USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NUMA BACIA EM URBANIZAÇÃO: IMPACTOS NO SEDIMENTO DO LEITO

Andrea Saraiva de Oliveira[1]; Kim Hudson Nunes de Oliveira[2]; Renata Cristina de Araújo Lima[3] & Lucio Flavio Ferreira Moreira[4]

RESUMO – Na região Nordeste, a expansão acelerada dos centros urbanos tem produzido impactos importantes nos recursos hídricos, na medida em que a expansão normalmente ocorre num ambiente institucional fragilizado e o disciplinamento do uso do solo ocorre de forma precária. Este estudo tem o objetivo de analisar os efeitos nos recursos hídricos produzidos pela ocupação do solo numa bacia em processo acelerado de expansão situada na região metropolitana de Natal-RN. Para isso, foram realizadas coletas de amostras da água e do sedimento do leito durante o período entre Setembro-2011 e Fevereiro-2012 em 18 pontos ao longo do curso fluvial. Foram analisadas as concentrações dos seguintes metais pesados no sedimento: Al, Cu, Pb, Cd, Fe, Ni e Zn. Foi utilizado o método de espectrometria de emissão atômica por chama (ICP-FLAA) após um tratamento preliminar e digestão ácida. Os resultados obtidos demonstram concentrações muito pequenas nos metais (próximas de zero), com exceção do Al, Fe e Zn. As concentrações do Fe (37,8 mg/g) caracterizam uma introdução desse elemento no sistema fluvial, dado o seu valor discrepante em comparação com os outros valores.

ABSTRACT – The increasing urban expansion in Brazilian Northeast region has greatly impacted water resources, since the expansion process normally occurs in a precarious institutional environment in which land use control is lacking. This approach is aimed at analysing the effects on water resources associated with land occupation in the Natal metropolitan urbanizing watershed. For this purpose, water and bed sediment cores were collected between 2011-September and 2012-February at 18 points along the fluvial system. The following heavy metal concentrations were measured in the sediment: Al, Cu, Pb, Cd, Fe, Ni and Zn. Atomic emission spectrometry method was used (ICP-FLAA) after sediment treatment and acid digestion was made. Obtained results demonstrate very low concentration values (near zero), with exception to Al, Fe and Zn. Fe concentration values (37,8 mg/g) caracterizes the element input to the fluvial system by anthropogenic sources, once the measured value was high enough in comparison to the others.

Palavras-chave: sedimento; metais pesados; urbanização.

[1] Mestranda no Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária UFRN, E-mail: andreasaraiva_@hotmail.com

[2] Aluno do Curso de Engenharia Química UFRN – Bolsista PIBIC/CNPq, E-mail: hudson.eq@gmail.com

[3] Aluna do Curso de Engenharia Química UFRN – Bolsista PIBIC/CNPq, E-mail: relima07@hotmail.com

[4] Professor Associado PPgES/UFRN – E-mail: lucio@ct.ufrn.br

INTRODUÇÃO

O crescimento das regiões urbanas no Brasil tem resultado em alguns casos a ocupação de áreas de proteção ambiental, causando impactos nos recursos hídricos e no ecossistema fluvial. A fragilidade institucional dos órgãos públicos de controle ambiental nas esferas estadual e municipal pode ser identificada como uma das causas principais do problema. Essa realidade apresenta um contexto de desafios na busca de gestão como resultado de planejamento integrado e de longo prazo. Em varias regiões metropolitanas no Brasil, a ocupação desordenada tem alcançado áreas de preservação dos mananciais de abastecimento publico.

De acordo com Tucci (2007), o desenvolvimento urbano no Brasil tem se caracterizado pela expansão irregular da periferia com pouca obediência da regulamentação urbana relacionada com o Plano Diretor e normas específicas de loteamentos, além da ocupação irregular de áreas públicas por população de baixa renda. Esta tendência dificulta o ordenamento das ações não estruturais do controle ambiental urbano. Um dos resultados desse processo de desenvolvimento urbano descontrolado é o comprometimento da sustentabilidade hídrica das cidades onde essas áreas de desenvolvimento encontram-se sobre áreas de mananciais de abastecimento.

As atividades humanas podem gerar um impacto no sistema fluvial na medida em que incorporam resíduos capazes de provocar a contaminação e a degradação do ecossistema aquático e da qualidade da agua. As substancias contaminantes presentes na agua, ao serem consumidas pelos seres vivos, são incorporadas à cadeia alimentar e podem provocar efeitos danosos aos organismos, inclusive ao homem. Paralelamente, a ação antropogênica na bacia pode ser a origem da alta variabilidade na concentração de metais no sedimento, uma vez que concentrações mais altas podem ser observadas nas áreas mais próximas das fontes poluidoras. A presença de metais no sedimento também reflete o histórico de contaminação na bacia, sobretudo para atividades de origem ligada à extração mineral e industrial.

