

Análise do assoreamento do reservatório de Promissão através do modelo RESSASS

A RESSAS model analysis of siltation at the Promissão reservoir, Brazil

Adelena Gonçalves Maia¹
Swami Marcondes Villela²

Resumo

Este trabalho tem como objeto apresentar o estudo do assoreamento do reservatório de Promissão, localizado no Médio Tietê, responsável pela geração de energia elétrica da Usina Hidrelétrica Mário Lopes Leão. A quantificação do assoreamento do reservatório nos últimos trinta anos de operação foi realizada pela comparação da topografia original do lago na época de seu enchimento, em 1975, com a topo-batimetria levantada no ano de 2005. O módulo de “análise de volume” do modelo RESSASS foi utilizado para a análise da variação do volume do reservatório neste período. A redução encontrada do volume total do reservatório foi de 3,73% (na cota 384,0 m) e do seu volume útil foi de 4,14%, considerando as cotas de operação de 379,7 m e 384,0 m. A taxa de assoreamento encontrada para o período pode ser considerada pequena e se deve principalmente aos procedimentos de dragagem de sedimentos, para a exploração de insumos para a construção civil, realizados no reservatório. Ainda assim, estudos de análise de assoreamento e a atualização da curva cota vs. volume do reservatório devem ser realizados para que haja uma maior confiabilidade nos dados de volumes atuais do reservatório utilizados na operação do mesmo.

Palavras-chave: assoreamento; reservatório de Promissão; modelo RESSASS.

1 Dra.; Engenheira Civil; Professora do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Estadual do Centro-Oeste - UNICENTRO; E-mail: adelena@irati.unicentro.br

2 Livre Docente; Engenheiro Civil; Professor do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Universidade de São Paulo – USP; E-mail: swami@shs.com.br

Abstract

This paper presents the results of a study of sediment deposition at the Promissão city reservoir, located at Mid-Tietê river (São Paulo State, Brazil) where the generation of electric energy of the Mário Lopes Leão Hydroelectric Power Plant occurs. The quantification of reservoir siltation in the last thirty years of operation was accomplished by means of the comparison of the lake's original topography in the reservoir filling period, in 1975, with the topobathymetry obtained in 2005. The module of "volume analysis" of the RESSASS model was used for the analysis of the reservoir volume variation during this period. The reduction of the total reservoir volume was of 3,73 % (considering the maximum operation level of 384,0 m) and of its useful volume was of 4,14 %, considering the operation levels of 379,7 m and 384,0 m. The reservoir siltation rate found for the analyzed period can be considered small and it must be caused mainly by the procedures of sediment dragging, for the exploration of materials for the civil construction. Nevertheless, studies of siltation analysis and updating of the curve stage VS. reservoir volume must be carried through so that reliable data regarding the current reservoir volumes may be offered.

Key words: siltation; Promissão reservoir; RESSASS model.

Introdução

Todos os reservatórios formados através do barramento de cursos d'água são susceptíveis ao processo de assoreamento. Devido à construção de uma barragem, o nível d'água aumenta, aumentando, também, a área da seção transversal, o que provoca a diminuição da velocidade do fluxo d'água. Por conta deste processo, parte do material, antes em suspensão, tende a se depositar, resultando no assoreamento do reservatório.

Os reservatórios são formados nos cursos d'água naturais com o objetivo de armazenar água para o atendimento das demandas de recursos hídricos de uma região; com exceção dos reservatórios de controle de cheia, que têm por objetivo

destinar um volume de reserva para o amortecimento do hidrograma de cheia de jusante. A vazão disponibilizada para o atendimento das demandas, vazão regularizada, tem relação direta com o volume do reservatório. Com o gradual acúmulo do sedimento no volume útil do reservatório, a vazão regularizada tende a diminuir, afetando a operação e o atendimento dos objetivos para os quais o reservatório foi construído.

O assoreamento de reservatórios afeta o atendimento de demandas como: geração de energia elétrica, abastecimento urbano e industrial, irrigação, navegação fluvial, pesca, assimilação de esgotos, dentre outros. O processo de acúmulo de sedimento no reservatório, além de ser responsável pela redução de receita

com a produção de energia elétrica, por exemplo, também pode ocasionar custos adicionais devido ao desgaste das turbinas por abrasão física, causada por areias, e abrasão química, pela má qualidade da água; além de investimentos em procedimentos de dragagem nas proximidades da tomada d'água.

O acúmulo de sedimento no reservatório tem consequências graves não só à montante da barragem, mas também à jusante. A água limpa escoada para jusante da barragem tem um maior poder de erodir margens e leitos do canal de escoamento (CARVALHO, 1994). Coiado (2001, p. 395) também aborda a questão salientando que “A jusante da barragem, tem-se como consequência principal, o aumento da erosão devido ao desequilíbrio provocado pela retirada da carga natural de sedimentos do escoamento”.

A previsão do assoreamento de reservatórios é uma importante ferramenta a ser utilizada no estudo de viabilidade de implementação do projeto, visto que este é um fator determinante na vida útil do empreendimento e em sua viabilidade econômica. Na fase de operação de reservatórios, a atualização das curvas cota *vs.* área *vs.* volume é uma tarefa de fundamental importância, para que a alocação de água possa ser realizada baseada no volume útil real do reservatório e não apenas em levantamentos realizados na época do seu enchimento.

