

GEOCROLOGIA E TAXA DE SEDIMENTAÇÃO UTILIZANDO ²¹⁰PB CORRELACIONADOS COM METAIS PESADOS EM CORE'S DE SEDIMENTOS

Felippe Fernandes¹, Elissandro Voigt Beier², Cristiano Poletto³

¹Felippe Fernandes – Center for Water Resources and Applied Ecology – CRHEA, University of São Paulo – USP. E-mail: fernandes_felippe@hotmail.com; ²Elissandro Voigt Beier – Center for Water Resources and Applied Ecology – CRHEA, University of São Paulo – USP. E-mail: elissandrovoigt@hotmail.com; ³Cristiano Poletto – Hydraulic Research Institute – IPH, Federal University of Rio Grande do Sul – UFRGS. E-mail: cristiano.poletto@ufrgs.br

Palavras-chave: Geocronologia por ²¹⁰Pb; Taxa de Sedimentação; Metais Pesados

Introdução

O crescimento urbano às margens ou no entorno dos ecossistemas aquáticos ocasiona a degradação da qualidade das águas, acarretando em prejuízos expressivos à comunidade aquática e a saúde pública pois a carga de poluentes lixiviados ou carreados junto aos sedimentos, tendo por destino final a sedimentação em corpos d'água. Os poluentes são encontrados e produzidos em maior frequência nas bacias hidrográficas urbanizadas, ocorrendo de forma natural e/ou antropogênica.

Em ambiente urbano, os metais estão entre os poluentes encontrados em maior frequência, ocorrendo de forma natural e/ou antropogênica. Esses elementos, apesar de muitas vezes serem associados à toxicidade, devem ser tratados de forma diferenciada, uma vez que alguns são essenciais tanto às plantas quanto aos animais.

Os sedimentos são constituídos por partículas minerais e matéria orgânica que são transportadas ou depositadas nos corpos d'água. Os processos derivados das atividades antropogênicas industriais e urbanas são responsáveis pela entrada de cargas de elementos tóxicos nas águas superficiais das bacias hidrográficas, e podem afetar a qualidade dos sedimentos. Os sedimentos podem estocar espécies químicas ou, então, atuar como uma fonte secundária de poluição, por meio da disponibilidade de contaminantes ao sistema.

Estes elementos, apesar de muitas vezes serem associados à toxicidade, devem ser tratados de forma diferenciada, uma vez que alguns são essenciais tanto às plantas quanto aos animais. Através disso, as modificações antrópicas em áreas urbanas podem implicar em diversos passivos ambientais no aspecto hidrológico, onde a qualidade da água seja ela superficial ou subterrânea estará sujeita a

degradação.

Poletto e Castilhos (2008) trazem como as principais implicações a perda de qualidade dos recursos hídricos o lançamento de efluentes sejam eles domiciliares, industriais ou provenientes das atividades agrícolas, sendo considerada sua deposição no corpo hídrico na forma líquida e sólida ou ainda que possam infiltrar através do solo.

A disponibilidade dos contaminantes são desinentes de inúmeros processos químicos, físicos e biológicos podendo ocasionar a liberação dos contaminantes presentes nos sedimentos para a coluna d'água, produzindo riscos ao ecossistema local. Por sua capacidade de acumular contaminantes ao longo do tempo e pela sua importância ecológica, os sedimentos têm sido utilizados como importantes indicadores da qualidade dos ecossistemas aquáticos, sendo hoje considerados tão importantes quanto a coluna d'água em avaliações ambientais (Abessa, 2002; Chapman e Mann, 1999; Linkov et al., 2001).

Estudos em ecossistemas lacustres apontaram como possível fonte dos elementos metálicos o uso e ocupação do solo por meio da urbanização, áreas agrícolas (SALOMONS & FÖRSTNER, 1984). Apesar do benefício decorrente da utilização de herbicidas, pesticidas e fertilizantes para o aumento na produtividade das culturas, as implicações ambientais são inúmeras, sobretudo pela toxicidade quando há a ingestão gradual desses produtos.

