

**ESTUDO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA BARRAGEM DE TAPACURÁ
PELO APORTE NATURAL DO SOLO, ZONA DA MATA NORTE DE
PERNAMBUCO, BRASIL.**

**STUDY OF THE ENVIRONMENTAL VULNERABILITY OF THE TAPACURÁ DAM
BY THE NATURAL SUPPORT OF THE SOIL, NORTHERN MATA ZONE OF
PERNAMBUCO, BRAZIL.**

Nívea Ramos de Lima¹
Alex Souza Moraes²

RESUMO

Um processo de uso e ocupação dos solos de bacias hidrográficas gera consequências como incremento de materiais para o interior da barragem, com isso é necessário estabelecer referências do atual estágio de contaminação no que se refere à qualidade dos sedimentos no interior da Barragem de Tapacurá, o qual monitoramento permitirá obter uma visão mais sistêmica da área, no que tange ao excesso ou escassez de alguns elementos químicos, além de servir como estudo de caráter geoquímico e ambiental sobre a qualidade dos sedimentos presentes nesta bacia, visando à construção do Estudo/Relatório de Impacto ambiental (EIA/RIMA). As amostras de sedimentos foram coletadas utilizando-se uma draga do tipo VAN VEEN, em pontos previamente determinados, destinadas ao laboratório, onde as amostras foram preparadas para análise química dos metais presentes. Como primeiro resultado, a partir das profundidades medidas em cada ponto, foi confeccionado o mapa atualizado da batimetria da bacia de Tapacurá. Foi calculada a toxicidade de amostras de solos e sedimentos do entorno da barragem, advindos de bibliografias servindo como referência de possibilidade de contribuição dos elementos para dentro da bacia. Por fim, a partir do Fator de Enriquecimento (FE) que foi calculado utilizando-se o Ferro como elemento normalizador, indicou-se que existe enriquecimento de Cádmio em todos os pontos coletados distribuídos dentro e fora da bacia. Embora existam semelhanças entre tais valores, não é possível afirmar a origem da alteração, fazendo-se necessários estudos futuros que possam reconhecer a natureza desse elemento.

Palavras-chave: Monitoramento Ambiental. Geoquímica. Barragem de Tapacurá. Metais pesados.

ABSTRACT

Aprocess of use and occupation of the soils of hydrographic basins, it generates consequences as the increment of materials for the interior of the dam, thereby it is necessary to establish references about the current stage of contamination regarding the quality of the Sediments inside the Tapacurá Dam, which monitoring will allow a more systemic view of the area, regarding the excess or scarcity of some chemical elements, and serve as a geochemical and

¹ Bacharelando em Engenharia Civil - Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho. 2019

² Orientador do Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil – Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho.

environmental study on the quality of the sediments present in this basin, aiming the construction of the EIA / RIME. The sediment samples were collected using a VAN VEEN dredger at predetermined points and destined to the laboratory, where the samples were prepared to follow for chemical analysis of the metals present in the sediments. As a first result, from the depths measured at each point, the map of the bathymetry of the Tapacurá basin was made. The toxicity of soil and sediment samples from the surrounding area of the dam was calculated from bibliographies serving as reference about the contribution of the elements to the basin. Finally, from the Enrichment Factor (EF) that was calculated using the Iron as normalizer element, it indicated that there is enrichment of Cadmium in all collected points distributed inside and outside the basin. However there are similarities between the values, it is not possible to confirm the origin of the change, making it necessary future studies that could recognize the nature of this element.

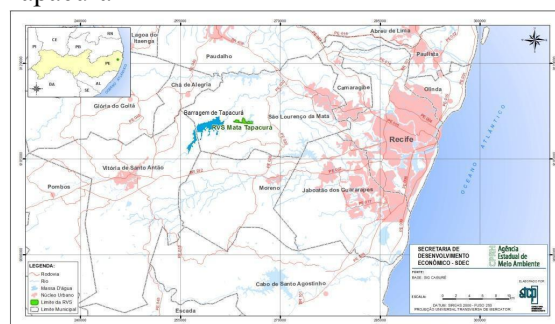
Key-Words: Environmental Monitoring. Geochemistry. Tapacura Dam. Heavy Metals.

INTRODUÇÃO

O ambiente urbano é afetado por uma grande variedade de processos contínuos e difusos de poluição proveniente de atividades antrópicas (JARTUN et al., 2008). Os poluentes oriundos dessas atividades, podem se acumular no solo, acarretando a sua contaminação e deterioração da qualidade da água do lençol freático (ATHANASIADIS et al., 2007). Os centros urbanos, com suas demandas e produção de resíduos, instalaram-se próximos aos rios e lagos, exercendo grande pressão sobre esses sistemas, carregando, desde a sua origem, um grande passivo ambiental (SILVA, 2006). Para um melhor monitoramento dessas atividades, os órgãos de gestão se utilizam de um Plano Diretor, que é o instrumento básico da Política de Desenvolvimento de um Município, que tem como finalidade regular a ocupação proporcionando sustentabilidade e melhores condições de vida para a população. Segundo a Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco (CPRH (2017)), o Refúgio de Vida Silvestre (RVS) da Mata de Tapacurá possui área de 100,92 ha, é um local que busca alcançar melhorias nas condições ambientais das áreas, aumentando a sensibilização da população e a biodiversidade. O plano de manejo deste RVS mata de Tapacurá propõe a execução de ações necessárias à criação dos conselhos gestores e elaboração dos planos de manejo, sendo o entorno do RVS

possuidor de uma relevância histórica para o município de São Lourenço da Mata para o Estado de Pernambuco.

Figura 01 – Localização do RVS Mata de Tapacurá



Fonte: Elaborado por STCP (2017) a partir de Dados da Secretaria de Desenvolvimento Econômico SDEC e da Agência Estadual do Meio Ambiente-CPRH

O município de São Lourenço da Mata é caracterizado pela presença de diferentes engenhos que ainda se fazem presentes por meio das estruturas físicas deixadas como Casas Grandes, Bueiros e Igrejas. São exemplos dessas estruturas, aquelas existentes no Engenho Veneza, Engenho Queira Deus, Engenho Concórdia e Engenho Tapacurá (CPRH, 2017). Outro aspecto cultural e histórico relevante é o antigo Colégio Agrícola, atualmente localizado no meio do lago da barragem de Tapacurá. Historicamente, a região é marcada pela presença dos monges beneditinos que, em 1912, fundaram a Escola Superior de Agricultura em Pernambuco. Na região onde antigamente

era o Engenho São Bento é que se instalou o reservatório Tapacurá e as ruínas da antiga Escola Agrícola, ainda, permanecem visíveis se configurando em um importante elemento da paisagem.

Figura 02 – Ruínas da antiga Escola Agrícola



Fonte: Pernambuco Drone Oficial (2015)

Um planejamento ambiental é considerado um processo organizacional de obtenção de dados, reflexões sobre os problemas e potencialidades de uma determinada região, através da definição de metas e objetivos, de estratégias de ação, de projetos, bem como, definição dos sistemas de monitoramento e avaliação que irão retroalimentar o processo. Este processo tem por objetivo organizar a atividade socioeconômica no espaço físico, respeitando suas funções ecológicas, de forma a fornecer o desenvolvimento sustentável. Os instrumentos utilizados com mais frequência para uma gestão ambientalmente correta do espaço são a Avaliação do Impacto Ambiental (AIA), o zoneamento ambiental e o gerenciamento da bacia hidrográfica (CPRH, 2017).

