

PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO DE CORPOS D'ÁGUA ATRAVÉS DA ANÁLISE DE DADOS DE QUALIDADE DOS SEDIMENTOS EM BACIAS URBANAS

Patrícia Dall' Agnol^{1} & Tobias Bleninger² & Cristóvão Vicente Scapulatempo Fernandes³*

Resumo – Os parâmetros de qualidade da água podem caracterizar o grau de interferência antrópica e a condição do rio no momento da coleta. Os grãos de sedimentos apresentam características de adsorção, absorção e liberação de poluentes entre o fundo e a coluna d'água. A análise nos sedimentos permite obter resultados sobre o histórico de contaminação, deposição e transporte de sedimentos e outros contaminantes na bacia. Atualmente a legislação brasileira classifica e enquadra os rios considerando valores limites apenas para parâmetros na coluna d'água. Inserir a análise dos sedimentos nessas ferramentas de gestão e controle pode se mostrar uma boa alternativa, devido a sua capacidade de armazenar informações a longo prazo. Neste contexto este trabalho propõe uma nova classificação dos sedimentos com base nos limites estabelecidos pela CETESB e pela resolução CONAMA 454/2012 para Fósforo total e Nitrogênio total, além de realizar a avaliação das características físicas através das curvas granulométricas. O estudo foi aplicado na Bacia do Alto Iguaçu, fortemente urbanizada, na Região Metropolitana de Curitiba. Os resultados da classificação foram apresentados em mapas temáticos permitindo avaliar a variabilidade espacial e temporal e a identificação de áreas mais críticas em termos de qualidade.

Palavras-Chave – Sedimentos; bacia urbanizada; rio Iguaçu.

PROPOSAL FOR CLASSIFICATION OF WATER BODIES THROUGH ANALYSIS OF QUALITY DATA OF SEDIMENTS IN URBAN BASIN

Abstract – The parameters of water quality can characterize the degree of anthropic interference and the condition of the river at the time of collection. The sediment grains presented characteristics of adsorption, absorption and release of pollutants between the bottom and a column of water. The analysis in the sediments allows to obtain results on the history of contamination, deposition and transport of sediments and other contaminants in the basin. Currently, the Brazilian legislation classifies and fits the rivers considering limit values only for the parameter of the water column. Inserting a sediment analysis into these management and control tools may prove to be a good alternative because of its ability to store long-term information. In this context, the work proposes a new sediment classification based on the limits established by CETESB and CONAMA Resolution 454/2012 for Total Phosphorus and Total Nitrogen, in addition to performing an evaluation of the physical characteristics through the grain size curves. The study was applied in the heavily urbanized Alto Iguaçu Basin, in the Metropolitan Region of Curitiba. The results of the qualification are presented in thematic maps allowing to evaluate the spatial and temporal variability and the identification of more critical areas in terms of quality.

Keywords – Sediments; urbanized basin; Iguaçu river

1 – INTRODUÇÃO

A qualidade da água em um rio é reflexo das inúmeras atividades realizadas na bacia hidrográfica. A condição da qualidade de um corpo hídrico pode ser definida através de análises físico-químicas em amostras de água, que indicam a condição no momento da coleta, ou de sedimento, que tem capacidade de descrever um histórico de poluição (LONG & CHAPMAN, 1985; CETESB, 2016).

Apesar dos sedimentos atuarem como fontes ou sumidouros de poluentes e contaminantes, a legislação brasileira de classificação e enquadramento de corpos d'água não considera ou impõe limites para a qualidade dos sedimentos (BEVILACQUA, 1996; ESTEVES, 2011). Os sedimentos são legislados apenas quando se trata de dragagem e deposição de material de leito de fundo, através da resolução CONAMA n.º. 454/2012. A nível internacional os sedimentos integram a análise da qualidade da água, visando principalmente estabelecer limites para a preservação da biota aquática (CCME, 1999 ; EC, 2010). Em termos nacionais, apesar de não existirem normativas neste sentido, a CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) utiliza os padrões canadenses para classificação da qualidade dos sedimentos (CETESB, 2016).

