

ESTUDO DO PROCESSO DE ASSOREAMENTO EM RESERVATÓRIOS

João Batista Pereira Cabral

Departamento de Geografia da Fundação Educacional de Jataí
jbcabral2000@yahoo.com.br

RESUMO

O presente artigo apresenta alguns aspectos e critérios indicativos do processo de assoreamento em reservatórios. São discutidos os problemas principais e secundários devido ao depósito de sedimentos, bem como são realizados estudos sedimentológicos necessários, apontando-se os principais métodos de controle preventivo e corretivo da sedimentação no sentido de mitigar os efeitos do assoreamento.

PALAVRAS CHAVE: Reservatório, transporte de sedimentos, assoreamento.

STUDY OF SEDIMENTATION IN RESERVOIRS

ABSTRACT

This paper presents some aspects as well as indicative criteria about sedimentation process in reservoirs. Main and secondary problems due to sedimentation are discussed; sedimentologic studies were carry out addressed to the main methods of preventive and corrective control of sedimentation, in order to mitigate sedimentation effects.

KEY WORDS: Reservoir, transport of sediments, Sedimentation

INTRODUÇÃO

A construção de uma usina hidrelétrica em canal fluvial faz com que a velocidade do fluxo que adentra o reservatório por ela formado seja drasticamente reduzida, devido ao aumento da seção transversal corrente. Isto provoca queda acentuada, ou mesmo eliminação, da turbulência do fluxo, reduzindo a capacidade do transporte de sedimentos no rio, provocando a sedimentação da carga em suspensão e de arrasto provocando quase sempre assoreamento.

O assoreamento é o principal problema que afeta os lagos implicando na diminuição do volume de água utilizável, e reduzindo a quantidade de energia gerada, tendo como causa principal a água da chuva que transportam sedimentos em suspensão ou diluição e que são retidos através da sedimentação/decantação e pelo atrito com a superfície de fundo. Os sedimentos, sujeitos ao arrasto, são retidos na entrada do reservatório e nos afluentes formando um delta pluvial. Esses sedimentos são originados do solo exposto devido à retirada da vegetação e esgotamento do mesmo pelo uso inadequado, ocasionando o assoreamento dos reservatórios.

Todos os reservatórios, qualquer que seja sua finalidade, destinação, tamanho e características de operação estão fadados a ter a sua capacidade de armazenamento parcial ou totalmente tomados pelos sedimentos, proporcionando o processo de assoreamento.

A análise do processo de assoreamento deve fazer parte das atividades dos projetos de construção e manutenção, sendo indispensável uma correta colocação dos órgãos de tomada de água, para prevenir eventuais dificuldades de operação, ou mesmo de interrupções no

aprovisionamento da água.

No Brasil, cerca de 95% da energia elétrica é gerada por aproveitamento hidrelétrico (CARVALHO, 2000; CARVALHO *et al.*, 2000), fazendo com que os estudos sedimentológicos sejam particularmente importantes para que seja garantida a mitigação dos efeitos de assoreamento dos reservatórios.

Na atualidade, um grande número de reservatórios brasileiro se encontram totalmente ou parcialmente assoreados, principalmente os de pequeno e médio portes. Normalmente, o estudo da produção de sedimentos é calculado a partir de programas de monitoramento da descarga sólida ou através da medição do volume de sedimentos acumulados em reservatórios e lagos, sendo ignorada a distribuição granulométrica, análise espacial e temporal dos mesmos dentro do reservatório.

No ano de 2002 o Brasil enfrentou uma grave crise nesse setor, defrontando-se com reservatórios em níveis operacionais limitantes, devido à diminuição do índice pluviométrico (ANEEL, 2003).

Neste contexto, o objetivo do estudo é realizar uma discussão crítica sobre o processo de assoreamento dos reservatórios brasileiros, visto que o conhecimento do estado atual é um dado de grande importância para o planejamento e gerenciamento futuros dos recursos hídricos das bacias hidrográficas Brasileira.

Histórico sobre o estudo de assoreamento

Pesquisas especificamente relacionados a assoreamentos de reservatórios começaram a aparecer com regularidade na literatura internacional durante a década de 30, através dos trabalhos de FIOCK (1934), GROVER & HOWARDS (1938); EAKIN (1939). No Brasil a partir de 1981 é que foi dado maior ênfase ao problema, através dos trabalhos desenvolvidos por PONÇANO *et al.* (1981); GIMENEZ *et al.* (1981); CARLSTRON FILHO *et al.* (1981) que apresentaram resultados de estudos desenvolvidos pelo IPT em convênio com a Eletrobrás, nos reservatórios de Capivari (PR), Passo Real e Ernestina (RS), onde apresentaram um método de análise de assoreamento de reservatórios.

