, estão no município de Pinhais, sendo o ponto 9 a foz do rio Palmital.

Figura 02: Localização da área de estudo e dos pontos de observação



Fonte: os autores (2017).

Resultados e Discussões

A proposição dos critérios que compõe o PAR (Quadro 01) é o desfecho da primeira etapa deste estudo e foi pautada tanto na estrutura como nos processos dos ecossistemas fluviais, visando em seu conjunto apresentar um diagnóstico sobre a qualidade ambiental de rios urbanos. A importância e a função de cada um destes critérios, tanto para a qualidade quanto para a preservação dos ecossistemas aquáticos está detalhada neste item, conforme segue.

Estabilidade das margens: do ponto de vista geomorfológico, os sistemas fluviais são sistemas abertos, formados por todos os elementos e componentes do processo de erosão e deposição na paisagem fluvial que, embora possam ser fragmentados em subsistemas, devem ser considerados como um todo (SCHUMM, 1977² *apud* SARAIVA, 1999). Estes processos influenciam na forma e, conseqüentemente, nos padrões dos sistemas fluviais, como as condições de escoamento, por exemplo. As margens mais íngremes são mais suscetíveis à erosão do que as suavemente inclinadas e, portanto, são considerados instáveis; sinais de erosão incluem margens desmoronadas, raízes expostas e solo exposto (ausência vegetação) (BARBOUR *et al.*, 1999).

Os sistemas radiculares das plantas que crescem nas margens dos rios ajudam a manter a estabilidade do solo, evitando a erosão e deposição de sedimentos no sistema fluvial (BARBOUR *et al.*, 1999). De acordo com a Agência Nacional de Águas, mata ciliar é a denominação dada a esta vegetação que margeia os cursos d'água, situando-se em solos úmidos ou encharcados, sujeitos às inundações periódicas (ANA, 2015).

Largura da mata ciliar: As matas ciliares apresentam um conjunto de funções ecológicas importantes, além de intervir na erosão e deposição de sedimentos, reduzindo o assoreamento dos rios, elas atuam como um amortecedor para os poluentes que adentram o sistema fluvial pelo escoamento superficial, influenciam na regulação do regime hídrico, reduzindo a intensidade dos extremos de estiagem e inundação, bem como fornecem entrada de nutrientes no rio (BARBOUR *et al.*, 1999 e CASTRO *et. al.*, 2012,) e controlam o resfriamento interno e sombreamento, oferecendo melhores condições para peixes e macroinvertebrados do que as margens sem proteção vegetativa, principalmente em se tratando de vegetação nativa. E para fluxos de tamanho variável, a largura especificada de uma zona ripícola³ desejável também pode ser variável (BARBOUR *et al.*, 1999).

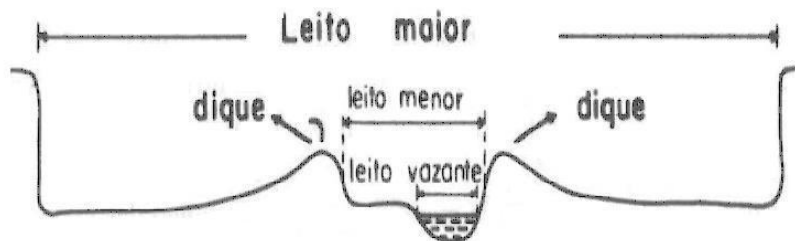
O Código Florestal Brasileiro, em seu Artigo 4º, estabelece a largura mínima de 30 metros, desde a borda da calha do leito menor (Figura 03), para as faixas marginais (Área de Preservação

² SCHUMM, S. A. **The fluvial system**. New York: John Wiley&Sons, 1977.

³Muitas são as denominações utilizadas para representar a vegetação ao longo dos cursos d'água. Embora neste trabalho tenha sido adotado o termo "mata ciliar", manteve-se o termo utilizado pelo autor citado.

Permanente - APP) de qualquer curso d'água natural também em zonas urbanas, aumentando gradativamente o valor da faixa conforme aumenta a largura do rio (BRASIL, 2012).

Figura 03: Os tipos de leitos fluviais



Fonte: Christofolletti (1980).

Não só a presença ou ausência de vegetação, mas também o tipo de formação vegetacional e o estado de conservação da mesma terão reflexo no ecossistema fluvial. Para Odum (1988), o desenvolvimento do ecossistema, ou sucessão ecológica, envolve mudança na estrutura de espécies e processos da comunidade ao longo do tempo e a sucessão que começa num local anteriormente ocupado por uma comunidade é denominada de vegetação secundária.