A impermeabilização do solo contribui para o carreamento dos poluentes através do escoamento superficial. Substâncias nocivas à saúde do meio ambiente podem estar agregadas ao sedimento escoado e conter elementos como metais, hidrocarbonetos e organoclorados, consequentemente podem levar a contaminação o corpo d'água receptor (METRE; MAHLER, 2003).

Para Muller et al. (1977), os contaminantes em ecossistemas aquáticos podem ser investigados analisando parâmetros como a água, partículas de sedimentos em suspensão, ou então os sedimentos. Nas últimas décadas acentuou-se a preocupação quanto à contaminação e poluição do solo e das águas superficiais e subterrâneas devido à grande expansão urbana e industrial (MEURER, RHEINHEIMER e BISSANI, 2010).

Os sedimentos acumulados em estuários e lagos contêm, um registro histórico valioso sobre mudanças ocasionadas em decorrência de processos antrópicos. A geocronologia de sedimentos, atua como um implemento na determinação da história recente de poluição por metais pesados, por exemplo atuando sobre a taxa de afluência de contaminantes, onde através de análises de radionuclídeos presentes em testemunhos amostrados de um corpo d'água, vem sendo aplicados com maior frequência, devido a seus métodos de análise terem sido aprimorados, levando a um grau de significância elevado no que tange os estudos de impactos ambientais (LIMA, 2000).

A técnica de datação com o ²¹⁰Pb tem sido difundida entre trabalhos que visam o gerenciamento dos recursos hídricos. Obtém-se resultados satisfatórios e de grande relevância no estabelecimento de um histórico ambiental, referentes a geocronologia de sedimentos com idades de até cerca dos 150 anos, ganhando maior relevância, ainda, quando aplicada em regiões de intensas atividades antrópicas, uma vez que os sedimentos de estuários e lagos guardam um registro valioso com informações históricas sobre alterações ambientais em razão da atividade industrial (ALEXANDER et al., 1993).

Recentemente, uma grande maioria dos trabalhos que visam avaliar a taxa de sedimentação tem optado por utilizar o método do ²¹⁰Pb, principalmente em ambientes lênticos, como lagos e represas (ALMEIDA, 2003; BONOTTO; LIMA, 2006; LIMA, 2000).

Compreender a dinâmica de sedimentos de uma bacia hidrográfica tem grande importância, por exemplo, sobre as alterações de uso e ocupação da terra, a urbanização ou desenvolvimento econômico e dos impactos das mudanças climáticas. Segundo Boaventura e Moreira (2003), os sedimentos lacustres são oriundos dos processos de intemperismo das rochas e erosão dos solos presente em uma determinada Bacia hidrográfica.

Assim, a presente pesquisa visa elaborar através da taxa de assoreamento e a geocronologia por chumbo 210 visualizar dentre o período de 4 décadas de deposição dos sedimentos comparando e identificando com a evolução da urbanização, sendo de suma importância no campo da hidrossedimentologia, partindo do princípio de que a poluição oriunda da urbanização agrega-se aos sedimentos sendo lixiviados e depositados nos ecossistemas lacustres.

Material e Métodos

Escolha e local da amostragem dos CORE's de sedimentos

Fernandes & Poletto (2017) determinaram o local escolhido para o estudo de caso e a coleta dos sedimentos. A área

amostrada, situa-se no estado do Rio Grande do Sul, região metropolitana de Porto Alegre, mais precisamente no município de Viamão. A barragem Mãe d'Água é um afluente do Arroio Dilúvio, importante curso d'água que se estende para o município de Porto Alegre, cortando-o no sentido Leste-Oeste.

A barragem Mãe d'Água é o exutório de quatro arroios, correspondendo a uma área de 353 ha e se situa no Campus do Vale da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. A Figura 1 representa a dimensão da bacia hidrográfica do barramento, caracterizando a localização e a área de estudo.

