

Estimativa do tempo de vida útil de represa de pequeno porte

André Gustavo Mazzini Bufon^{1*}, Paulo Milton Barbosa Landim² e José Sávio Colares de Melo¹

¹Centro de Pesquisa e Gestão de Recursos Pesqueiros Continentais, Rod. SP 201, km 6,5, Cx. Postal 64, 13630-970, Pirassununga, São Paulo, Brasil. ²Departamento de Geologia Aplicada, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Rio Claro, São Paulo, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: abufon@bol.com.br

RESUMO. O trabalho foi realizado com o objetivo de comparar dois métodos para estimar o tempo de vida útil de um reservatório pequeno e raso, localizado no Município de Pirassununga, Estado de São Paulo: 1) sedimentométrico, com uso de câmaras de sedimentação, e 2) batimétrico. Na utilização do modelo para a estimativa do tempo de vida útil para a Represa Velha, para os dois métodos, a média anual entre os anos foi de 50 anos, apresentando-se semelhante entre os anos iniciais de 1998/1999, com 51 anos, e os anos finais de 2004/2005, com 46 anos, e oscilando entre os anos de 1999/2000, com 27 anos, e 2000/2001, com 76 anos. Os resultados obtidos no trabalho indicaram que é possível estimar o tempo de vida útil de represas de pequeno volume com o emprego do método sedimentométrico, conhecendo-se o valor do coeficiente de correção (K'). Este coeficiente é obtido a partir dos valores de tempo de vida útil, calculados pelos métodos sedimentométrico e batimétrico simultaneamente, durante o período de um ano.

Palavras-chave: sedimentação, batimetria, reservatório, vida útil.

ABSTRACT. Estimate of useful lifetime for a small reservoir. The purpose of this work is to compare two methods for time estimation of useful life for a small and shallow reservoir, located in Pirassununga, São Paulo State, Brazil: 1) sedimentometry; and 2) bathymetry. The model indicated a useful lifetime around 50 years for the studied dam. The values are between 51 years for the initial years of 1998/1999, and 46 years for the final years of 2004/2005, with an oscillation between 1999/2000 of 27 years, and between 2000/2001 of 76 years. The results show that it is possible to estimate the useful lifetime for small dams through the sedimentometric method, by knowing the correction coefficient value (K'). The coefficient is calculated using time values of useful lifetime calculated by the sedimentometric and bathymetric methods simultaneously, during the span of one year.

Key words: sedimentometry, bathymetry, reservoir, useful life.

Introdução

Os múltiplos usos da água são indispensáveis ao largo espectro das atividades humanas, o abastecimento público e industrial, a irrigação agrícola, a produção de energia elétrica e as atividades de lazer e recreação (ALVES et al., 2008).

Os reservatórios são construídos para vários propósitos, destacando-se abastecimento de água, irrigação, geração de energia elétrica, prevenção de enchentes, recreação e produção de peixes. Por serem construídos sobre o curso de um rio, estão constantemente submetidos a processos de sedimentação, já que o sedimento transportado pelo curso de água, ao alcançar o reservatório, tende a se depositar. Isso ocorre desde a entrada do reservatório, onde é maior a deposição, até a barragem, principalmente na direção natural do antigo perfil longitudinal do curso de água.

Ainda que lagos e reservatórios sejam tratados de forma conjunta na literatura, a distinção fundamental entre eles é o controle das vazões. No caso de reservatórios, esse controle permite que o nível da água seja alterado com bastante rapidez, provocando mudanças nas características das margens por essa flutuação, podendo causar impactos severos nos habitats aquáticos. Também a limnologia física dos reservatórios é bem distinta da dos lagos naturais. Correntes de densidade que ocorrem dentro dos reservatórios podem carrear sedimentos que se depositam em áreas que, em outras situações, seriam varridas pelo escoamento do rio. Os padrões de estratificação térmica e química, particularmente na proximidade das barragens, também são marcadamente diferentes das ocorrências em corpos naturais (NOGUEIRA, 1991).