Os estágios de sucessão de vegetação no Paraná são determinados pela Resolução CONAMA Nº 002, de 18 de março de 1994 (CONAMA, 1994). Alguns critérios de diferenciação dos estágios de sucessão de vegetação secundária, e os respectivos parâmetros, estão apresentados no Quadro 02. Essas informações podem auxiliar na avaliação do parâmetro mata ciliar em estágio médio/avançado de sucessão como proposto no Quadro 01.

Quadro 02: Estágios de sucessão de vegetação secundária (Resolução CONAMA 002/94) (continua)

CRITÉRIO	ESTÁGIO		
	Inicial	Médio	Avançado
Fisionomia	Herbáceo/arbustiva.	Arbustiva e/ou arbórea	Arbórea dominante sobre as demais
Nº de estratos (diferentes faixas de altura da vegetação)	1	1 – 2	> 2

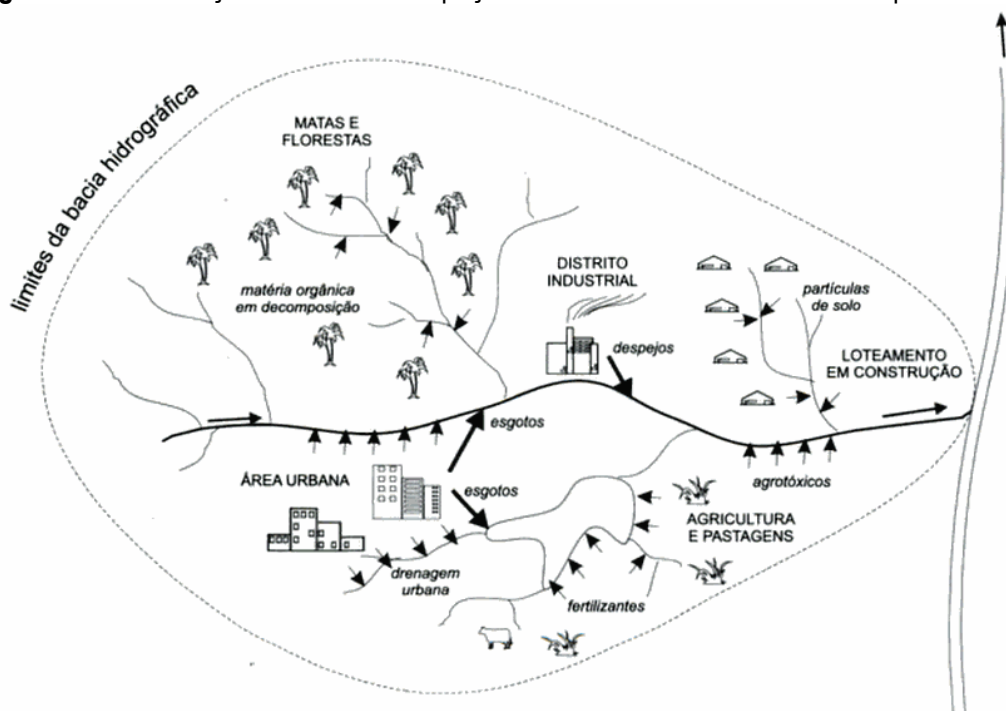
Quadro 02: Estágios de sucessão de vegetação secundária (Resolução CONAMA 002/94) (conclusão)

CRITÉRIO	ESTÁGIO		
	Inicial	Médio	Avançado
Dossel (cobertura superior formada pela copa das árvores)	Aberto	Intermediário	Fechado
Vida média das árvores	Curta	Média	Longa
Epífitas (plantas que vivem sobre outras, somente se apoiando nelas)	Raras	Poucas	Abundantes
Vegetação herbácea	Abundante	Pouca	Rara
Serapilheira (camada no solo formada por material vegetal, restos de animais e excretas)	Quando presente pode ser contínua ou não, formando uma camada fina pouco decomposta.	Pode apresentar variações de espessura de acordo com a estação do ano e de um lugar a outro.	Está presente, variando em função do tempo e da localização, apresentando intensa decomposição.
Espécies mais comuns	Bracatinga (<i>Mimosa scabrella</i>), vassourão (<i>Vernoniadiscolor</i>), aroeira (<i>Schinusterebenthifolius</i>), jacatirão (<i>TibouchinaSelowiana</i> e <i>Miconiacircrescens</i>), embaúba (<i>Cecropiaadenopus</i>), maricá (<i>Mimosa bimucronata</i>), taquara e taquaruçu (<i>Bambusaaspp</i>).	Congonha (<i>Ilextheezans</i>), vassourão-branco (<i>Piptocarphaangustifolia</i>), canela guaica (<i>Ocoteapuberula</i>), palmito (<i>Euterpe edulis</i>), guapuruvu (<i>Schizolobiumparayba</i>), guaricica (<i>Vochsiabifalcata</i>), cedro (<i>Cedrelafissilis</i>), caxeta (<i>Tabebuia cassinoides</i>).	Pinheiro (<i>Araucariaangustifolia</i>), imbuia (<i>Ocotea porosa</i>), canafístula (<i>Peltophorumdubgium</i>), ipê (<i>Tabebuia alba</i>), angico (<i>Parapiptadeniarigida</i>), figueira (<i>Ficus sp.</i>).

