

ARMADILHAS DE SEDIMENTAÇÃO: REVISÃO DOS MODELOS VISANDO O DESENVOLVIMENTO DO EQUIPAMENTO PARA MEDIÇÃO EM REGIÕES RASAS DE RESERVATÓRIOS

Isabela Adib Suplicy¹ ; Michael Mannich²

ABSTRACT – The sedimentation in reservoirs can be accessed by Sediment Traps, which collect the sedimented material, so later analyses can be carried out regarding the quantity and chemical composition. There are several models applied in the most varied environments. Therefore, a review of existing publications was made in order to have as a theoretical basis the best model to be used in the shallow areas of reservoirs, and that can be easily reproduced for other locations.

Palavras-Chave – Armadilha de sedimentação, sedimento, reservatório.

1)Graduanda em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Paraná, isasuplicy@gmail.com, (41) 99831-5874

2) Professor, Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Paraná, mannich@ufpr.br, (41) 3361-3012

1 - INTRODUÇÃO

Anualmente, estima-se que ocorra perda de 0,5–1% do volume global de armazenamento dos reservatórios de água devido à sedimentação (BASSON, 2009), sendo que essa quantidade é maior do que o aumento de capacidade de construção de novas estruturas (RANDLE *et al.*, 2017). Isso significa que caso medidas mitigadoras não sejam tomadas, um quarto de todos os reservatórios perderão sua capacidade de armazenamento de água nos próximos 25 a 50 anos (WCD, 2000).

Portanto, tem-se a necessidade de estudos para que seu tempo de funcionamento seja o maior possível, por meio da adoção de metodologias e equipamentos. Tem-se a armadilha de sedimentação (do inglês “*Sediment Trap*”), a qual a partir dos anos 1950 passou a ser empregada nos estudos dos processos de decantação em lagos e oceanos (BLOESCH e BURNS, 1980), e mais recentemente em reservatórios (BUSSELER, 1991).

Diversos modelos são utilizados em função das finalidades e ambientes de investigação, variando em formato, dimensão, material e periodicidade de coleta das amostras. Buscou-se por meio desta pesquisa realizar uma revisão não-sistemática, compreendendo estudos que tratem das características das armadilhas e representatividade amostral, com o objetivo de se subsidiar a proposição de um modelo de armadilha de sedimentação que possa ser instalado em regiões mais rasas de reservatórios de água e que tenha a possibilidade de ser replicado facilmente. Com isso é possível estimar e compreender como o processo de decantação ocorre ao se variar a profundidade, levando-se em conta de que em locais de água rasas a sedimentação é frequentemente maior (LEITE, 1998).

2 - CARACTERÍSTICAS DAS ARMADILHAS DE SEDIMENTO

O levantamento bibliográfico compreendeu os anos 1972–2017 tomando como critério a discussão teórica ou prática de efeitos de dimensão, formato e roteiro amostral. Com isso, obteve-se em torno de 81 produtos bibliográficos relacionados ao tema, dos quais 42 continham informações mais precisas sobre as características das armadilhas de sedimentação, sendo então organizados em planilha para que posteriormente os dados fossem analisados na tomada de decisão. Com isso, algumas definições sobre o assunto também foram obtidas.

De acordo com Revel *et al.* (2015), a ressuspensão do sedimento dentro da armadilha é dependente da velocidade do fluxo junto ao topo, diâmetro, altura, suas relações associadas com a turbulência no exterior e viscosidade cinemática. Consistem em instrumentos relativamente simples, que servem para diversas finalidades (HAKANSON *et al.*, 1989) por meio da obtenção de amostras representativas dos materiais que se depositam verticalmente em uma coluna de água,

e as taxas de coleta dessas partículas ao longo de um período de tempo (STORLAZZI *et al.*, 2011). Porém, há pouca concordância entre quais são os modelos ideais desse equipamento, mesmo com estudos de diversos autores como Hargrave e Burns (1979), Bloesch e Burns (1980), Sly e Hart (2012), Gardner (1980b), Buessler (1991), que fizeram séries de experimentos e revisões de literatura com a finalidade de definir um modelo mais eficiente.

Para garantir medições fidedignas, a relação Altura/Diâmetro (H/D) é um dos principais fatores a serem levados em conta para que se evite a ressuspensão em seu interior (GARDNER, 1980b; SMETACEK *et al.*, 1978), assim como a concentração de partículas suspensas, densidade e tamanho delas, a velocidade do meio, e o formato do equipamento, considerado fator dominante do tempo de permanência do sedimento.