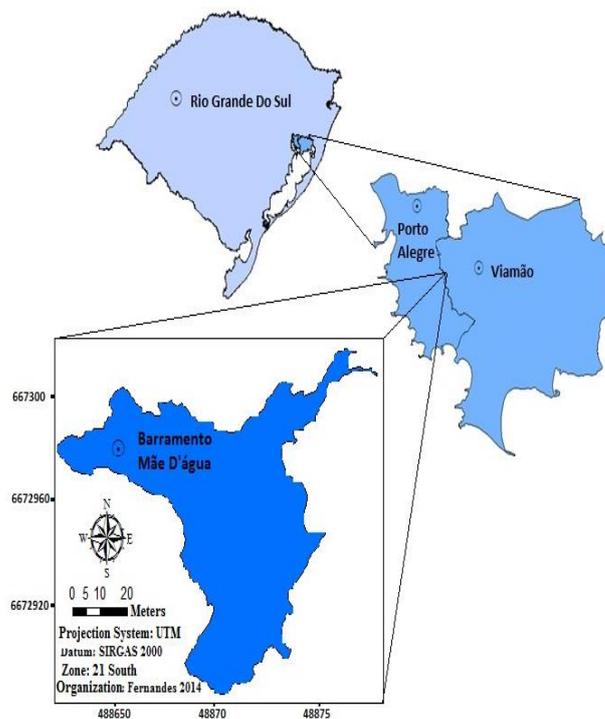


Figure 1 – Location and representation of the study dam in the Metropolitan Area of Porto Alegre- RS.

Coleta dos sedimentos de fundo

Segundo Fernandes & Poletto (2017) a coleta das amostras foi realizada no dia 09/06/2014. Os pontos da coleta dos testemunhos foram planejados, buscando obter uma melhor distribuição espacial no lago e respeitando a hidrodinâmica do local.

Os testemunhos foram amostrados e seus dados foram tabulados, como as coordenadas geográficas dos pontos, altura da lâmina d'água e o comprimento do perfil sedimentar de acordo com a Tabela 1.

Table 1 – Information of the collected sediment cores

Sample (Core Sampling)	UTM coordinates (m) (Ellipsoid WGS-84)		Water line (m)	Core sampling length (m)
	X	Y		
T1	488716,34	6672912,68	0,40	0,60
T4	488729,65	6672984,72	0,40	0,57

A técnica empregada foi do amostrador de núcleo (“Core Sampling”), sendo um conjunto de peças destacáveis, consistindo na introdução de um tubo cilíndrico rígido de PVC com 75 milímetros de diâmetro, para amostrar o

sedimento de fundo.

No ato da coleta, foi utilizada uma embarcação que forneceu segurança ao desenvolvimento da atividade, garantindo a estabilidade necessária da tripulação e retirada dos testemunhos, conforme os estudos realizados por Mozeto (2006), Damatto (2009) Fernandes & Poletto (2017).

Análises Laboratoriais

Análise cronológica por ^{210}Pb

Abertura e digestão das amostras de sedimentos, foi utilizando o método de digestão total EPA-3052 foi selecionado para abertura dos sedimentos, conforme a metodologia e procedimentos usuais do IPEN-USP e preconizado por Mora (2015), considerado adequado para aplicações que requerem digestão total de amostras. Esse protocolo da Environment Protection Agency (USEPA).

A metodologia utilizada no instituto de pesquisa energéticas nucleares (IPEN-USP) é baseada na separação radioquímica sequencial do ^{226}Ra e ^{228}Ra por co-precipitação com sulfato de bário e rádio e do ^{210}Pb por co-precipitação com cromato de chumbo, seguida das contagens alfa e beta total. A técnica selecionada é adequada para medidas ambientais em que as concentrações da atividade do ^{210}Pb sejam muito baixas e quando existem alíquotas muito pequenas da massa de sedimento disponível para o ensaio e por fim a Determinação da idade do sedimento ocorreu empregando o método C.R.S. (Constant Rate of Supply).

A formulação matemática utiliza uma integração dos valores das atividades deve ser levado em consideração a profundidade da amostra do sedimento extraído e a profundidade onde a atividade se torna desprezível (ALLEN *et al.*, 1993; MCDONALD; TURNER e DELORME, 1996). Dessa forma, determina-se através da Equação 1.

$$B_z = B_\infty \cdot e^{-\lambda z} \quad (1)$$

Em que:

- B_z é a atividade integrada de ^{210}Pb “não produzido” desde a base da coluna sedimentar até à profundidade z ;
- B_∞ representa a atividade integrada em toda a coluna de sedimentos.
- λ : Constante de decaimento radioativo do ^{210}Pb ($0,0311 \text{ ano}^{-1}$).