No contexto da gestão integrada dos recursos hídricos proposta pela PNRH (Política Nacional de Recursos Hídricos) o geoprocessamento tornou-se uma ferramenta de auxílio no planejamento e na tomada de decisões (PINHEIRO *et al.*, 2009). A possibilidade de gerar mapas através do agrupamento de dados de fontes distintas do solo, do uso da bacia bem como de parâmetros de qualidade da água, faz do SIG (sistema de informações geográficas) uma ferramenta de identificação rápida e visual dos pontos mais críticos em termos de qualidade.

Neste sentido, este trabalho propõe uma classificação dos sedimentos análoga a proposta pelo Ontario Ministry of the Environment and Energy (OMEE) (FLETCHER; WELSH & FLETCHER, 2008), apresentado os resultados em mapas criados através do software ArcGIS® com a classificação para nitrogênio total (NT) e fósforo total (FT). Adicionalmente, foram realizadas avaliações das características físicas dos sedimentos através das curvas granulométricas e da análise textural. Este estudo foi realizado em seis pontos no principal rio do estado do Paraná, o Rio Iguaçu, caracterizado por se encontrar em uma bacia altamente urbanizada.

2 - MATERIAL E MÉTODO

Este trabalho foi realizado em seis pontos de monitoramento na bacia do Alto Iguaçu, na Região metropolitana de Curitiba- PR ao longo do rio Iguaçu (Figura 1). A área referente às otobacias englobadas pelas seis seções monitoradas é de aproximadamente 2.800 km². O trecho da nascente do rio Iguaçu até o último ponto de monitoramento, nesse mesmo rio, é de aproximadamente 93 km partindo do município de Quatro Barra-PR até Balsa Nova-PR. Apesar de haver diversos usos da água e do solo nas áreas deste estudo como, uso agrícola, ocupação urbana e industrial, a qualidade da água do rio Iguaçu é mais afetada pelas descargas de efluentes domésticos e industriais e pela baixa estrutura da drenagem urbana (DOMBROSKI, FERNANDES & SIQUEIRA, 2012).

O rio Iguaçu vem sendo estudado há 10 anos e, até o ano de 2016 haviam sido realizadas 57 campanhas de monitoramento. Dentre os dados disponíveis foram selecionadas 16 campanhas compreendidas entre os anos de 2009 e 2016 que apresentavam resultados para água e sedimento em todos os pontos monitorados. Cabe ressaltar que a identificação das campanhas selecionadas e apresentadas segue a mesma ordem da base de dados original

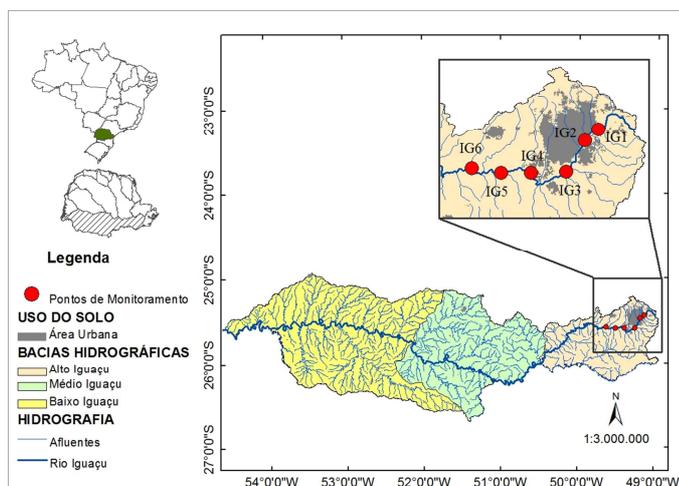


Figura 1 - Localização da Bacia do Iguazu e dos pontos de monitoramento.

A coleta das amostras de leito de fundo foi realizada com draga tipo Petersen, retirando uma amostra simples dos primeiros 15 cm da coluna de depósito de sedimento, o que permite avaliar principalmente a distribuição horizontal dos parâmetros analisados. Em laboratório foram removidos gravetos, folhas e outros materiais que não fazem parte da composição do sedimento utilizando peneira com abertura de 4000 μm . As amostras foram homogêneas e sendo dispensável o quarteramento manual para as amostras compostas majoritariamente por partículas finas (silte e argila) já que a homogeneização nos sacos de coleta garantiu a obtenção de uma alíquota homogênea. Para as amostras compostas por grãos arenosos e com diâmetros de partículas diversos foi feito o quarteramento manual pelo método de pilha cônica.