Na América Latina, as primeiras medições de sedimentos em suspensão foram efetuadas no rio Neuquén, Argentina, entre os anos de 1915 e 1918, em um ponto a 0,5 m abaixo da superfície. O primeiro trabalho de sedimentometria registrado no Brasil ocorreu somente em 1950, ocasião em que se iniciaram as investigações sedimentométricas com finalidade de aplicação na previsão do assoreamento de reservatórios. Esse tipo de pesquisa evoluiu bastante no país, porém continua longe das expectativas e necessidades (CARVALHO, 1994).

O depósito do sedimento pode ocorrer tanto próximo da fonte de erosão quanto distante dela. O material pode ser depositado em locais planos, em canais, planícies de inundação, reservatórios, deltas, estuários ou oceanos. O sedimento, constituído por partículas de tamanhos diversos que podem ir desde a fração argila até areia, pode causar danos, dependendo da quantidade, qualidade e local de deposição. Em reservatórios, o processo de sedimentação causa a perda da vida útil do sistema, acarretando grandes perdas econômicas e ambientais.

O tempo de vida útil de um reservatório é o tempo que este leva para ser assoreado, a ponto de impedir o seu uso de acordo com o planejamento inicial. A vida útil é função da descarga sólida de entrada, da eficiência de entrada de sedimento no reservatório e do peso específico do sedimento retido (VILLELA; PONCE, 1986) e, nesse sentido, o manejo de reservatórios é de extrema importância.

Neste trabalho, foi escolhido como objeto de estudo uma represa de pequeno porte no Estado de São Paulo, com banco de dados já existente, podendo servir como base para aplicações em situações semelhantes em reservatórios de maior porte. O objetivo fundamental foi comparar dois métodos de estimativa do tempo de vida útil para um reservatório raso e de pequeno porte.

Material e métodos

Área de estudo

O trabalho foi desenvolvido em uma represa, denominada Represa Velha, localizada nas coordenadas 21°56'S e 47°23'W, a aproximadamente 575 m acima do nível do mar, no Município de Pirassununga, Estado de São Paulo, Brasil. Com superfície de aproximadamente 5 ha, sua profundidade média é de 2 m e máxima de 5 m.

Segundo Kleerekoper (1941), esta represa foi construída no final do ano de 1939 e a água alcançou seu nível máximo em fevereiro de 1940. Uma barragem de 300 m de comprimento, feita de terra,

represou a água procedente de três riachos. O córrego da Barrinha é um destes três riachos e, atualmente, é o principal contribuinte da represa. Na área da nascente, o córrego de abastecimento sofreu retificação com a construção de vários canais artificiais, com o objetivo de melhorar a distribuição da água, tornando a área agriculturável. Esses canais estendem-se em várias direções. A extensão do córrego é de 3.217 m, da nascente até desembocar na represa.

As características climáticas da região de Pirassununga, pela classificação de Köppen, são do tipo Cwa (clima subtropical de altitude), com inverno seco e chuvas no verão. A temperatura do ar, nos meses mais quentes (janeiro e fevereiro), é superior a 22°C e a do mês mais frio (julho), inferior a 18°C. O total de chuva do mês mais seco não ultrapassa a média de 30 mm (LOMBARDI NETO; CAMARGO, 1992). A pluviosidade anual é de 1.411 mm, média calculada para os últimos 12 anos [Dados fornecidos pela Divisão de Meteorologia Aeronáutica (DMET), localizada na Academia da Força Aérea (AFA) em Pirassununga, São Paulo].

Foram utilizados dois métodos para estimar o tempo de vida útil da Represa Velha: 1) o método de câmara de sedimentação (ou método sedimentométrico); e 2) o método de batimetrias (ou método batimétrico).

Estimativa Baseada no Método de Câmara de Sedimentação (Sedimentométrico)

Descrição dos pontos de coleta e amostragem

Para avaliar a deposição dos sedimentos na represa, foram utilizadas câmaras de sedimentação confeccionadas com tubos de PVC de 10 cm de diâmetro por 30 cm de comprimento (Figura 1).