Situada na região metropolitana de Natal, a sub-bacia hidrográfica do rio Pitimbu (BRP) tem importância estratégica para a cidade. A agua extraída diretamente da calha fluvial abastece aproximadamente 30% da população da cidade com uma vazão de 0,722 $m^3.s^{-1}$.

Estudos anteriores relacionam a ausência de controle no processo de uso e ocupação do solo na BRP a uma serie de impactos negativos na agua e no ecossistema fluvial (Borges, 2002; Santos et al., 2002; Kobayashi et al., 2010). Dentre os fatores responsáveis pelos impactos, vale citar os seguintes: a) ausência de infraestrutura de saneamento em áreas próximas da calha fluvial, sujeitas à implantação de condomínios residenciais. O adensamento dessas áreas e o uso de fossa séptica e sumidouro nesses empreendimentos tem resultado num aumento expressivo da carga poluidora

difusa; b) implantação de obras viárias que cruzam a calha fluvial tem provocado processos erosivos de grandes proporções, causando assoreamento da calha e exigindo ações emergenciais de retirada de material; c) construção de condomínios em áreas de proteção ambiental tem causado processos erosivos durante eventos de precipitação; d) lançamento de efluentes domésticos de presidio estadual, numa vazão de 5,5 L/s, valor medido em setembro/2011; e) implantação de cemitério na faixa de inundação da calha fluvial; f) lançamento de efluentes de origem industrial.

Monte Egito (2006) analisou a presença de agentes mutagênicos nas aguas do rio Pitimbu. Utilizou para isso ensaios de genotoxicidade em espécie de peixe nativa *Crenicichla menezesi*. A analise de aspectos microscópicos e macroscópicos demonstraram que o uso das aguas do rio induziram aberrações cromossômicas e alterações morfológicas. Os resultados obtidos sugerem a presença de atividade mutagênica nas aguas do rio Pitimbu, o que representa um risco potencial para os seres humanos.

A BRP abrange 3 municípios da região metropolitana de Natal: Macaíba (47%), Parnamirim (43%) e Natal (10%). Nos últimos anos, a crescente preocupação com a situação de risco de degradação tem motivado a realização de estudos visando a conscientização da sociedade para o problema.

O problema em pauta reflete uma situação bastante comum na região Nordeste, gerada pelo uso e ocupação do solo nos grandes centros e por fatores institucionais relacionados com a ausência de politicas eficazes voltadas para a proteção ambiental dos mananciais de abastecimento nessas regiões. Os fatores associados ao problema geralmente tem origem local, podendo citar os seguintes: a) fragilidade institucional dos órgãos de controle da ocupação; b) capacitação técnica do pessoal fiscalizador; c) falta de interesse politico por parte dos governantes; d) poder econômico dos empresários ligados ao ramo da construção civil; e) precariedade da infraestrutura de saneamento.

Este trabalho tem o objetivo de apresentar os efeitos do uso e ocupação do solo na concentração de metais pesados no sedimento do leito fluvial em amostras coletadas em 18 pontos ao longo da calha fluvial do rio Pitimbu no período entre Setembro/2011 e Fevereiro/2012.

ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do Rio Pitimbu está situada na região do litoral leste do Rio Grande do Norte, inserida na quadricula de coordenadas 5°50'0"; 5°57'53"S e 35°11'08"; 35°23'19"W. A BRP é uma sub-bacia da bacia hidrográfica do Pirangi e possui uma área de 107,24 km².

Com um comprimento de talvegue estimado em 33 km, a nascente do sistema fluvial ocorre em Macaíba (comunidade de Lagoa Seca) numa área rural. Os efeitos da urbanização aumentam a medida que o rio vai descendo o vale em direção à planície de inundação, em Parnamirim e Natal, onde convive com diferentes tipos de fontes de poluição, sendo a poluição difusa uma das principais.

Ao longo das ultimas décadas, a BRP vem sofrendo intenso processo de transformação no uso e ocupação do solo. Estudos anteriores observaram que desde a década de 1980 a área nativa vem sendo substituída por áreas agrícolas e ocupação residencial, devido à proliferação de granjas, loteamentos e condomínios horizontais situados principalmente em áreas mais próximas de Natal. Por outro lado, nas partes altas da bacia a retirada da cobertura vegetal nativa enseja o cultivo de culturas de ciclo curto e pastagem para a pecuária extensiva na região.

