

PROCESSO DE ASSOREAMENTO DE LAGO URBANO ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE CORES E DATAÇÃO POR ^{210}Pb

Felipe Fernandes¹; Cristiano Poletto².

ABSTRACT – The city of Viamão is located in the metropolitan region of Porto Alegre, in the state of Rio Grande Sul, southern Brazil. The Mãe d'água dam was built in 1962 and, due to the lack of urban planning, during the last forty years the dam received large discharges of sediments and contaminants (organic and/or inorganic). This work aimed to use the geochronology technique using the lead element 210 (^{210}Pb) through the cores of sediments sampled from the Mãe D'água dam and to establish the chronology of the sedimentary layers over the last four decades in addition to the characterization of the sedimentation processes in the Mãe D'Água reservoir and to size the sediment volumes silted in the reservoir in front of the current scenario, year 2014 (year of sampling) and thus, to present the total sediment concentrations during the 40-year silting. The sediment column, bathymetry, bibliographical references and GIS resources were used to infer the process of urbanization and sedimentation process of this dam, and representative samples were collected in June 2014, using sediment cores distributed in the dam area. The sediment cores were extracted through the "Piston core" sampler. With the results obtained, graphs and tables were generated to create the mathematical models and later the sedimentation maps, establishing correlations with the sedimentation geochronology studies during the last four decades (layers of sedimentation generated in each of these periods). There were periods with high sedimentation rates, mainly during the acceleration of the process of urbanization of the basin resulting in a total sediment volume of 44% of the useful volume of the project, which drastically reduces the capacity of the reservoir Mãe d'Água.

Palavras-Chave – Reservatórios Urbanos, Sedimentos, Assoreamento de reservatórios.

¹) Doctoral student of the Department of Environmental Engineering Sciences of the School of Engineering of São Carlos of the University of São Paulo, km 13 of Domingos Innocentini Highway, City of Itirapina - Brazil., E-mail: fernandes_felipe@hotmail.com

²) Ph.D. Professor of the Department of Hydraulic Research of the Federal University of Rio Grande do Sul - Bento Gonçalves Avenue, 9500. Porto Alegre- Brazil. E-mail: cristiano.poletto@ufrgs.br

1 - INTRODUÇÃO

O crescimento urbano às margens de corpos d'água tem ocasionado a degradação da qualidade das águas, acarretando em prejuízos expressivos aos ecossistemas aquáticos e à saúde pública. Aliado a este crescimento rápido e desordenado, o uso inadequado do solo é, atualmente, uma das principais causas da degradação dos recursos naturais, gerando prejuízos não apenas pelas alterações hidrológicas, mas também pela carga de poluentes carregados junto aos sedimentos, tendo por destino final a sedimentação em corpos d'água lânticos.

Segundo Lima (2000), 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 do assoreamento e também sobre poluição e vem sendo aplicada 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. A presença de radioatividade nos sedimentos é decorrente tanto do decaimento dos elementos radioativos presentes originalmente nos sedimentos, como também daqueles removidos da atmosfera por precipitação com a chuva e que se depositam através de processos de sedimentação, portanto, pode ser considerado como o radionuclídeo ideal para datar sedimentos de idade recente (MOZETO, 2006).

Recentemente, uma grande maioria dos trabalhos que visam avaliar o volume de sedimentação ou assoreamento tem optado por utilizar o método do ^{210}Pb , principalmente em ambientes lânticos, como lagos e represas (ALMEIDA, 2003; BONOTTO e LIMA, 2006; LIMA, 2000).

Mensurar os reflexos desta urbanização sobre o processo evolutivo do enriquecimento por contaminantes dentre as faixas granulométricas dos sedimentos lacustres amostrados, é de suma importância no campo da hidrossedimentologia. A técnica tem-se mostrado vantajosa, justificado pelo relativo baixo custo para simular os sistemas reais. Partindo do princípio que a poluição gerada em bacias hidrográficas em meio urbano se agregam aos sedimentos depositados, dentre os métodos disponíveis para o estudo do transporte de sedimentos, a proposta foi elaborar um mapeamento evolutivo do volume de sedimentos nas últimas décadas através do uso da geocronologia por chumbo 210 e de softwares para mensuração e permitir visualizar o período de deposição dos sedimentos identificando sua influência sob o processo de evolução da urbanização na bacia que compõe o reservatório Mãe d'Água.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

2.1 - Área de Estudo

O local amostrado 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 há e se situa no Campus do Vale da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. A Figura 1, representa a área de estudo, caracterizando a localização e a dimensão do barramento.