São 4 as categorias principais para a classificação das formas de armadilhas, sendo elas: funis, bandejas, recipientes com corpos mais largos do que a de abertura (*narrow-necked, wide-bodied traps*) e cilindros.

Em águas calmas, os funis apresentaram medidas precisas da taxa de sedimentação, mas em condições turbulentas foi subestimada ao registrar 60–65% do esperado. Fez-se o uso de grades (*baffles*) que restringem a ressuspensão e que pode melhorar a eficiência para 60–90% (GARDNER, 1980b; GARDNER, 1980a, HAKANSON *et al.*, 1989; SILY; HART, 2012; BALE, 1998). As bandejas apresentam baixa eficiência ($\approx 2\%$), sendo altamente ineficazes, pois as partículas ficam desprotegidas das correntes e podem ser carregadas (BLOESCH e BURNS, 1980; GARDNER, 1980b). Os recipientes com corpos mais largos do que a de abertura, que possuem o formato de “garrafa”, contam com a tendência de superestimar de 230 a 1000% o valor, não sendo consistentes em seus resultados (HAKANSON *et al.*, 1989; SLY e HART, 2012; GARDNER, 1980a).

Os estudos convergem majoritariamente na escolha de que os cilindros são o melhor tipo de configuração, tanto para águas correntes (4,0–9,5 cm/s) quanto águas calmas (HAKANSON *et al.*, 1989; SLY e HART, 2012; GARDNER, 1980b; STORLAZZI *et al.*, 2011b). A sua eficiência aumenta com a velocidade da corrente, ao passo que a do funil diminui, e está relacionada ao fato da área de seção transversal permanecer constante (GARDNER, 1980b; 1985). Nesse contexto o modelo mais robusto e eficiente é o cilíndrico cujas características são discutidas na sequência.

Os resultados encontrados quanto às suas proporções são bem diversas. Bloesch e Burns (1980) recomendam para estudos em lagos, variação de diâmetro entre 5 e 20 cm, tendo $H/D > 5$ para situações em que a água seja calma, e $H/D > 10$ quando há turbulências, pois deve-se aumentá-la fim de se evitar ressuspensão. As relações de 5 e 10 também são defendidas por Schillereff (2015), com diâmetro de 5 a 10 cm, sendo que a primeira mostra alta eficiência de coleta para medir fluxos de sedimentação mais precisamente (MATISOFF *et al.*, 2005; HORPPILA e

NURMINEN, 2005) quando se prevalecer correntes horizontais de 10 cm/s ou acima (LARSSON *et al.*, 1986).

Blomqvist (1981) observou que durante condições calmas e turbulentas, a relação $H/D \geq 3$ foi a que coletou quantidades similares dentre os cilindros, assim como Lorenzen *et al.* (1981) chegaram à mesma conclusão para velocidades menores que 10 cm/s. Já Gardner (1980b) sugere $H/D > 4$ para atingir máxima eficiência, possivelmente pelo fato de a profundidade de mistura ocorrer cerca de 4 vezes o diâmetro do recipiente. De forma equivalente Storlazzi *et al.* (2011a) recomendam H/D de 7, ao argumentar que a região turbulenta se desenvolve a uma distância de até $7D$ para o interior das armadilhas colocadas em recifes de corais. Os autores Sly e Hart (2012) argumentam que os cilindros devem ter a relação $H/D > 3$, sendo esse valor aumentado até 6 em águas muito turbulentas. Considera-se que de forma geral, a dimensão típica é de 3 a 10 cm de diâmetro, com H/D variando de 2 até 10, considerando-se experimentos e aspectos teóricos de cada estudo.

Quanto ao material empregado na construção da armadilha, a utilização de vidro traz vantagens como a capacidade de operação até 4000 m de profundidade, porém eles não são suficientemente resistentes ao impacto, comum na rotina de amostragem em mares (VALDES e PRICE, 2000). As armadilhas modernas são feitas majoritariamente de PVC transparente ou não, e também de acrílico (HAKANSON, 1984). Se o objetivo for analisar os metais nas amostras, deve-se evitá-los na construção das armadilhas (MAHMOOD e MUNDIAL, 1987) pois podem sofrer corrosão e contaminação da amostra (BLOESCH e BURNS, 1980), inclusive se forem usados nas armações e âncoras. Os mesmos autores recomendam a utilização do PVC transparente, mas em White e Wetzel (1973) o material opaco é indicado, por reduzir a migração de zooplânctons.