De acordo com VILELA & MATTOS (1975) existem duas escolas que estudam o transporte de sedimentos e deposição: a) Escola determinista, que procura equacionar o fenômeno físico do transporte de sedimentos, pertencente aos pesquisadores como Du Boys, Eisnten, Kennedy, Vanoni, Brooks e outros; b) Escola Estocástica, que procura relações entre as variáveis através e diretamente de dados medidos em campo. Os pesquisadores que fazem parte desta escola são: Blench, Conti, Colby e outros.

Segundo CARVALHO (1994 e 2000) a sedimentação é um processo derivado do sedimento, abrangendo a erosão, transporte nos cursos d'água e deposição dos sedimentos, sendo comum referir-se à sedimentação somente aos aspectos de assoreamento de reservatórios, pois no estudo do processo de assoreamento, busca-se compreender os procedimentos existentes para a previsão da evolução do fenômeno ao longo dos anos, visando determinar a vida útil.

O equacionamento do problema exige o conhecimento sobre a produção de sedimentos, bem como suas áreas fontes. Assim devemos levar em consideração o conhecimento das relações entre os usos dos solos, a erosão e sedimentação no reservatório.

Causas e conseqüências do assoreamento

Todo curso d'água normalmente apresenta um equilíbrio em relação ao transporte de sedimento, seja por arrasto e saltitação junto ao leito, seja em suspensão na corrente, e existe uma tendência natural para que este seja depositado quando o fluxo natural de sedimentos ao encontrar água com menor velocidade (alteração do fluxo) começa a se depositar, conforme a maior ou menor granulação das partículas e a menor ou maior turbulência do escoamento. (GLYMPH. 1973, CARVALHO. 2000).

Quando o homem constrói um reservatório, altera-se a característica hidráulica do trecho

compreendido entre a barragem e a seção à montante, muda-se o estado de equilíbrio do fluxo, ocasionado pela construção, conduzindo-se a uma série de transformações no processo fluvial, proporcionando-se a desaceleração do movimento das partículas na direção da corrente, fazendo com que as partículas sólidas como pedregulhos e areias grossas se depositem mais próximas da entrada do reservatório (final do remanso), quanto maior o seu diâmetro.

As partículas mais finas, em cuja sustentação a viscosidade exerce papel relevante, ou vão se depositar no trecho mais baixo do reservatório ou permanecer em suspensão alcançando os órgãos de descarga (LOPES, 1993; MORRIS & FAN, 1997; CARVALHO, 1994 e 2000).

Segundo RAMOS (1999) existem duas modalidades de transporte sólido em suspensão, uma corresponde à carga de lavagem da bacia e outra correspondente ao transporte do material que compõem o material do leito.

No caso da carga de lavagem, o material em geral é muito fino, com dimensões na faixa de silte e argila, e se mantém quase que permanentemente em suspensão, não chegando a se depositar. A fração mais grossa da carga de lavagem, ao adentrar no reservatório pode chegar a se depositar, dependendo do tempo de residência ou de outros fatores de natureza físico – química que possa favorecer a floculação e, conseqüentemente, a decantação.

Já a fração mais fina pode manter-se em suspensão por mais tempo em forma até de suspensão coloidal, e atravessar os limites do barramento, não chegando a assorear. Já os sedimentos em suspensão provenientes do leito do rio, são ligeiramente mais graúdos, nas faixas da areia fina.

Para GLYMPH (1973) a quantidade de sedimento depositada em um dado reservatório depende da quantidade de material em suspensão enviada para o mesmo e da capacidade do reservatório reter as partículas em suspensão.

De acordo com BRUNE & ALLEN (1941) os principais fatores que influenciam a deposição dos sedimentos em reservatórios são:

- a quantidade de sedimentos que adentra no reservatório;
- a capacidade de retenção do reservatório;
- a quantidade de sedimentos acumulado no mesmo;
- o modo de operação do reservatório.

Segundo VANONI (1977) a deposição e a distribuição dos sedimentos dentro de um reservatório dependem de vários fatores como, declividade de escoamento, a geometria do reservatório, o modo como este é operado, as características minerais das partículas finas e as características química das águas.