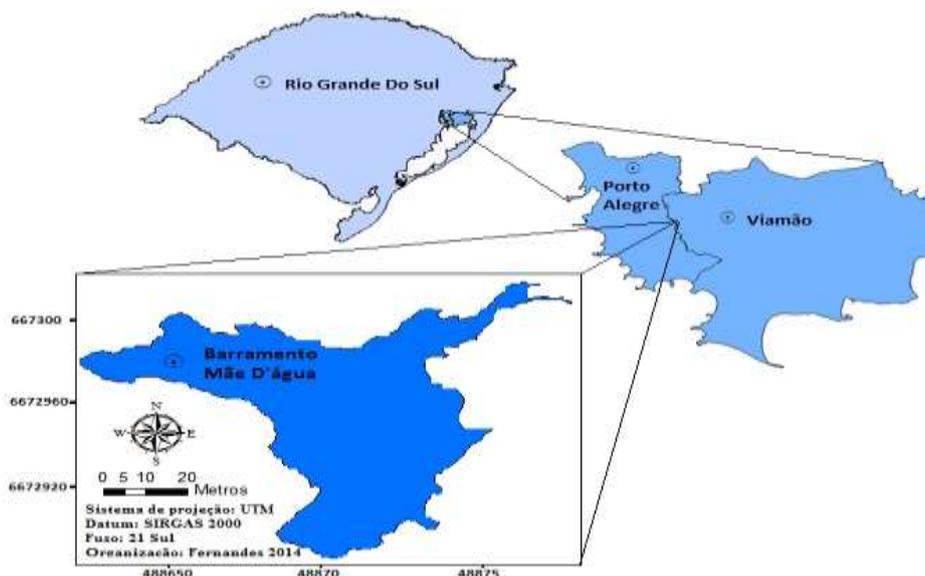


Figura 1 – Localização e representação do represamento em estudo na Região Metropolitana de Porto Alegre- RS.

2.2 - Amostragem

A coleta dos testemunhos a amostragem batimétrica foi realizada no dia 09/06/2014. Os pontos para coleta dos testemunhos foram planejados para obter uma melhor distribuição espacial no lago. Foram amostrados oito pontos no lago e coletadas suas coordenadas geográficas, altura da lâmina d'água e o comprimento do perfil sedimentar coletado (Tabela 1).

A técnica empregada foi do amostrador de núcleo (*“Core Sampling”*), sendo um conjunto de peças destacáveis, consistindo na introdução de um tubo cilíndrico de 75

milímetros de diâmetro, rígido de PVC no sedimento de fundo, de acordo com Fernandes e Poletto (2017a).

Tabela 1 – Informações dos testemunhos

Amostra (Testemunhos)	Coordenadas UTM (m) (Elipsóide WGS-84)		Lâmina d'água (m)	Comprimento do testemunhos (m)
	X	Y		
T- 1	488716,3334	6672912,682	1,46	0,62
T- 6	488681,4642	6672977,900	0,60	1,62
T- 8	488633,5455	6672976,312	1,00	1,06

2.3 - Geocronologia ²¹⁰Pb

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 preconizado por Mora (2015), considerado adequado para aplicações que requerem digestão total de amostras. Esse protocolo da Environment Protection Agency (USEPA).

A metodologia utilizada é baseada na separação radioquímica sequencial do ²²⁶Ra e ²²⁸Ra por co-precipitação com sulfato de bário e rádio e do ²¹⁰Pb 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 ²¹⁰Pb sejam muito baixas e quando existem alíquotas muito pequenas da massa de sedimento disponível para o ensaio e pôr 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 e URBAN 2007; TURNER e DELORME, 1996). Dessa forma, determina-se através da Equação 1.

$$B_z = B^\infty \cdot e^{-\lambda z}$$

Equação 1

Em que, B_z é a atividade integrada de ²¹⁰Pb “não produzido” desde a base da coluna sedimentar até à profundidade z ; B^∞ representa a atividade integrada em toda a coluna de sedimentos e λ : Constante de decaimento radioativo do ²¹⁰Pb (0,0311 ano⁻¹).

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



$$t = (1/\lambda) \cdot \ln[B^\infty / B_z]$$

Equação 2

Sendo t 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 e B_z é a atividade integrada de ^{210}Pb “não produzido” desde a base da coluna sedimentar até à profundidade z .

