

## SILTINGZ: UM SIMULADOR DE ASSOREAMENTO DE RESERVATÓRIOS

AUTORES<sup>1</sup>

### RESUMO

O assoreamento constitui um dos principais problemas de reservatórios, corpos de água cujas velocidades têm pequena magnitude e elevada propensão para sedimentação de partículas não dissolvidas. O foco deste trabalho consiste na apresentação do programa *Siltingz*, simulador computacional capaz de estimar o avanço espacial e temporal dos depósitos de sedimentos em reservatórios. O referido programa baseia-se em modelos de eficiência de retenção, requerendo alimentação com séries de vazões afluentes e curvas-chave de sedimentos. Para a elaboração desse simulador, toda a sequência de cálculos foi codificada na linguagem *Visual Basic for Applications* (VBA). O modelo foi aplicado ao reservatório do Bom Jardim, situado no município de Uberlândia, MG. Os resultados revelaram taxas mensais de assoreamento entre 916 m<sup>3</sup>/mês e 1040 m<sup>3</sup>/mês, incluindo possibilidade latente de formação de bancos de areia imediatamente a jusante do delta do ribeirão Bom Jardim. Para horizontes de simulação superiores a 10 anos, estimativas indicaram evolução de depósitos consideráveis entre a metade do reservatório e a barragem.

**PALAVRAS-CHAVE:** transporte de sedimentos, eficiência de retenção, programa computacional.

**Obs: não há limitação do número de páginas do artigo**

### INTRODUÇÃO

As diferenças geométricas entre corpos de água lóticos – rios, córregos e ribeirões – e reservatórios, originados pela construção de barragens, são decisivas para padrões de escoamento muito distintos entre ambos. Nos reservatórios, os campos de velocidade com magnitudes menores contribuem para a deposição de sedimentos que são destacados da bacia de contribuição. Esses sedimentos são carregados, até os reservatórios, a partir dos afluentes ou diretamente pelo escoamento superficial. O assoreamento desses corpos de água é um processo inexorável, mas pode ser amplificado por ações antrópicas que modificam o uso do solo inicial, normalmente no sentido de remover a vegetação nativa para fins agropecuários.

De acordo com Carvalho *et al.* (2000), os métodos mais adequados para quantificação do assoreamento dependem dos objetivos a serem atendidos. Na fase de operação, há grande interesse em localizar zonas preferenciais de deposição, averiguando se as mesmas não estão próximas das estruturas de tomada de água. Nesse caso, levantamentos topobatimétricos periódicos são importantes para verificar as modificações no fundo dos reservatórios. De uma forma geral, esses autores recomendam que a frequência desejável dos levantamentos deva ser de 2 anos para pequenos reservatórios, com volumes inferiores a 10 hm<sup>3</sup>. Para reservatórios com volumes superiores a 100 hm<sup>3</sup>, essa frequência pode ser estendida para intervalos de 10 anos. Randle *et al.* (2017) destacam que outra técnica de campo consiste em monitorar sistematicamente as descargas de sedimentos afluentes e efluentes do reservatório. Todavia, levantamentos topobatimétricos demandam recursos financeiros, equipamentos e corpo técnico especializado, fatores que dificultam sua aplicação sistemática. Além disso, as quantificações das descargas de sedimentos são realizadas com amostragens instantâneas de vazão e de concentrações de sedimentos suspensos, somadas com estimativas das descargas de fundo. Tais levantamentos instantâneos podem não capturar eventos de cheia, nos quais ocorrem os maiores afluxos de sedimentos aos reservatórios.

<sup>1</sup>Cargo (Faculdade/Universidade) (E-Mail)

Na fase de projeto de um reservatório, o objetivo principal consiste em prever as taxas de assoreamento e a vida útil do empreendimento. Segundo Randle *et al.*(2017), devem-se quantificar os volumes de sedimentos depositados durante um intervalo de tempo que é tipicamente da ordem de 50 a 100 anos, podendo esse intervalo ser superado para alguns reservatórios. Nesse caso, a modelagem e simulação do assoreamento são procedimentos indispensáveis.