A AIA é um Instrumento que orienta no processo de avaliação dos efeitos ecológicos, econômicos e sociais que podem ser provenientes da implantação de atividades antrópicas, bem como do monitoramento e controle desses efeitos pelo poder público e pela sociedade. A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 001/86 estabelece as definições, responsabilidades, critérios básicos e diretrizes gerais para uso e implementação da AIA como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio

Ambiente. A Legislação Ambiental é muito exata nas suas apreciações no relacionado à fiscalização dos processos ambientais, como a elaboração do Estudo de Impacto Ambiental (EIA), ou no relatório de Impacto Ambiental (RIMA). Portanto, o direito à informação Legislativa Ambiental, está previsto genericamente em nossa Constituição Federal e, em se tratando de informação referente às questões relacionadas ao meio ambiente, há previsão expressa em convenções internacionais, de que as diferentes leis e normas Ambientais estão abertas ao cidadão, garantindo seu direito previsto.

O zoneamento ambiental, por sua vez é um Instrumento de ordenação territorial íntima e indissolavelmente ligado ao desenvolvimento da sociedade, que visa a assegurar, em longo prazo, a equidade de acesso aos recursos ambientais, naturais, econômicos e sócio-culturais, os quais se configuram, quando adequadamente aproveitados, em oportunidades de desenvolvimento sustentável. Por último, o gerenciamento da bacia hidrográfica, possibilita e orienta tanto o poder público quanto a sociedade, a longo prazo, sobre a utilização e monitoramento dos recursos ambientais-naturais, econômicos e sócio-culturais, na área de abrangência de uma bacia hidrográfica, de forma a promover o desenvolvimento sustentável.

Uma bacia hidrográfica é o resultado da interação da água e de outros recursos naturais como: material de origem, topografia, vegetação e clima. Assim, um curso d'água, independentemente de seu tamanho, é sempre o resultado da contribuição de determinada área topográfica, que é a sua bacia hidrográfica (BRIGANTE & ESPÍNDOLA, 2003). As consequências de incremento de materiais para o interior das barragens geradas no processo de uso e ocupação dos solos, acarreta a necessidade de se estabelecer referências do atual estágio de contaminação no que se refere à qualidade dos sedimentos no interior da Barragem de Tapacurá. Tal monitoramento permite obter

uma visão sistêmica da área em estudo que está submetido à constante influência dos ambientes urbano e industrial locais.

Nos grandes centros urbanos há um problema de natureza ambiental. A utilização de bacias de infiltração, que têm a finalidade de reduzir o volume das enxurradas provocadas pelo regime pluviométrico local e pela impermeabilização das áreas superficiais, tem provocado a contaminação dos solos com metais pesados como o cobre, zinco, cádmio, chumbo, níquel, cromo e mercúrio sob a forma solúvel ou coloidal (MAKEPEACE et al., 1995, BURTON & PITT, 2002). Há pesquisas que demonstram que os sedimentos ou as lamas acumuladas em obras de drenagem urbana (galerias, bacias de retenção e infiltração, entre outros.) estão fortemente contaminados com estes metais (LEGRET & COLANDINI, 1999, WINIARSKI et al., 2001), necessitando de estudos mais aprofundados sobre a caracterização hidráulica e hidrodispersíveis destas zonas de superfície, a caracterização das fontes de contaminação e a microbiologia presentes nestes materiais.

A compreensão dos mecanismos implicados no destino de metais pesados é primordial, a fim de prever os riscos de poluição e elaborar estratégias de biorremediação. Esta compreensão é complexa, fazendo apelo a várias áreas de conhecimento. Desta forma, a utilização conjunta de conhecimentos em Hidrologia, Física e Química do solo, Microbiologia e Geoquímica, associados à modelagem matemática, é necessária no estudo do destino de poluentes em solos. Para atender a esta necessidade pluridisciplinar, propõe-se, neste projeto, reduzir a escala de observação, passando-a da escala de campo à de colunas de solo (indeformadas) em laboratório. Desta forma, será possível controlar as condições iniciais e os limites, permitindo uma dissociação dos fenômenos implicados na transferência de poluentes no solo, o que torna possível identificar os mecanismos preponderantes que limitam e/ou modificam

o seu destino sob diferentes condições de transferência.

O Plano de Desenvolvimento Institucional (PDI) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE (2013-2020)) dispõe que a gestão socioambiental surge como uma ferramenta capaz de mitigar, ou mesmo evitar, impactos causados pelas atividades humanas em todas as áreas da sociedade. A preocupação com os impactos da atividade humana sobre o meio ambiente e o papel da Engenharia Civil neste contexto são ressaltados na disciplina de Gestão Ambiental (PDI UFRPE, 2019).

Isto posto, o Projeto Pedagógico do Curso (PPC) de Engenharia Civil, campus abolicionista Joaquim Nabuco - Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho (UACSA/UFRPE), com vistas a atender às condições dinâmicas do perfil profissional estabelecido, deve possibilitar que o currículo do curso de Engenharia Civil da UFRPE permitirá que o estudante desenvolva, durante sua formação, competências e habilidades para o pleno exercício de suas atividades profissionais, de acordo com a Resolução Nº 11/2002 – MEC/CNS/CES, tendo entre as competências a de desenvolver habilidades, como as da Administração, das Relações Humanas, Econômicas, Segurança do Trabalho e do Meio Ambiente (PPC - Engenharia civil, 2019).

Como caráter de internacionalização das pesquisas na UFRPE, foi utilizada na execução deste trabalho os critérios sugeridos pela *United States Environmental* (USEPA) Protection Agency), órgão de proteção ambiental dos Estados Unidos da América (EUA), um dos maiores centros de pesquisa ambiental do mundo e possui uma grande quantidade de trabalhos na área de estudos de contaminação, gerenciamento e remediação de sedimentos superficiais.

O monitoramento dos elementos químicos presentes no interior de rios, açudes e barragens, como a de Tapacurá, proporciona uma base consistente para avaliação do grau de impacto ambiental que o ecossistema em questão vem sofrendo desde a sua

implantação, com as indústrias nas circunvizinhanças do reservatório, até o uso e ocupação do solo pelas comunidades próximas. Tais efeitos podem vir a causar alterações em suas condições naturais, além de fornecer dados relevantes para a construção do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), que visam ao licenciamento ambiental de atividades utilizadoras de Recursos Ambientais consideradas de significativo potencial de degradação ou poluição da Estação Ecológica do Tapacurá.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Um diagnóstico ambiental de uma determinada região passa por cinco avaliações individuais de medição da qualidade dos sedimentos, sendo este trabalho abrangendo, parcialmente, a primeira e a segunda partes: a geoquímica dos sedimentos; o seu nível de toxicidade; a estrutura da biota; a química desta biota; e a patologia (USEPA, 1977).

Segundo o CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2003, para um diagnóstico geoquímico ambiental completo de uma área é necessário abranger:

- O estudo da distribuição dos elementos químicos no ambiente secundário e sua geodisponibilidade, ou seja, a forma como se apresenta nos materiais geológicos;
- A interação entre os elementos e sua adsorção pelos organismos presentes no ambiente, a biodisponibilidade;
- O estudo da grandeza da biodisponibilidade e sua ação benéfica ou maléfica para a biota, ou seja, o nível de sua toxicidade.