A técnica de datação com o ^{210}Pb 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 o volume de sedimentação ou assoreamento tem optado por utilizar o método do ^{210}Pb , principalmente em ambientes lênticos, como lagos e represas (ALMEIDA, 2003; BONOTTO e LIMA, 2006; LIMA, 2000, FERNANDES e POLETO 2017b).

2.4 - Assoreamento

Para a execução das análises referentes aos cálculos dos volumes, foi observando as condições iniciais do reservatório sobre o ano de 1962, data da construção do reservatório e posteriormente o dimensionamento do volume de sedimentos assoreados até o ano de 2014, seguimos primeiramente com o planejamento e com as saídas de campo realizadas em 2014, 2015, 2016 e 2017, sendo realizadas 4 amostragens para conseguir o levantamento topo-batimétrico do reservatório e obtenção dos dados para as referidas análises.

Aplicação da metodologia para a modelagem computacional no reservatório Mãe D'Água, inferindo sobre o volume útil de projeto em 1962, volume útil em 2014 e o volume de assoreamento, foi desenvolvida com o auxílio de softwares: AutoCad 2018, AutoCad Civil 3D 2018 e Google Earth especializados no campo do geoprocessamento e diretrizes para os cálculos que utilizam como base os dados referentes ao levantamento e processamento dos dados de campo, sendo essa, a amostragem batimétrica e dos perfis de sedimentos coletados, realização do levantamento de materiais bibliográficos juntados em pesquisas técnicas dentro da biblioteca da Geociências e do Instituto de Pesquisas Hidráulicas ambos localizados na universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Através dos softwares, foi projetada e calculada a área referente a cada uma das isóbatas, a partir da cota mínima até a cota relacionada como nível normal que compõe



o reservatório. Este dimensionou o volume útil em 1962 e 2014 e também o volume assoreado dentro do reservatório, através da metodologia instaurada por seus desenvolvedores, sendo ela a aproximação cônica. Os dados da cota, área e volume foram inseridos em planilhas e serão apresentados no item resultados.

O método de cálculo para a aproximação cônica oriunda do software AutoCad Civil 3D 2018, calcula o volume entre duas seções transversais através das áreas, que são adicionadas com a raiz quadrada de seu produto e sendo multiplicado pelo terço da distância entre as áreas para determinar o volume, conforme expresso pela Equação 4. Para o volume total corresponde ao somatório de todos os volumes parciais.

O método de Aproximação cônica é expresso pela seguinte Equação 3:

$$V = \left(\frac{h}{3}\right) \times (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 \times A_2}) \quad \text{Equação 3}$$

Onde, V é volume entre duas isóbatas consecutivas, h é a diferença de cota entre as curvas de nível, A₁ sendo a área compreendida pela isóbata e A₂ a área compreendida pela isóbata.

3 - RESULTADOS

3.1 - Geocronologia por ²¹⁰Pb

Os testemunhos T1, T6 e T8 dos 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 ²¹⁰Pb das camadas sedimentares depositados ao longo das décadas, em função da profundidade, as análises de geocronologia apresentaram uma boa linearidade, inferindo em bons resultados para o estudo, com R² para T1 igual a 0,92 e para T6 igual a 0,96 e T8 correspondente a 0,89.