Fonte: os autores (2017).

Tipo de uso e ocupação predominante no entorno: impacta direta ou indiretamente os sistemas fluviais, sendo que o impacto pode ser positivo ou negativo. A mata ciliar, como já citado, tem impacto positivo, enquanto outras formas de uso e ocupação da terra apresentam potencial de impactar negativamente. A Figura 04 ilustra exemplos de inter-relações de uso e ocupação da terra em uma bacia hidrográfica e os focos alteradores da qualidade da água dos rios desta bacia hidrográfica.

Figura 04: Inter-relação entre uso e ocupação da terra e focos alteradores de qualidade da água

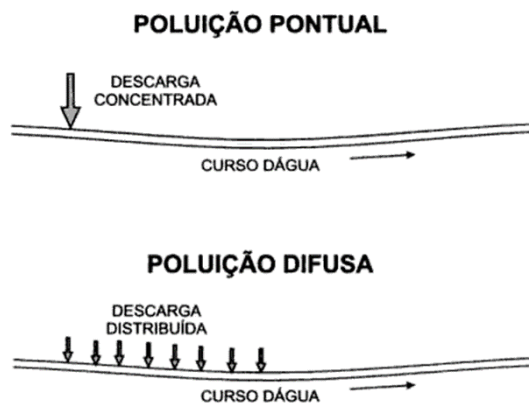


Fonte: Von Sperling (2005).

Em se tratando de uso e cobertura do solo, é imprescindível abordar o escoamento superficial. Este é um processo complexo, com muitas variáveis, mas, de forma simplificada, pode-se dizer que as águas pluviais, ao atingirem um solo saturado ou impermeabilizado, escoam sobre a superfície do mesmo, passando por diferentes ocupações com diferentes usos terra, carregando consigo os sedimentos e poluentes presentes no seu percurso até atingir um corpo d'água. Este tipo de descarga, distribuída ao longo da extensão do rio, é denominada poluição difusa (VON SPERLING, 2005). Áreas urbanas apresentam altos índices de impermeabilização, aumentando o escoamento superficial, refletindo no regime hídrico do sistema fluvial e, possivelmente no aumento da carga de poluentes que adentram o rio.

Poluição pontual: outro fator a ser considerado nas áreas urbanas é a concentração populacional, que resulta diretamente em maior geração de esgotos domésticos e resíduos sólidos domiciliares e, indiretamente na geração de outros efluentes líquidos e resíduos sólidos, como os industriais e hospitalares, por exemplo. Os esgotos e efluentes atingem o corpo d'água de forma concentrada no espaço e são denominados de pontuais (VON SPERLING, 2005). Um desenho esquemático da poluição pontual e difusa está apresentado na Figura 05.

Figura 05: Poluição pontual e difusa

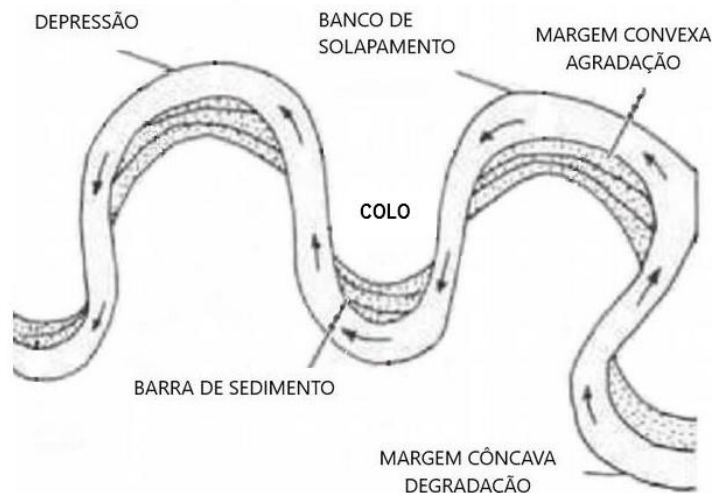


Fonte: Von Sperling (2005).