A avaliação da qualidade dos sedimentos é uma das mais importantes tarefas na caracterização da qualidade ambiental. É nos sedimentos superficiais aquáticos que se desenvolve a biota e todo o seu processo de alimentação e vida. Os sedimentos adsorvem e por vezes concentram os elementos químicos disponíveis, tanto na litologia, abrangidas pelas bacias de

drenagem, bem como nos produtos das ações antrópicas (erosão, assoreamento, obras de engenharia, manejo agrícola de bacias, e disposição de efluentes urbanos, mineiros, industriais e agrícolas).

A Geoquímica Ambiental desponta como uma ferramenta indispensável no estudo dos ecossistemas aquáticos, uma vez que fornece subsídios para um diagnóstico mais preciso da interdependência entre a biota e os sedimentos ali depositados (MORAES, 2013). Para um melhor entendimento do caminho que cada espécie química desenvolve dentro do ecossistema, a Geoquímica, quando em conjunto a métodos de interpretação estatística de dados ambientais, promove uma ferramenta para definir, de forma mais abrangente, a problemática e as possíveis soluções, desde acidentes ecológicos ao monitoramento do curso natural.

As associações dos elementos, sob condições naturais, agrupam-se segundo regras de comportamento e de afinidade que possibilitam prever a presença de um ou mais elementos quando é constatada a presença de outro. No entanto, tal conceituação sofre restrições quando os processos geoquímicos sofrem interferência humana. Desta forma, podem ocorrer associações de elementos, totalmente improváveis e imprevisíveis (LICHT, 2001).

É considerado pela resolução CONAMA Nº 454, 2012, a caracterização do material a dragar no leito dos corpos de água, de realização em relação ao licenciamento ambiental, o auxílio aos órgãos do Sistema Nacional do Meio Ambiente no Brasil (SISNAMA) na identificação e gestão ambiental das fontes, pontuais e difusas de poluição hídrica, para a redução e a prevenção da poluição dos sedimentos. No Art. 2º da Resolução, é definido no parágrafo IX o gerenciamento do material a ser dragado, como procedimentos integrados que incluem a caracterização, avaliação, classificação e disposição do material a ser dragado, bem como monitoramento dos seus efeitos na área de

disposição, considerando-se aspectos tecnológicos, econômicos e ambientais.

Fator de enriquecimento

O fator de enriquecimento (FE) é uma das formas de minimizar uma falsa interpretação de normatização por elementos que absorvem o metal tóxico (SILVA J. P. R. et al., 2016).

Desta forma, o teor de ferro determinado nas amostras para normalizar a concentração dos elementos metálicos nos sedimentos tem por objetivo realizar uma comparação da resposta entre o valor bruto e o do Fator Enriquecido, considerando que houve captação dos metais por algum argilomineral.

Sabendo que o FE indica o quanto a concentração do metal contaminante está enriquecida ou empobrecida em relação aos valores considerados de *background* geoquímico. A equação 1 a seguir é utilizada como exemplo de normalização com ferro:

$$FE = \frac{(\frac{Me}{Ferro})_{amostra}}{(\frac{Me}{Ferro})_{padrão}} \quad (1)$$

Sendo:

FE = Fator de Enriquecimento

Me = Concentração do Metal

Ferro = Concentração do Ferro

Assim, os intervalos de valores para avaliação do enriquecimento dos contaminantes são indicados como:

- ≤ 1 não enriquecido;
- 1 a 3 pouco enriquecido;
- > 3 a 5 moderadamente enriquecido;
- > 5 a 10 enriquecimento moderadamente severo;
- > 10 a 25 enriquecimento severo;
- > 25 a 50 enriquecimento muito severo;
- > 50 enriquecimento extremamente severo.

Isto posto, essas amostras possibilitam inferir sobre o enriquecimento de

sedimentos por poluentes a partir de determinação de seus níveis naturais. A concentração natural dos elementos nos solos, também chamada de fundo geoquímico local, é derivada principalmente do material de origem da área, associado aos processos que atuaram na sua formação geoquímica (MALLMANN, 2009). O estudo da qualidade de solos e sedimentos remonta o fato de que a simples existência de uma concentração elevada de certo elemento com características tóxicas não representa necessariamente que o ambiente tenha sofrido ação antrópica (MORAES, 2013). Isso pode por exemplo, ter ocorrido pela adsorção por argilominerais em virtude de mudanças físico-químicas do meio ou até a existência natural de uma concentração elevada de algum metal.

Toxicidade

A aplicação do conceito de que os sedimentos são uma resposta às condições de um sistema aquático, leva à conclusão de que estes atuam como um depósito para contaminantes presentes no ambiente (CARDOSO, 2011). Ao analisar os sedimentos de superfície, é possível determinar a medida, a distribuição, a possível origem e os potenciais riscos de uma contaminação real. Por outro lado, o estudo de colunas sedimentares possibilita o registro histórico das substâncias oriundas de atividades antrópicas, ou não, que se desenvolveram na bacia hidrográfica ao longo dos últimos anos (MÜLLER et al., 1977), seguindo o princípio da superposição das camadas geológicas, pelo qual as camadas sedimentares são depositadas em uma sequência temporal.

As concentrações dos metais pesados quando analisados e apresentados sob a forma evolutiva em perfis sedimentares, podem evidenciar que o incremento em seus teores está relacionado apenas à capacidade sortiva dos sedimentos, ou seja, às argilas e à matéria orgânica associada. Desta forma, tem-se uma falsa

impressão que pode existir uma ampliação da poluição, como um aumento do fornecimento de contaminantes, à medida que aumenta a quantidade de material sedimentar adsorvente, fenômeno chamado por efeito matriz. Comumente, utilizam-se os teores da crosta superior como teores de referência ou, em outros casos, os valores para folhelhos (DAVIS et al., 2003).

Para avaliar os níveis de contaminação em bacias hidrográficas, podem-se utilizar fatores em que alguns estudos identificaram como nove elementos químicos que tiveram efeito ecológico e biológico em organismos com capacidade de reagir sob efeito tóxico. Foram definidos os valores *Effect Range Low* (ERL) como a mais baixa concentração que produziu efeitos adversos em 10% dos dados revisados. Semelhante, o *Effect Range Medium* (ERM) assinala o nível no qual a metade dos estudos mostrou que houve efeitos prejudiciais. A tabela 01 mostra os nove elementos e seus respectivos limiares de toxicidade em partes por milhão (ppm).

Tabela 01 – Limiares de toxicidade

Metal	ERL (mg.Kg⁻¹)	ERM (mg.Kg⁻¹)
Arsênio	8,2	70
Cádmio	1,4	9,6
Cromo	81	370
Cobre	34	270
Chumbo	47	52
Mercúrio	0,15	,071
Níquel	21	52
Prata	1	3,7
Zinco	150	410

Fonte: USEPA (1977)

Para concentração abaixo do valor de ERL não são esperados efeitos nocivos, enquanto nível acima de ERM é provável que ocorra algum efeito tóxico. Esse método que caracteriza a toxicidade do sedimento possui algumas limitações, pois não avalia a interação de substâncias químicas múltiplas, nem considera o possível mitigador de compostos orgânicos que podem complexar em suas estruturas e neutralizar seus efeitos

tóxicos, apesar de todos esses fatores, o método prevê uma perspectiva uniforme de avaliar os níveis de contaminação.