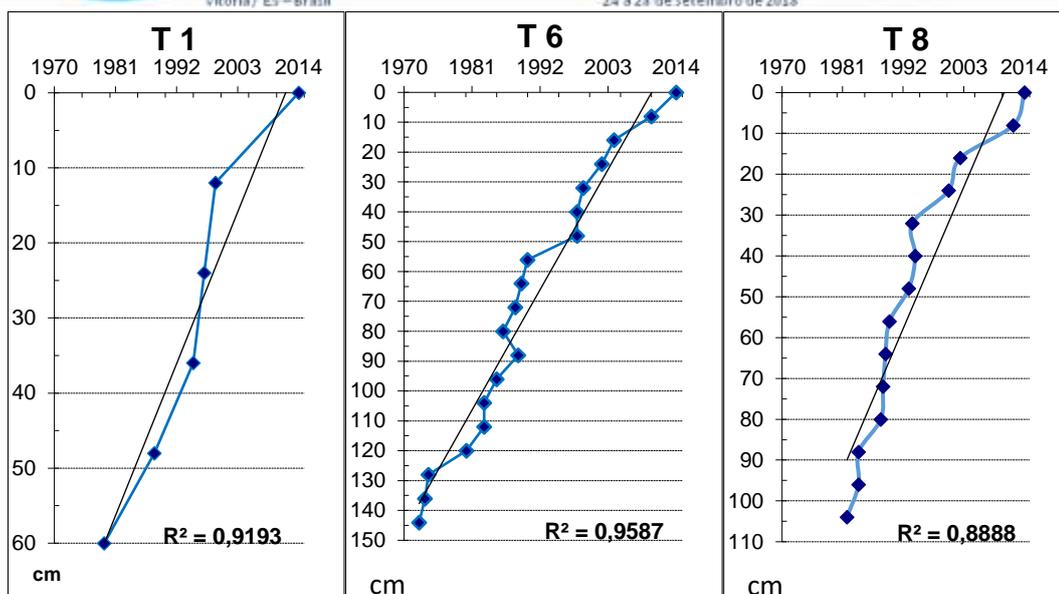


Figura 2 – Geocronologia dos perfis de sedimentos amostrados no reservatório Mãe d' Água.

O perfil ou testemunhos de sedimento amostrado no reservatório Mãe d'Água denominado por T1 corresponde a um período de acumulação geocronológica dos sedimentos com 35 anos, com a camada mais recente datada em 2014 e a mais profunda atingindo o ano de 1972 e sua taxa de sedimentação média foi de $1,77 \text{ cm.ano}^{-1}$. O testemunho amostrado denominado por T6 apresentou idade de 42 anos e taxa de sedimentação média de $1,86 \text{ cm.ano}^{-1}$. A taxa de sedimentação apresentou ligeiras variações no testemunho sedimentar analisado, tal fato sugere que esta área do reservatório recebeu volumes de sedimentos produzidos pela bacia hidrográfica de maneira constante durante o período de deposição sedimentar identificado. Para o testemunho de sedimento T8 coletado no reservatório, localizado próximo ao vertedor, identificamos que sua coluna sedimentar apresentou idade de 32 anos e sua taxa de sedimentação corresponde a $1,83 \text{ cm.ano}^{-1}$, sendo sua amplitude geocronologia corresponde aos anos de 2014 a 1982.

Os resultados apresentaram uma boa semelhança, demonstrando que esses testemunhos apresentam comportamento conservativo, confirmando que a aplicação da análise geocronológica através do traçador ^{210}Pb demonstra sua grande utilidade como traçador ambiental para estudos em sedimentos. É importante ressaltar que a granulometria dos sedimentos está correlacionada a análise geocronológica, uma vez que, concentrações do traçador geocronológico apresentou correspondências com as maiores concentrações dos metais zinco e níquel, visto que a determinação dos teores de metais é associada a fração fina do mesmo ($<63 \mu\text{m}$) silte e argila e, por estarem localizados na mesma camada e testemunho sedimentar amostrado (T1, T6 e T8).



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, como por exemplo os estudos publicados por Aguirre (2001); Godoy *et al.* (2002); Fávares *et al.* (2006); Silva *et al.* (2011); Damatto *et al.* (2013); Fernandes e Poletto (2017b).

3.2 - Volume de sedimentos assoreados no reservatório Mãe d'Água

Para o cálculo do volume útil do reservatório Mãe d'Água foi realizado uma busca sobre as características de projeto em 1962, data de sua construção através de referências bibliográficas e embasamentos técnicos oriundos da amostragem em campo ocorrida em 2014, 2015 e 2016, sendo estabelecidos dois períodos como referência para o dimensionamento dos volumes úteis e de assoreamento. O volume de sedimentação em reservatórios é uma questão que deve ser abordada, pois tal valor irá determinar o sucesso ou a vida útil de um empreendimento.

Como base para os cálculos, seguimos os dados publicados por Fujimoto (2002), tais como a adoção de uma profundidade média de 3,15 metros, comprimento do coroamento de 200 metros, e a existência de uma camada de colmatação. Do projeto disponibilizado para consulta *in situ*, pela biblioteca do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, obtemos dados publicados pelo extinto Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS), apresentando valores referentes ao volume útil e cota do vertedor sendo 132.462,00m³ e 104,40m respectivamente.

Inicialmente realizou-se uma operação para identificar, através do modelo de elevação digital, quais as regiões assoreadas para cada cota, tomamos por base as profundidades dos testemunhos amostrados uma vez que estes representam as camadas de sedimentos sobrepostas. Como o auxílio do software AutoCad Civil 3D 2018, realizamos os para cálculo do volume de sedimentos assoreados.

A Tabela 2 apresenta os dados referente os valores de Cota vs. Área vs. Volume para o dimensionamento do volume de sedimentos assoreados no interior do reservatório Mãe d'Água datados de 1962 ano de sua inauguração a 2014 ano das amostragens, estabelecendo o volume assoreados nas últimas décadas.