Do ponto de vista hidrológico, o rio Pitimbu apresenta um regime de vazões que está relacionado diretamente com a geomorfologia da BRP. A bacia está assentada sobre sedimentos arenosos, sobrepostos a uma cobertura sedimentar cenozoica da Formação Barreiras. O regime de vazões é resultado da drenagem natural proveniente dos escoamentos superficiais (estação chuvosa) e subterrâneos (estação seca) ao longo do seu curso. A ampla variação no regime de vazões do rio, entre 0,62 $m^3.s^{-1}$ (final da estação seca) e 10,61 $m^3.s^{-1}$ (máxima observada em 2008) é justificada pelo aumento da impermeabilização na bacia e consequente aumento dos deflúvios, decorrente da ocupação desordenada (Takeshi et al., 2009).

Diante desse cenário, fatores associados ao processo de ocupação do solo, aliada à fragilidade institucional no controle da ocupação, tem resultado em impactos relevantes no sistema fluvial, seja na qualidade e na quantidade dos serviços ambientais: aumento dos deflúvios, processos erosivos e assoreamento da calha fluvial, comprometimento da variedade taxonômica das espécies bentônicas no sedimento, lançamento de esgotos sem tratamento, entre outros. A degradação do ecossistema e da agua num cenário futuro parecem ser uma situação esperada caso não sejam tomadas providencias no sentido de disciplinar a ocupação, bem como evitar a contaminação difusa pelo lançamento de esgotos sanitários (Takeshi et al., 2009).

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada neste trabalho envolveu uma serie de visitas in loco com o objetivo de realizar coleta de amostras de agua e sedimento do leito em 9 pontos pré-estabelecidos no sistema fluvial ao longo da calha do rio. A definição dos pontos de amostragem obedeceu aos seguintes critérios: a) identificação de fontes poluidoras; b) facilidade de acesso e segurança; c) observação

dos aspectos hidrodinâmicos do curso d'água com o objetivo de identificar regiões de deposito para coleta de amostras. As seções transversais foram distribuídas entre as áreas de nascente, seções no médio e baixo curso reconhecidamente submetidas aos impactos da degradação, o que poderia ser observada pelo lançamento de poluentes de origem antropogênica, seja por fontes pontuais ou difusas. A bacia objeto de estudo está apresentada na Figura 1.

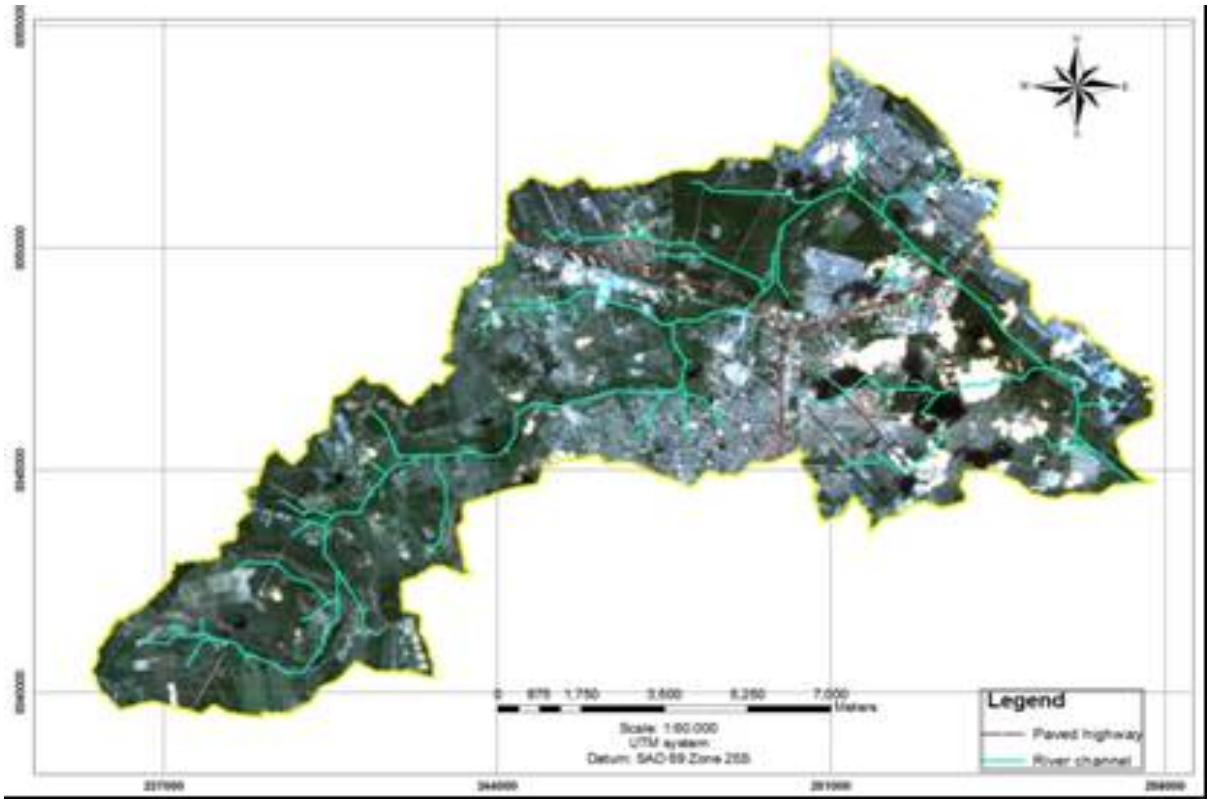


Figura 1 – Área de estudo. Fonte LANDSAT Ano 2007.