Os estudos de assoreamento de reservatórios têm sido realizados para determinar os volumes atuais dos reservatórios em operação, assim como para realizar prognósticos da sua vida

útil. Estes estudos, na maioria das vezes, se baseiam em modelos simplificados, em função da insuficiência de dados para a realização de um estudo mais detalhado. Modelos computacionais, baseados na dinâmica dos fluidos, já foram desenvolvidos, mas não são comumente utilizados no Brasil, principalmente devido à falta de dados necessários para a sua utilização.

A Usina Hidrelétrica Mário Lopes Leão, localiza-se no reservatório de Promissão, integra o Sistema Interligado Nacional (SIN), que é responsável pela produção e transmissão de energia elétrica no país, tendo como base um sistema hidrotérmico, com forte predominância de usinas hidrelétricas. O Sistema Interligado Nacional é responsável por mais de 90% do mercado brasileiro de energia elétrica. Apenas 3,4% da capacidade de produção de eletricidade do país encontra-se fora do SIN. No final de 2007 o SIN apresentava uma potência instalada de 96.243 MW, dos quais 82,9% oriundas de usinas hidrelétricas (ONS, 2008).

O objetivo principal deste trabalho é realizar o estudo do assoreamento do Reservatório de Promissão, em trinta anos de operação, de 1975 a 2005. Como resultado do trabalho é apresentado a nova curva cota *vs.* volume, através da qual será possível realizar a operação do reservatório com os dados do seu atual volume útil, a fim de melhor aproveitar o volume d'água disponível para a geração de energia elétrica. Devido à importância das usinas hidrelétricas no cenário nacional para a geração de energia elétrica, é que se justifica este trabalho, uma vez que todos os

reservatórios de usinas hidrelétricas são susceptíveis ao processo de assoreamento, e a metodologia apresentada pode ser empregada em outros reservatórios para a atualização dos dados relacionados às suas capacidades de acumulação.

Materiais e Métodos

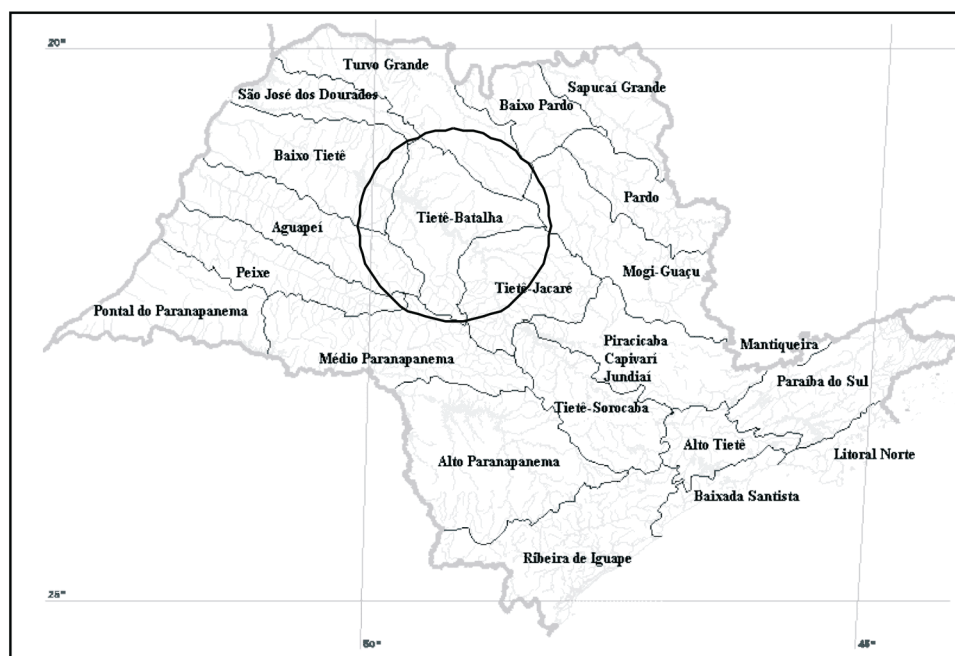
Caracterização da Área

O reservatório de Promissão está localizado na UGRHI (Unidades Gerenciamento de Recursos Hídricos) Tietê-Batalha (Figura 1), pertencente à bacia do rio Tietê, no estado de São Paulo. A bacia do rio Tietê é dividida em seis UGRHIs, sendo elas: Alto Tietê, Tietê/Sorocaba, Piracicaba/Capivari/Jundiaí, Tietê/Jacaré, Tietê/Batalha e Baixo Tietê.

A UGRH Tietê/Batalha tem como principal curso d'água o rio Tietê, onde estão localizados os reservatórios de Ibitinga e de Promissão, trecho de 130 km. A área da UGRH Tietê/Batalha é de 13.515 km², e é composta por 33 municípios. Sua economia é embasada na agropecuária e na agroindústria, tendo a laranja como principal produto agrícola. As indústrias mecânicas e alimentícias são as mais desenvolvidas na região (SÃO PAULO, 2002).