Tabela 2 – Cota vs. Área vs. Volume; Método: Aproximação Cônica.

<i>Método Aproximação Cônica (AutoCad Civil 3D 2018)</i>				
Volume de Sedimentos (Assoreamento)				
Cota (m)	Altura da Camada (m)	Área (m²)	Volume (m³)	Incremento Volume (m³)
101,25	0,00	38.360,75	0,00	0,00
101,45	0,20	38.972,67	7.733,26	7.733,26
101,53	0,08	39.150,65	3.124,93	10.858,19
101,61	0,08	39.328,80	3.139,18	13.997,37
101,69	0,08	39.507,13	3.153,43	17.150,80
101,77	0,08	39.685,63	3.167,71	20.318,51
101,85	0,08	39.864,31	3.181,99	23.500,50
101,93	0,08	40.043,16	3.196,30	26.696,80
102,01	0,08	40.222,20	3.210,61	29.907,41
102,05	0,04	15.446,81	1.074,60	30.982,01
102,09	0,04	21.867,73	742,58	31.724,59
102,17	0,08	21.995,91	1.754,54	33.479,13
102,25	0,08	22.123,00	1.764,75	35.243,88
102,27	0,02	14.282,66	361,21	35.605,09
102,33	0,06	21.570,71	1.068,12	36.673,21
102,41	0,08	21.695,99	1.730,67	38.403,88
102,49	0,08	21.821,67	1.740,70	40.144,58
102,51	0,02	15.375,87	370,10	40.514,68
102,57	0,06	20.556,22	1.074,21	41.588,89
102,65	0,08	20.556,50	1.644,51	43.233,40
102,73	0,08	20.680,66	1.649,48	44.882,88
102,79	0,06	16.392,43	1.109,70	45.992,58
102,81	0,02	18.530,44	349,01	46.341,59
102,89	0,08	18.649,68	1.487,20	47.828,79
102,91	0,02	15.146,85	337,36	48.166,15
102,97	0,06	17.999,33	993,16	49.159,31
103,03	0,06	16.264,28	1.027,47	50.186,78
103,05	0,02	16.370,39	326,35	50.513,13
103,11	0,06	16.477,15	985,42	51.498,55
103,13	0,02	14.741,62	312,03	51.810,58
103,21	0,08	14.804,65	1.181,85	52.992,43
103,29	0,08	14.867,84	1.186,90	54.179,33
103,37	0,08	14.930,78	1.191,94	55.371,27
103,45	0,08	14.993,86	1.196,98	56.568,25
103,51	0,06	15.056,85	901,52	57.469,77

Após obtermos os valores descritos na Tabela 2, representou-se a Figura 3 a qual representa os volumes estimados para as mesmas cotas em que foram calculadas as áreas das curvas de nível. Realizamos as de correlações entre a Cota vers. Área e a Cota vers. Volume, com o intuito de verificar a coerência entre as duas variáveis.