A toxicidade dos metais pesados depende muito de sua especiação. São elementos de alta densidade, em comparação a outros elementos comuns, apresentam densidade igual ou superior a 5 g/cm³, e número atômico maior que 20 (MARQUES et al., 2002 apud SOARES, 2004). Dentre eles, o mercúrio, o chumbo, o cádmio e o arsênio, em suas formas iônicas ou orgânicas, são altamente tóxicos ao ser humano, mesmo em baixas concentrações (WHO, 1996 apud SOARES, 2004).

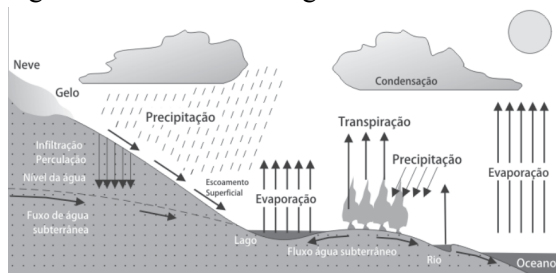
Bacias hidrográficas

Uma bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída. Ou seja, compõe-se de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório (TUCCI, 1997).

O conceito de bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão ambiental é resultante do conhecimento das relações entre as características físicas de uma bacia de drenagem e quantidade e qualidade das águas que chegam ao corpo hídrico; por outro lado, as características de um corpo hídrico refletem as de sua bacia de drenagem (PIRES et al, 2002), levando, também, em consideração todas as suas características químicas e biológicas do corpo hídrico. Neste contexto, a metodologia de adotar uma bacia como unidade geoambiental de estudo dos processos de degradação ambiental é a mais apropriada, pois constituem ecossistemas adequados para avaliação dos impactos causados pela atividade antrópica que podem acarretar riscos ao equilíbrio e à manutenção da quantidade e da qualidade da água, uma vez que estas variáveis são relacionadas com o uso do solo (FERNANDES & SILVA, 1994; BARUQUI & FERNANDES, 1985).

Segundo Tucci (2006), os processos hidrológicos na bacia hidrográfica possuem duas direções predominantes de fluxo na bacia: a vertical e a longitudinal. A vertical é representado pelos processos de precipitação, evapotranspiração, umidade e fluxo no solo, enquanto que a longitudinal pelo escoamento na direção dos gradientes da superfície (escoamento superficial e rios) e do subsolo (escoamento subterrâneo), observe a figura 03.

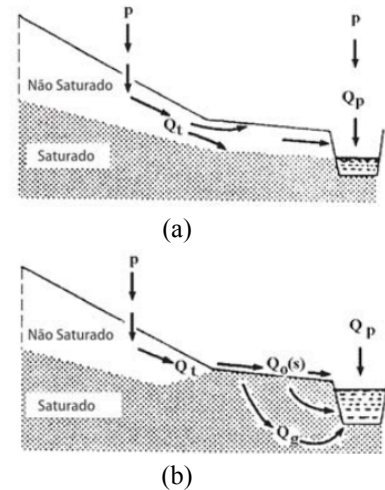
Figura 03 – Ciclo hidrológico terrestre



Fonte: IGBP (1993)

Como pode ser observado na figura 03, existe uma camada do solo não saturada, onde ocorrem infiltração e percolação e outra saturada onde ocorrem armazenamento e escoamento subterrâneo. Na camada não-saturada podem existir condições de escoamento que dependem de vários fatores físicos. Na figura 4a pode-se observar o escoamento dito “Hortoniano”, no qual o escoamento superficial é gerado em toda superfície (para capacidade de infiltração menor que a precipitação) e o escoamento sub-superficial escoar até o rio. No entanto, existem áreas onde praticamente não ocorre escoamento superficial (figura 4b), toda a precipitação se infiltra, tendo um significativo escoamento sub-superficial que é transportado pelos macroporos, que podem aparecer na superfície por meio de fontes, produzindo escoamento superficial em conjunto com a precipitação local.

Figura 04 – Escoamento em bacia hidrográfica: (a) Escoamento hortoniano; (b) Áreas de saturação



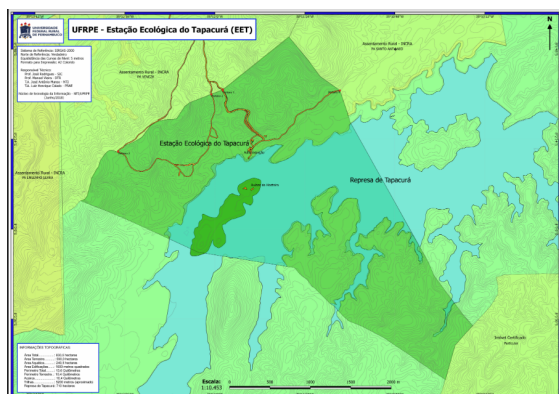
Fonte: Bruijnzeel (1990)

O escoamento superficial converge para os rios que formam a drenagem principal das bacias hidrográficas. Tal ação em rios depende de várias características físicas tais como a declividade, rugosidade, seção de escoamento do rio e obstruções ao fluxo. Os rios tendem a moldar dois leitos, o leito menor, onde escoar na maior parte do ano e o leito maior (utilizado quando o rio transborda), que o rio ocupa durante algumas enchentes. Quando o leito não é rochoso, as enchentes que ocorrem ao longo dos anos, geralmente, moldam um leito menor, de acordo com a frequência das vazões.

Área de estudo

A Estação Ecológica de Tapacurá (EET), pertencente à UFRPE, foi criada em 1975 como compensação ao enchimento do lago da Barragem do Rio Tapacurá. Encontra-se localizada a Oeste do Município de São Lourenço da Mata, na área onde funcionava a extinta Escola Superior de Agricultura São Bento, somando um total de 428 hectares e é formada por uma vegetação típica de Mata Atlântica, interceptada por canaviais.

Figura 05 – Estação ecológica de Tapacurá (EET)



Fonte: Núcleo de Tecnologia da Informação NIT/UFRPE (2018)

A barragem de Tapacurá possui sua estrutura em concreto, tem capacidade máxima de 94,2 milhões de m³ e abastece a porção sul da Região Metropolitana de Recife (RMR). Barrando o rio Tapacurá, afluente do rio Capibaribe, a represa também tem a função de conter as enchentes fluviais da RMR.

A bacia do Rio Tapacurá é um dos mais importantes afluentes do Rio Capibaribe (NORONHA, 2013), fazendo parte da bacia do Capibaribe. O mesmo se dá pela margem direita e sua área de drenagem é de 470,5 km², abrangendo 06 municípios, com 38,6% da sua área em Vitória de Santo Antão, 31,2% em Pombos, 19,8% em São Lourenço da Mata, 4,3% em Gravatá, 3,3% em Moreno e 2,8% em Chã Grande (CPRH, 2011 apud MELO, 2012). Suas nascentes ocorrem na Serra das Russas, limite fisiográfico entre Agreste e Zona da Mata (ÁLVARES et al, 2010 apud NORONHA, 2013), esta bacia conta com 14 sub-bacias menores (ALBUQUERQUE, 2010 apud MELO, 2012).