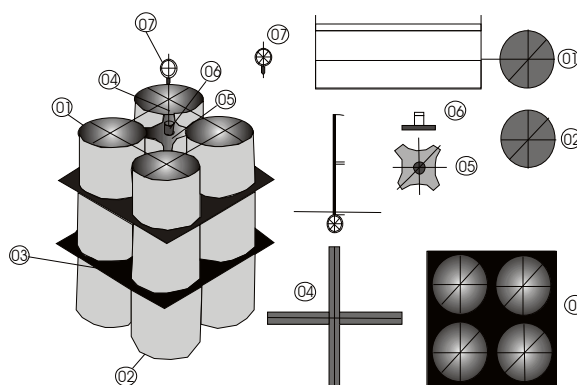


Figura 1. Esquema das câmaras de sedimentação. 1 – abertura da câmara; 2 – fundo da câmara; 3 – suporte das câmaras; 4 – rosca de trava; 5 – trava das câmaras; 6 – parafuso da trava das câmaras; 7 – alça de amarração.

Antes do processo de incubação, as câmaras foram preenchidas com água destilada, evitando-se, assim, a existência de material antes do início do experimento. Posteriormente, estas foram colocadas nas profundidades estabelecidas, sendo amarradas a um flutuador de madeira com bóias, o qual foi ancorado em cada ponto de amostragem.

O tempo de exposição foi de 24h, tempo este suficiente para a acumulação de material nos coletores. Após o período de incubação, o conteúdo das câmaras foi recolhido em galões e levados ao laboratório para a análise da quantidade de material em suspensão total e cálculo da taxa de sedimentação.

No laboratório, um volume conhecido de amostra de água foi filtrado em filtros de membrana do tipo Whatman Gf/C e submetido ao mesmo procedimento para a determinação do material em suspensão. A taxa de sedimentação do material particulado corresponde à quantidade de material da amostra filtrada, corrigida para o volume médio das câmaras de sedimentação, expressos em unidades de área (cm²) e de tempo (número de dias do período de incubação). A taxa de sedimentação (TS) foi determinada pela fórmula:

$$TS = V_c \cdot C^* / A_c \cdot T^* \quad (1)$$

em que:

V_c é o volume das câmaras de sedimentação (em L);

C* é a concentração de material em suspensão dentro das câmaras (em mg L⁻¹);

A_c é a área da abertura da superfície da câmara de sedimentação (em cm²);

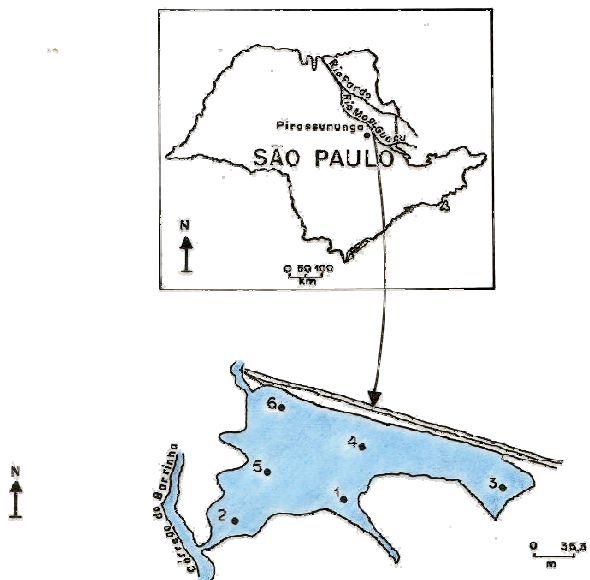
T* é o tempo (em dias).

As amostras foram acondicionadas em frascos de plástico de coloração âmbar, mantidas em caixa de isopor contendo blocos de gelo e levadas ao laboratório, onde as subamostras foram separadas em frascos de polietileno, datados e identificados.

Foram estabelecidos seis pontos de coleta baseando-se nas características físicas da Represa Velha; as amostras de água foram obtidas a 50 cm em relação ao fundo (Figura 2).