A coleta da agua foi realizada utilizando um amostrador de agua do tipo integração na vertical, modelo DH-49, o qual permitia uma amostragem mais representativa da agua na coluna liquida. Uma vez realizada a coleta, a agua foi submetida a medição direta *in loco* dos seguintes parâmetros físico-químicos: Oxigênio Dissolvido ($mg.L^{-1}$), Temperatura, pH, Condutividade ($\mu S.cm^{-1}$) e Sólidos Totais Dissolvidos ($mg.L^{-1}$). As medições foram realizadas utilizando uma sonda portátil multi-parâmetro marca Hach®. Uma vez coletada, aproximadamente 2 L de agua era acondicionada em balde plástico e a leitura era realizada imediatamente apos a coleta em ambiente sombreado uma vez que os parâmetros apresentavam comportamento estável.

As amostras de sedimento do leito, por sua vez, eram coletadas diretamente da superfície utilizando uma draga tipo Van Veen em aço inoxidável, utilizada para coleta de sedimento de leito fluvial em rios de pouca profundidade (até 1,0 m) e capacidade máxima de sedimento saturado de 1,0 kg. As

coletas foram realizadas em duplicata em pontos da calha fluvial que apresentavam processo de sedimentação de material. Esse cuidado permitia a coleta de sedimento de granulometria fina (silte e argila) e que seria utilizado para a analise da presença de metais pesados.

O sedimento fluvial, uma vez coletado com a draga, era colocado rapidamente numa bandeja plástica de polietileno (dimensões 0,25 x 0,4 x 0,05 m). O sedimento coletado era analisado quanto a sua composição antes de proceder a sua transferência para potes plásticos com capacidade de 500 g. Assim, a transferência para os potes plásticos era realizada utilizando uma espátula de aço inoxidável.

No caso de o sedimento apresentar granulometria media ou grossa, uma nova coleta era realizada. Os potes plásticos eram então fechados hermeticamente utilizando fita adesiva e armazenados temporariamente num recipiente térmico com gelo, para que não sofram aquecimento e venham a ter modificadas as suas características. As amostras de sedimento foram, então, congeladas em freezer antes de serem submetidas a analise.

O descongelamento das amostras foi realizado utilizando estufa a temperatura de 80°C durante 24 horas. O objetivo era permitir a evaporação de todo o volume de agua presente na amostra, o que resultava numa amostra de sedimento seco. Uma vez realizada a secagem da amostra, a etapa seguinte era a desagregação e posterior peneiramento, cujo objetivo era promover a separação da granulometria mais fina do sedimento. Para isso foi utilizada peneira com abertura de 63 μm, cuja abertura corresponde a fração fina de silte e argila..

Do volume de sedimento obtido após o peneiramento, aproximadamente 1 g foi separada para ser submetida à digestão acida.

Tratamento prévio do sedimento

Antes de proceder a digestão ácida, as amostras foram submetidas a um tratamento preliminar, que compreende as etapas de secagem e peneiramento. Esta etapa é importante, uma vez que promove a separação do sedimento fino, fração que melhor caracteriza a presença de substancias poluentes de fontes antropogênicas.

De acordo com Salomons & Forstner (1984) o sedimento mais fino é rico em diversos tipos de contaminantes, que compreendem desde matéria orgânica até compostos inorgânicos formados por metais pesados como Al, Fe e Mg, que se adsorvem as partículas do sedimento. Esta adsorção química é caracterizada pela formação de associações químicas entre íons ou moléculas da solução e partículas da superfície.

Ao coletar as amostras em campo não há como fazer uma separação prévia de sedimentos finos e grossos, pois elas encontram-se na forma saturada, onde há uma mistura de sedimentos de várias granulometrias com a água. O primeiro passo para a obtenção da porção de interesse do sedimento é realizar uma secagem para promover a total eliminação desta água.

A secagem do sedimento foi realizada em laboratório, utilizando estufa onde a temperatura foi controlada eletronicamente para permanecer em valores próximos a 80ºC. Ainda de acordo com Kralik, para a maioria dos componentes orgânicos pode-se utilizar temperaturas próximas a 105ºC, mas caso se deseje analisar mercúrio metálico, a temperatura deverá estar em no máximo 80ºC, devido ao seu ponto de vaporização ser relativamente baixo.