A idade do sedimento a uma profundidade z é, então, dada pela Equação 2.

$$t = (1/\lambda) \cdot \ln[B_\infty / B_z] \quad (2)$$

Em que:

- t : É a idade da amostra do sedimento;

- λ : Constante de decaimento radioativo do ^{210}Pb ($0,0311 \text{ ano}^{-1}$);
- B_∞ : representa a atividade integrada em toda a coluna de sedimentos;
- B_z : é a atividade integrada de ^{210}Pb “não produzido” desde a base da coluna sedimentar até à profundidade z .

Resultado e Discussão

Taxa de sedimentação

A determinação da taxa de sedimentação, pode-se correlacionar com a quantidade de massa que é aportada ao manancial e por destino final o reservatório por meio da técnica do ^{210}Pb , que permitiu calcular a idade da coluna sedimentar e das suas frações e o fluxo de massa dos sedimentos no barramento Mãe d'água provenientes da bacia hidrográfica conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Valores da taxa de sedimentação

Taxa de Sedimentação (cm/ano)	
T1	T4
1,77	1,1

Os lagos oferecem condições ideais para a determinação da taxa de sedimentação e posterior datação da coluna sedimentar por diferentes técnicas, tais como a do ^{210}Pb , pois são ambientes deposicionais com pouca perturbação, onde predominam sedimentos com granulometria fina, diferentemente dos oceanos que apresentam algumas dificuldades nessas determinações.

Taxa de sedimentação reflete no índice de assoreamento do reservatório em centímetros por ano, e também identifica as regiões mais propícias ao acúmulo. Sabe-se que os sedimentos atuam como registro histórico da evolução da bacia, pois podem estocar espécies químicas ou, então, atuar como uma fonte secundária de poluição, por meio da disponibilidade de contaminantes ao sistema.

A taxa de sedimentação média no T1 é de 1,77 cm/a, esta taxa de sedimentação em T1 pode ser justificada o fato da granulometria ser predominantemente silte-argilosa ($>63\mu\text{m}$) conforme o trabalho de Fernandes, (2017), além de sua localização próxima a margem, onde as velocidades são menores e tendendo ao processo de sedimentação.

Já o testemunho 4 obteve-se a taxa de sedimentação igual a 1,14 cm/a sendo menor que em T1 e apresenta granulometria Silte-Arenoso, conforme o trabalho publicado por Fernandes, (2017). O testemunho sedimentar T4 encontra-se na entrada do canal, sob o talvegue e influencia dos afluentes que abastecem o reservatório, onde as velocidades são maiores, o que leva ao oposto do T1, dificultando a sedimentação neste ponto.

Segundo Lima, (2000) em ambientes de atividade energética intensa como rios, estuários e outros, onde a dinâmica das

águas e os processos de erosão são responsáveis por freqüentes alterações nos registros sedimentológicos, podem dificultar o estabelecimento da taxa de sedimentação ou apresentar valores menores e deverá ser realizada somente com a coleta apropriada dos sedimentos.

Geocronologia por ^{210}Pb

Os testemunhos 1 e 4 de sedimentos do Reservatório de Mãe d'água apresentaram boa linearidade, constituindo um ambiente de propício para o estudo cronológico.

Na Figura 2 é apresentado o ano da cronologia de ^{210}Pb das camadas sedimentares depositadas ao longo das décadas, em função da profundidade, no perfil de sedimento T4 (apenas a faixa de 10 a 30 cm não apresentou uma boa linearidade, mas não interferiu nos resultados do estudo, com R^2 para T1 igual a 0,92 e para T4 igual a 0,93).