Para CARVALHO (2000) vários fatores influenciam a formação dos depósitos, sendo que os principais são:

- sedimentos afluentes;
- eficiência de retenção do sedimento no reservatório;
- densidade dos depósitos e volume de sedimento depositados.

Já os fatores que contribuem para o transporte dos sedimentos são vários, podendo ser citado como principais:

- quantidade e intensidade das chuvas;
- tipo de solo e formação geológica;
- cobertura e uso do solo;
- topografia;
- erosão das terras;
- escoamento superficial;
- característica dos sedimentos; e
- as condições morfológicas do canal.

Com relação ao transporte e a velocidade de sedimentação, verifica-se que existem diferenças de

um reservatório para outro, sendo esses processos condicionados pela vazão, tempo de residência e seção transversal dos rios que formam o reservatório, além da característica morfométrica do sistema, localização e uso da bacia hidrográfica.

À medida que a deposição de sedimentos aumenta, a capacidade de armazenamento do reservatório diminui, a influência do remanso aumenta para montante, as velocidades no lago aumentam e maior quantidade de sedimentos passa a escoar para jusante diminuindo a eficiência de retenção das partículas, demonstrando que a evolução de fundo do reservatório depende fortemente da geometria do reservatório e do tamanho do sedimento depositado (MORRIS & FAN, 1997; TARELA & MENÉNDEZ, 1999; CARVALHO, 2000).

Para LOPES (1993), mesmo quando não se verificarem volumes significativos de depósitos dentro da porção útil do reservatório, o assoreamento ameaça com dois outros problemas principais: a) a impossibilidade de operação de comportas de órgãos de adução e descarga, devido ao acúmulo de material junto à barragem; b) o prolongamento do efeito de remanso, com a conseqüente elevação de níveis de enchente a montante, devido a depósitos de material grosseiro na entrada do reservatório, uma vez que o prolongamento de remanso implica na perda efetiva de capacidade útil.

É, também, muito freqüente ocorrer em áreas de remanso de lagos e reservatórios, a forma de deltas arenosos, que por sua vez auxiliam na retenção dos sedimentos vindos de montante. Os materiais argilosos são transportados mais facilmente para o interior dos lagos, sendo os primeiros a atingirem a tomada d'água nos reservatórios.

De acordo com MORRIS & FAN (1997) e CARVALHO (2000), à medida que o tempo decorre, os impactos do assoreamento se tornam mais severos e mais fáceis de serem constatados, mas de difícil solução. São esperadas conseqüências tanto a montante quanto à jusante.

Para LOPES (1993); CARVALHO (1994 e 2000) os parâmetros envolvidos nas estimativas de assoreamento são:

- Carga de sedimentos: que é a quantidade de material sólido afluente de uma dada seção num curso d'água, podendo ser dividida em carga de leito (fundo e suspensão) e wash load (carga de lavagem).
- Eficiência de retenção de sedimentos: que é a razão entre a carga sólida que se deposita no leito do reservatório e a carga sólida total afluente. O valor da eficiência de retenção de sedimentos num reservatório pode ser obtido a partir de medições sistemáticas das descargas sólidas afluentes e a jusante da barragem;
- Peso específico dos depósitos de sedimentos: que é a relação entre o peso seco do material e o volume ocupado pelo depósito. A estimativa deste parâmetro é necessário para a transformação da carga sólida retida em volume sedimentado.

ICOLD (1989) apresenta as seguintes recomendações para o controle do assoreamento de reservatórios que são:

- Conhecer o local da produção de sedimentos;
- Da deposição dos sedimentos;
- Controlar da deposição.

De acordo com SHEN & LAI (1996) o processo de assoreamento pode ser controlado e reduzido através de três medidas:

- Redução da quantidade final de sedimentos que entra no reservatório por meio do controle da erosão da bacia e da retenção de sedimentos;
- Remoção dos sedimentos por meios mecânicos, como dragagem e;
- Passagem do escoamento carregado de sedimentos através do reservatório e posterior liberação por descarga de fundo localizada na barragem.