Digestão Ácida do Sedimento

A Figura 2 apresenta as etapas metodológicas com vistas à analise do sedimento fluvial. se resume nos seguintes passos: coleta e armazenamento, preparação e tratamento, digestão ácida, análise por espectrometria de absorção atômica por chama e analise dos dados.

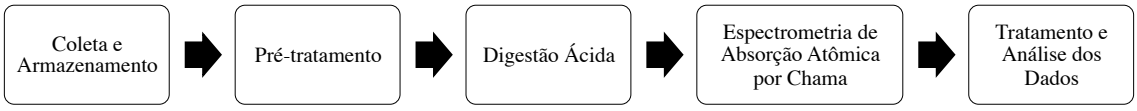


Figura 2: Etapas metodológicas do tratamento do sedimento fluvial.

Uma vez realizado o tratamento preliminar da amostra, com a obtenção de um volume seco do sedimento mais fino (argila), separou-se 1 g de sedimento com o objetivo de utilizá-lo no processo de digestão acida. Assim, o sedimento foi digerido de acordo com o método 3050B, Digestão Ácida de Sedimentos, Lodos e Solos, publicado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos - USEPA. Este método identifica dois procedimentos de digestão possíveis: a) preparação de sedimentos, lodos e solos para análise de absorção atômica por chama (FLAA) ou espectrometria de emissão atômica por plasma (ICP-AES); b) preparação de sedimentos, lodos e solos para análises de absorção atômica em forno grafite (GFAA) ou espectrometria de massas com fonte de plasma indutivamente acoplado (ICP-MS). Neste trabalho optou-se pela espectrometria de absorção atômica por chama, pela disponibilidade de acesso aos equipamentos e pessoal especializado. O fluxograma apresentando os passos metodológicos da digestão está apresentada na Figura 3. As analises dos metais no sedimento foram realizadas no Laboratório de Análises do IFRN. Na realização dos procedimentos prévios de preparação das amostras, os extratos resultantes foram diluídos em 1 litro de agua destilada.