As principais delas são formadas pelos riachos Itapissirica, Natuba, Gameleira e Várzea do Una (DUARTE et al, 2007 apud MELO, 2012). Com relação aos reservatórios existentes nesta bacia, são no total 04, sendo o principal deles o reservatório Tapacurá (Figura 06), no município de São Lourenço da Mata, com capacidade máxima de 94.200.000 m³. Este tem como objetivo a proteção da capital do Estado contra as enchentes do Rio Capibaribe, bem como o abastecimento

hídrico de Recife e alguns outros municípios de sua região metropolitana, tais como Camaragibe, Jaboatão dos Guararapes, Recife e São Lourenço da Mata.

Figura 06 – Barragem do Rio Tapacurá



Fonte: COMPESA

Sob o ponto de vista qualitativo e, baseando-se na classificação do CPRH (2013), o Rio Tapacurá, na sua estação CB 62, foi considerado muito poluído (devido à presença de matadouros a montante da estação; estação está localizada a montante do reservatório Tapacurá) e o reservatório Tapacurá (estação CB 65) foi considerado poluído (BRAGA et al, 2015). A bacia do rio Tapacurá encontra-se bastante antropizada, segundo BRAGA (2000 apud DUARTE et al, 2007), com sua maior porção voltada para horticultura e policultura, ocupando 37% de sua área, seguida pela pecuária (30,2%) e, por último, pela plantação de cana-de-açúcar (12,45%). Em épocas de escassez, há interferência na captação para o abastecimento público pela Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) devido às captações dos irrigantes usuários do Rio Natuba (SRH-PE, 2010 apud MELO, 2012).

EIA/RIMA

Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto ao Meio Ambiente, ou EIA/RIMA são dois documentos que constituem um conjunto que objetivam avaliar os impactos ambientais decorrentes da instalação de um empreendimento potencialmente causador

de degradação do meio ambiente e estabelecer programas para monitoramento e mitigação desses impactos.

De acordo com a Resolução CONAMA nº 01/86, o Relatório de Impacto sobre o Meio Ambiente será acessível ao público, portanto deve ser feito com vistas ao entendimento claro das consequências ambientais do projeto. A Portaria SUDEMA/DS nº 071, de 27 de maio de 2011, estabelece a obrigatoriedade da realização de Audiências Públicas em todos os processos de licenciamento ambiental nos quais se requisitar Estudo de Impacto Ambiental - EIA e Relatório de Impacto Ambiental - RIMA o que permite a participação pública na aprovação de um processo de licenciamento ambiental que contenha este tipo de estudo.

A estrutura do EIA/RIMA deve apresentar as seguintes informações:

- **Informações Gerais:** Identifica, localiza, informa e sintetiza o empreendimento;
- **Caracterização do Empreendimento:** Refere-se ao planejamento, implantação, operação e desativação da obra;
- **Área de Influência:** Limita sua área geográfica, representando-a em mapa;
- **Diagnóstico Ambiental:** Caracterização ambiental da área antes da implantação do empreendimento;
- **Qualidade Ambiental:** Expõe as interações e descreve as interrelações entre os componentes bióticos, abióticos e antrópicos do sistema, apresentando-os em um quadro sintético;
- **Fatores Ambientais:** Meio Físico, Meio Biótico, Meio Antrópico, sua pormenorização dependerá da relevância dos fatores em função das características da área onde se desenvolverá o projeto;
- **Análise dos Impactos Ambientais:** Identificação e interpretação dos prováveis impactos ocorridos nas diferentes fases do projeto. Leva-se em conta a repercussão do empreendimento sobre o meio;
- **Medidas Mitigadoras:** Medidas

que visam minimizar os impactos adversos, especificando sua natureza, época em que deverão ser adotadas, prazo de duração, fator ambiental específico a que se destina e responsabilidade pela sua implantação.

Na proteção do Meio Ambiente, é necessário recorrer a ferramentas legais e eficazes. Para prever as possíveis falhas do processo e estrutura da Gestão Ambiental, é fundamental aplicar uma sistemática legal eficaz, bem como uma fiscalização concreta na execução das Políticas Ambientais na execução de obras que demandem depredação ao meio ambiente. O controle ambiental relaciona-se ao mesmo sistema do meio ambiente, definindo este como uma unidade global organizada de inter-relações entre elementos, ações e indivíduos. É importante a colaboração e controle do Poder Judiciário na repressão dos transgressores ambientais para que seja mantida a ordem pública ambiental.

As diferentes medidas de prevenção e organização legislativas, encontram um respaldo jurídico no Brasil, que abrange a presença das leis e normas dos âmbitos Federal, Estadual e Municipal. A incidência do processo Legislativo integra com maior segurança as políticas regidas e constituídas dos diferentes artigos que formam a Legislação Ambiental. A respectiva fiscalização e controle de processos ambientais, permite ter uma elaboração do Estudo de Impacto Ambiental (EIA), Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), Avaliação do Impacto Ambiental (AIA), peças fundamentais e obrigatórias nas obras com potencial de degradação ao meio ambiente. Dessa forma, a participação da mesma organização e sociedade pode gerar um controle ambiental na execução de obras que demandem custo de alto impacto ambiental.

Por conseguinte, o estudo laboratorial e de campo realizado na presente pesquisa contribui com dados de monitoramento e diagnóstico ambiental, podendo abranger os meios físico, biótico e socioeconômico para a elaboração e apresentação do EIA-RIMA aos órgãos ambientais responsáveis, além

da apresentação para a comunidade em forma de Audiência Pública.

MATERIAIS E MÉTODOS

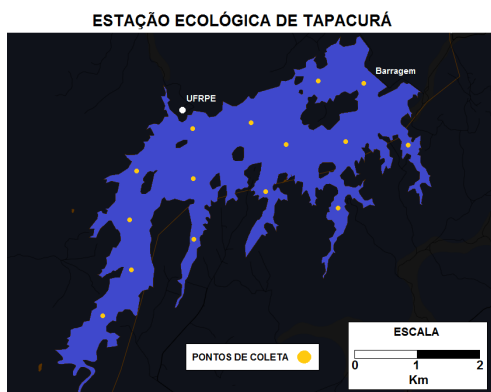
Coleta de amostras de sedimentos

Com o auxílio de um barco de pequeno porte, as amostras de sedimentos foram coletadas utilizando-se uma draga do tipo VAN VEEN, em pontos previamente determinados, ficando a critério de acesso ao local a fidelidade à previsão inicial (Figura 07), no mês de setembro de 2017.



Fonte: A autora

Figura 07 – Mapa de localização dos pontos de coleta



Fonte: A autora

Após retirada do material em cada ponto, o sedimento foi condicionado em sacos plásticos devidamente identificados até a chegada ao laboratório para análise (Figuras 08 e 09). Desta forma, foram retiradas um total de 15 amostras de sedimento, sendo identificadas neste trabalho como Tp1 até Tp15. A escolha dos pontos foi feita de modo a obter a melhor distribuição espacial na bacia.

Figuras 08 – Coleta das amostras de sedimento

Figuras 09 – Amostras de sedimento condicionado em sacos plásticos



Fonte: A autora

Durante o procedimento de coleta das amostras nos pontos, também foi realizada a medição da profundidade local, com o auxílio de um medidor a laser.