A granulometria a laser permite avaliar amostras em condições naturais restringindo-se à partículas com diâmetro entre 0.02550 e 2000 μm . Através das granulometrias foi possível obter a textura dos sedimentos para 4 campanhas de monitoramento. Para as análises de NT e FT as amostras foram secas em estufa a 50°C e desagregadas em almofariz de porcelana. Apesar da controvérsia sobre a normalização das frações dos sedimentos pelo método da peneira (CARERE, DULIO & POLESELLO, 2012), neste trabalho foi utilizada peneira de 0,125 mm (120 mesh). Esta malha abrange as frações de silte e argila, que são indicadas para a análise de compostos químicos no sedimento (EC, 2010) e foi utilizada para manter o mesmo padrão em todas as campanhas. As metodologias de análises e as referências estão apresentadas no Quadro 1

Quadro 1- Metodologias utilizadas nas análises dos parâmetros de qualidade dos sedimentos

Variável	Método	Referência
Nitrogênio Total	Método da digestão por persulfato de potássio	Smart, Rada & Donnermeyer, 1983
Fósforo Total	Método da ignição e dissolução com HCl	Andersen, 1976
Curva granulométrica	Granulometria a laser	Granulômetro a laser Microtrac S3500
Classificação Textural	Triângulo da Embrapa	Paulino & Costa, 2012

O OMEE também estipula níveis para NT, FT, metais e compostos orgânicos. Porém, neste trabalho foram estabelecidos novos critérios com faixas de classificação dos sedimentos para os seguintes parâmetros de qualidade: FT, NT e textura. Os valores das faixas de classificação foram baseados tanto nos critérios de delimitação das concentrações máximas da Resolução CONAMA n.

454/2012 para NTK, FT e COT, como na faixa de classificação da qualidade adotada pela CETESB (2016) para FT.

As faixas para FT utilizadas pela CETESB serviram como balizadoras para a classificação do NT. Primeiramente foram estipuladas novas concentrações máximas sendo calculada a diferença entre o máximo valor da CONAMA (2.000 µg/g) e o máximo valor da CETESB (1.500 µg/g) para FT. Esse valor foi dividido pela concentração de 2.000 µg/g para gerar um “fator de segurança” (no caso, para FT o valor foi de 1500, 25% a menos do limite da CONAMA). Para NT foi então diminuído, da concentração máxima da CONAMA, esse mesmo fator de segurança de 25%. Sendo assim, todas as medições acima do novo limite são classificadas como péssima. Para estabelecer duas novas faixas de classificação (boa e ruim), o valor máximo foi dividido em duas partes iguais.

Considerando que as amostras foram coletadas em seções amostrais pontuais e que portanto, os dados eram referentes a esses pontos, os shapes para os trechos referentes a cada seção foram calculados como sendo metade do trecho à montante adicionado à metade do trecho à jusante de cada ponto amostral. Assim, foram produzidos mapas de classificação dos parâmetros (NT e FT) considerando as médias por estações do ano. O número de dados obtidos por estação do ano é variável, sendo a primavera a estação com maior número de campanhas contabilizando 6 coletas, em seguida foram realizadas 5 coletas no inverno, 3 no outono e no verão apenas 2.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A sobreposição de curvas granulométricas permite visualizar a variabilidade temporal das características físicas dos sedimentos, como indicado na Figura 2. Os pontos IG4 e IG6 apresentaram esse comportamento para os registros realizados nos anos de 2015 e 2016 referentes às campanhas C53, C54, C55 e C56. Para essas mesmas campanhas houve maior variação para os pontos IG1, IG2, IG3 e IG5. A Figura 2 representa o padrão para os pontos com pouca variação granulométrica e composto por partículas finas, representado pelo IG4 e um caso distinto através do IG2. Além da diferença no padrão de sobreposição das curvas observa-se um deslocamento entre as diferentes faixas granulométricas.

Há uma tendência de que o IG1 e os demais pontos à jusante, a partir do IG4, apresentem as granulometrias mais finas e menos variáveis. Enquanto a maior parcela da composição do sedimento para os pontos IG2 e IG3 é de grãos arenosos. Dombroski, Fernandes & Siqueira (2012), ao realizarem amostragens nos mesmos pontos do rio Iguazu, constataram que os pontos IG4, IG5 e IG6 apresentavam composição majoritária de grãos finos e que seguiam tendência similar entre as granulometrias para campanhas realizadas em diferentes épocas. Ainda, sugerem que as características físicas dos sedimentos para esses três pontos podem estar associadas à áreas de várzea, com aporte natural desse tipo de grãos, ou ao transporte proveniente de trechos a montante dessas seções (DOMBROSKI, FERNANDES & SIQUEIRA, 2012).