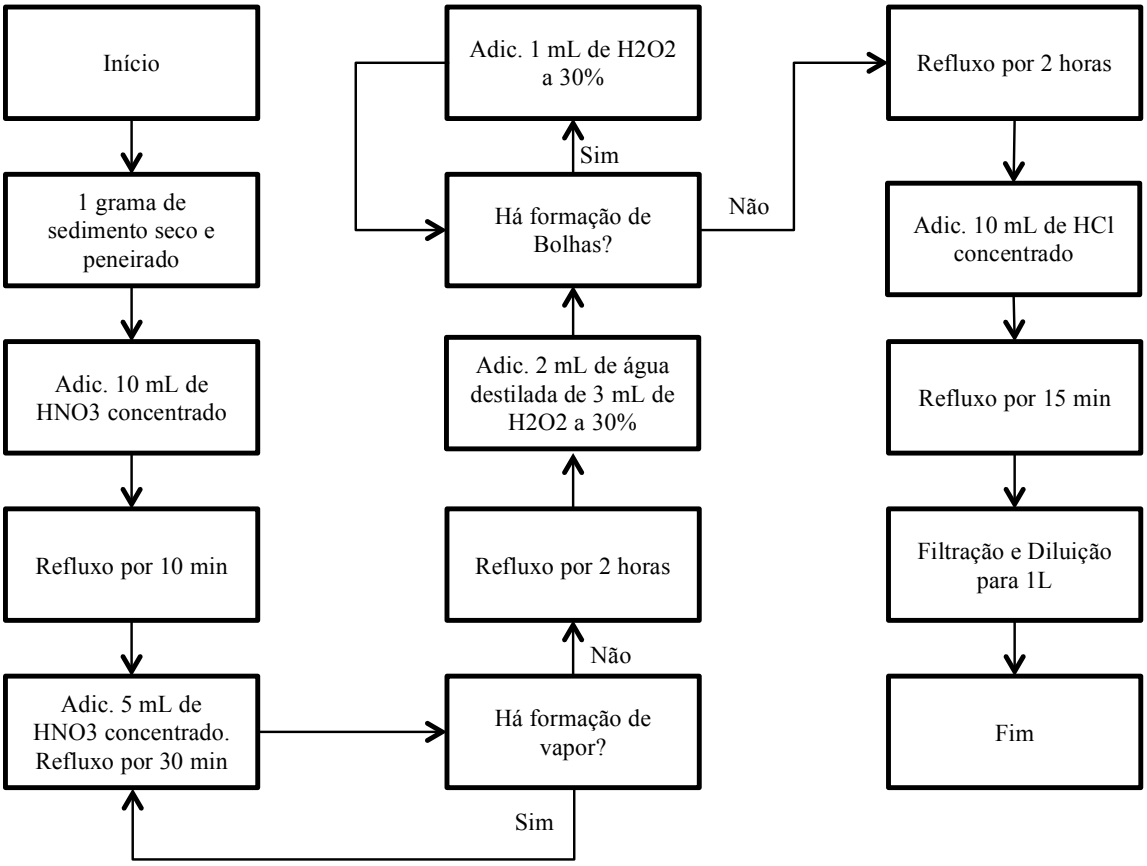
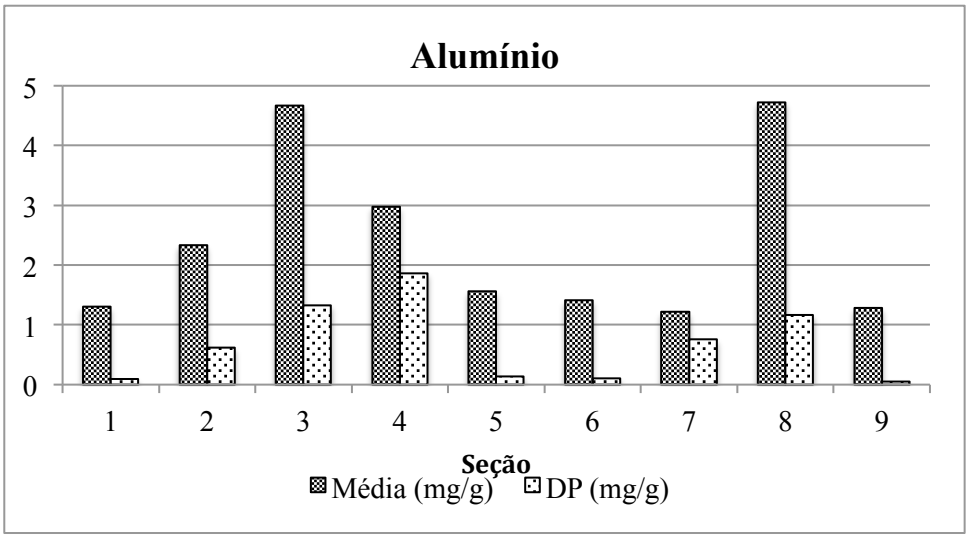
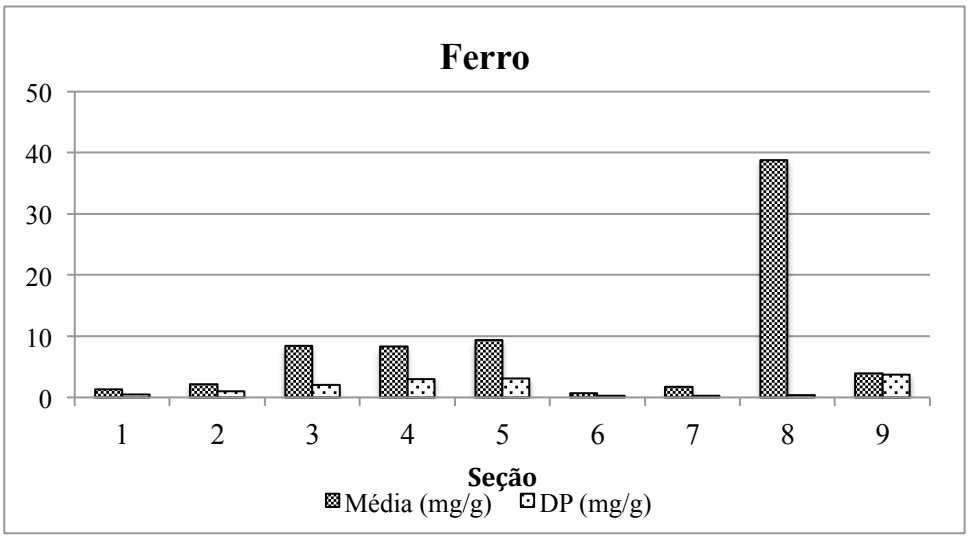