Posteriormente, foi realizada uma análise espacial por metodologia geoestatística para determinar a melhor distância entre os pontos de coleta. O variograma obtido indicou que a melhor distância entre os pontos seria de aproximadamente 45 m. Dessa forma, as amostragens foram repetidas no período seco, meses de junho a agosto de 2004 e junho a agosto de 2005, e no período chuvoso, meses de dezembro de 2004 e janeiro a fevereiro de 2005, com a distância entre os pontos de

amostragem indicada pela análise variográfica. Desse modo, foram estabelecidos 20 pontos de coleta (Figura 3), sendo as amostras de água coletadas também a 50 cm em relação ao fundo.



Legenda: Pontos - 1 - antigo cercado da represa, 2 - entrada do córrego da Barrinha dentro da represa, 3 - antigo banco de macrófitas, 4 - barragem, 5 - meio da represa, 6 - antigo local dos tanques-rede.

Figura 2. Croqui da Represa Velha mostrando os pontos iniciais de amostragens.

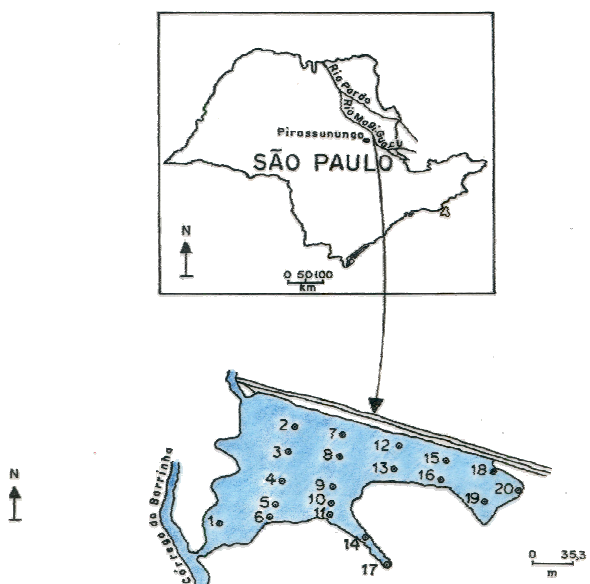


Figura 3. Croqui da Represa Velha mostrando os novos pontos de amostragens.

O peso específico aparente dos depósitos de sedimentos do reservatório foi calculado segundo o tipo de operação do reservatório, do grau de

compactação dos sedimentos e da granulométrica (Tabela 1).

Tabela 1. Constante W e K para cálculo do peso específico aparente em função do tipo de operação do reservatório, sistema métrico, usados nas Equações 2 a 5.

Tipo de operação de reservatório	Argila		Silte		Areia		+
	W _c	K _c	W _m	K _m	W _s	K _s	
Sedimento sempre ou quase sempre submerso	0,416	0,2563	1,121	0,0913	1,554	0,0	
Depressão do reservatório de pequena a média	0,561	0,1346	1,137	0,0288	1,554	0,0	
Reservatório com consideráveis variações de nível	0,641	0,0000	1,153	0,0000	1,554	0,0	
Reservatórios normalmente vazios	0,961	0,0000	1,169	0,0000	1,554	0,0	

Fonte: Carvalho (1994).

O tempo do depósito de sedimentação foi calculado por meio das Equações 2 e 3 (CARVALHO, 1994):

$$T = V \cdot \gamma_{ap} / P \quad (2)$$

$$P = V \cdot p' \quad (3)$$

em que:

T é o tempo de assoreamento (em ano);

V é o volume do reservatório (em m³);

γ_{ap} é o peso específico aparente (em t m⁻³);

P é a massa de sedimento acumulada por ano na represa (em t ano⁻¹);

p' é a taxa de sedimento anual (em t m⁻³ ano⁻¹).

O p' foi obtido pelo material em suspensão total acumulado em um período de 24h nas câmaras de sedimentação, que ficaram dispostas verticalmente na coluna de água, a 50 cm em relação ao fundo.