Alterações antrópicas na estrutura do rio: em áreas urbanas são comuns modificações no leito fluvial e margens para controle de enchentes. Os rios retificados e canalizados apresentam habitats naturais para peixes, macroinvertebrados e plantas muito menores do que os rios naturalmente sinuosos (BARBOUR *et al.*, 1999). A construção de barragens também gera modificações no leito fluvial à jusante das mesmas, pois altera a vazão do rio, o transporte de sedimentos e a disponibilização de nutrientes. As represas exportam nutrientes (ODUM, 1988) e o excesso de nutrientes pode levar à eutrofização do rio, um “processo natural ou antrópico de enriquecimento dos corpos d'água por nutrientes, em particular nitrogênio e fósforo, sucedido de aumento da produção primária (proliferação de algas e demais espécies fotossintetizantes) com consequente prejuízo à qualidade ambiental, à biota aquática e à harmonia da paisagem” (CONAMA, 2012, p.2).

Deposição de sedimentos: refere-se à quantidade de sedimento acumulado, que pode levar à formação de ilhas e barras de sedimento (Figura 06), bem como às mudanças no leito de fundo decorrentes da deposição, diminuindo os habitats disponíveis para a biota aquática. Os altos níveis de deposição de sedimentos são sintomas de um ambiente instável e em constante mudança, inadequado para muitos organismos (BARBOUR *et al.*, 1999).

Figura 06: Partes de um canal meandrante



Fonte: Bigarella *et al.* (1979).

A deposição de sedimentos interfere também nas condições de escoamento do leito fluvial; que, por sua vez, depende de duas séries de fatores interdependentes entre si: os fatores climáticos e as características físicas da bacia hidrográfica de drenagem (BIGARELLA *et al.*, 1979). Jean Tricart (1966) classificou os tipos de leito fluviais em: (i) leito de vazante, acompanha a linha de maior profundidade do rio, o talvegue; (ii) leito menor, que é bem delimitado, encaixado entre margens geralmente bem definidas, cujo escoamento das águas apresenta frequência suficiente para impedir a crescimento da vegetação; e (iii) leito maior, regularmente ocupado pelas cheias (Figura 03) (CHRISTOFOLETTI, 1981).

Condições de escoamento do leito fluvial: o preenchimento do leito fluvial pela água determina as condições de escoamento do leito fluvial, produzindo locais com mais ou menos substratos expostos disponíveis para a biota aquática (RODRIGUES *et al.*, 2010). Quando a água não cobre o leito do rio, a quantidade de substratos para organismos aquáticos é limitada (BARBOUR *et al.*, 1999). Este critério é especialmente útil para interpretar condições biológicas em fluxo anormal ou reduzido e é bastante relevante para comparar resultados de amostragens realizadas em períodos diferentes (BARBOUR *et al.*, 1999 e RODRIGUES *et al.*, 2010). É importante neste critério atentar se a observação se dá num período de cheia ou estiagem.

O momento da observação é especialmente relevante nos critérios referentes à coluna d'água, pois retrata a imagem instantânea do rio em determinado tempo e espaço. Para coluna d'água foram escolhidos critérios organolépticos: olfativos e visuais.

Odor na água: é a sensação que resulta da estimulação dos órgãos olfativos, ou seja, é a experiência de perceber o cheiro (ABNT, 1993). O odor pode indicar a presença de poluição, oriunda de esgotos domésticos ou efluentes industriais.

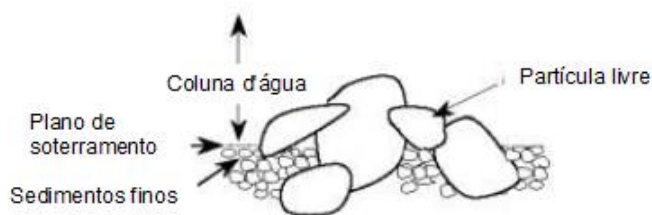
Óleos, graxas e espumas na água: esgoto doméstico e efluente industrial são também fontes de óleos e graxas, assim como o escoamento superficial. Os óleos e graxas caracterizam-se principalmente por sua baixa solubilidade na água e sua conseqüente separação da fase aquosa; sua disposição em corpos d'água ocasiona problemas estéticos e ecológicos (SABESP, 1997). A separação de fases e a iridescência (reflexos brilhantes com efeito de arco-íris) tornam este critério facilmente observável a olho nu.