Preparo e análise das amostras

As amostras coletadas foram colocadas em estufa a 50°C para secagem. Depois de secas, elas foram retiradas da estufa e colocadas em bancada até atingirem temperatura ambiente. Em seguida, as amostras foram desagregadas e homogeneizadas em almofariz de porcelana. Separou-se 10 g de cada amostra e, posteriormente, foram enviadas para análise ao Laboratório Geosol-Lakefield.

em repouso até atingirem temperatura ambiente. Em seguida, elas foram filtradas, colocadas em balão volumétrico de 50ml e o volume aferido com solução de HNO_3 a 5%. As análises químicas foram efetuadas pela técnica de espectrometria de emissão atômica (ICP/AES), onde foram analisados os seguintes elementos: Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Mapa de profundidade

Como primeiro produto deste trabalho, a partir das profundidades medidas em cada ponto de coleta distribuídos pelo local, foi confeccionado com o auxílio do programa *CorelDraw*, o mapa atualizado da batimetria da bacia de Tapacurá (Figura 11).

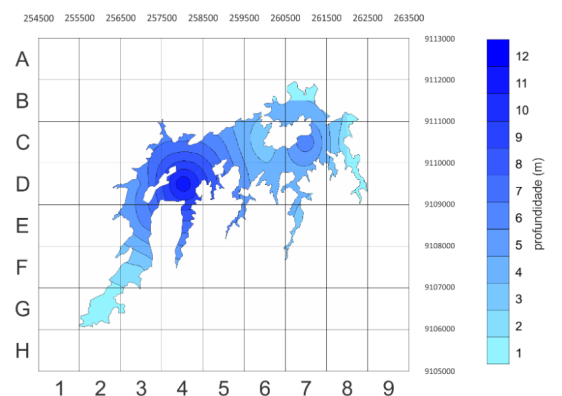
Figuras 10 – Preparo das amostras



Fonte: A autora

Uma alíquota de 1,0g de cada amostra foi solubilizada com água-régia em placa aquecedora a 100°C, por 12 horas. Após este período, as amostras foram deixadas

Figura 11 – Mapa de profundidade da bacia e Tapacurá



Fonte: A autora

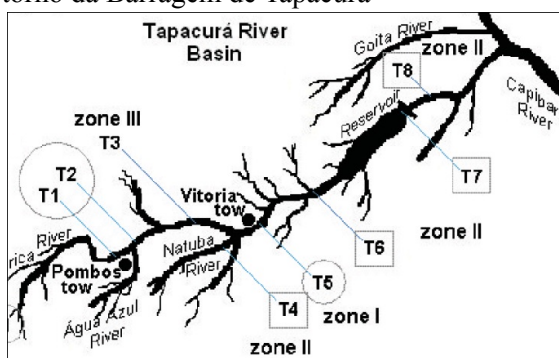
Segundo Pereira, Jógerson Pinto Gomes e Pereira, José Geraldo de Vasconcelos Baracuh (2008) batimetria é a ciência para determinação e representação gráfica do relevo de fundo de área s submersas (mares, lagos, rios). É expressa cartograficamente por curvas batimétricas que unem pontos da mesma profundidade com equidistâncias

verticais, semelhantes à curvas de nível topográficas. Basicamente o processo de batimetria tem como objetivo levantar a topografia do fundo de barragens e reservatórios. Com estes dados é possível verificar o assoreamento (sedimentos depositados no fundo), sua capacidade volumétrica e volume da massa d'água, auxiliando em pesquisas de monitoramento ambiental.

Análise de toxicidade do entorno da bacia

Visando a construir referências do entorno da bacia de Tapacurá, foram utilizados os estudos de Aprile (2008), que coletou oito amostras de sedimentos em pontos próximos à bacia (Figura 12), divulgando em seu trabalho a média dos teores obtidos para metais pesados, sendo considerado no presente trabalho apenas os elementos semelhantes aos analisados no mesmo (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn).

Figura 12 – Pontos de coleta dos sedimentos em torno da Barragem de Tapacurá



Fonte: Aprile (2008)

Isto posto, para verificar o grau de toxicidade dos elementos nas amostras de sedimentos no entorno da bacia (Tabela 02), foi realizada uma comparação dos valores médios obtidos por Aprile (2008) com os limiares de toxicidade estabelecidos pela USEPA (Tabela 01).

Tabela 02 – Resultados analíticos para os metais em sedimentos em torno da Barragem de Tapacurá.

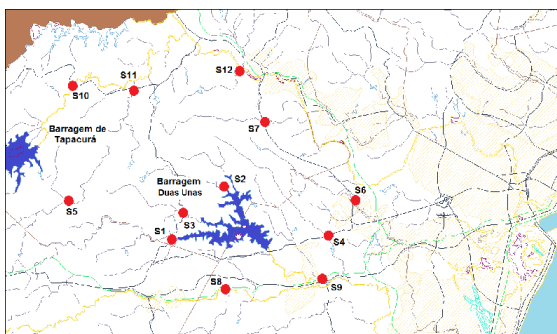
	Cd	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn
	mg. Kg ⁻¹	mg. Kg ⁻¹	mg. Kg ⁻¹	mg. Kg ⁻¹	mg. Kg ⁻¹	mg. Kg ⁻¹
ERL	1,2	81	34	47	21	150
T1	0,0 05	0,8 10	5,6 30	,08 00	0,3 90	7,8 20
T2	0,0 05	0,4 50	7,3 10	0,1 60	0,5 30	20, 580
T3	0,2 20	4,2 50	24, 870	0,3 50	3,9 30	36, 280
T4	0,2 30	3,3 20	36, 130	0,6 70	0,8 00	25, 640
T5	0,0 05	0,5 50	3,6 50	0,0 10	0,4 00	11, 460
T6	0,0 05	1,2 60	6,9 60	0,0 90	0,1 80	14, 170
T7	2,2 20	0,9 90	8,2 40	0,2 00	0,6 60	23, 720
T8	0,0 05	2,0 50	7,6 10	0,0 10	1,2 90	12, 010

Fonte: Aprile (2008)

A partir da tabela anterior, pode-se perceber que os elementos Cádmio e Cobre, apresentaram valores acima do ERL estabelecido, ou seja, para esses locais de amostras, os níveis desses metais pesados não estão garantidos em relação a não apresentarem efeitos nocivos ao meio. Vale salientar que, o ponto que apresentou uma alteração no padrão de referência do elemento Cd, foi justamente, no ponto de coleta do estudo que é localizado no interior da bacia de tapacurá (T7).

Outro estudo analisado para compor este trabalho, foi o do CPRM (2003), que coletou um total de 12 amostras de solo em pontos de potencial influência para a bacia em estudo (Figura 13). Da mesma forma, foi divulgado em seu trabalho a média dos teores obtidos para metais pesados Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn.

Figura 13 – Amostragem de solo próximas à Barragem de Tapacurá



Fonte: CPRM (2003)

Verificou-se o grau de toxicidade dos elementos nas amostras de solo (Tabela 03), sendo realizada uma comparação dos valores médios obtidos pelo CPRM (2003) com os limiares de toxicidade estabelecidos pela *USEPA* (Tabela 01).