Após a realização das coletas de sedimento, utilizando-se de câmaras de sedimentação, os resultados obtidos foram calculados por meio da Equação 4, para determinar p':

$$p' = (S/J/N) \cdot C \cdot A \quad (4)$$

em que:

S é a concentração do material em suspensão total (em mg L⁻¹);

J é o número de pontos de coleta, N é o número de coletas;

C é a constante de correção para litro (em 1.000 volume filtrado⁻¹);

A é o ano (em dias).

O valor médio de γ_{ap} foi obtido de acordo com Carvalho (1994), pela Equação 5:

$$\gamma_{ap} = \gamma_i + K \cdot \log T' \quad (5)$$

$$\gamma_i = W_c \cdot P_c + W_m \cdot P_m + W_s \cdot P_s \quad (6)$$

$$K = K_c \cdot P_c + K_m \cdot P_m + K_s \cdot P_s \quad (7)$$

em que:

γ_{ap} é o peso específico aparente médio em tonelada anos (em t m⁻³);

γ_i é o peso específico aparente inicial (em t m⁻³);

K é a constante que depende da granulometria do sedimento e é obtida com base no tipo de operação do reservatório;

T' é o tempo de compactação do sedimento depositado (em anos);

W_c, W_m, W_s são os coeficientes de compactação de argila, silte e areia, respectivamente, obtidos segundo o tipo de operação do reservatório;

P_c, P_m, P_s são as frações de quantidades de argila, silte e areia contidas no sedimento afluente.

Concentração do material em suspensão total (mg L⁻¹)

A concentração do material em suspensão foi determinada por técnica gravimétrica, em amostras brutas e fracionadas, retidas em filtros de fibra de vidro (porosidade de 68 e 20 μm), previamente calcinados e de massa conhecida (M1). Os filtros contendo material particulado foram secos em estufa a 60°C, durante 24h, resfriados e pesados (M2). As diferenças de massas entre M2 e M1 forneceram as massas dos materiais em suspensão total:

$$S = (M2 - M1) / (V \cdot 1.000) \quad (8)$$

em que:

S é a concentração do material em suspensão total da Equação (4) (em mg L⁻¹);

M1 é o peso inicial do filtro (em g);

M2 é o peso do filtro com material coletado, após secagem em estufa (em g);

V é o volume de água utilizado para a filtração (em L) e 1.000 é a conversão para miligramas.

Estimativa baseada no método de batimetria (batimétrico)

O método mais utilizado para reservatórios de porte médio e grande é o levantamento por linhas topobatimétricas. Entretanto, antes de iniciar o trabalho, é necessário conhecimento prévio, planejamento das seções a levantar, escolha dos métodos de trabalho e dos equipamentos, determinação do nível de redução do levantamento, medida de profundidades, locação dos pontos de profundidades medidas, amarração topográfica dos pontos em posição e nível (altitude ou cota), interpretação, cálculos, mapeamento e desenhos gerais.

Os dados foram obtidos por meio da batimetria,

utilizando o guincho hidrométrico, e analisados pela equação matemática aplicada para determinar o tempo de vida útil da represa:

$$T_v = V \cdot T_a / D \tag{9}$$

em que:

- T_v é o tempo de vida útil;
- V é o volume do reservatório (em m³);
- T_a é o tempo de comparação entre uma medida e outra (em ano);
- D é o material depositado em anos (em m³).

Após a realização dos cálculos para determinar o tempo de vida útil da represa, aplicou-se o coeficiente de correção (K'), que é o resultado obtido da batimetria mais próximo da realidade dividido pelo resultado obtido da câmara de sedimentação:

$$K' = T_v / T \tag{10}$$

em que:

- T_v é o resultado do tempo de sedimentação pelo método da batimetria;
- T é o resultado do tempo de sedimentação pelo método da câmara de sedimentação.