A área onde se encontra o Reservatório de Promissão é composta por rocha sedimentar do Grupo Bauru e por depósitos vulcânicos da bacia do Paraná, além de depósitos sedimentares cenozóicos. Os recursos minerais explorados são aqueles destinados à construção civil, como areia, argila, cascalho e brita. Os principais tipos de

Figura 1. Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos do estado de São Paulo



Fonte: BIOTA, 2004

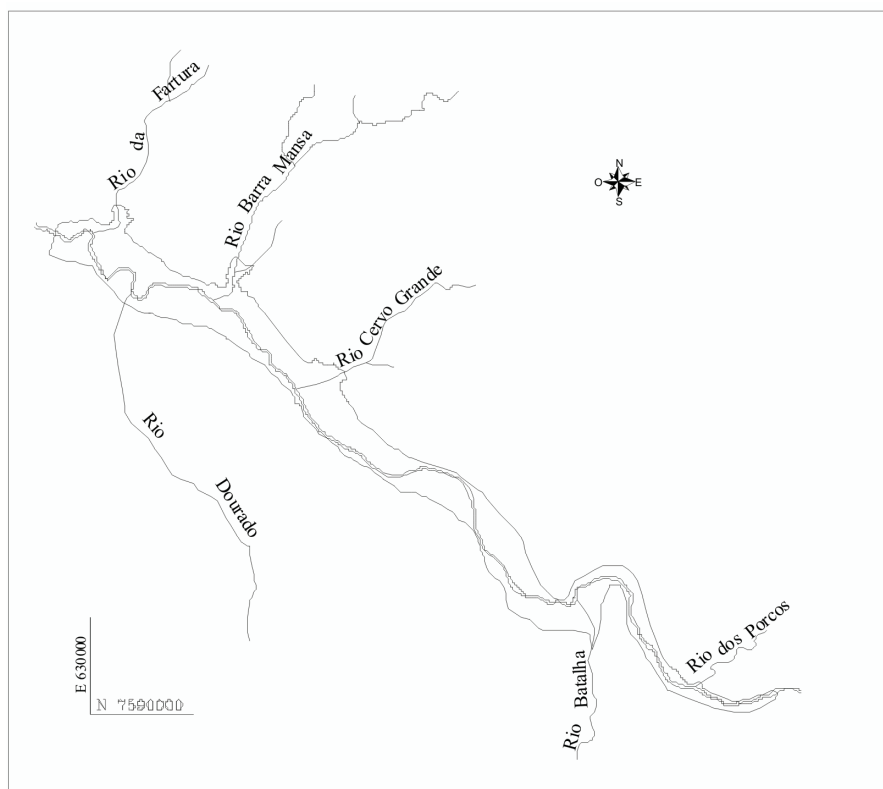
solo da região são os latossolos roxos com grande fertilidade e baixa erodibilidade, os latossolos vermelhos escuros com baixa fertilidade e baixa retenção de água e os solos hidromórficos, que estão associados às regiões de várzeas (CETESB³, 2000 apud PEREIRA, 2003).

O reservatório de Promissão é o quarto reservatório do sistema de cascata do Médio e Baixo Tietê, ficando à jusante dos reservatórios de Barra Bonita, Bariri e Ibitinga. O reservatório

é formado pelo rio Tietê e por alguns tributários, tais como os rios: da Fartura, Dourado, Barra Mansa, Cervo Grande, Batalha e dos Porcos (Figura 2). Os principais usos do reservatório são: geração de energia elétrica, navegação, lazer e piscicultura.

A Usina Hidrelétrica Mário Lopes Leão teve o início da sua operação em 1975, sob concessão da Companhia Energética de São Paulo (CESP), estando atualmente (desde 1999) sob a operação

Figura 2. Reservatório de Promissão e seus principais afluentes



Nota: Dados elaborados pelos autores.

Fonte: Os autores

3 COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. *Relatório das Águas Interiores do Estado de São Paulo*. São Paulo: CETESB, Secretaria do Meio Ambiente, 2000.

da AES-Tietê. A usina tem três turbinas KAPLAN de 88 MW cada, com uma potência total instalada de 264 MW. O reservatório de Promissão abrange uma

área de 530 km², acumula um volume útil de 2.128 hm³ e opera com uma cota mínima de 379,7 m e uma cota máxima de 384,0 m. A barragem possui uma eclusa para navegação, com largura de 12 m, comprimento de 142 m e volume de eclusagem de 50.000 m³.

Plantas Topográficas

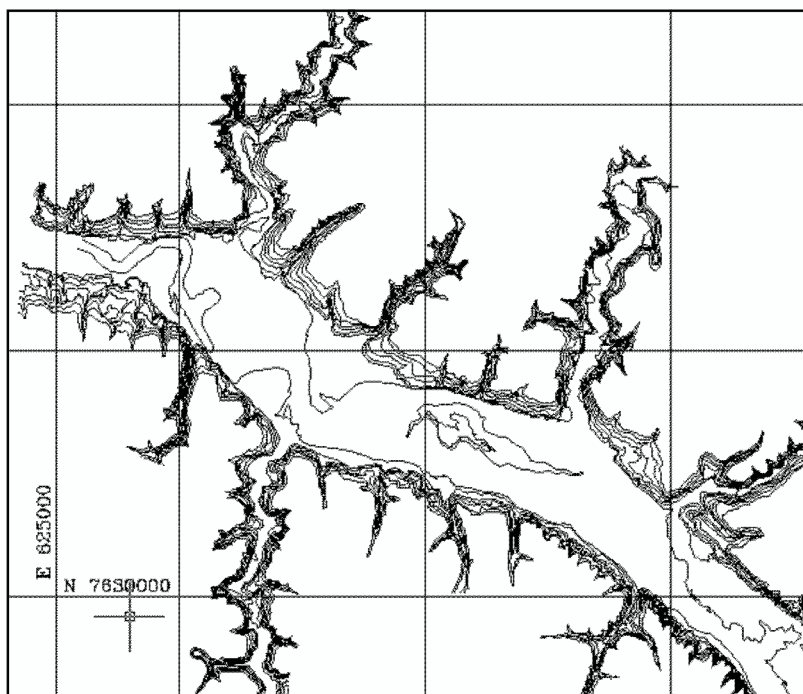
O estudo do assoreamento do reservatório de Promissão foi realizado a partir da comparação da topografia original do lago na época do seu enchimento, em 1975, com a topobatimetria levantada no ano de 2005.