No presente artigo são apresentados os fundamentos e as principais características do modelo computacional *Siltingz*, programa que reúne métodos empíricos clássicos para a estimativa da eficiência de retenção de sedimentos e, conseqüentemente, para a previsão do assoreamento de reservatórios. Essa ferramenta foi elaborada e codificada pelos autores do presente artigo, em linguagem *Visual Basic for Applications* (VBA) e desenvolvida dentro do ambiente do Excel. O reservatório do Bom Jardim, situado ao sul da cidade de Uberlândia (MG), foi selecionado como o alvo dos estudos aqui propostos. A justificativa para isto reside no fato do referido corpo de água constituir um dos mananciais de água da cidade, cujo município é o segundo mais populoso do estado de Minas Gerais. A água retirada desse reservatório responde pelo abastecimento de aproximadamente 320 mil pessoas.

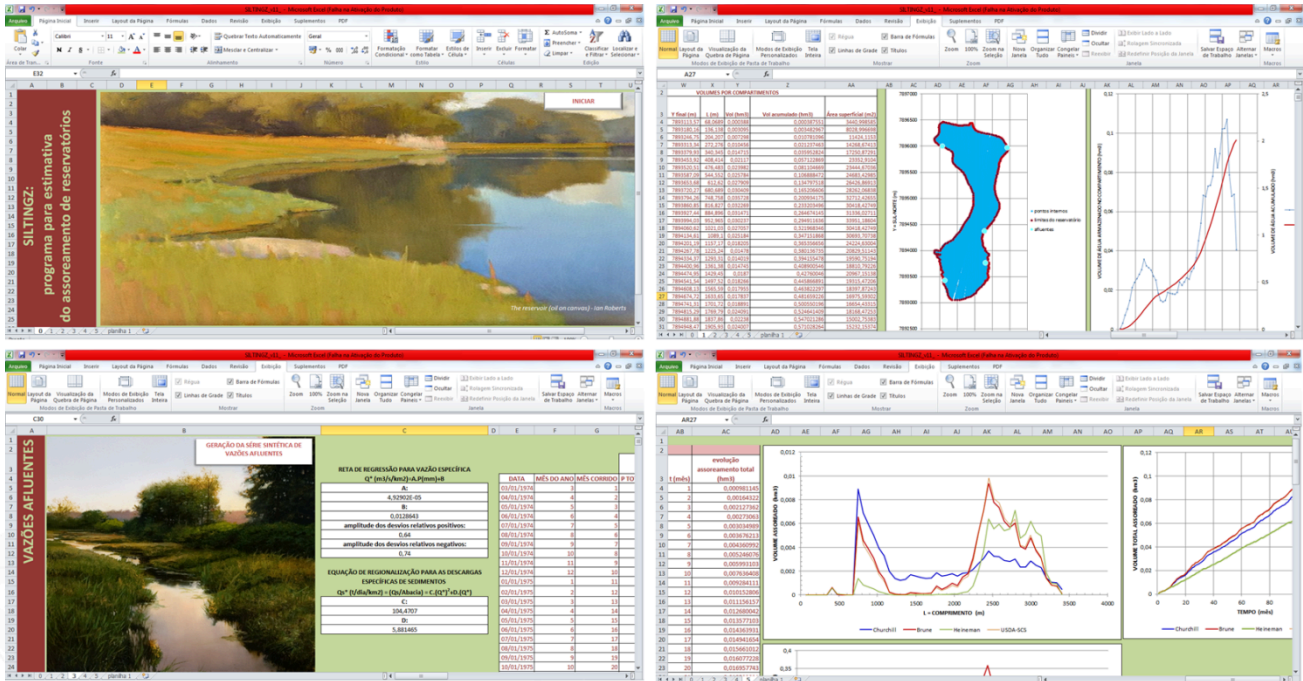
## METODOLOGIA

### Características gerais do programa

O programa *Siltingz* foi construído na forma de planilhas eletrônicas, com algoritmos de cálculo codificados na linguagem VBA. Resumidamente, esse aplicativo é composto por seis planilhas, cada uma com funções específicas, que vão desde o cadastro de dados de entrada até a saída numérica e gráfica dos resultados. Nesse contexto, as planilhas são utilizadas apenas para entrada de dados e anexação dos resultados. Todos os procedimentos de cálculo são executados por sub-rotinas e funções escritas em VBA. A idealização desse modelo computacional, sustentado em planilhas, foi proposital, haja vista que esse ambiente é amplamente utilizado em trabalhos técnicos e científicos, o que de certa forma propicia manuseio amigável para os usuários. A Figura 1 ilustra algumas das planilhas que compõem o programa.