A morfologia dos rio influencia na deposição e transporte de sedimentos. Sabe-se que tanto a profundidade como a largura das seções podem influenciar nas velocidades de escoamento e no tipo de partículas carregadas (MARTINS & FROEHNER, 2008). Adicionalmente estudos sobre as características das seções transversais em termos das vazões, velocidades de escoamento, características da ocupação das margens e do próprio formato e largura das seções, podem ser uma fonte de explicação para os resultados encontrados (FILHO, 1996). Adicionalmente o mapa de classificação textural (Figura 3) indica que as características dos sedimentos nos pontos IG2 e IG3 podem ser provenientes da localização espacial dos pontos. Esses pontos são mais fortemente influenciados por áreas mais antropizadas e portanto recebem o carreamento de partículas maiores

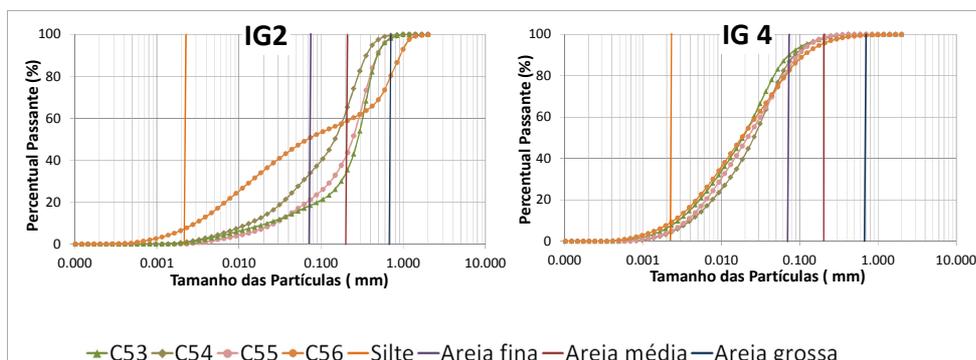


Figura 2 - Comparação entre as curvas granulométricas dos pontos IG2 e IG4

Fatores sobre as condições de coleta devem ser considerados para avaliar o comportamento das curvas granulométricas e das classificações texturais. A localização dos pontos amostrais e nível do rio no momento da coleta são importantes na interpretação dos resultados e que potencialmente podem gerar incertezas na coleta, como verificada, por exemplo, para os pontos IG1 e IG5. Nesses pontos nas amostras de sedimento são partículas de areia e concreto que podem ser oriundas do asfalto das pontes. O nível da água das seções no momento da coleta também interfere na amostra, quanto mais elevado o nível do rio maior a dificuldade em lançar a draga no centro da seção o que faz com que as amostras sejam uma mistura de sedimento e solo da margem.

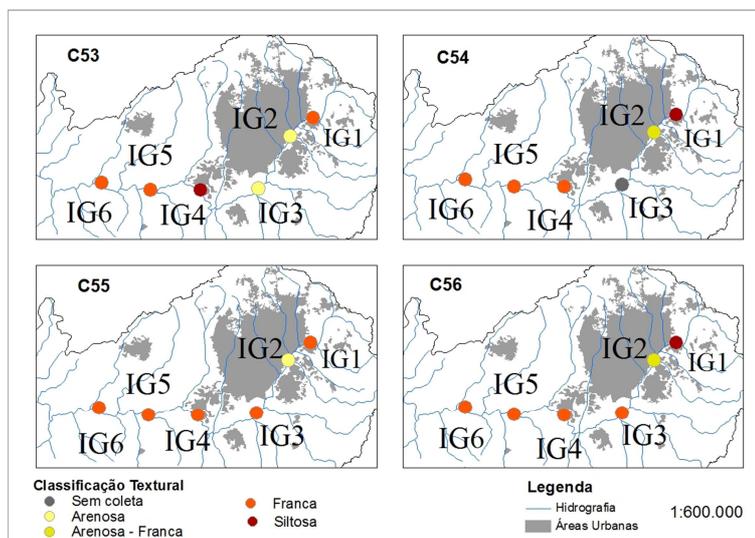


Figura 3 – Mapa de classificação textural do sedimento considerando quatro campanhas de monitoramento