Conforme a sua localização no reservatório, os depósitos são geralmente classificados segundo VANONI (1977), LOPES (1993) e CARVALHO (2000) como:

- Depósito de remanso (backwater deposit): Constituem em princípio dos materiais de maior

granulometria, como seixos, que se depositam no final do remanso, ligeiramente acima do nível máximo do reservatório. Teoricamente esses depósitos podem progredir tanto para dentro do lago como a montante pois, conforme o depósito cresce, o efeito de remanso se estende, esse crescimento será limitado, entretanto, à medida que o escoamento ajusta seu canal através dos depósitos, atingindo uma relação largura – profundidade ótima, seja pela eliminação dos meandros, seja pela variação da forma do fundo. O impacto causado por este tipo de depósito são as enchentes a montante

- Deltas: A variação do nível d'água é quem condiciona a formação do delta, que possui partículas do tamanho de areia ou maiores que geralmente se depositam logo que o escoamento penetra o reservatório. Este tipo de depósito reduz gradualmente a capacidade útil do reservatório.
- Depósito de Fundo ou leito (bottom – set deposit): reduzem o volume morto do lago através das partículas de silte e argila que são geralmente transportadas para jusante dos deltas e se depositam no trecho mais baixo do reservatório. A forma desses depósitos depende principalmente das características minerais das argilas e das características químicas da água.
- Depósito de margem (overbank): Provocado pela deposição dos sedimentos trazidos pelas ondas da água e pelo vento.
- Depósito de várzea ou de planície de inundação: Produzido pelas enchentes, ocorrendo ao longo do curso d'água e do reservatório, formado por sedimentos finos e grossos.

PONÇANO *et al.* (1981) descrevem que as medidas corretivas e preventivas do assoreamento requerem estudos específicos, considerando-se a dinâmica sedimentar desde as áreas fonte até as áreas de deposição. Esses estudos devem contemplar amostragens diretas (testemunhas obtidas por draga e piston core) e indiretas, como nos estudos realizados por SAUNITTI (2003) através de dados geofísicos e ensaios laboratoriais, além da caracterização qualitativa e quantitativa dos depósitos.

As medidas preventivas pressupõem o controle e a prevenção da erosão nas áreas de produção de sedimentos e a corretiva, pressupõe-se a dragagens, aproveitamento mineral dos depósitos e obras hidráulicas específicas.

Avaliação de assoreamento

Quanto à medição do assoreamento de um reservatório, pode-se utilizar vários métodos como a de previsão de assoreamento através da proposta de CARVALHO *et al.* (2000), método da planimetria das curvas batimétricas descrita em VANONI (1977) e MORRIS & FAN (1997) e através do método proposto por PONÇANO *et al.* (1981); GIMENEZ *et al.* (1981); CARLSTRON FILHO *et al.* (1981), aperfeiçoados por LOPES (1993) no reservatório de Americana e SAUNITTI (2003) no reservatório de Passaúna – PR, mediante estudo realizado com amostrador Piston Core, que obtém testemunhos verticais poucos deformados, demonstrando que é possível correlacionar o material depositado com as área-fonte, sabendo-se também a espessura da camada depositada em cada ponto amostrado.

Segundo CARVALHO (2000), e CARVALHO *et al.* (2000) o Brasil possui reservatórios parcialmente ou totalmente assoreados, sendo que a maior parte desse aproveitamento continua em operação mas com problemas diversos decorrentes do depósito de sedimentos. Como exemplo podemos citar o estudo realizado por COELHO (1993) na represa de Salto Grande, em Americana - SP, que possui um volume morto de aproximadamente 65% do seu volume total e perda anual média de 0,22% deste volume, equivalente a pouco mais de 235.000m³, pressupondo que as taxas de erosão na bacia de captação permaneçam em níveis próximos aos atuais. Seriam necessários 240 anos para o preenchimento por sedimentos de um volume equivalente ao seu volume morto, e aproximadamente 400 anos para o assoreamento total.

ALVIM & CHAUDHRY (1987) na pesquisa intitulada “Modelo Matemático do Assoreamento de Reservatórios” apresentaram um estudo de previsão da distribuição dos sedimentos e conseqüente modificação da geometria do fundo de reservatórios ao longo de tempo. Para isto,

desenvolveram um modelo matemático de processo de sedimentação com a utilização de balanço de massa aplicada em um escoamento permanente bidimensional de fundo inclinado. Esta equação foi resolvida numericamente pelo método de diferenças finitas, para a obtenção dos perfis de concentração ao longo do eixo longitudinal do reservatório.

A integração de tais perfis possibilitou a determinação de curvas que expressam as remoções longitudinais de sólidos em suspensão, utilizadas pela avaliação dos depósitos de fundo. A localização definitiva dos depósitos foi condicionada à ocorrência da condição crítica de tensão de cisalhamento no fundo segundo critério de Shields proposto em 1936.