A topografia original do fundo do reservatório foi cedida pela Companhia Energética de São Paulo (CESP), sendo

todo o reservatório coberto com 16 plantas na escala 1:12.500. O primeiro passo para a obtenção da planta digitalizada da topografia do reservatório de Promissão (1975), foi o reforço das curvas de nível que apresentavam o seu traçado pouco visível, devido às plantas serem cópias das originais. Após o reforço do traçado das curvas de nível, as plantas foram escaneadas e digitalizadas no programa AutoCad 2002 (Figura 3).

A batimetria do Reservatório de Promissão foi realizada no projeto de Previsão de Assoreamento de Reservatórios Formados por Barragens (nº 001/05), financiado pela AES Tietê, concessionária de energia da Usina de Promissão, através de um convênio entre esta empresa e a FIPAI (Fundação para o Incremento da

Figura 3. Topografia original do reservatório de Promissão (1975)



Fonte: Companhia Energética de São Paulo (CESP), 1975

Pesquisa e do Aperfeiçoamento Industrial), sob a coordenação do Prof. Frederico Fábio Mauad da EESC/USP (Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo). Os trabalhos de batimetria foram realizados no período de Setembro de 2004 a Julho de 2005.

A batimetria foi realizada pelos técnicos José Roberto Maramarque e Waldomiro Antônio Filho. Os aparelhos utilizados na batimetria foram: GPS, sonda de medição de vazão ADP (Acoustic Doppler Profiler) e ecobatímetro Echo Sounder Bathy – 500MF. O princípio de funcionamento do ADP e do ecobatímetro é a transmissão de ondas sonoras através da água, sendo este som refletido de volta para o instrumento; o tempo decorrido entre a emissão do sinal e a recepção do eco refletido do fundo submerso é convertido em profundidade. O ADP foi utilizado em todos os afluentes do reservatório de Promissão, além da área mais a montante do corpo principal do reservatório. Para batimetria nas proximidades da barragem, foi necessário trocar o ADP pelo ecobatímetro Echo Sounder Bathy–500MF, devido às grandes profundidades, de até 35 metros, no local do levantamento, sendo o ecobatímetro capaz de medir profundidades de até 640 m. Na batimetria de todo o reservatório foram levantadas 861 seções com a captação dos dados de localização e altura do nível d'água de 37.378 pontos.

A coleta dos dados, a leitura e processamento das medidas de profundidade e a geração do mapa de curvas de nível foram realizadas com o uso dos *softwares*: River Surveyor, ViewADP e TopoGRAPH 98 SE. Todo o trabalho de manipulação dos dados coletados em campo, até sua transformação na

planta final, foi realizado pela equipe do Núcleo de Hidrometria do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada do Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC, com menção especial aos alunos Carlos Roberto Ruchiga Corrêa Filho e Liliane Lazzari Albertin. Os dados das curvas de nível foram importados pelo programa AutoCAD 2002, tendo como resultado final a planta topobatimétrica do reservatório em 2005 (Figura 4).

Modelo RESSASS

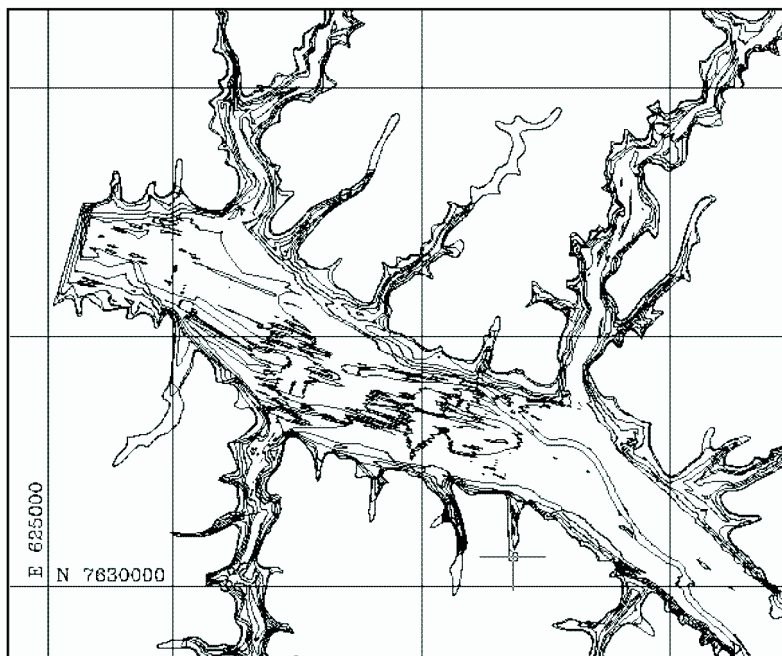
O *software* RESSASS foi desenvolvido pela Overseas Development Unit da HR Wallingford com o objetivo de analisar os resultados de levantamentos topográficos de reservatórios, para a determinação do volume de sedimento acumulado nos mesmos, bem como prever cenários futuros da topografia de um reservatório em função do assoreamento. Os dados de entrada utilizados pelo modelo para determinação da topografia do reservatório se baseiam em pares de coordenadas de seções georeferenciadas. Através dos modelos embutidos no programa é possível calcular a nova topografia do reservatório, bem como prever sua nova curva cota vs. volume em qualquer data posterior à do último levantamento topográfico.