Alguns acessórios são utilizados, como as tampas, para prevenir a perda de material coletado, mas encarecem o processo por muitas vezes envolverem a presença de mergulhadores (BLOESCH e BURNS, 1980), e também podem induzir a mais erros do que ajudam a evitar, sendo desnecessárias na maioria das investigações (HAKANSON, 1984). Desta forma, são mais requisitadas em experimentos feitos a grandes profundidades no oceano. Mesmo assim várias literaturas fazem o uso de tampas durante seu recolhimento (ZEITZSHEL *et al.*, 1978; BLOMQVIST, 1981; LORENZEN *et al.*, 1981; LUND-HANSEN *et al.*, 1997). Outros tipos de proteção foram testados, como colares, no entanto não melhoraram a coleta (LORENZEN *et al.*, 1981).

A presença de proteção do tipo grade tem por objetivo reduzir as misturas que ocorrem em seu interior e dificultar a entrada de microrganismos que possam causar alterações na amostra, tendo seu uso feito por autores como Gardner (1980a), Storlazzi *et al.* (2011), Buesseler (1991), Zeitzshel *et al.* (1978), Gardner (1985), Honjo e Doherty (1988), Lorenzen *et al.* (1981), Hargrave *et al.* (1994); Gust *et al.* (1992).

Para preservar as amostras, Valdes e Price (2000) e Lorenzen *et al.* (1981) utilizaram uma solução salina no interior da armadilha. Porém Bloesch e Burns (1980) defendem que este procedimento não é necessário. Outro conservante utilizado é o clorofórmio, utilizado por Zeitzchel *et al.* (1978), McDonald *et al.* (2010), Eadie (1997) para evitar a degradação do material coletado. Cada substância deve ser testada previamente para entender os seus efeitos de acordo com o ambiente no qual será exposta, e caso isso não seja feito, recomenda-se colocar em paralelo o equipamento com e sem solução, para se levantar comparação dos dados (SMETACEK *et al.*, 1978).

As armadilhas mais comuns consistem em cilindros posicionados em uma estrutura e presos em um cabo, ligado a uma âncora ao fundo e uma boia de subsuperfície, que é conectada à uma boia de superfície (BLOESCH e BURNS, 1980; SLY e HART, 2012; BLOESCH e UEHLINGER, 1986; MAHMOOD e MUNDIAL, 1987; HAKANSON *et al.* 1989). De acordo com Bloesch e Burns (1980), quanto mais turbulenta a água, mais profundo a boia de subsuperfície precisa ser posicionada, devido aos movimentos transmitidos pelo cabo que podem ressuspender o material.

O uso de equipamentos eletrônicos também se faz presente em vários casos que contam com mecanismos de rotação das amostras (ZEITZCHE *et al.*, 1978; EADIE, 1997; HONJO e DOHERTY, 1988; STORLAZZI *et al.*, 2011) os quais alteram os frascos de coleta de acordo com um determinado período de tempo a que são programados, facilitando assim a conservação do material e sua análise separadamente. Alguns contam inclusive com fechamento automático (LORENZEN *et al.*, 1981) para que se evite a perda ou alteração dos resultados coletados.

Quanto ao tempo de amostragem, intervalos curtos como 1 dia no ambiente não são prática comum, devido às capturas inadequadas ou limitações de quantidade de amostra. Neste contexto, Bloesch e Burns (1980) e Honjo e Doherty (1988) argumentam para se planejar o tempo mais curto possível, com a coleta de amostras realizada semanalmente ou a cada 14 dias, período durante o qual ocorre perda de material de apenas 10%. Lund-Hansen *et al.* (1997) também sugerem o intervalo de 10 a 14 dias, devido à consistência apresentada.

As análises obtidas são tipicamente gravimétricas e então em laboratórios que seguem os mais variados métodos analíticos pode-se estimar material orgânico, carbono, fósforo, carboidratos, aminoácidos e o que mais for de interesse e tiver viabilidade.

O processo de recolhimento das amostras deve ser lento a fim de se evitar ressuspensão do material coletado (STORLAZZI *et al.*, 2011; CHU *et al.*, 2005) e a retirada da água feita com cautela, geralmente por meio de orifícios laterais de extravasamento, caso não se tenha material flutuante. Na presença significativa de material suspenso, todo o conteúdo líquido deve ser amostrado e analisado (BLOESCH e BURNS, 1980).