Cor e turbidez: estes talvez sejam os critérios mais amplamente observados, e observáveis, na água. Embora cor e turbidez sejam características distintas, medidas por métodos diferentes, são visualmente difícil de diferenciar, por isso foram agrupadas no mesmo critério. Cor é a característica física da água ocasionada pela existência de substâncias dissolvidas ou em estado coloidal, na maioria dos casos de natureza orgânica; já a turbidez, é a medida da redução de transparência, decorrente da presença de sólidos suspensos, finamente divididos ou em estado coloidal, e de organismos microscópicos (ABNT, 1993). Tanto um aporte de sedimentos de eventos naturais, quanto um aporte de poluentes de origem pontual ou difusa, pode elevar a turbidez da água. A cor, no entanto, pode especificar mais facilmente a fonte de poluentes, como corantes industriais, por exemplo.

Substratos e/ou habitat disponíveis: as características do fundo do leito são determinantes para o ecossistema aquático. De acordo com Barbour *et al.* (1999), os substratos e/ou habitat disponíveis é um critério que se refere à quantidade relativa e a variedade de estruturas naturais no rio, como rochas, árvores caídas, troncos e galhos, margens escavadas e outras, disponíveis como refúgios, alimentação ou locais para desova e berçário de epifauna (fauna bentônica constituída por animais que vivem na superfície de um substrato do fundo de um corpo de água). Quanto maior a variedade e/ou abundância de estruturas submersas, maior a diversidade do habitat para macroinvertebrados e peixes. À medida que a variedade e a abundância de cobertura diminuem, a estrutura do habitat torna-se monótona, a diversidade diminui e o potencial para recuperação após o distúrbio diminui.

Soterramento: refere-se ao encobrimento das rochas, cascalho, pedregulhos e raízes presentes no fundo do rio por sedimentos finos (areia, silte e argila), causando a diminuição da área de superfície disponível para macroinvertebrados e peixes, seja para abrigo, nascimento ou incubação de ovos; é resultado do movimento e deposição de sedimentos em larga escala, normalmente avaliado no curso superior do rio (BARBOUR *et al.*, 1999). Mas, em se tratando de rios urbanos, pela dinâmica de sedimentação diferenciada, é um critério que, num primeiro momento, merece ser avaliado. A Figura 07 apresenta uma representação esquemática do soterramento.

Figura 07: Representação esquemática de soterramento



Fonte: adaptado de SYLTE e FISCHENICH (2007).

A segunda etapa do estudo, referente à aplicação do PAR, ocorreu no dia 23 de março de 2019. Os resultados estão apresentados no Quadro 03, por critério e ponto de observação, com o somatório do total e condição indicada em cada ponto, e espacializados na Figura 08.

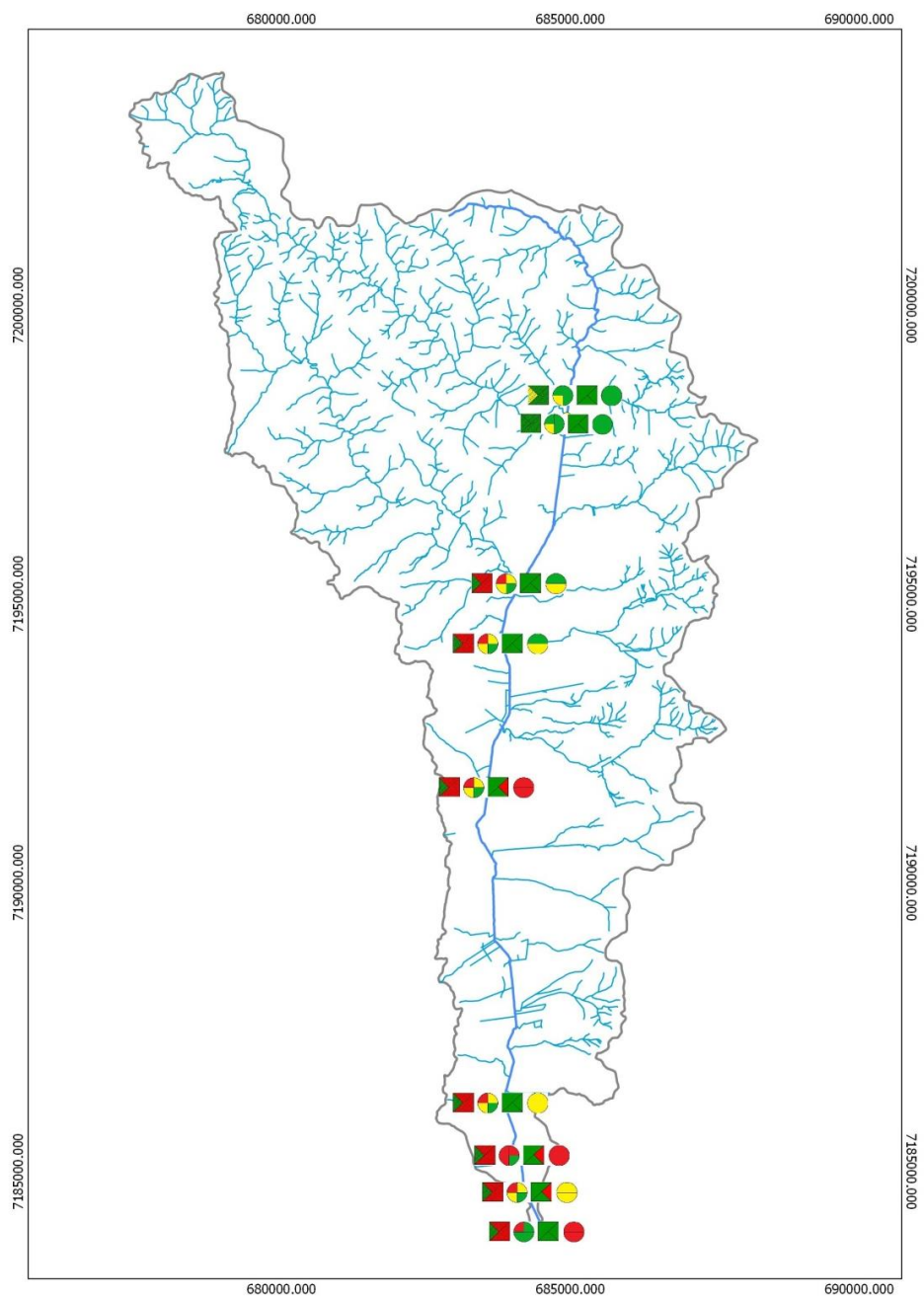
Quadro 03: Resultado da aplicação do PAR no rio Palmital