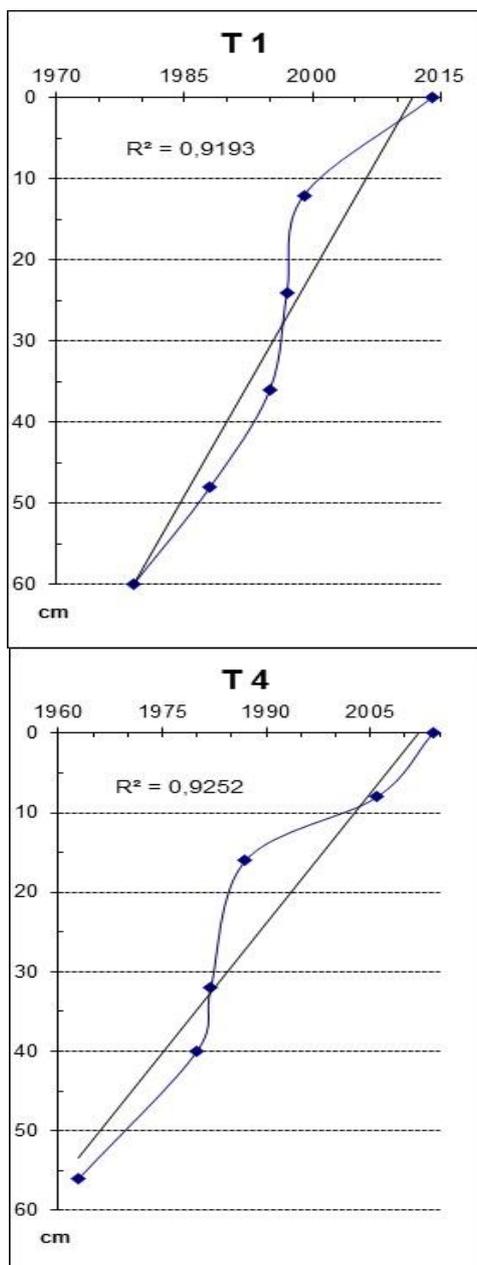


Figura 2 - Geocronologia dos perfis de sedimentos amostrados no reservatório Mãe d' água.

O perfil de sedimento coletado T1 e T4 correspondem a um período de acumulação de aproximadamente 45 anos, com a camada mais profunda atingindo o ano de 1970 e 1960

respectivamente.

A pesquisa realizada por Damato (2009) obteve resultados de geocronologia satisfatórios, onde realizou a amostragem de núcleos de sedimentos no reservatório do Rio Grande que é responsável pelo abastecimento de água de quatro cidades (São Bernardo do Campo, São Caetano do Sul, Santo André e Diadema) e tem sido seriamente afetada pela expansão urbana da região metropolitana de São Paulo, devido ao caótica urbanização e uso e ocupação do solo.

Nery (2009) realizou estudos sobre a geocronologia com o ^{210}Pb em núcleos amostrados no rio Amazonas e quando analisados apresentaram uma boa semelhança entre eles, demonstrando assim que esses elementos apresentam comportamento conservativo, confirmando sua grande utilidade como traçador ambiental.

Portanto, ao longo das últimas décadas tem havido um aumento na pesquisa com base no uso destes radionuclídeos naturais no ambiente, principalmente em pesquisas que envolvam os sedimentos. O estudo de sedimentos é recente e importante para rastrear as atividades do homem no meio ambiente; e determinar os impactos principalmente sobre nos últimos 150 anos sendo o limite confiável para a geocronologia com ^{210}Pb , podendo variar, dependendo das características locais da área e dos sedimentos pode se chegar a ordem dos 150 anos.

Enriquecimento por metais (Zinco e Níquel)

Fernandes e Poletto, (2017) analisaram a Concentração dos metais zinco e níquel em CORES's de sedimentos no mesmo reservatório, e nos mesmos perfis de sedimentos.

A Figura 3 e 4 apresentam as distribuições dos teores de zinco e níquel (em mg.Kg-1) nos testemunhos (T1 e T4) de sedimento de fundo depositados no lago do barramento Mãe d'Água determinados por Fernandes & Poletto (2017). Todos os testemunhos apresentaram valores acima do background local estabelecido por Poletto (2007) e do background natural global estabelecido por Förstner & Wittman (1983) para o zinco e níquel, sendo que as ações antrópicas dentro da bacia hidrográfica explicam o aumento na concentração desse metal. Com exceção do T4, que apresenta uma redução nos valores determinados na superfície