Tabela 03 – Resultados analíticos para as amostras de solo

	Cd	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn
	mg. Kg ⁻¹	mg. Kg ⁻¹	mg. Kg ⁻¹	mg. Kg ⁻¹	mg. Kg ⁻¹	mg. Kg ⁻¹
ERL	1,2	81	34	47	21	150
S1	0,3 04	4,56 8	2,94 4	5,72 8	5,7 28	12, 208
S2	0,6 00	10,3 00	2,38 6	11,7 68	1,8 86	18, 484
S3	0,9 46	15,6 96	4,92 8	11,1 84	3,6 28	16, 016
S4	0,1 10	0,63 4	0,50 0	3,01 0	0,4 04	4,7 10
S5	0,2 60	2,85 8	1,44 8	5,70 8	1,4 16	11, 532
S6	0,2 58	26,5 40	5,44 2	13,5 44	3,5 30	16, 644
S7	0,8 12	13,3 76	6,98 6	4,81 4	6,9 04	20, 040
S8	0,4 62	9,10 4	1,17 6	5,88 4	1,3 68	7,5 14
S9	1,3 72	17,3 12	17,7 18	17,4 86	4,3 28	62, 100
S10	0,5 94	28,4 20	6,50 4	9,27 2	15, 938	18, 084
S11	1,0 10	28,5 20	14,8 32	13,2 06	11, 292	33, 240
S12	1,3 0	31,3 40	15,5 92	13,0 56	12, 876	41, 340

Fonte: CPRM (2003)

A partir da tabela anterior, podemos observar que metade dos pontos de coleta apresentou um teor igual ou maior que a metade do valor de referência do Cádmio, sendo em um dos pontos (S9) superior, não tendo a garantia de não apresentação de efeitos nocivos. Teores que apresentam a partir da metade do ERL, podem ser considerados pontos que já necessitam de uma atenção para o elemento em questão, como neste caso, além do Cd o Cu e o Ni, em alguns pontos.

Fator de enriquecimento

Por conseguinte, foram calculados, a partir da Equação 01, os valores de Fator de Enriquecimento dos metais analisados, para os resultados obtidos pelo estudo de Aprile (2008), do estudo do CPRM (2003) e das coletas do presente trabalho (Tabela 04), destacando que, apesar de terem sido coletadas 15 amostras, apenas 12 foram submetidas a análise por motivos de custo.

Tabela 04 – Fator de Enriquecimento

	Cd	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn
T1	0	0	0	0	0	0
T2	0	0	0	0	0	0
T3	0	0	0	0	0	0
T4	1	0	1	0	0	0
T5	0	0	1	0	0	1
T6	0	0	0	0	0	0
T7	5	0	0	0	0	0
T8	0	0	0	0	0	0
S1	15	1	2	2	1	2
S2	11	0	0	1	0	1
S3	13	1	1	1	0	1
S4	16	0	1	3	0	2
S5	16	0	1	2	1	2
S6	15	1	1	1	0	1
S7	12	1	1	0	1	1
S8	11	1	0	1	0	1
S9	14	0	2	1	0	2
S10	14	2	2	2	3	1
S11	13	1	2	1	1	1

S12	13	1	2	1	1	1
Tp1	7	1	3	2	1	2
Tp2	6	2	2	2	2	2
Tp3	5	1	2	3	1	2
Tp4	4	1	1	1	1	1
Tp5	4	1	1	2	1	1
Tp6	4	1	1	2	1	1
Tp7	5	1	2	2	1	1
Tp8	4	1	2	2	1	1
Tp9	4	1	2	2	1	1
Tp10	5	1	2	2	1	1
Tp11	23	1	1	2	1	1
Tp12	6	2	2	2	1	2

Fonte: A autora

Pode-se observar que todas as amostras de sedimentos coletadas no interior da barragem (Tp1 a Tp12), mostraram-se com fator de enriquecimento > 3 a 5, o que caracteriza ter um enriquecimento moderado, chegando até pontos > 10 a 25 com enriquecimento severo do elemento Cádmio. Comparando as amostras no interior da barragem, os FE's do estudo do solo de entorno (CPRM, 2003) também apresentaram valores altos de toxicidade para esse elemento, assim como, nos pontos de sedimentos de Aprile 2008, que mostra que o ponto T7, localizado do interior da barragem é enriquecido de Cd.

O cádmio é um metal pesado que mesmo sob baixas concentrações é tóxico. Níveis tóxicos deste elemento podem levar à desnaturação de proteínas e ao estresse oxidativo, resultando em danos às membranas, redução na atividade enzimática e fotossíntese, clorose, dentre várias outras mudanças metabólicas.

CONCLUSÕES

A bacia hidrográfica de Tapacurá foi selecionada neste estudo uma vez que seus sedimentos são portadores de informações acerca da resposta dos impactos ambientais provocados pelas modificações da urbanização e modificação do meio natural dessa região de interesse estratégico para a UFRPE. E com essa motivação foi possível utilizar ferramentas de Geoquímica

Ambiental aplicada à qualidade dos sedimentos presentes nesta bacia para a elaboração dos primeiros conceitos que irão compor a construção do EIA/RIMA. Quanto ao monitoramento da profundidade, essa batimetria pode ser usada como referência para outras campanhas de estudos do volume e, conseqüentemente, quanto ao aporte de material sedimentar para o interior da barragem de Tapacurá.

O fato de terem sido utilizadas amostras de solo coletadas no entorno da bacia para compor a análise de contribuição dos elementos para dentro da bacia, promoveu uma boa oportunidade de realizar comparações que contém uma assinatura geoquímica que pode ser típica do solo local ou pode ser advinda de fatores externos.

O Fator de Enriquecimento que foi calculado, utilizando-se o Ferro como elemento normalizador, indicou que existe enriquecimento de Cádmio em todos os pontos coletados distribuídos pela bacia, e tal enriquecimento pode ser atribuído como interação com o solo lixiviado para dentro da barragem. Dessa forma, o aporte de material terrígeno oriundo dos solos em torno da barragem de Tapacurá sugere que existe certo grau de vulnerabilidade ambiental no que concerne ao transporte e deposição de metais pesados, particularmente o cádmio. Isso remete à discussão sobre a presença desses metais nos solos, que pode ser natural ou de origem antrópica, neste caso pode ser devido a ações como mineração ou aditivos e corretivos agrícolas.

O Fator de Enriquecimento mostrou a quantificação dos metais que podem causar efeitos adversos na barragem e em seu entorno, podendo ser recomendada a extrapolação deste estudo para uma área maior da Área de Proteção da Mata de Tapacurá, bem como dos principais tributários que alimentam a barragem além de um adensamento da malha de coleta de sedimentos.