Na Simulação do transporte de sedimentos no reservatório de Pirapora, ALVIM & RIGHETTO (1993) estimaram as prováveis alterações na configuração dos depósitos de sedimentos do reservatório de Pirapora, decorrentes de um rebaixamento do nível de água. Utilizou-se um modelo matemático do processo de arraste sólido em escoamento permanente e parcialmente tridimensional, para simulação da distribuição de velocidades e tensões de atrito, e indicação dos depósitos que estarão sujeitos à erosão, quando o nível d'água estiver rebaixado.

A partir de levantamentos aerofotogramétrico anterior à construção da barragem, estimou-se também a evolução dos depósitos de fundo ao longo do tempo, buscando a geometria estável das seções transversais. Os resultados obtidos foram comparados com levantamentos batimétricos recentes, os quais indicaram um estágio avançado de assoreamento do reservatório, que possui aproximadamente 40 anos de existência.

BUFON (1999), através de levantamentos topobatimétricos, estudou o tempo de vida útil da represa Velha em Pirassununga – SP. Foram comparadas medidas efetuadas em 1998 com as iniciais, obtidas na construção da represa em 1940, onde se verificou uma perda de profundidade em termos de valores máximos (5m) e médios (2m), sendo o tempo de vida útil previsto para 230 anos.

Podemos destacar também os trabalhos desenvolvidos por CARVALHO & CATHARINO (1993) de um programa de estudos sedimentológicos para o reservatório de Itaipu apresentando a previsão do assoreamento e vida útil do reservatório com indicação da altura de sedimento no pé da barragem para 100 anos e o tempo em que o depósito alcançaria a soleira da tomada d'água.

Também foi apresentada a distribuição de sedimentos em 100 anos de depósitos através de novas curva cota-área-volume. O método empregado na pesquisa foi o de redução de área de Borland e Miller, fazendo uso dos critérios de Brune para obtenção da eficiência de retenção de sedimentos do lago, e dos critérios de Lara e Pemberton para avaliação do peso específico aparente dos depósitos, o que é apresentado por STRAND (1974) na publicação "Design of Small Dams", do U. S. Bureau of Reclamation.

Por fim os resultados são comparados com os valores avaliados por Einstein e Harder no estudo de viabilidade e apresentada uma crítica da qualidade dos dados utilizados para cálculo dos deflúvios sólidos.

LINSLEY & FRANZINI (1978) consideram que o tempo de vida útil de um reservatório termina quando o volume assoreado for suficiente para impedir que o reservatório seja utilizado de acordo com os propósitos para os quais foi construído, considerando para efeito de estimativa geral um volume equivalente à perda de 80% do volume útil do reservatório.

Referências bibliográficas.

ALVIM.A.M & CHAUDHRY. *Modelo matemático do assoreamento de reservatórios* In: VII Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos/ III Simpósio Luso-Brasileiro de Hidráulica e Recursos Hídricos. 236-247p. V3. 1987.

ALVIM.A.M. & RIGHETTO. *Simulação do transporte de sedimentos no reservatório de Pirapora.* IN: X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos/I Simpósio Hídricos do Cone Sul. Gramado-RS.

184 – 192p. V5. 1993.

ANEEL (Agencia Nacional de Energia Elétrica). *Comunicação Pessoal*. www.aneel.gov.br. 2003.

BUFFON, A. G. M. *Varição temporal da taxa de sedimentação na represa Velha (CEPTA/IBAMA/SP) e a sua influência sobre as características limnológicas do sistema. Um estudo de impacto ambiental*. Pirassununga - SP. Monografia (graduação) .Faculdade de Engenharia de Agrimensura de Pirassununga. 85p. 1999.

BRUNE, G.M; ALLEN, R.E. *A consideration of factor influencing reservoir sedimentation*. IN: The Ohio Valley Region. American Geophysical Union. V2. 1941.

CARLSTRON FILHO, C; GIMENEZ, A.F; PIRES NETO, A.G; PRADINI, L.F; MELO, M.S; FULFARO, V.J; PONÇANO, W.L. Metodologia para estudo de assoreamento de reservatórios (II) Reservatório de Passo Real e Ernestina (RS). In: CBGE, 3, Itapema (SC). Anais – São Paulo. ABGE. 143-162p. 1981.