Considera-se que elementos metálicos e orgânicos se ligam às partículas de sedimento de acordo com o tamanho dos grãos e pelos íons e organismos presentes nesta camada (SIMPSON, *et al*, 2005). Portanto, grãos argilosos e siltosos, que apresentam maior área superficial em relação à grãos de areia, tendem a acumular mais poluentes e nutrientes. Os mapas de classificação para NT e FT apresentados nas Figuras 4 e 5 mostram que mesmo em amostras granulometricamente semelhantes as concentrações de NT e PT podem ser distintas. Exemplo disso é observado nos pontos IG1 e IG4, ambos são compostos por mais de 60% de silte e argila (Figura 6) porém as concentrações para NT e PT observadas em todas as estações do ano são distintas. A única exceção é observada para NT no verão, neste caso todos os trechos foram classificados com qualidade “boa” (Figuras 4 e 5).

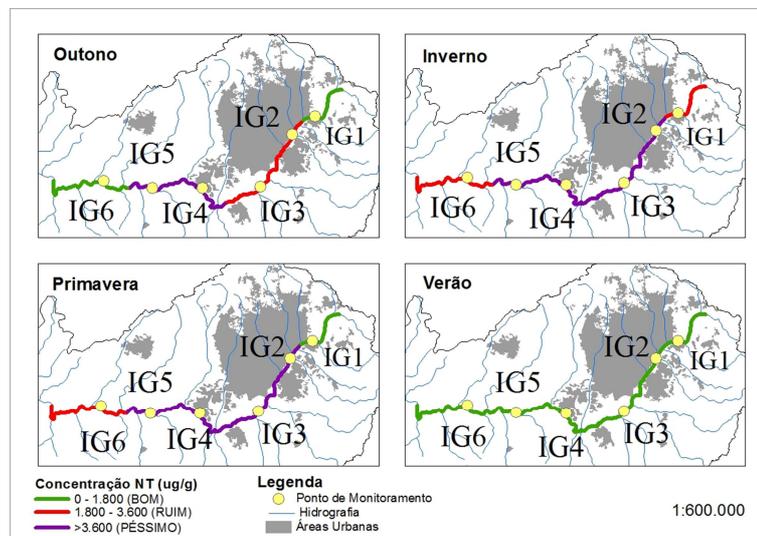


Figura 4 - Mapa de classificação com base na média do NT por estação do ano

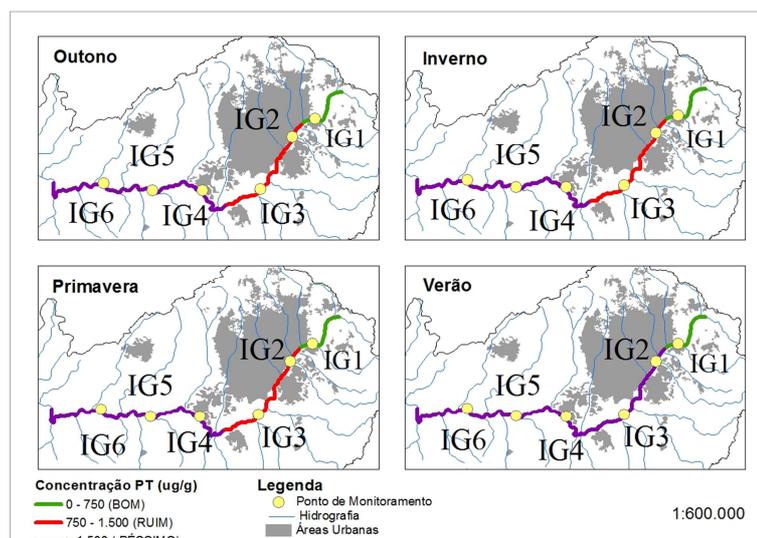


Figura 5 - Mapa de classificação com base na média do PT por estação do ano

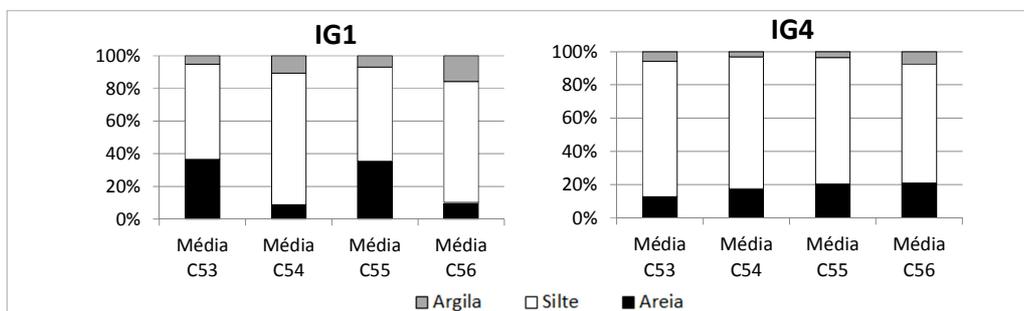


Figura 6- Comparação entre a composição dos sedimentos para os pontos IG1 e IG4

Em contrapartida o ponto IG2, que apresenta em média apenas 30% de silte e argila em sua composição, apresentou concentrações iguais ou superiores ao IG1 e IG4 em todas as classificações de NT e PT. Isso mostra que não há uma relação direta entre o tamanho dos grãos e as concentrações de nutrientes para os pontos amostrais do rio Iguazu. As elevadas concentrações no IG2, que é basicamente arenoso, podem ser explicadas pelo aporte de carga poluidora neste ponto.

Há a confluência do Rio Atuba e Palmital com o Iguaçu, além do lançamento dos efluentes tratados na ETE Atuba Sul que chegam nesse ponto de monitoramento pelo rio Atuba.