3 - PROPOSIÇÃO DE ARMADILHA PARA ÁGUAS RASAS

Considera-se o diâmetro de 5 cm e 25 cm de altura ($H/D=5$) do cilindro medida suficiente para se estimar a sedimentação nas regiões rasas dos reservatórios com precisão.

A fim de se ter um primeiro modelo, recomenda-se posicionar dois cilindros em uma mesma estrutura, pois proporcionam equilíbrio, mantendo-se a distância no valor de três diâmetros entre um e outro (STORLAZZI *et al.*, 2011). O material de ambos será de PVC, transparente no primeiro e opaco no segundo, com o objetivo de analisar caso o material orgânico coletado entre os tubos sofra variação devido à ação da maior incidência de claridade, que pode ocasionar em proliferação de microrganismos. Nenhuma grade de proteção e solução deve ser adicionada, pois para isso um estudo de suas influências quanto à eficiência deveria ser feito.

A estrutura e cordas de amarração não possuem restrição específica, devendo ser escolhidas de acordo com a facilidade de obtenção, manuseio e acessibilidade. O peso de fundo deve ser calculado baseando-se no valor suficiente para manter a armadilha bem fixa no mesmo ponto, e que a evite de ser facilmente retirada da água por cidadãos que passem pelo local. Quanto às boias, deve-se discutir a necessidade das duas (de superfície e subsuperfície), ou somente uma, como forma de sinalização e que mantenha a estrutura na vertical. Foi citado por Hakanson (1984) a presença de uma rótula para permitir o movimento da armadilha e que a mesma permaneça na vertical, sendo assim busca-se utilizar mecanismo semelhante. Também devem ser feitos furos para a retirada do excesso de água.

4 - CONCLUSÃO

As armadilhas mais comuns possuem formato cilíndrico, cuja relação de aspecto altura/diâmetro varia entre 2 e 10 para evitar a ressuspensão do material precipitado. As estratégias de posicionamento mais comuns envolvem uso de cordas, boias e pesos. A medição de sedimentação em águas rasas representa um desafio adicional em função da maior velocidade no escoamento e baixas profundidades que requerem um projeto específico para garantir medições representativas pela técnica de armadilha de sedimentos.

BIBLIOGRAFIA

- BALE, A. "Sediment trap performance in tidal waters: comparison of cylindrical and conical collectors". *Continental Shelf Research*, Elsevier, v. 18, n. 11, p. 1401–1418, 1998.
- BASSON, G. "Management of siltation in existing and new reservoirs". 2009.
- BLOESCH, J. "A review of methods used to measure sediment resuspension". *Hydrobiologia*, Springer, v. 284, n. 1, p. 13–18, 1994.