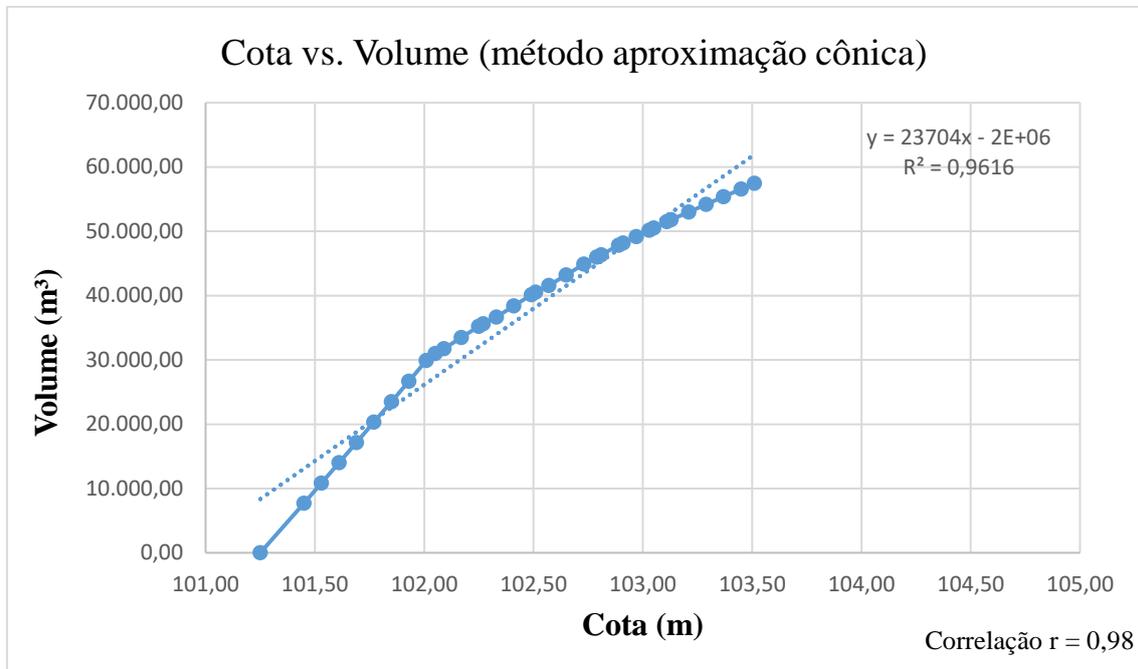


Figura 3 – Relação Cota vs. Volume de sedimentos dispostos no reservatório Mãe d'Água pelo método aproximação cônica.

Os resultados para as relações entre as duas variáveis apresentaram boa correlação, ($r=0,98$) indicando que ambas apresentam boa linearidade, com correlação entre os dados analisados.

Através do método de cálculos dispostos nesta pesquisa e dos resultados, verificamos que dentre os anos de 1962 e 2014, data sua construção em 1962 e da amostragem dos testemunhos sedimentares, o volume total de sedimentos assoreados dentro do reservatório Mãe d'Água foi de 57.469,77 m³. Tal volume representa cerca de 44 % do volume útil do reservatório.

Segundo Araújo (2000), os reservatórios urbanos sofrem importantes alterações ambientais em vista de sua localização facilitar a interação antrópica. Ao calcular o volume de sedimentos para o reservatório Apipucos, construído em duas células e localizado na zona urbana de Recife, constatou uma diminuição média de profundidade de 15% e na célula 2 ocorreu uma diminuição média de profundidade de 11%, segundo o autor estes resultados comprovam quantitativamente que a célula 1 do reservatório encontra-se mais vulnerável ao processo de assoreamento em curso.

O reservatório Mãe d'Água apresenta características de formação sedimentar de depósito do tipo delta, este é descrito por Coiado (2001) e Carvalho (2008), ocorrendo

no interior do reservatório por sedimentos de diversas granulometrias e tem como principal consequência a diminuição gradativa do volume útil do reservatório. Estes dois tipos de depósitos (remanso e delta) também podem interferir na navegação com a redução da profundidade dos cursos d'água.

Com o passar dos anos a bacia hidrográfica foi altamente urbanizada, a prefeitura de Viamão viabilizou a construção de loteamentos e atrelado a este fato, acontecia a exposição do solo, desmatamentos além da geração de passivos ambientais que por destino final, teriam o reservatório Mãe d'Água. Diante destas ações antropogênicas, a Figura 4 a seguir caracteriza o reservatório com a perda do seu volume útil e com seu fundo assoreado.