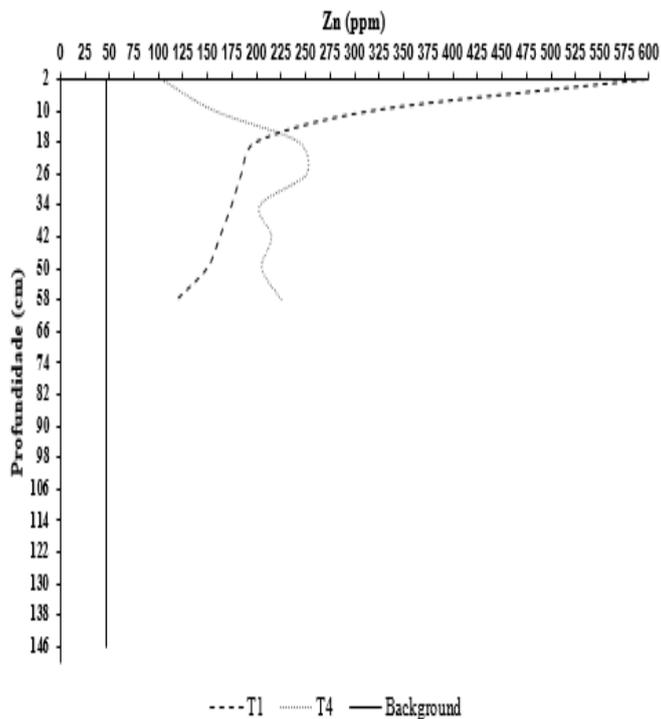


Figura 3 – Distribuição das Concentrações de zinco em relação com a profundidade em cores de sedimentos do barramento Mãe d'água.

Fonte: Fernandes e Poletto, (2017)

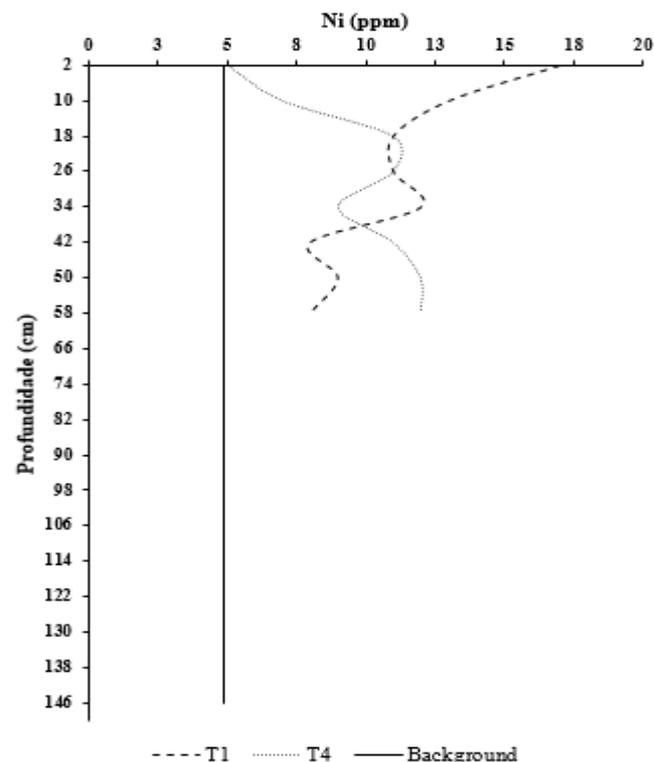


Figura 4 – Distribuição das Concentrações de níquel em relação com a profundidade em cores de sedimentos do barramento Mãe d'água.

Fonte: Fernandes e Poletto, (2017)

Observando os valores nas figuras 3 e 4, constata-se que o elemento traço níquel apresentou no testemunho 1 nas primeiras camadas próximas a superfície apresentou-se como o mais poluído, com 17 mg.kg⁻¹, em contrapartida o testemunho 4, apresentou a menor concentração no extrato em sua superfície com 5 mg.kg⁻¹ (profundidade de 2 cm). Na análise de dados médios, T4 também aparece como o

ponto de deposição em que os sedimentos apresentam menor associação ao metal-traço Ni enquanto o comportamento do testemunho T1 a maior.