Na planilha 0 é apresentada a tela de inicialização do simulador. A planilha 1 resume os principais aspectos geométricos que devem ser cadastrados pelo usuário, tais como a cota do nível de água, quantidade de compartimentos para discretização do reservatório, modelo batimétrico digital (MBD) e os contornos do reservatório. A partir desse conjunto de informações, o programa calcula o volume do reservatório, incluindo sua distribuição por compartimentos. Ainda nessa planilha, devem ser inseridas as coordenadas de entrada dos principais tributários e as áreas de suas bacias de contribuição. Isto cria condições para estimativa das vazões injetadas no reservatório a partir dos canais afluentes. Esse procedimento é feito por técnica de regionalização de vazões médias mensais, desenvolvida externamente ao programa. Na planilha 2, faz-se o cadastro de uma série de precipitações mensais que servirá de base para o cálculo das vazões e das descargas de sedimentos injetadas ao longo do horizonte de simulação. Esses resultados são apresentados na planilha 3. Na planilha 4, é acionada a simulação de assoreamento propriamente dita. Nessa planilha, são anexados os resultados das vazões e descargas de sedimentos afluentes, volumes e alturas médias dos depósitos e o volume total assoreado para um determinado horizonte de tempo. Na planilha 5, são anexados os resultados numéricos e gráficos de assoreamento calculado pelos diferentes métodos.

Figura 1 – Planilhas eletrônicas componentes do programa *Siltingz*



Fonte: autor

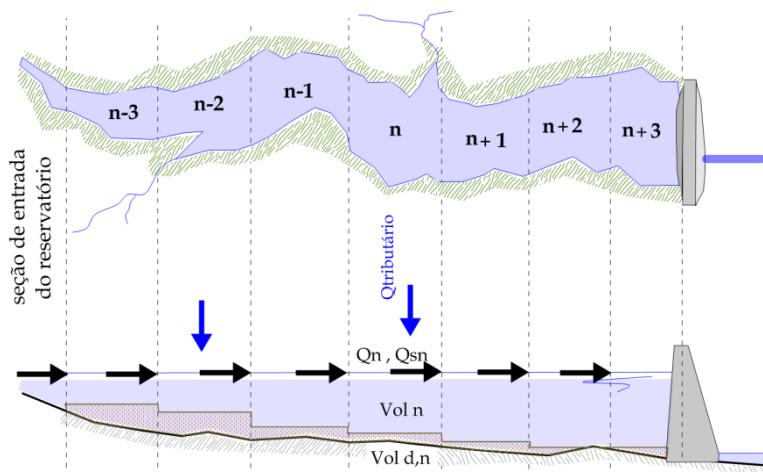
### Eficiência de retenção de sedimentos

A eficiência de retenção ( $E$ ) é teoricamente definida como a diferença relativa entre as descargas de massa afluentes e efluentes do reservatório, ou seja:

$$E = (Q_{s\text{entra}} - Q_{s\text{saí}}) / Q_{s\text{entra}} \quad (1)$$

Na Equação (1),  $Q_s$  representam as descargas de massa que entram e que saem do reservatório, também chamadas de cargas de cargas de sedimentos, medidas em unidades de massa por unidade de tempo.

Figura 2 – Esquema de discretização do reservatório em compartimentos:  $Q_n$  e  $Q_{s_n}$  são, respectivamente, as vazões e cargas de sedimentos afluentes ao compartimento  $n$ .  $Vol_n$  e  $Vol_{d,n}$  são o volume de água e o volume assoreado de cada setor.



Fonte: autor

Minear e Kondolf (2009) destacam que a eficiência de retenção depende das características do sedimento afluente, das vazões de entrada e das características geométricas do reservatório. Os dados de alimentação do programa *Siltingz* baseiam-se nesses três padrões. Van Rijn (2013) salienta que reservatórios longos podem ser discretizados em compartimentos, de forma que as vazões e cargas afluentes, a eficiência de retenção e os volumes depositados são quantificados para cada setor. Isso permite localizar, com mais detalhes, as zonas propícias ao assoreamento. Essa possibilidade de discretização, esquematizada pela Figura 2, também é um atributo do *Siltingz*.