O *software* RESSASS utiliza-se três módulos:

- análise de volume: calcula o volume do reservatório em função dos levantamentos topográfico original e de batimetria realizada posteriormente;

- previsão de volume: utiliza um método simplificado para a previsão de perdas futuras do volume do reservatório, baseado na curva de Brune, nas

Figura 4. Topografia do reservatório de Promissão em 2005



Fonte: Companhia Energética de São Paulo (CESP), 1975

características do sedimento e no tipo de operação do reservatório;

- modelo numérico: prevê depósitos futuros no reservatório utilizando dinâmica dos fluidos computacional.

A análise do assoreamento do reservatório de Promissão foi feita a partir dos dados de entrada das topografias de 1975 e 2005, com a utilização do módulo de “análise de volume” do *software* RESSASS.

Para determinação do número total de seções a serem localizadas no reservatório, o manual do RESSASS (RESSASS, 2001) sugere uma relação entre o número total de seções e a área de alagamento do reservatório (equação 1):

$$N = 14,3x A^{0,29} \quad (1)$$

Em que:

N – número de seções topobatimétricas;
A – área de alagamento na cota de operação, em km².

O RESSASS (2001) recomenda ainda a utilização de seções adicionais quando o reservatório tiver topografia complexa e um grande número de tributários. Para um reservatório típico, também se pode utilizar um espaçamento de quinhentos metros entre as seções.

Utilizando a equação 1 e a área de 530 km² na cota de 384,00 metros, chegou-se ao número recomendado de 88 seções.

Morris e Fan⁴ (1997 apud Santos et al., 2001) também sugerem uma equação

4 MORRIS, G.L.; FAN, J. *Reservoir sedimentation Handbook: design and management of dams, reservoirs, and watersheds for sustainable use*. New York: McGraw-Hill, 1997.

para a estimativa do número de seções topobatimétricas que devem ser utilizadas (Equação 2), relação esta obtida através do levantamento feito em 57 reservatórios com área entre 30 e 15.000 ha.

$$N=2,942 \cdot A^{0,3652}$$

Em que:

N – número de seções topobatimétricas;
A – área de alagamento na cota de operação, em ha.

Aplicando-se esta relação para o reservatório de Promissão, há a indicação de 156 seções. Contudo, o reservatório tem área, na cota 384,00 metros, de 53.000 ha, valor acima da área de alagamento dos reservatórios estudados para a obtenção da equação 2.

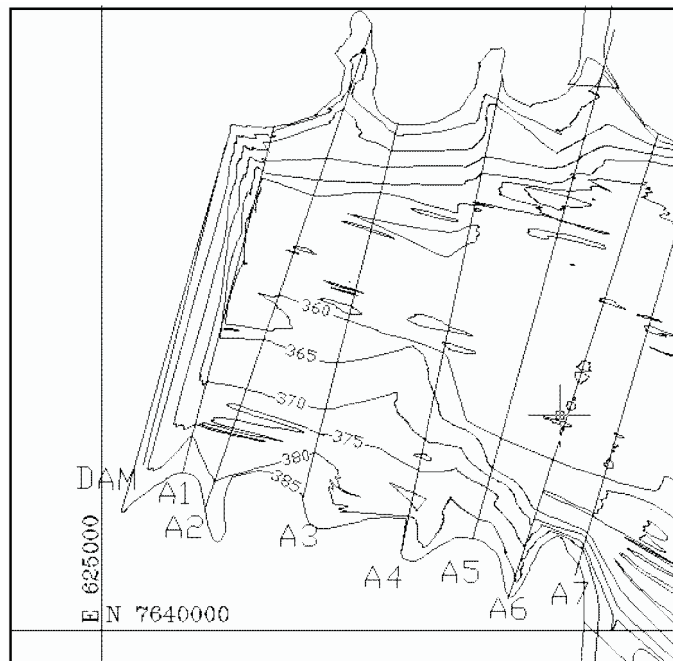
O total de seções levantadas, na batimetria realizada no reservatório de

Promissão, foi de 861 e o número total de seções localizadas para a utilização do RESSASS foi de 591 (Figura 5), valores estes superiores aos indicados em RESSASS (2001) e Morris; Fan (1997 apud SANTOS et al., 2001).

O programa RESSASS apresenta algumas limitações nos arquivos de entrada de dados. Uma delas é que o programa só comporta trezentas seções por projeto e também não aceita afluentes de 2ª ordem, não sendo possível considerar afluentes de afluentes. Para que fosse possível a consideração de afluentes de 2ª ordem e do número total de seções utilizadas, o reservatório foi subdividido em diversos projetos sendo os resultados posteriormente agrupados.