Relações entre os dados de Geocronologia por ²¹⁰Pb e Geoquímica utilizando os metais Zinco e Níquel

De acordo com os resultados das Concentrações totais dos metais zinco e níquel divulgados por Fernandes e Poletto (2017), no testemunho 1, é possível verificar que, em relação ao zinco e níquel existem uma forte tendência ao acréscimo destes metais a partir de 1970 (camada de 60 cm), onde no passado houve a existência de uma indústria metalúrgica que teve seu apogeu de produção entre os anos de 1956 a 1963 o que pode ter contribuído para o acúmulo de metais. Segundo os autores, todos os valores mensurados estão acima do valor de *background* (47,4 mg Kg⁻¹ para zinco e 4,9 mg Kg⁻¹) e nas camadas mais recentes, o crescimento se torna estável na profundidade 20 cm e volta a crescer nas camadas 18 a 0 cm apresentando linearidade, se tornando a faixa mais concentrada por esses metais devido ao alto índice de urbanização da área.

Para o T4 os valores das concentrações destes metais estão acima do valor de *background*, na sua base, camadas mais profundas, onde ocorre o enriquecimento dos sedimentos por esses metais e podem ser justificadas pelo mesmo motivo. Nas camadas próximas a superfície do T4, (18 a 0 cm), ocorre uma redução da concentração dos metais. Os menores valores em superfície em T4 indicam que o processo de enriquecimento não ocorre, e estão relacionados à granulometria que descreve a grande quantidade de materiais grosseiros deste testemunho, visto que a determinação dos teores de metais é realizada apenas na fração fina do mesmo (<63 µm). Outro fator que pode influenciar nas quantidades de Zn em T4 é a elevada velocidade de escoamento e vazão d'água neste ponto do barramento (FERNANDES e POLETO, 2017).

Conclusão

Os sedimentos são de fundamental importância para se obter uma visão histórica da evolução que os sistemas naturais têm sofrido no tempo, pois uma grande quantidade de informação dos fenômenos que podem ter acontecido fica gravada nas diferentes camadas que o formam.

O modelo de determinação da taxa de sedimentação usado neste trabalho possibilitou estimar as taxas de sedimentação e a cronologia de sedimentos de fundo em dois perfis amostrados na barragem Mãe d'água. Isso indica que a precipitação de ²¹⁰Pb para os sedimentos de fundo, na região estudada, foi suficiente para que se pudesse quantificar esse radionuclídeo em níveis superiores aos da radiação de fundo, o que possibilita o uso do modelo para datar sedimentos com idades de até cerca de 150 anos.

Nesta pesquisa pode-se constatar que o enriquecimento dos sedimentos por metais que estão atrelados ao ano que foram depositados. Este fato é observado principalmente nas camadas mais recentes do testemunho 1, situado a margem esquerda do reservatório, onde o enriquecimento por zinco e níquel ocorreu de forma crescente, justificado pela geocronologia que datou os sedimentos sendo do período 2000 a 2015, onde a urbanização ocorreu de maneira

intesificada da bacia e com taxa de sedimentação superior ao testemunho 4, caracterizando o local como ponto de acumulação de sedimentos. O Testemunho 4 por estar próximo ao canal de entrada que abastece o reservatório o seu comportamento em relação a taxa de sedimentação e Enriquecimento por metais ocorre de forma diferenciada e tal fato deve-se a velocidade e ao fluxo da água.

Através das metodologias adotadas foi possível verificar que as etapas envolvidas nesta pesquisa, bem como os resultados, apresentam-se satisfatórios e caracterizam a importância das pesquisas que visem, caracterizem e identifiquem os possíveis passivos ambientais ocorridos na área de estudo.

Este estudo através das análises realizadas, visa ou auxilia em uma melhor gestão para os recursos hídricos e o planejamentos e gestão da bacia hidrográfica, uma vez que, seu potencial hídrico é de suma importância para os habitantes que passam extrair e consumir esta água ou mesmo o lazer no local.

Agradecimentos

- A Universidade Estadual de São Paulo (USP)
- Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPQ)
- A Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
- A Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP - Projeto MAPLU2)

Referências bibliográficas

Abessa, D.M.S. 2002. Avaliação da qualidade de sedimentos do Sistema Estuarino de Santos, SP, Brasil. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. Instituto Oceanográfico. 340pp.