- BLOESCH, J.; BURNS, N. "A critical review of sedimentation trap technique". Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie, Springer, v. 42, n. 1, p. 15–55, 1980.
- BLOMQUIST, S. "Sediment trapping—a subaquatic in situ experimente". Limnology and Oceanography, Wiley Online Library, v. 26, n. 3, p. 585–590, 1981.
- BUESSELER, K. O. "Do upper-ocean sediment traps provide an accurate record of particle flux?" Nature, Nature Publishing Group, v. 353, n. 6343, p. 420–423, 1991.
- CHU, G. et al. "Sediment fluxes and varve formation in Sihailongwan, a maar lake from northeastern China". Journal of Paleolimnology, Springer, v. 34, n. 3, p. 311–324, 2005.
- EADIE, B. J. "Probing particle processes in Lake Michigan using sediment traps". Water, Air, and Soil Pollution, Springer, v. 99, n. 1–4, p. 133–139, 1997.
- GARDNER, W. D. "Field assessment of sediment traps". J. mar. Res, v. 38, n. 1, p. 41–52, 1980.
- GARDNER, W. D. "Sediment trap dynamics and calibration: a laboratory evaluation". Journal of Marine Research, v. 38, n. 1, p. 17–39, 1980.
- GARDNER, W. D. "The effect of tilt on sediment trap efficiency". Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers, Elsevier, v. 32, n. 3, p. 349–361, 1985.
- GUST, G. et al. "Particle fluxes and moving fluids: experience from synchronous trap collection in the Sargasso Sea". Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers, Elsevier, v. 39, n. 7–8, p. 1071–1083, 1992.
- HÅKANSON, L. "Suspension and calibration of a sediment trap". Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie, Springer, v. 46, n. 1, p. 171–175, 1984.
- HÅKANSON, L.; FLODERUS, S.; WALLIN, M. "Sediment trap assemblages—a methodological description". Springer, p. 481–490, 1989.
- HARGRAVE, B. et al. "Seasonal variability in particle sedimentation under permanent ice cover in the Arctic Ocean". Continental Shelf Research, Elsevier, v. 14, n. 2–3, p. 279–293, 1994.
- HARGRAVE, B. T.; BURNS, N. M. "Assessment of sediment trap collection efficiency". Limnology and Oceanography, Wiley Online Library, v. 24, n. 6, p. 1124–1136, 1979.
- HONJO, S.; DOHERTY, K. W. "Large aperture time-series sediment traps; design objectives, construction and application". Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers, Elsevier, v. 35, n. 1, p. 133–149, 1988.
- HORPPILA, J.; NURMINEN, L. "Effects of calculation procedure and sampling site on trap method estimates of sediment resuspension in a shallow lake". Sedimentology, Wiley Online Library, v. 52, n. 4, p. 903–913, 2005.
- LARSSON, U.; BLOMQUIST, S.; ABRAHAMSSON, B. "A new sediment trap system". Mar Ecol Prog Ser, v. 31, p. 205–207, 1986.
- LEITE, M. A. "Variação espacial e temporal da taxa de sedimentação no reservatório de Salto Grande (Americana-SP e sua influência sobre as características limnológicas do sistema)". Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 1998.
- LORENZEN, C.; SHUMAN, F.; BENNETT, J. "In situ calibration of a sediment trap". Limnology and Oceanography, Wiley Online Library, v. 26, n. 3, p. 580–585, 1981.

- LUND-HANSEN, L. C. et al. "Sediment fluxes, re-suspension and accumulation rates at two wind-exposed coastal sites and in a sheltered bay". *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Elsevier, v. 44, n. 5, p. 521–531, 1997.
- MAHMOOD, K.; MUNDIAL, B. "Reservoir sedimentation: impact, extent, and mitigation". World Bank Washington, DC, 1987.
- MATISOFF, G.; WILSON, C. G.; WHITING, P. J. "The $^{7}Be/^{210}Pb$ ratio as an indicator of suspended sediment age or fraction new sediment in suspension". *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, Wiley Online Library, v. 30, n. 9, p. 1191–1201, 2005.
- MCDONALD, C. P. et al. "Copper profiles in the sediments of a mining-impacted lake". *Journal of soils and sediments*, Springer, v. 10, n. 3, p. 343–348, 2010.
- RANDLE, T. et al. "Frequently asked questions about reservoir sedimentation and sustainability". Subcommittee on Sedimentation, National Reservoir Sedimentation and, 2017.
- REVEL, N. et al. "Estimation of sediment trap efficiency in reservoirs—an experimental study". *Engineer: Journal of the Institution of Engineers*, Sri Lanka, The Institution of Engineers, Sri Lanka, v. 48, n. 2, 2015.
- SCHILLEREFF, D.N. "A review of in situ measurement techniques for investigating suspended sediment dynamics in lakes". 2015.
- SLY, P. G.; HART, B. T. "Sediment/water interactions: proceedings of the fourth international symposium". Springer Science & Business Media, 2012. v. 50.
- SMETACEK, V. et al. "Sedimentation of particulate matter during a phytoplankton spring bloom in relation to the hydrographical regime". *Marine Biology*, Springer, v. 47, n. 3, p. 211–226, 1978.
- STORLAZZI, C. D.; FIELD, M. E.; BOTHNER, M. H. "The use (and misuse) of sediment traps in coral reef environments: theory, observations, and suggested protocols". *Coral Reefs*, Springer, v. 30, n. 1, p. 23–38, 2011.
- VALDES, J. R.; PRICE, J. F. "A neutrally buoyant, upper ocean sediment trap". *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, v. 17, n. 1, p. 62–68, 2000.
- WCD. "The report of the world commission on dams". World Commission on Dams/Earthscan Publications, 2000.
- WHITE, W. S.; WETZEL, R. G. "Modified Sedimentation Trap". 1973.
- ZEITZSCHEL, B.; DIEKMANN, P.; UHLMANN, L. "A new multisample sediment trap". *Marine Biology*, Springer, v. 45, n. 4, p. 285–288, 1978.