Para utilização do pacote de análise de volume no programa RESSASS, há a necessidade de três arquivos de entrada. São eles:

Figura 5. Seções de controle utilizadas no RESSASS



Fonte: Os autores

- “.map”: número de afluentes e o número total de seções, além dos dados das coordenadas geográficas das extremidades das seções localizadas do reservatório (Figura 6) ;

- “.org”: pares de coordenadas (distância da margem esquerda e cota) para a caracterização da topografia das seções originais, além das áreas de contorno entre as seções (área de alagamento em diversas cotas), observar os dados na figura 7;

- “new”: pares de coordenadas (distância da margem esquerda e profundidade) para a caracterização da topografia das seções do levantamento topobatimétrico (Figura 8).

O cálculo do volume do reservatório é realizado pelo RESSASS com base no “Stage Width Modification Method” (SWIMM), que é uma alteração do “Método do Fator Constante” apresentado em Burrell⁵ (1951 apud LEA, 1991). O Método do Fator Constante utiliza os dados

Figura 6. Arquivo “.map” com localização das seções

Section name (4 letters)	Left hand point		RH point	
	East (m)	North (m)	East (m)	North (m)
* 'DAM '	625434	7641767	626314	7645140
'A1 '	625850	7641700	626829	7645350
'A2 '	626028	7641104	627882	7646467
'A3 '	627090	7641236	628138	7645377
'A4 '	628082	7640420	629237	7645869

Fonte: Os autores

Figura 7. Arquivo “.org” com a caracterização da topografia das seções e as áreas de alagamento, de 1975

```

SECTION A3
-2057 385 -1477 380 -1035 375 -789 370
-627 365 -569 360 -61 355 124 353
481 355 1301 360 1462 365 1629 370
1788 375 1972 380 2091 385
CONTOUR A3-A4
4733128 4107633 3234264 2602368 2030802 1787502 744850
SECTION A4
-3432 385 -3281 384 -3160 380 -3104 380
-2913 382 -2795 380 -2682 375 -2590 372
-2500 375 -2365 376 -2272 375 -2131 370
-1723 365 -1552 365 -1199 361 -1032 360
141 355 400 353 632 355 680 360
807 360 1020 365 1198 370 1386 372
1533 370 1646 375 1732 380 1871 385
CONTOUR A4-A5
4198925 3732204 3276525 2817974 2440675 2159913 382497
    
```

Fonte: Os autores

5 BURRELL, G. N. Constant factor method aids computation of reservoir sedimentation. *Journal of Civil Engineering*, ASCE, v. 21, n. 7, p. 51-52, 1951.

Figura 8. Arquivo “.new” com a caracterização da topografia das seções, de 2005

A3							
-1398	380	-1179	375	-912	370	-396	365
53	360	132	355	207	355	218	356
278	356	342	355	348	355	356	356
375	356	383	355	392	355	1037	360
1059	360	1148	353	1459	360	1558	365
1736	370	1922	375	2098	380		
A4							
-2627	380	-2478	375	-2137	375	-1994	370
-1787	370	-1295	365	-838	360	-569	360
314	355	526	355	755	360	785	360
1095	365	1278	370	1839	375	1897	380

Fonte: Os autores

de entrada referentes à caracterização topográfica das seções consecutivas, o antigo e novo levantamento, e a área de contorno (área de alagamento) entre duas seções consecutivas, para diferentes cotas, do antigo levantamento. No Método do Fator Constante, a relação entre área de contorno e largura média da seção encontrada para o levantamento original é utilizada para o cálculo da área de contorno do novo levantamento. No SWIMM, a relação entre a área de contorno e a largura média da bacia não é identificada por fatores, e sim é utilizada uma função de ajuste que determina esta relação para todos os pontos de profundidade.

A partir dos dados das áreas de contorno das diferentes cotas, os volumes do reservatório, do antigo e novo levantamento, são calculados pela regra do trapézio, indicada na equação 3.

$$V = \frac{h}{2} (C_u + C_l) \quad (3)$$

Em que:

V - volume acumulado no intervalo de controle;

h - altura do intervalo de controle;

C_u - área de contorno superior;

C_l - área de contorno inferior.

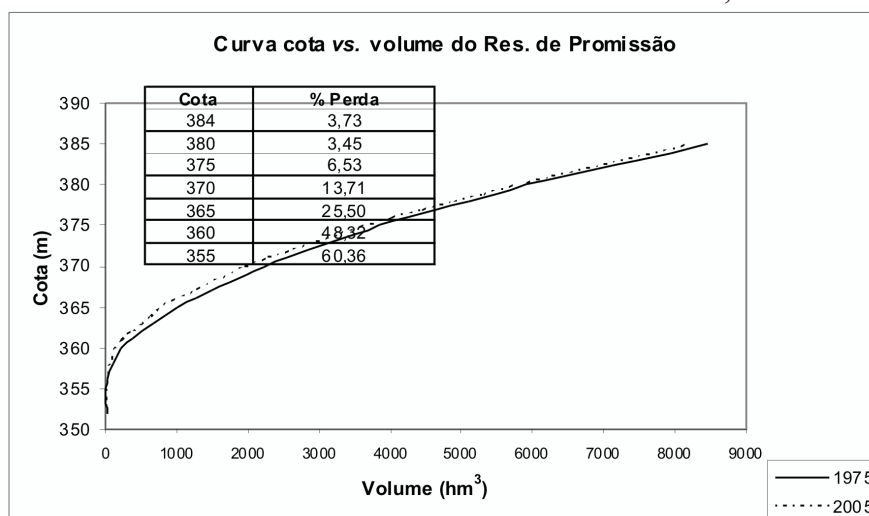
Resultados e Discussão

O resultado da análise da variação do volume de reservatórios é apresentado pelo RESSASS, através da variação da cura cota vs. área vs. volume. Os resultados também são fornecidos em um arquivo de saída, com os seguintes dados: variação do volume entre as seções consecutivas; variação do volume nas diferentes cotas; variação de área de alagamento em diferentes cotas; e variação do nível mínimo das seções ao longo do reservatório.