Allen, J. R. L. et al. A comparison of the ^{210}Pb date technique with three other independent dating methods in an oxide estuarine salt-marsh sequence. *Estuaries*, v. 16, n. 3B, p. 670-677, 1993.

Almeida, K. Y. M. Uso do Po-210 na avaliação da taxa de sedimentação na Floresta Estadual "Navarro de Andrade", município de Rio Claro, São Paulo, SP. 2003. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Ecologia) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.

Boaventura, G.R & Moreira, R.C.A. Referência geoquímica regional para a interpretação das concentrações de elementos químicos nos sedimentos da bacia do lago Paranoá – DF. *Química Nova*. 26:812-820 (2003).

Bonotto, D. M.; Lima, J. L. N. ^{210}Pb -derived chronology in sediment cores evidencing the anthropogenic occupation history at Corumbataí River basin, Brazil. *Environmental Geology*, v. 50, p. 595-611, 2006.

Chapman, P.M.; Mann, G.S. 1999. Sediment Quality Values (SQVs) and Ecological Risk Assessment (ERA). *Mar. Pollut. Bull.*, 38(5):339-344.

Damatto, S. R. "Dating of lacustrine and marine recent sediments using ^{210}Pb method: some Brazilian

examples." *International topical conference on Po and radioactive Pb isotopes-Sevilla—Espana*. 2009.

Fernandes, F. e Poletto, C. 2017. Concentrations and enrichment of metals in sediment cores: geochemistry and correlations with geo-accumulation index. *Acta Scientiarum. Technology*, vol. 39, n 03, 2017.

Fernandes, F.; Poletto, C. (2017) "Particle size characterization as a support for sediment contamination analysis", *Management of Environmental Quality: An International Journal*, Vol. 28 Iss: 4, pp. 300-14.

Poletto, C.; Castilhos, Z. C. 2008. Sedimentos e Poluição Difusa em Bacias Urbanas. In: Poletto, C. (Org.). *Ambiente e Sedimentos*. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. pp. 193-227.

Lima, B.A.F. Metodologia de datação em carbonatos pela série de desequilíbrio do urânio por Espectrometria de massa. Dissertação de mestrado, UNB, Brasília 2006.

Lima, J. L. N. Hidroquímica pluvial e fluvial na Bacia do Rio Corumbataí (SP) e relações com o uso do Pb-210 como geocronômetro. 2000. 260 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

Linkov, I., Von Stackelberg, K.E.J.; Burmistrov, D.; Bridges, T.S. 2001. Uncertainty and variability in risk from trophic transfer of contaminants in dredged sediments. *The Science of the Total Environment*. 274(2001):255-269

Mcdonald, C. P.; Urban, N. R. Sediment radioisotope dating across a stratigraphic discontinuity in a mining-impacted lake. *Journal of Environmental Radioactivity*, v. 92, p. 80-95, 2007.

Metre, P. C. V.; Mahler, B. J. The contribution of particles washed from rooftops to contaminants loading to urban streams. *Chemosphere*, v. 52, p.1727-1741, 2003.

Meurer, E. J.; Rheinheimer, D.; Bissani, C. A. 2010 Fenômeno de Sorção em Solos. In: Meurer, E. J. (Ed) *Fundamentos de Química do Solo*. Porto Alegre: Genesis. pp. 131-181.

Mora, T. A. (2015). Avaliação da concentração de atividade de Ra-226, Ra-228 e Pb-210 em sedimentos provenientes da Antártica na região da Baía do Almirantado. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

Müller, G.; Grimmer, G. Böhnke H. 1977. Sedimentary Record of Heavy Metals and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Lake Constance. *Naturwissenschaften*. v. 64, pp.427-431.

Nery, J. R. C. "Determinação da taxa de sedimentação na Foz do Rio Amazonas usando o ^{210}Pb como geocronômetro." (2009): 156-f.

Salomons, W. & Förstner, U. *Metals in the hydrocycle*. Berlin, Springer-Verlag, 349p (1984).

Turner, L. J.; Delorme, L. D. Assessment of ^{210}Pb data from Canadian lakes using the CIC and CRS models. *Environmental Geology*, v. 28, n. 2, p. 78-87, 1996.