Dessa forma, pelos resultados obtidos das equações matemáticas das câmaras de sedimentação e da batimetria, foi possível desenvolver um modelo matemático com fator de correção, para determinar o tempo de vida útil corrigido (T*) na Represa Velha, com maior precisão e menor custo:

$$T^* = K' \cdot T \tag{11}$$

Resultados

Os resultados apresentados na Tabela 2 indicam que existe relação entre o tempo de vida útil de pequenas represas estimado pelos métodos sedimentométrico e batimétrico, cuja constante de proporcionalidade obtida permite estimar o tempo de vida útil corrigido, usando câmaras de sedimentação.

Tabela 2. Resultado do tempo de vida útil obtido pelo método da câmara de sedimentação (T), batimetria (T_v), coeficiente de correção (K') e tempo de vida útil corrigido (T*).

Anos	T	T _v	K'	T*
1998/1999	82	51	0,62	51
1999/2000	43	27	0,63	27
2000/2001	122	76	0,62	76
2004/2005	74	46	0,77	46

Os resultados referentes à estimativa do tempo de vida útil corrigido estão apresentados na Figura 4.

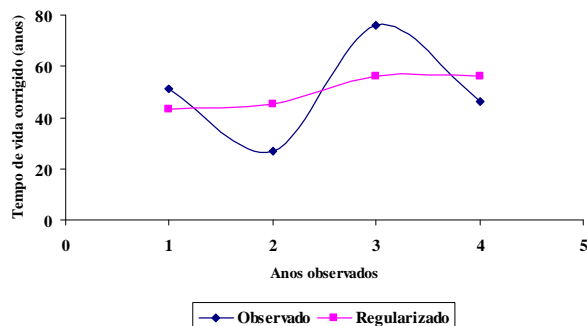


Figura 4. Tempo de vida útil corrigido, observado para os anos de 1998/1999 (1), 1999/2000 (2), 2000/2001 (3) e 2004/2005 (4), e regularizado utilizando o método de Regularização de Curvas.

Na utilização do modelo para a estimativa do tempo de vida útil para a Represa Velha pela sedimentometria e batimetria, a média anual entre os anos foi de 50 anos, apresentando-se semelhante entre os anos iniciais de 1998/1999, com 51 anos, e os anos finais de 2004/2005, com 46 anos, e tendo oscilação entre os anos de 1999/2000, com 27 anos, e 2000/2001, com 76 anos. Com este resultado, verifica-se que o processo é dinâmico, mudando a cada ano o tempo de vida útil.

Discussão

Vários autores têm calculado o tempo de vida útil de reservatórios baseados no peso específico do sedimento retido associado à quantidade de material depositado (kg ano⁻¹). À medida que o reservatório é assoreado, o volume de água e a eficiência de retenção diminuem. O aumento da população e o conseqüente aumento do uso do solo provocam maior carga de afluentes, o que pode resultar na redução gradativa dos tempos propostos pelos cálculos.

Os levantamentos sedimentométricos em reservatórios não são feitos com muita frequência porque os custos são elevados. Entretanto, se forem considerados os custos da construção das barragens, este levantamento pode se tornar insignificante. Reservatórios que recebem grande carga de depósitos e que perdem sua capacidade de funcionamento com maior rapidez devem ser monitorados com maior frequência. De qualquer forma, os custos são elevados para a verificação da capacidade do reservatório e do volume de assoreamento. Um levantamento é necessário a cada dois anos em reservatórios pequenos, a cada cinco anos em reservatórios de porte médio e a cada dez anos em grandes reservatórios (CARVALHO, 1994).

A escolha do método deve ser feita em função da disponibilidade de mapas, das condições de mapeamento prévio, dos objetivos do estudo, do tamanho e da profundidade do reservatório, além do grau de precisão desejada. A sobreposição de dados de mapas já existentes com os novos levantamentos pode, inclusive, fornecer o quanto o reservatório perdeu em profundidade e em vida útil num determinado período.

Neste trabalho, o acompanhamento temporal do processo de sedimentação foi apoiado pela topografia, pois foram colocados pontos topográficos originados do levantamento, sendo fornecidas as coordenadas, que auxiliaram na determinação das coordenadas dos pontos de batimetria. Dessa forma, foram realizadas quatro batimetrias durante quatro anos, as quais foram comparadas com os dados das análises limnológicas nos mesmos anos. Pela análise da regressão múltipla aplicada aos dados batimétricos, foram comparadas as diversas superfícies, verificando a influência da topografia original na deposição dos diversos níveis de sedimentos.