Ao avaliar a distribuição espacial das concentrações de NT e PT observa-se que há uma tendência do ponto IG1 apresentar as menores médias registradas em todas as estações do ano. As concentrações aumentam para os pontos IG2 e IG3, atingindo os máximos valores no IG4 e IG5 e reduzindo novamente no IG6. A observação desse padrão de comportamento dos nutrientes fica prejudicada no verão pois nesta estação há apenas dois registros de dados monitorados. A influência que a localização espacial das estações amostrais exerce sobre os resultados dos parâmetros físicos é extrapolada como explicação para os valores observados para os parâmetros químicos. Enquanto para os pontos próximos às áreas urbanas as elevadas concentrações podem ser resultados do uso da bacia. As elevadas concentrações observadas nos pontos após os maiores adensamentos populacionais podem ser resultantes do transporte e deposição ao longo dos trechos do rio ou ainda, pelas próprias características de composição do solo que foi carregado para dentro do rio.

Em termos de variabilidade temporal o NT se apresentou-se mais sensível à mudanças entre as estações do ano. O inverno ficou caracterizado como a estação com as concentrações médias mais elevadas, enquanto o verão apresentou os menores valores em todos os pontos. O aporte de esgotos domésticos e industriais pode ser a causa dessa maior sensibilidade observada para o NT. O verão, sendo considerada uma estação chuvosa, causa uma diluição dos aportes de efluentes e conseqüentemente a redução nas concentrações de NT dos sedimentos. Em contrapartida observa-se que as concentrações médias para FT não variaram significativamente entre as estações do ano, ou seja, as classificações para os trechos se mantiveram iguais, com exceção do verão onde observou-se uma piora na qualidade a partir do IG1. Como a principal fonte de PT é proveniente de intensivos agrícolas presentes no solo e a área de estudo está localizada em uma bacia altamente urbanizada, os resultados para este parâmetro só foram alterados, a ponto de mudar a classificação dos trechos, através da poluição difusa resultado das chuvas de verão.