REFERÊNCIAS

- ATHANASIADIS, K. et al. On-site infiltration of a copper roof runoff: Role of clinoptilolite as an artificial barrier material. **Water Research**. v.41, p.3251-3258, 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135407003235?via%3Dihub>. Acesso em: 09 jun. de 2019.
- BRAGA, R. A. P. et. al. **Gestão e educação socioambiental na bacia do Capibaribe. Recife: Publicações**. Associação Águas do Nordeste (ANE). 2015. Disponível em: <http://www.aguasdonordeste.org.br/website/wp-content/uploads/2015/03/Livro-%E2%80%90Gest%C3%A3o-e-Educa%C3%A7%C3%A3o-Socioambiental-na-Bacia-do-Capibaribe%E2%80%9D.pdf>. Acesso em: 10 jun. de 2019.
- BRASIL. **Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001**. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, [2001]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/10257.htm. Acesso em: 05 jun. 2019.
- BRIGANTE, J. & ESPÍNDOLA, E. L. G. **Limnologia Fluvial: Um Estudo no Rio Mogi-Guaçu**. São Carlos: RiMa, 278p, 2003.
- SILVA, B. A. W.; AZEVEDO, M. M.; MATOS, J. S. Gestão Ambiental de Bacias Hidrográficas Urbanas. **Revista VeraCidade**. Ano 1. nº 1. 2006. Disponível em: <http://www.veracidade.salvador.ba.gov.br/v1/images/veracidade/pdf/artigo2.pdf>. Acesso em: 25 mai. 2019.
- SILVA J. P. R. et al. Desenvolvimento de um sistema de análise por injeção em fluxo para pré concentração de Cd sobre resina de XAD-4 modificada com fenilfluorona e determinação por espectrometria de absorção atômica. **Química nova**. Niterói, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: http://quimicanova.sbq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=6431.
- CARDOSO, A. R. **Evolução Urbana e o Enriquecimento de Sedimentos por Metais-pesados na Barragem Mãe d'Água, Sub-Bacia do Arroio Dilúvio, RMPA/RS**. 2011. 87 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/33785>. Acesso em: 25 mai. 2019.
- DAVIS, A. M., HOLLAND, H. D., TUREKIAN, K. K. **Treatise on Geochemistry**. 1ª ed. Amsterdam: Pergamon Press, 5155 p. 2003.
- DUARTE, C. C. **Análise dos impactos das mudanças climáticas no escoamento superficial da bacia hidrográfica do rio Tapacurá - PE, a partir da utilização de um modelo de balanço hídrico mensal semidistribuído**. 2009. Dissertação (mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/6261>. Acesso em: 28 mai. 2019.
- DUARTE, C. C. et. al. Análise Fisiográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Tapacurá - PE. **Revista de Geografia**. Recife, v. 24, nº 2, mai/ago. 2007. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/228696/23118>. Acesso em: 28 mai. 2019.
- MAKEPEACE, D. K.; SMITH, D. W.; STARLEY, S. J. Urban stormwater quality: Summary of contaminant data. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 25, 93-139 p., 1995.

Disponível em:
<https://doi.org/10.1080/1064338950938847>
 6. Acesso em: 15 jun. 2019.

MALLMANN, F. J. K. **Simulação do Transporte Vertical de Zinco, Chumbo e Cobre em Solos Contaminados**. 2003. 147 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/5490>. Acesso em: 16 jul. 2019.

MORAES, A. S. **Comportamento geoquímico de elementos maiores e traço em solos e sedimentos no Complexo Industrial Portuário de Suape, Brasil** - Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2013.

MÜLLER, G; GRIMMER, G. BÖHNKE H. Sedimentary Record of Heavy Metals and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Lake Constance. *Naturwissenschaftl.* v. 64, pp.427-431. 1977.

NORONHA, E. A. P. **Análise das Potencialidades e Vulnerabilidades Socioambientais Decorrentes do Processo de Expansão da Industrialização no Município de Vitória de Santo Antão-PE**. 2013. Dissertação (Mestrado em Gestão do Desenvolvimento Local) – Faculdade de Ciências da Administração de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Recife, 2013, Disponível em: https://w1files.solucaoatrio.net.br/atrio/upe-gdls_upl/THESIS/53/dissertao_eugnio_noronha.pdf. Acesso em: 12 jul. de 2019.

PEREIRA, J. P. G.; BARACUCHY, J. G. V. **Ecobatimetria: Teoria e Prática**. 1 ed. Campina Grande: Gráfica Agenda, 2008. 84p.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO. Conselho Universitário. **Resolução nº 36/2018**. Plano de desenvolvimento institucional UFRPE 2013-2020. Recife: Conselho Universitário, 2018. Disponível em:

<http://cpa.ufrpe.br/sites/cpa.ufrpe.br/files/PDI%20UFRPE%202013-2020%20ATUALIZADO%20%282018%29.pdf>. Acesso em: 06 junho de 2019.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 001/86, de 03 de setembro de 2018**. Define as situações e estabelece os requisitos e condições para desenvolvimento de Estudo de Impacto Ambiental – EIA e respectivo Relatório de Impacto Ambiental – RIMA. Disponível em: <http://www.palmares.gov.br/wp-content/uploads/2018/09/res-conama-01-1986.pdf>. Acesso em: 06 junho de 2019.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 454, de 1º de novembro de 2012**. Estabelece diretrizes gerais e procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2012/res_conama_454_2012_materialserdragadoemaguasjurisdicionaisbrasileiras.pdf. Acesso em: 14 junho de 2019.

SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E GESTÃO; AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE. **Plano de manejo do refúgio de vida silvestre mata de tapacurá**. Execução das ações necessárias a criação dos conselhos gestores e elaboração dos planos de manejo para os refúgios de vidas silvestres: mata de tapacurá, mata de engenho tapacurá, mata do outeiro de pedro, mata do camocim e mata do toró – São Lourenço da Mata/PE. Curitiba: SEPLAG, 2017. Disponível em: http://www2.cprh.pe.gov.br/wp-content/uploads/2021/01/PM_RVS_Tapacura.pdf. Acesso em: 05 jun. 2019.

SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS. **Plano hidroambiental da bacia hidrográfica do rio Capibaribe**: Tomo I - Diagnóstico hidroambiental. v

01/03 / Projetos Técnicos. Recife: SRH-PE, 2010. 226 p. Disponível em: <http://www.srh.pe.gov.br/hidroambiental/files/capibaribe/TOMO%20I%20-%20VOL.%20I%20-%20Diagnostico-21.07.11.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2019.

SOARES M. R. **Coefficiente de Distribuição (Kd) de Metais Pesados em Solos do Estado de São Paulo**. 2004. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-31052005-170719/publico/marcio.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2019.

THOMAS, R.; MEYBECK, M. The use of particulate material. **Water Quality Assessments** - A guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring. Chapter 4, 134 – 181 p. D. 1996. Disponível em: http://filesrodadas.anp.gov.br/round9/arquivos_r9/guias_R9/perfuracao_R9/Bibliografia/water_quality_assessment.pdf. Acesso em: 01 jul. 2019.

TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A.; **Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica**/ Ministério do Meio Ambiente / SQA. – Brasília: MMA, 2006. 302 p. ISBN 85-7738-047-5. Disponível em: <http://projects.mcrit.com/ceara/attachments/article/189/Avali%C3%A7%C3%A3o%20ambiental%20de%20bacias%20hidrogr%C3%A1ficas.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2019.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico (CNPQ), através do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC), que foi fundamental para o desenvolvimento da pesquisa. Ao professor Dr. Alex Souza, por ter sido meu orientador e ter desempenhado tal

função com dedicação e amizade. A Deus, aos meus pais, aos meus irmãos e ao meu marido, que me incentivaram e apoiaram ao longo de todo o período de tempo em que me dediquei a este trabalho.