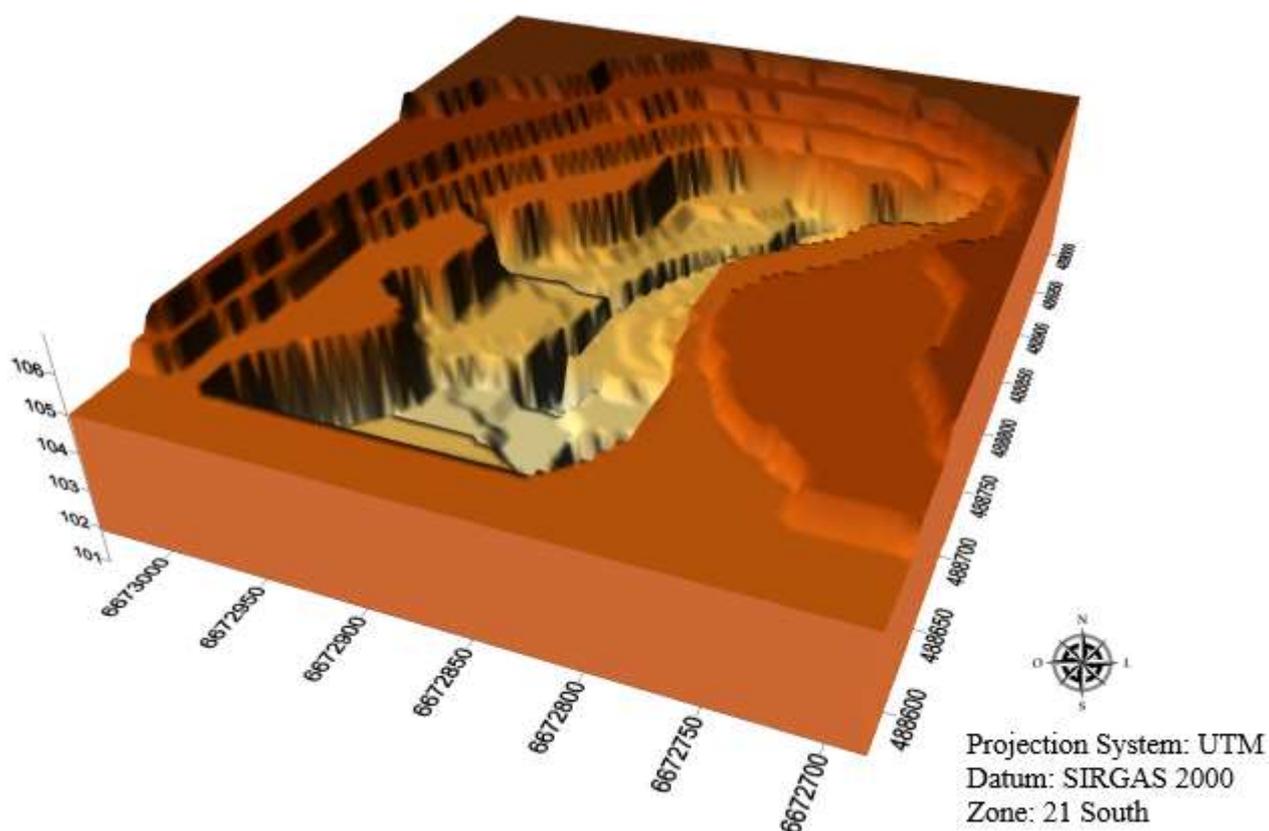


Figura 4 – Modelo digital do terreno (3D) representando reservatório Mãe d'Água no ano de 2014.

Podemos verificar que os maiores depósitos de sedimentos se concentram nas bordas do barramento em formação de Delta conforme descrito por Moris e Fan (2010). Este resultado condiz com o esperado e com o modelo digital 3D disposto na Figura 4. Depósitos maiores são formados na área de remanso do reservatório, uma vez que nestas regiões materiais de diversas granulometrias tendem a sedimentar.



O volume útil em 2014 foi determinado pela diferença entre os volumes de água em 1962 e de sedimentos em 2014, sendo calculados a partir análises dos dados batimétricos que correspondem sob a influência do volume de sedimentos depositado e compactado em cada compartimento do reservatório. Os valores encontrados foram respectivamente de 132.462,00 m³ para o volume útil de projeto e 57.469,77 m³ de assoreamento, assim constatamos que o volume em 2014 era constituído por 74.992,23 m³ representando aproximadamente 57% do volume útil total. Portanto desde sua criação até a presente data da coleta o reservatório Mãe d'água apresentou uma perda significativa do seu volume e capacidade de armazenamento.

4 - CONCLUSÃO

Observando e cruzando os dados deste estudo envolvendo a geocronologia por ²¹⁰Pb, taxa de sedimentação e a geotecnologia para o cálculo do acúmulo de sedimentos no interior do reservatório, nota-se que a urbanização leva alta produção de materiais particulados carreados pelos recursos hídricos presente na bacia hidrográfica e são oriundos de solos descobertos, ausentes de vegetação, ocasionando o assoreamento, como foi constatado neste estudo pela taxa de sedimentação e redução do volume útil no decorrer do tempo para o reservatório Mãe d'Água.

Atrrelado a isto, como consequência temos o aumento dos passivos ambientais por fontes de poluição difusas presentes na bacia, como por exemplo, metais pesados, matéria orgânica, erosão, resíduos urbanos, industriais e da construção civil, redução de áreas verdes ou naturais levando a degradação do ecossistema.

Portanto, com o intuito de ampliar o conhecimento da dinâmica da urbanização e seus impactos sobre os sedimentos e, conseqüentemente, a degradação dos corpos d'água, há a necessidade da busca por pesquisas que realizem estudos integrados sobre de geocronologia nos sedimentos e geotecnologias, buscando estimar a taxas de sedimentação, geocronologia dos sedimentos no perfil e a urbanização da área ao longo das décadas o que irá gerar uma correlação que permita datar os dados de poluição/contaminação encontradas nos recursos hídricos.