4 – CONCLUSÃO

No presente estudo, foi apresentada uma análise conjunta entre as características químicas e físicas do sedimento, e a apresentação desses resultados em forma de classificações em mapas. Assim, através dessa análise preliminar pode-se destacar que: (i) o uso de mapas para representar a qualidade de sedimentos é uma forma de compreender de forma mais fácil e eficiente a variabilidades espaciais e as relações dos resultados encontrados com a disposição dos pontos em relação aos centros urbanos; (ii) as classes propostas para os sedimentos estão de acordo com os padrões já utilizados internacionalmente e parecem de fato representar uma condição da realidade observada; (iii) o mecanismo de transporte de sedimentos em rios é influenciado por diversas variáveis, tanto acerca das características físicas da seção e da bacia hidrográfica em questão, como das características físico-químicas do sedimento. Conhecer esses parâmetros de qualidade e, adicionalmente os mecanismos de transporte e as dinâmicas entre a interface água-sedimento podem se tornar uma importante ferramenta de diagnóstico e gestão de bacias. Portanto, faz-se necessária a realização de estudos mais aprofundados que relacionem a geomorfologia das seções e a troca de elementos químicos entre o sedimento e a coluna d'água ; (iv) os resultados de qualidade aliados aos mapas de uso e ocupação do solo indicam que há uma associação entre as acumulações de nutrientes e as localizações geográficas dos pontos amostrais. Aparentemente há uma relação entre aumento de concentrações em regiões próximas dos centros urbanos, seja pelo aporte de efluentes, pela poluição difusa ou obras no curso d'água que possam alterar a qualidade da água e dos sedimentos.

REFERÊNCIAS

- ANDERSEN, J. M. An ignition method for determination of total phosphorus in lake sediments. *Water research*, v. 10, n. 4, p. 329-331, 1976.
- BEVILACQUA, J. E. Estudos sobre a Caracterização e Estabilidade de Amostras de Sedimentos do Rio Tietê, SP. 1996. 171 f. Tese (Doutorado em química) - Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1996
- CARERE, M.; DULIO, V.; HANKE, G.; POLESSELLO, S. Guidance for sediment and biota monitoring under the common implementation strategy for the water framework directive. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, v. 36, p. 15-24, 2012.
- CCME - CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT. Protocol for the Derivation of Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. Canadá: Canadian Environmental Quality Guidelines, 1999. 35 p.
- CETESB - Companhia Estadual do estado de São Paulo (São Paulo). Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2015. 1, ed. São Paulo : CETESB, 2016.
- DOMBROSKI, L.F.; FERNANDES, C.V.S.; SIQUEIRA, M. Monitoring the Behavior and Distribution of Particle Size, Organic Carbon, Nutrients and Metals in Bottom Sediments of Theiguassu River: Implication for Sediment Quality Data. In: POLETO, C.; PLETSCHE, A. L.; MELLO, E. L.; CARVALHO, N. O. (Org.). X ENES - Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos: artigos selecionados. Porto Alegre: ABRH, 2012, p. 314-330.
- EC - EUROPEAN COMMISSION. Common implementation strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC): Guidance Document n. 25 Guidance on chemical monitoring of sediment and biota under the Water Framework Directive. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2010. 74 p.
- ESTEVEZ, F. A. Fundamentos de Limnologia. 3ª ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2011. 826 p.
- FILHO, E. P. A geomorfologia e o manejo do ecossistema. Florianópolis: Geosul, 1996. v. 1.
- FLETCHER, R.; WELSH, P.; FLETCHER, T. Guidelines for identifying, assessing and managing contaminated sediments in Ontario: an integrated approach. Standards Development Branch, Ontario Ministry of Environment, 2008.
- LONG, E. R.; CHAPMAN, P. M. A sediment quality triad: measures of sediment contamination, toxicity and infaunal community composition in Puget Sound. *Marine Pollution Bulletin*, v. 16, n. 10, p. 405-415, 1985.
- MARTINS, R. F.; FROEHNER, S. Avaliação da composição química de sedimentos do Rio Barigüi na região metropolitana de Curitiba. *Química Nova*, v. 38, p. 2010-2020, 2008.
- PAULINO, H. B.; COSTA, E. T. Aplicativo para celular: Triângulo Textural. (2012) Disponível em: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.agro.textura&hl=pt_BR Acesso em: 6 de ago. 2016.
- PINHEIRO, MR DE C., *et al.* Geoprocessamento aplicado à gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Macaé-RJ. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE Natal, Brasil (2009).
- SIMPSON, STUART L., *et al.* Handbook for sediment quality assessment. Centre for Environmental Contaminants Research, 2005.
- SMART, M. M.; RADA, R. G.; DONNERMEYER, G. N. Determination of total nitrogen in sediments and plants using persulfate digestion. An evaluation and comparison with the Kjeldahl procedure. *Water research*, v. 17, n. 9, p. 1207-1211, 1983.