Com a análise variográfica, foi observado que a distância adequada era de aproximadamente 45 m, resultando em apenas 20 pontos. Batimetrias realizadas com distâncias de 10 m, em estudos anteriores, durante os anos de 1998, 1999, 2000, 2001, 2004 e 2005 foram ajustadas para as novas distâncias, coincidindo com alguns pontos dos resultados anteriores. Desse modo, ocorreu redução dos custos e diminuição do tempo em decorrência do aumento de distância de 10 para 45 m.

Os procedimentos gerais para se fazer levantamentos de reservatórios têm mudado com o avanço científico e o surgimento de novas tecnologias e equipamentos. Ferramenta muito importante, no estudo do processo de sedimentação da represa, é o acompanhamento temporal do material depositado (aspecto quantitativo); assim, torna-se necessário o levantamento topográfico da microbacia, já que se consegue obter a localização quase perfeita dos pontos necessários ao levantamento batimétrico da represa.

Para os trabalhos voltados à batimetria, são necessárias seções transversais em cursos de água. Essas seções podem mostrar as mudanças sofridas pela erosão de margens, ou desbarrancamentos, bem como depósitos de sedimentos que podem ter evoluído a um assoreamento indesejável. Essas mudanças dizem respeito a aspectos de degradação dos cursos de água provocando, às vezes, mudanças irreversíveis (CARVALHO, 1994).

Conclusão

O tempo de vida útil dos reservatórios de

pequeno volume varia em função de seu manejo operacional e das atividades antrópicas em seu entorno. Os resultados obtidos neste trabalho mostram que é possível estimar o tempo de vida útil de represas de pequeno volume, pelo método sedimentométrico, conhecendo-se o valor do coeficiente de correção (K'). Este coeficiente é obtido a partir dos valores de tempo de vida útil, calculados pelos métodos sedimentométrico e batimétrico simultaneamente, durante o período de um ano.

Agradecimentos

Ao Centro de Pesquisa e Gestão de Recursos Pesqueiros Continentais - Cepta/ICMBio, e ao Curso de Pós-graduação em Geociências e Meio Ambiente da Universidade Estadual Paulista (Unesp), Campus de Rio Claro, São Paulo, pelo apoio e estrutura utilizados neste trabalho, e à Fapesp, pela bolsa de doutorado concedida (Processo nº 02/10143-9).

Referências

- ALVES, E. C.; SILVA, C. F.; COSSICH, E. S.; TAVARES, C. R. G.; SOUZA FILHO, E. E.; CARNIEL, A. Avaliação da qualidade da água da bacia do rio Pirapó – Maringá, Estado do Paraná, por meio de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 30, n. 1, p. 39-48, 2008.
- CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: CPRM, 1994.
- KLEEREKOPER, H. **Estudo limnológico da bacia do rio Mogi-Guaçu**: observações sobre a represa da Estação Experimental de Caça e Pesca do Ministério da Agricultura em Emas, SP. Rio de Janeiro: Serviço de Informação Agrícola, 1941.
- LOMBARDI NETO, F.; CAMARGO, O. A. **Microbacia do córrego São Joaquim (Município de Pirassununga, SP)**. Campinas: IAC, 1992.
- NOGUEIRA, V. P. Q. Qualidade da água em lagos e reservatórios. In: PORTO, R. L. L. (Org.). **Hidrologia ambiental**. São Paulo: Universidade São Paulo, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1991. p. 165-210. (Coleção ABRH de recursos hídricos, 3).
- VILLELA, S. M.; PONCE, R. J. C. Assoreamentos de reservatórios. **Boletim de Hidráulica e Saneamento**, v. 1, n. 8, p. 1-30, 1986.

Received on March 27, 2008.

Accepted on July 22, 2008.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.