No *Siltingz* a simulação avança em marcha temporal, com incrementos mensais. Nesse sentido, as vazões de cada setor em um mês  $k$  ( $Q_n^k$ ) são alimentadas pelo compartimento de montante e pelos eventuais tributários laterais ( $Q_{tributário}^k$ ). Estas representam vazões médias mensais, calculadas por procedimentos de regionalização descritos nos sub itens seguintes. Com a discretização do reservatório, a eficiência de retenção ( $E_n^k$ ) é calculada para cada setor, de forma que as vazões e as cargas efluentes de um compartimento ( $n$ ) representam variáveis de entrada para o compartimento seguinte ( $n+1$ ). As descargas de sedimentos transferidas entre os setores são calculadas como:

$$Qs_{n+1}^k = Qs_n^k \cdot (1 - E_n^k) \quad (2)$$

Essas descargas de massa são quantificadas em unidade de massa por unidade de tempo (kg/s, kg/mês, ton/dia, ton/mês, entre outras). Uma vez quantificadas as descargas, a massa de sedimentos retida ( $Ms_n^k$ ) e o incremento de volume assoreado no compartimento ( $Vol_{d,n}^k$ ) são quantificados por:

$$Ms_n^k = (Qs_n^k - Qs_{n+1}^k) \cdot \Delta t \quad (3)$$

$$\Delta Vol_{d,n}^k = Ms_n^k / \rho_n^k \quad (4)$$

Nas Equações (3) e (4),  $\Delta t$  é o intervalo mensal de tempo de cada passo da simulação, o qual deve utilizar unidades compatíveis com aquelas da descarga de massa de sedimentos. A massa específica dos depósitos ( $\rho_n^k$ ) permite a transformação de massa retida em volume acumulado. Esse parâmetro depende das frações de argila, silte e areia presentes nos depósitos, além de sofrer variações temporais em razão da compactação das camadas inferiores pelos depósitos mais recentes. No *Siltingz*, a massa específica dos depósitos é calculada pelo conjunto de Equações (5),

recomendado pela literatura para reservatórios com sedimentos permanentemente submersos (CARVALHO *et al.*, 2000):

$$\begin{aligned} K_a &= 0,256.(argila) + 0,091.(silte) \\ \rho^0 &= [0,416.(argila) + 1,121.(silte) + 1,554.(areia)].1000 \\ \rho^k &= \rho^0 + 0,4343.K_a.[t/(t-1).ln(t)-1] \end{aligned} \quad (5)$$

Nesse conjunto de equações, *argila*, *silte* e *areia* são as frações granulométricas desses constituintes dos depósitos de fundo.  $K_a$  é um parâmetro auxiliar,  $\rho^0$  é a massa específica no instante inicial da simulação ( $t=0$ ) e  $t$  é o tempo de simulação, mensurado em meses. Na Equação (5),  $\rho^k$  é quantificada em  $kg/m^3$ . Costa (2012) constatou que os volumes assoreados, em geral, são pouco sensíveis às variações de massa específica. Finalmente, ao longo de um horizonte de simulação ( $T$ ), o volume assoreado em cada compartimento pode ser calculado como:

$$Vol_{d,n}^k = \sum_{t=0}^T \Delta Vol_{d,n}^k \quad (6)$$

### Métodos empíricos para estimativa da eficiência de retenção de sedimentos

A eficiência de retenção de sedimentos é um valor numérico que varia teoricamente entre 0 e 1. Segundo van Rijn (2013), para reservatórios extensos, calculados como um único compartimento, onde a relação entre o comprimento e a profundidade média ( $L/h$ )  $>500$ , seus valores normalmente limitam-se entre 0,90 e 1. Todavia, quando é feita a divisão em diversos compartimentos  $n$ , a relação ( $L_n/h_n$ ) diminui, o que produz reduções nos valores setorizados de  $E_n$ . Essa característica do modelo proporciona distribuições de depósitos ao longo de toda a extensão do reservatório, permitindo identificar locais mais propícios ao assoreamento. Na quantificação de  $E_n$ , o programa *Siltingz* utiliza os métodos clássicos sintetizados na Tabela 1.