Critério	Ponto de observação								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Estabilidade das margens	5	10	10	10	10	10	10	10	10
Largura da mata ciliar	10	10	0	0	0	10	0	0	0
Tipo de uso e ocupação predominante no entorno	10	10	0	0	0	0	0	0	0
Poluição pontual	10	10	0	0	0	0	0	0	0
Alterações antrópicas na estrutura do rio	10	10	5	5	5	5	0	5	10
Deposição de sedimentos	5	5	5	5	5	5	0	5	10
Condições de escoamento do leito fluvial	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Odor na água	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Óleos, graxas e espumas na água	10	10	10	10	0	10	0	0	10
Cor ou turbidez da água	10	10	5	10	5	5	0	5	5
Substratos e/ou habitat disponíveis	10	10	10	10	0	5	0	5	0
Soterramento	10	10	5	5	0	5	0	5	0
Total	110	115	70	75	45	75	30	55	65
Condição Geral	Boa	Boa	Regular	Regular	Regular	Regular	Ruim	Regular	Regular

Fonte: os autores (2017).

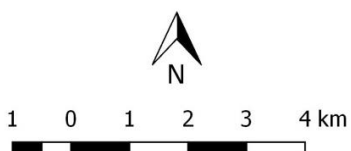
Os resultados demonstram que existe um declínio na qualidade geral do rio de montante para jusante, embora não seja constante. Entre os pontos 5 e 6, por exemplo, a pontuação passa de 45 para 75, refletindo os efeitos da mata ciliar bem preservada no percurso entre estes pontos, que, inclusive, impossibilitou o adensamento dos pontos de observação neste trecho do rio.

Figura 08: Espacialização dos resultados do PAR



Legenda

- Rio Palmital
- Afluentes



Sistema de coordenadas:
Projeção UTM, Datum SIRGAS 2000.
Fonte: SUDERHSA, 2000.
Elaboração: os autores, 2019.

Fonte: os autores (2017).

Sobre os critérios e parâmetros do PAR adaptado para áreas urbanas, foram observadas algumas inconsistências durante a observação da paisagem em campo, tais como: i) no critério tipo de uso e ocupação predominante no entrono, falta a discriminação se a observação é na margem esquerda, direita ou ambas; ii) ainda neste critério, faltou a adaptação do parâmetro 'agricultura com práticas de manejo e conservação dos solos' por outro que represente paisagens urbanas, por isso ele precisa ser substituído; iii) os efluentes líquidos nem sempre são associados aos resíduos sólidos, mas o critério poluição pontual agrega ambos, dificultando a interpretação no caso da existência de apenas um deles; iv) a avaliação da condição de escoamento do leito fluvial foi a mesma para todos os pontos. Como a observação ocorreu em um período de cheia e este critério está associado ao regime hidrológico, precisa ser melhor analisado; v) foram observados alguns patos nos últimos pontos, o que levou à constatação da carência de critérios e parâmetros que incluam a observação da biota aquática, como animais e insetos.