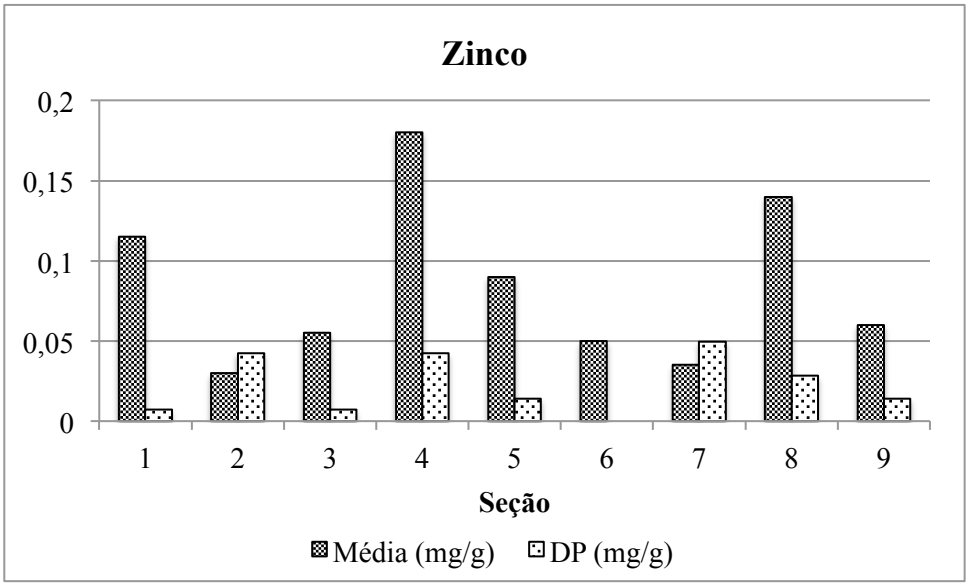
Figura 3 – Etapas metodológicas da digestão ácida do sedimento.

RESULTADOS

A metodologia utilizada neste trabalho permitiu analisar a concentração dos seguintes metais pesados no sedimento do leito do rio Pitimbu: Al, Cd, Cu, Pb, Fe, Ni e Zn. Foram observadas concentrações próximas de zero para os metais Cd, Cu, Pb e Ni. Os valores observados das concentrações (media e desvio-padrão) para o Al, Fe e Zn nas nove seções analisadas estão apresentados nos gráficos das Figuras 4, 5 e 6.







Figuras 4, 5 e 6 – Concentrações observadas (média e desvio-padrão) de Al, Fe e Zn no sedimento do leito do rio Pitimbu em 9 seções ao longo do curso fluvial.

As concentrações de Alumínio refletem a presença da fração argila na amostra de sedimento. O alumínio é um elemento de origem natural que compõe os alumino-silicatos presentes nas argilas. De fato, o alumínio pode ser usado como elemento normalizador no calculo do Fator de Enriquecimento do sedimento pela entrada de um determinado metal de origem antropogênica.

As concentrações de Ferro refletem as características mineralógicas dos solos na bacia. Além disso, observou-se uma concentração cinco vezes mais alta que a media observada em outros pontos da calha fluvial na seção 8 (38,7 mg/g). Esse valor sinaliza a entrada do metal no sistema fluvial como resultado das atividades humanas. As altas concentrações de Fe foram observadas numa seção situada a montante da ponte de Macaíba. Trata-se de um local com histórico antigo de atividade antropogênica com efeito direto de contaminação do sistema fluvial. A referida ponte está instalada na BR 304, rodovia historicamente submetida a intenso trafego de veículos com destino ao interior do estado. Alguns estudos associam a contaminação do Ferro aos sedimentos depositados em rodovias (resíduos de escapamento de veículos, corrosão das partes metálicas).

O elemento Zinco, tal como o Cr, Co e Cu, é fortemente adsorvido pelo sedimento, podendo assim ser transportado na forma de material particulado. A sua presença está geralmente associada a ocorrência de poluição difusa por efluentes sanitários tratados ou in natura. Tal como outros metais, também é adsorvido ao sedimento depositado em rodovias, estando presente nos resíduos de pneus e óleos lubrificantes. Estudos anteriores observaram teores de Zn no sedimento em algumas regiões urbanas variando entre 0,26-1,8 mg/g, valores sensivelmente mais altos do que os observados neste trabalho (Charlesworth et al., 2003; Robertson et al., 2003).

Parâmetros Físico-químicos da Água

Os aspectos relacionados com a qualidade da água podem ser representados a partir de parâmetros físico-químicos da água. Esses parâmetros estão apresentados na Tabela 1 e refletem as características do sistema fluvial no instante em que foram analisadas.

Amostra	OD (mg/L)	OD %	pH	T (°C)	Condutividade (μS/cm)	TDS (mg/L)	Data
P4.1	5,5	63,3	6,25	28,7	122	53,8	22/09/11
P4.2	5,9	66,2	6,28	28,5	121	53,8	04/10/11
P5.1	0,28	3,1	6,2	29,2	147,2	64,8	03/02/12
P6.1	1,2	15	5	27,9	174,2	78,6	14/10/11
P7.1	4,81	62,1	6,4	28,2	131,2	58	14/10/11
P8.1	0,22	2,4	6,3	28,2	146,5	64,5	03/02/12
P9.1	0,07	0,8	6,8	29,7	158,7	69,2	03/02/12

Tabela 01 – Parâmetros físico-químicos da agua do rio Pitimbu.