CARVALHO, N.O. *Hidrossedimentologia Prática*. CPRM e ELETROBRÁS. Rio de Janeiro, RJ. 384p. 1994.

CARVALHO, N.O. *assoreamento de reservatórios – conseqüências e mitigação dos efeitos*. In: IV Encontro Nacional de engenharia de Sedimentos. Santa Maria-RS. Cdrom. 1-22p. 2000.

CARVALHO, N.O; CATHARINO, M.G. *Avaliação do assoreamento de reservatório da UHE Itaipu*. In: X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos/ I Simpósio de Recursos Hídricos do Cone Sul. 174-183p. V5. 1993.

CARVALHO, N. O; FILIZOLA Jr., SANTOS, P. M. C; LIMA, J. E. F. W. - *Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios* Brasília : ANEEL, 185p. 2000.

COELHO, M.P. Análise do processo de assoreamento do reservatório de Americana – SP. Dissertação de Mestrado em Geociências. Universidade Estadual Paulista. UNESP-RC. 69p. 1993.

EAKIN, H.M. Silting of reservoirs, revised by Brow.C.B. Dept Agricultura, Tech Bulletin (524). 90-167p. 1939.

FLOCK, L.R. Records of silt carried by the Rio Grande and its acumulation in elephant butte reservoir. American Geophys. Union Trans. V15. 468-473p. 1934.

GIMENEZ, A.F; CARLSTRON FILHO, C; CARNEIRO, C.D.R; STEIN, D.P; PRADINI, L.F; MELO, M.S; FULFARO, V.J; PONÇANO, W.L. Metodologia de estudo de assoreamento de reservatórios (I) Reservatório de Capivari (PR). In: CBGE, 3, Itapema (SC). Anais – São Paulo. ABGE. 205-224p. 1981.

GLYMPH, L.M. Sedimentation of Reservoirs. IN; ACKERMANN, W.C et al , ed. Man –made lakes: their problems and enviromental. Washington DC. American Geophysical Union 342-348p. 1973.

GROVER, H.G; HOWARDS, C.S. *The passage of turbid water throug lake mead*. Tran ASCE. 103. 720p-736p. 1938.

ICOLD, International Commission on Large Dams. *Sedimentation control of reservoirs. Guidelines*. Bulletin 67. Paris. 1989.

LINSLEY, R.K; FRANZINI, J.B. Engenharia de Recursos Hídricos. São Paulo - SP. 198p. 1978

LOPES. *Estudo do assoreamento do reservatório de Americana*. Dissertação de Mestrado em Geociências. Universidade Estadual Paulista-UNESP-RC. 85p. 1993.

POÇANO, W.L.; GIMENES, A.F.; LEITE, A.A.G.; CARLSTRON FILHO, C; PRADINI, F.L.; MELO, M.S.de. – *metodologia para estudo de assoreamento de reservatório (III): roteiro para estudo de reservatórios no sul e sudeste brasileiro*. IN: CBGE, 3, Itapema (SC), anais, São Paulo, ABGE, V2. P331-353. 1981.

- SAUNITTI,R,M. *Estudo sobre sedimentação no reservatório da barragem do rio Passaúna*, Dissertação de mestrado em Geologia. UFPR. 120p. 2003.
- MORRIS, G. L; FAN, J. *Reservoir sedimentation handbook*. McGraw-HILL. New York. 365p. 1997.
- RAMOS.C.L *critérios indicativos para a caracterização da potencialidade do assoreamento em reservatórios urbanos*. In: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Belo Horizonte. Cdrom. 1-15p. 1999.
- SHEN, H. W.; LAI, J. S. Sustain reservoir useful life by flushing sediment. *International Journal of Sediment Research*, Beijing, v. 11, n. 3, p. 11-17, 1996.
- STRAND, Robert I. *Sedimentation – Appendix – Design of Small Dams*. US Bureau of Reclamation. Washington, DC.1974.
- STRAND, Robert I. (1977). *Reservoirs Sedimentation – In: Design of Small Dams*. US Bureau of Reclamation. Washington, DC.767-795p. 1977.
- TARELA,P.A; MENENDEZ.A.N. *A model to predict reservoir sedimentation*. IN: *Lake & Reservoirs: Research and Management*. V4. 121-133p. 1999.
- VANONI, V.A. *Sedimentation Engineering*. ASCE, American Society of Civil Engineers. New York, NY. 743p. 1977.
- VILELA. MATTOS. (1975). *Hidrologia aplicada*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil,1975.