Considerações Finais

O PAR adaptado para áreas urbanas demonstrou algumas incoerências quando aplicado em campo. Mas a aplicação do PAR é um processo recursivo e sistemático de movimentos da análise para síntese e da síntese para análise e são a recursividade e a análise sistemática dos dados que permitem o aprimoramento do PAR.

Outra questão sobre o PAR proposto neste estudo é que além da avaliação geral da qualidade do rio e individual de cada critério dadas pela pontuação, foi apresentada uma forma de representação cartográfica, que permite também uma análise mais instantânea pela predominância das cores.

Em um contexto mais geral, o paradigma sistêmico traz à tona o desafio de olhar o mundo em sua complexidade, exigindo novos métodos de análise da paisagem, como o PAR. Este método demonstra ser uma alternativa economicamente viável de monitoramento ambiental que pode ser utilizada por órgãos ambientais e, indiretamente, pode beneficiar o planejamento territorial, para o qual é primordial entender como o ambiente reage às alterações antrópicas, bem como suas potencialidades e limitações. E, em se tratando de uma ferramenta acessível à população em geral, pode fomentar a governança da água, por meio de uma participação social de forma ativa.

Referências

APRÍGIO, P. de O. *Avaliação de Modelos de Simulação de Cargas Difusas em Bacias Urbanas*. 131 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 9896/1993: Glossário de Poluição das Águas. 94 p.
- ANA (Agência Nacional das Águas). Portaria nº 149, de 26 de março de 2015: “Lista de Termos para o Thesaurus de Recursos Hídricos. Disponível em: (http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/noticias/20150406034300_Portaria_149-2015.pdf), data de acesso: 09 de setembro de 2017.
- ANDREOLI, C. V.; DALARMI, O.; LARA, A. I.; RODRIGUES, E. M.; ANDREOLI, F. De N. Os Mananciais de Abastecimento do Sistema Integrado da Região Metropolitana de Curitiba –RMC. Revista Técnica da Sanepar –Sanare. v.12, nº 12, julho a dezembro de 1999. Disponível em: <http://www.sanepar.com.br/sanepar/sanare/V12/Mananciais/mananciais.html>. Acesso em: 02/08/2018.
- BARBOUR, M. T.; GERRITSEN, J.; SNYDER, B. D.; STRIBLING, J. B. *Habitat Assessment and Physicochemical Parameters*. In: BARBOUR, M. T.; GERRITSEN, J.; SNYDER, B. D.; STRIBLING, J. B. *Rapid Bioassessment Protocols For Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates, and Fish*. Washington: Environmental Protection Agency, 1999. Cap. 5, p. 5-1 – 5-31.
- BIGARELLA, J. J.; SUGUIO, K.; BECKER, R. D. *Ambiente Fluvial*. Curitiba: UFPR, 1979, 183 p.
- BRASIL. Código Florestal. Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012.
- BRASIL. Estatuto da Cidade. Lei Nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Disponível em: (<https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/70317/000070317.pdf?sequence=6>), data de acesso: 18 de abril de 2018.
- BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil: texto constitucional promulgado em 5 de outubro de 1988, com as alterações determinadas pelas Emendas Constitucionais de Revisão nos 1 a 6/94, pelas Emendas Constitucionais nos 1/92 a 91/2016 e pelo Decreto Legislativo nº 186/2008 – Brasília: Senado Federal, Coordenação de Edições Técnicas, 2016.496 p.
- BRASIL. Política Nacional de Recursos Hídricos. Lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.
- CALLISTO, M.; FERREIRA, W.; MORENO, P.; GOULART, M. D. C.; PETRUCIO, M. *Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats em atividades de ensino e pesquisa (MG-RJ)*. Acta Limnologica Brasiliense, Sorocaba, v. 14, n. 1, p. 91-98, 2002.
- CAPRA, F.; LUISI, P. L. *A visão sistêmica da vida: uma concepção unificada e suas implicações filosóficas, políticas, sociais e econômicas*. São Paulo: Cultrix, 2014, 615 p.
- CASTRO, D.; MELLO, R. S. P.; POESTER, G. C. *Práticas para restauração da mata ciliar*. Porto Alegre: Ação Nascente Maquiné, 2012.
- CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia fluvial*. São Paulo: Edgard Blucher, 1981, 313 p.
- CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente). Resolução Nº 002, de 18 de março de 1994. Disponível em: (<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=143>), data de acesso: 04 de setembro de 2017.
- CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente). Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005. Disponível em: (<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>), data de acesso: 04 de setembro de 2017.
- CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente). Resolução Nº 454, de 01 de novembro de 2012. Disponível em: (http://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2012/res_conama_454_2012_materiaisdragadoemaguasjurisdicionaisbrasileiras.pdf), data de acesso: 26 de setembro de 2017.
- ESTÉVEZ, L. F.; NUCCI, J. C. *A questão ecológica urbana e a qualidade ambiental*. Revista Geografar, Curitiba, v. 10, n. 1, p. 26-49, 2015.
- FERREIRA, M. B. P. *Cobertura da terra como indicador de qualidade ambiental urbana: estudo aplicado ao município de Curitiba-PR*. 82 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Geografia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