Os resultados fornecidos pelo RESSASS para a variação do volume do reservatório de Promissão de 1975 a 2005 são apresentados na figura 9 e na tabela 1.

Através da análise da figura 9 e da tabela 1, observa-se que a perda maior do volume do reservatório ocorreu nas cotas mais baixas, o que indica que maior parte do sedimento se localizou no volume morto do reservatório, abaixo da cota 379,7 m. O sedimento acumulado neste volume não afeta diretamente

Figura 9. Curvas cota vs. volume do reservatório de Promissão, 1975 e 2005



Fonte: Os autores

Tabela 1. Dados de cota vs. volume do reservatório, de 1975 e 2005

Cota, em Metros (Col. I)	Volume em 2005, em hm ³ (Col. II)	Volume em 1975, em hm ³ Col. III)	Col II / Col III (%) (Col. IV)
384	7654,75	7951,06	96,27
382	6689,48	6936,03	96,45
380	5727,16	5931,89	96,55
378	4862,19	5084,57	95,63
376	4012,62	4255,03	94,30
374	3254,03	3511,48	92,67
372	2585,51	2865,71	90,22
370	1932,63	2239,68	86,29
368	1453,37	1740,30	83,51
366	987,86	1260,77	78,35
364	632,92	855,94	73,94
362	344,98	538,50	64,06
360	121,23	234,58	51,68
358	54,68	108,68	50,31
356	13,36	32,13	41,56
354	1,48	2,39	61,77
352	0,00	0,00	0,00

Fonte: Os autores

o volume útil do reservatório, mas diminui o volume morto do reservatório aumentando as chances das deposições futuras ocorrerem no compartimento do volume útil.

A tabela 2 fornece os dados da variação do volume útil do reservatório nos seus trinta anos de operação, onde se observa uma variação de 88,80 hm³ no volume útil do reservatório, o que indica

Tabela 2. Variação do volume útil do reservatório, de 1975 a 2005

Dados utilizados	Volume (hm ³)		Volume útil	% Perda	a (coeficiente angular)
	Cota 384,0 m	Cota 379,7 m			
1975 (RESSASS)	7.951,06	5.804,44	2.146,62	-4,14	0,0020
2005 (RESSASS)	7.654,75	5.596,93	2.057,82		0,0021
1975 (CESP)	7.407,20	5.279,90	2.127,30	-3,27	0,0020

Fonte: Os autores

uma perda de 4,14 % deste volume, que diferiu do valor de 3,73% (Figura 9) encontrada como perda do volume total do reservatório.

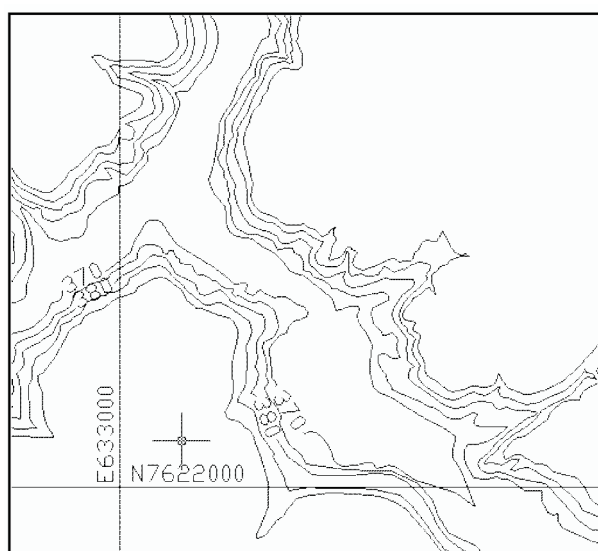
A análise da perda de volume do reservatório diferiu bastante de aflente para aflente. Em alguns afluentes, inclusive, foi observado o aumento do volume útil, sendo este fato indício de que houve dragagem no local, no período de análise. O aflente apresentado nas figuras 10 e 11, trecho do Rio Dourado, é um exemplo da ocorrência de dragagem no período de trinta anos de operação do reservatório, onde se observam três

pontos de dragagem, todos com mais de 25 metros de profundidade.

Conclusão

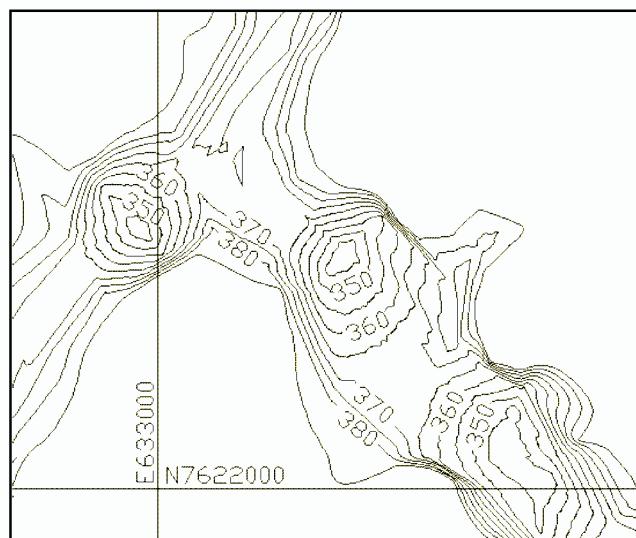
O estudo do assoreamento do Reservatório de Promissão, através modelo RESSASS, apresentou como resultado a redução de 3,73 % do seu volume total do reservatório, no período analisado de 1975 a 2005. Considerando as cotas de operação do reservatório de 379,7 m a 384,0 m, o volume útil diminuiu de 2.146,62 hm³, em 1975, para 2.057,82 hm³, em 2005, o que representa