O Oxigênio Dissolvido (OD, em mg/L) representa a quantidade de oxigênio dissolvido na água. Serve para avaliar a capacidade de suporte da atividade biológica de organismos aquáticos. O oxigênio dissolvido na água origina-se principalmente do oxigênio atmosférico dissolvido diretamente e do oxigênio proveniente da fotossíntese de plantas aquáticas. Os resultados obtidos (OD variando entre 0,07-5,7) refletem uma situação de insuficiência de Oxigênio capaz de promover o equilíbrio no ecossistema. Nos pontos Lamarão e Ponte Macaíba a baixa concentração de OD está associada a presença de matéria orgânica (e sua relação com o consumo de oxigênio) além da baixa turbulência do escoamento. A resolução CONAMA 357/2005 estabelece que corpos d'água classe 2 devem apresentar OD superior a 5 mg/L O_2 a uma temperatura aproximada de 25°C.

O pH (potencial de hidrogênio iônico) representa o comportamento dos íons H+ e OH- e reflete o efeito de fatores como características geológicas da bacia, ações antropogênicas e a temperatura da agua. Os valores de pH observados (entre 5,0-6,8) demonstram correlação com a temperatura (que variou entre 27,9-29,7°C). A resolução do CONAMA N° 357/2005 estabelece que o pH deve variar entre 6,0-9,0 para haver condições ideais de sobrevivência dos seres aquáticos. Assim, os valores observados refletem uma condição limite de sobrevivência dos organismos sensíveis.

CONCLUSÕES

A gestão da BRP no que se refere ao disciplinamento do uso e ocupação do solo representa um desafio para toda a sociedade. Ao longo dos anos, a BRP tem sido objeto de toda espécie de intervenção, com efeitos negativos para o ecossistema e os recursos hídricos. A situação é desafiadora na medida em que o rio Pitimbu é o manancial de abastecimento da Zona Sul da região metropolitana de Natal.

Este trabalho apresentou os resultados obtidos com a analise da concentração de metais pesados no sedimento do leito fluvial em 18 pontos distribuídos ao longo da calha fluvial, bem como os parâmetros físico-químicos da agua. As altas concentrações obtidas para o Ferro numa determinada seção, confrontados com os parâmetros de qualidade da agua, revelam que o padrão de gerenciamento dos recursos da BHP (ou mesmo a ausência de qualquer planejamento de uso e ocupação do solo) não tem sido eficaz na proteção dos recursos hídricos e do ecossistema fluvial.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho utilizou recursos financeiros para Pesquisa do CNPq/MCT.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Borges, A.N., Implicações ambientais na bacia hidrográfica do rio Pitimbu (RN) decorrente das diversas formas de uso e ocupação do solo, Master thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, [2002].

Carvalho, N.O., Filizola, N.P., and Lima, J.E.F.W., *Guia de Práticas Sedimentométricas,* Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília, [2000].

Charlesworth, S.M., Everett, M., McCarthy, R. (2003). A comparative study of heavy metal distribution in deposited street dusts in a large and small urban area: Birmigham and Coventry, West Midlands, UK. Environment International, 29, 563-73.

Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, (2005), Resolução 357/2005.

Environmental Protection Agency – EPA (1996). Method 3050B – Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils.

Ferreira, R. S., and Silva, S. K., Avaliação da Qualidade da Água do Rio Pitimbu na Estação Chuvosa por Meio do IQA. Monografia de Conclusão de Curso Técnico em Controle Ambiental. Centro Federal de Educação Tecnológica do Rio Grande do Norte, Natal-RN, [2009].

FIORUCCI, A. R., BENEDETTI FILHO, E., A importância do Oxigênio Dissolvido em Ecossistemas Aquáticos. Química e Sociedade. 2005.

Kobayashi, R. T., Moreira, L.F.F. & Andrade, H.T.A. (2010). Pitimbu river lowland portion water and sediment monitoring data, Natal Brazil. International Environmental Modelling and Software Society, Ottawa, Canada.

Monte Egito, L.C. (2006). Análise da presença de agentes mutagênicos nas águas do rio Pitimbu-RN. Tese de Doutorado. UFRN, Natal.

Robertson, D.J., Taylor, K.G. & Hoon, S.R. (2003). Geochemical and mineral characterisation of urban sediment particulates, Manchester, UK. Applied Geochemistry, 18, 269-82.

Salomons, W. & Forstner, U. (1984). Metals in the Hydrocycle. Springer-Verlag, Heidelberg, 349 pp.

Santos, A.R.L., Melo Júnior, G., and Guimarães Segundo, J.E.A., Concentração de Metais Pesados em Frações Granulométricas de Sedimento de Fundo no Rio Pitimbu, Região Sul da Grande Natal (RN): Implicações para levantamentos ambientais, *Revista de Geologia*. Natal, [2002].

Tucci, E.M. (2007). Drenagem Urbana. Ed. ABRH.