5 - REFERÊNCIAS

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.



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.

ALEXANDER, C. R. et al. The historical record of metal enrichment in two Florida estuarines, *Estuaries*, v. 16, n. 3B, p. 627-637, 1993.

ARAÚJO, Alex Maurício. Evolução do processo de assoreamento em reservatório urbano. *Anais... IV Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos e I Encontro de Engenharia de Sedimentos do Mercosul*, Santa Maria-RS, 2000.

AGUIRRE, E.S.M. Aplicación del método de fechado por ^{210}Pb en sistemas acuáticos de Andalucía Occidental. 2001. Tese (Doutorado) - Universidad de Huelva, Espanha.

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.

CARVALHO, N. O. 2008. *Hidrossedimentologia prática*. Rio de Janeiro: Interciência, 2ª Ed. 599p.

COIADO, E.M. Assoreamento de reservatórios. In: PAIVA J.B.D; PAIVA E.M.C.D (Orgs.). *Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas*. Porto Alegre: ABRH, 2001. p. 395-426.

DAMATTO S.R.; SANTOS L.F.; BARBIERO L.; FURIAN S.M.; REZENDE FILHO A.T. Datação do sedimento lacustre recente do Pantanal da Nhecolândia – MS pelo método do ^{210}Pb In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 2013, DIAMANTINA. *Anais XIV congresso Brasileiro de Geoquímica*, v. 1, p. 23-26, 2013.

EPA1996, U. S. Method 3050B: Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils. Environmental Protection Agency: Washington, DC, USA, 1996.

USEPA - UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. (2009). USEPA 3050B, Method 3050B. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils.

FERNANDES, F., AND POLETO, C. (2017a). "Concentrations and enrichment of metals in sediment cores: geochemistry and correlations with geoaccumulation index." *Acta Scientiarum. Technology*, 39(3) 349-356.

FERNANDES, F.; POLETO, C; (2017b) Geocronologia e Amostragem Aplicada aos Sedimentos Límnicos, Utilizando o Radionuclídeo Chumbo (^{210}Pb). In: *Estudos Ambientais*. POLETO, C. (Org.) – 1. Ed. Rio de Janeiro, Brasil. Interciência. p. 79-91.

FUJIMOTO, Nina Simone Vilaverde Moura. Alterações ambientais urbanas na área da bacia hidrográfica da barragem Mãe D'Água: evolução da ocupação e do uso da Terra. *Boletim Gaúcho de Geografia*, v. 28, n. 1, 2002.



FÁVARO D.I.T.; DAMATTO S.R.; SILVA P.S.C.; RIGA A.A.; SAKAMOTO A.Y.; MAZZILLI B.P. Chemical characterization and ^{210}Pb dating in wetland sediments from the Nhecolândia Pantanal Pond, Brazil. *J. Radioanal. Nuclear Chem.*, v. 269 p. 719– 726, 2006.

GODOY, J.M.; PADOVANI, C.R; GUIMARÃES, J.R.D.; PEREIRA, J.C.A.; VIEIRA, L.M.; CARVALHO, Z.L.; GALDINO, S. Evaluation of the Siltation of River Taquari, Pantanal, Brazil, through ^{210}Pb Geochronology of Floodplain Lake Sediments. *J. Braz. Chem. Soc.*, v. 13, n. 1, p. 71-77, 2002.

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.

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.

MORA, Tamires de Araujo (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.

MORRIS, G.L.; FAN, J. Reservoir sedimentation handbook - design and management of dams, reservoirs, and watersheds for sustainable use. New York: McGraw-Hill Book, 2010. Electronic Version 1.04. 805 p.

MOZETO, A.A. Coleta de sedimentos de ambientes aquáticos continentais, extração de águas intersticiais e determinação granulométrica. In: MOZETO, A. A.; UMBUZEIRO, G. A.; JARDIM, W. F. Métodos de coleta, análises físico-químicas e ensaios biológicos e ecotoxicológicos de sedimentos de água doce - Projeto Qualised. Cubo Multimedia, São Carlos, 2006. 26p.

SILVA P.S.C.; DAMATTO S.R.; MALDONADO C.; FÁVARO D.I.T.; MAZZILI B.P. Metal distribution in sediment cores from São Paulo State Coast, Brazil. *Mar Pollut Bull*, v. 62, p. 1130-1139, 2011.

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.