- HANNAFORD, M. J.; BARBOUR, M. T.; RESH, V. H. *Training reduces observer variability in visual-based assessments of stream habitat*. Journal of The North American Benthological Society, Chicago, v. 16, n. 4, p. 853-860, 1997.
- HAUPT, J. P. de O. *Metodologia para avaliação do potencial de produção de poluição difusa: estudo de caso da Bacia do rio Jundiá*. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- MONTEIRO, C. A. de F. *Análises ambientais: perspectivas geográficas a interdisciplinaridade e problemas teórico-metodológicos*. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS SOBRE MEIO AMBIENTE, 1., 1986, Recife, PE. São Paulo: USP, 1986. 36 p.
- NUCCI, J. C. *Qualidade Ambiental e Adensamento Urbano*. São Paulo: Humanitas/Fapesp, 2008 (e-book). Disponível em: (www.geografia.ufpr.br/laboratorios/labs), data de acesso: 12 de janeiro de 2017.
- ODUM, E. P. *Ecologia*. Rio de Janeiro: Guanabara, 1988, 434 p.
- PORTO, R. La L. *Escoamento superficial direto*. In: TUCCI, Carlos; PORTO, Rubem La Laina & BARROS, Mario. *Drenagem Urbana*. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, 1995. Disponível em: http://pha.poli.usp.br/LeArq.aspx?id_arq=4994. Acesso em: 06/01/2017.
- RIGO, D. *Gestão das informações ambientais – parte 2*. UFES, Vitória, 2005. Apostila. Curso de Especialização em Gestão Ambiental.
- RODRIGUES, A. S. L.; MALAFAIA, G.; CASTRO, P. T. *Protocolos de avaliação rápida de rios e a inserção da sociedade no monitoramento dos recursos hídricos*. Revista Ambiente & Água: An Interdisciplinary Journal of Applied Science, Taubaté, v. 3 n. 3, 2008.
- RODRIGUES, A. S. L.; MALAFAIA, G.; CASTRO, P. T. *A importância da avaliação do habitat no monitoramento da qualidade dos recursos hídricos: uma revisão*. SaBios: Revista de Saúde e Biologia, Campo Mourão, v. 5, n. 1, p. 26-42, 2010.
- RODRIGUES, A. S. de L. *Uma visão holística sobre os ecossistemas fluviais*. Revista da Biologia, São Paulo, v. 02, p. 8-11, 2009.
- RODRIGUES, A. S. L.; CASTRO, P. de T. A. *Adaptation of a rapid assessment protocol for rivers on rocky meadows*. Acta Limnologica Brasiliense, Sorocaba, v. 20, n. 4, p. 291-303, 2008a.
- RODRIGUES, A. S. de L.; CASTRO, P. de T. A. *Protocolos de avaliação rápida: instrumentos complementares no monitoramento dos recursos hídricos*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 161-170, 2008b.
- SABESP. Norma Técnica Interna SABESP - NTS 005. *Óleos e Graxas*. São Paulo, 1997. Disponível em: (<http://www2.sabesp.com.br/normas/nts/nts005.pdf>), data de acesso: 05 de setembro de 2017.
- SARAIVA, Maria da Graça Amaral Neto. *O rio como paisagem: gestão de corredores fluviais no quadro do ordenamento do território*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1999, 512 p.
- SUDERHSA. *Plano Diretor de Drenagem para Bacia do Iguazu na Região Metropolitana de Curitiba*. Relatório Final, Vol. 4. Curitiba, 2002.
- SYLTE, T.; FISCHENICH, C. *An Evaluation of Techniques for Measuring Substrate Embeddedness*. Streamline Watershed Manage, Spring, v.10, n.2, p. 12-15, 2003.
- VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Belo Horizonte: SEGRAC, v. 1, 3 ed., 2005, 452 p.

(Recebido em 30-04-2018; Aceito em: 29-07-2019)