Figura 10. Topografia original de um trecho do rio Dourado, em 1975



Fonte: Companhia Energética de São Paulo (CESP), 1975

Figura 11. Topografia de um trecho do rio Dourado, em 2005



Fonte: Companhia Energética de São Paulo (CESP), 1975.

uma perda de 4,14%. Apesar de o volume total do reservatório e de seu volume útil terem sido reduzidos em trinta anos de operação, o processo de assoreamento não foi suficiente para que ocorresse a redução do volume de acumulação em alguns dos afluentes do reservatório, devido ao procedimento de dragagem que ocorreu nestes trechos. Nestes afluentes ocorreu o processo de assoreamento no compartimento de entrada, mas este volume de sedimento acumulado foi menor do que o volume dragado, resultando aumento do volume de acumulação.

Os resultados apresentados foram baseados na análise das plantas da topografia original do reservatório, de 1975, e do levantamento topobatimétrico realizado em 2005. Sendo assim, a qualidade destas informações interferiram na confiabilidade do resultado do modelo. Alguns problemas foram encontrados na recuperação da planta da topografia original do reservatório, como: o traçado

das curvas de nível pouco visível e a não identificação do fechamento de algumas curvas de nível. Esses problemas interferiram no resultado da análise, mas não desmereceram o resultado final encontrado do volume de assoreamento depositado no reservatório.

Além da análise do assoreamento do reservatório de Promissão, a atualização da curva cota vs. volume permite que a política de operação do reservatório seja baseada nos volumes reais de armazenamento, não mais sendo feita a superestimativa do volume d'água acumulado no reservatório, por conta de dados desatualizados. A atualização desta curva deve ser realizada periodicamente através de levantamentos topobatimétricos, ou com a utilização de modelos computacionais de previsão de assoreamento, como o módulo numérico do modelo RESSASS.

É importante ressaltar que, apesar de o processo de assoreamento de reservatórios

ser inevitável, ele pode ser amenizado através de medidas preventivas e corretivas, com o objetivo de controlar a produção de sedimento e corrigir o problema já instalado. Carvalho (1994) salienta que as medidas preventivas são mais eficientes e econômicas do que as medidas corretivas, as quais geralmente são aplicadas por falta de previsão e adotadas em condições tais que os prejuízos materiais e financeiros já são intoleráveis. Na indicação e implementação destas medidas deve-se lembrar que a deposição do sedimento é a última etapa que se inicia na erosão superficial da bacia hidrográfica, sendo assim, as medidas de controle da produção de sedimento na bacia são de suma importância para minorar este processo que acarreta perdas

econômicas e podem inviabilizar a operação e, conseqüente, atendimento das demandas por parte do reservatório.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão da bolsa de doutorado ao primeiro autor. E agradecimento especial ao Núcleo de Hidrometria do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada do Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC/USP, com menção especial ao professor Frederico Fábio Mauad e aos alunos Carlos Roberto Ruchiga Corrêa Filho e Liliane Lazzari Albertin.

Referências

- BIOTA. *Sub-bacias hidrográficas do Estado de São Paulo*. Disponível em: <<http://www.biota.org.br/info/saopaulo/bacias/>>. Acesso em: 28 abr. 2006.
- CARVALHO N. O. *Hidrossedimentologia prática*. Rio de Janeiro: CPRM, 1994. 372 p.
- 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.
- COMPANHIA ENEGÉRTICA DE SÃO PAULO – CESP. *Plantas topográficas*, São Paulo: CESP 1975. 16 plantas: monocromático; 79 x 64 cm, 1:12.500.
- LEA, N. J. *Analysis of reservoir range line surveys using the stage width modification method*. Report OD TN 56. Oxon, UK: HR Wallingford. 1991
- OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA - ONS. Indicadores de desempenho do SIN. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/>>. Acesso em: 28 Jun. 2008.
- PEREIRA, R. H. G. *Análise da distribuição, densidade e diversidade de Copepoda Calanoida e Cyclopoida nos reservatórios e tributários do médio e baixo rio Tietê e sua relação com as características limnológicas do sistema*. São Carlos. 2003. 289 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada. Universidade de São Paulo.

RESSASS. *Measuring and Predicting Reservoir Volume Changes due to Sedimentation*. (Manual). Wallingford: HR Wallingford, 2001. 117 p.

SANTOS, I.; FILL, H. D.; SUGAI, M. R. V. B.; BUBA, H.; KISHI, R. T.; MARONE, E.; LAUTERT, L. F. *Hidrometria Aplicada*. Curitiba: LACTEC, 2001. 372 p.

SÃO PAULO. *Plano estadual de recursos hídricos*. Relatório de Situação dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. São Paulo: DAEE, 2002. 119 p.