Tabela 1 – Métodos empíricos clássicos para estimativa da eficiência de retenção de sedimentos

Método	Equacionamento básico	
Churchill (1948)	$E_n^k = (-20 + 0,95.IS^{0,63}) / (7100 + IS^{0,63}); IS = Vol_n^k / [(Q_n^k)^2.L_n]$	(7)
Brune (1953)	$E_n^k = (0,00085 + Ca^{1,1}) / (0,0085 + Ca^{1,1})$ ( $p/Ca \geq 0,007$ ); $E_n^k = (23,5750907 \cdot \ln(Ca) + 151,179568) / 100$ ( $p/0 \leq Ca < 0,007$ ); $Ca = Vol_n^k / Qm_n$	(8)
Heinemann (1981)	$E_n^k = 0$ ( $p/Ca < 0,03$ ); $E_n^k = [-22 + 119,6 \cdot Ca / (0,012 + 1,02 \cdot Ca)] / 100$ ( $p/0,003 \leq Ca < 0,7$ ); $E_n^k = (-0,0165889465 \cdot Ca^4 + 0,274317797 \cdot Ca^3 - 1,83260819 \cdot Ca^2 + 6,32355372 \cdot Ca + 90,2793866) / 100$ ( $p/0,7 \leq Ca < 5$ ); $E_n^k = 1$ ( $p/Ca \geq 5$ );	(9)
USDA-SCS (1983)	$E_n^k = 0,97$ ( $p/Ca \geq 1$ ); $E_n^k = [97 - 1,275 \cdot  \ln(Ca) ^{2,47}] / 100$ ( $p/0,02 \leq Ca < 1$ ); $E_n^k = [128 - 11,51 \cdot  \ln(Ca) ^{1,304}] / 100$ ( $p/Ca < 0,02$ );	(10)

Fonte: autor

No conjunto de Equações (7) a (10), a eficiência de retenção é calculada basicamente em função de dois parâmetros: o índice de sedimentação ( $IS$ ), para o método de Churchill e a capacidade de

afluência ( $Ca$ ), para os demais métodos. Ainda nessas equações,  $Vol_n^k$  e  $L_n$  são, respectivamente, o volume e o comprimento do compartimento  $n$ .  $Q_n^k$  é a vazão média mensal e  $Qm_n$  é o volume de água que afluí ao compartimento durante o intervalo de um mês. Como as vazões afluentes sofrem variações sazonais, a eficiência de retenção ( $E_n^k$ ) é alterada mensalmente. Note-se que, em decorrência da formação de depósitos, os volumes de água dos compartimentos ( $Vol_n^k$ ) são paulatinamente reduzidos.

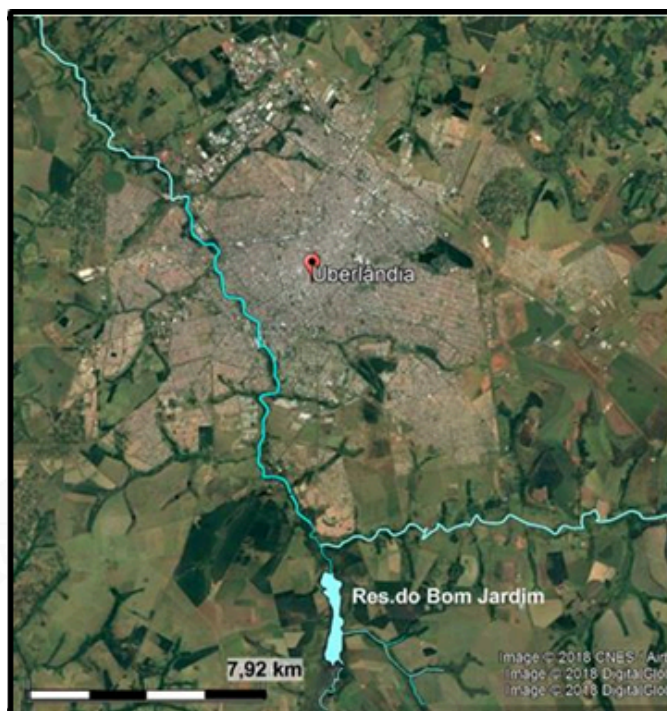
Garg e Jothiprakash (2008) comentam que o método de Brune provavelmente é o mais largamente utilizado para a estimativa da retenção de sedimentos. Esse método baseou-se no monitoramento de 44 reservatórios nos Estados Unidos. Os padrões de retenção obtidos por Brune, Churchill e USDA-SCS são similares à medida que os horizontes de simulação aumentam. O método de Heineman baseou-se no monitoramento de 20 reservatórios, modificando as equações de Brune para corpos hídricos com áreas inundadas entre 0,8 e 36,3 km<sup>2</sup> e volumes entre 3000 e 4.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. Para pequenos reservatórios, a retenção de sedimentos é menor, de forma que as equações de Heineman levam a taxas de assoreamento mais brandas do que as dos outros métodos.

### Fluviogramas de entrada

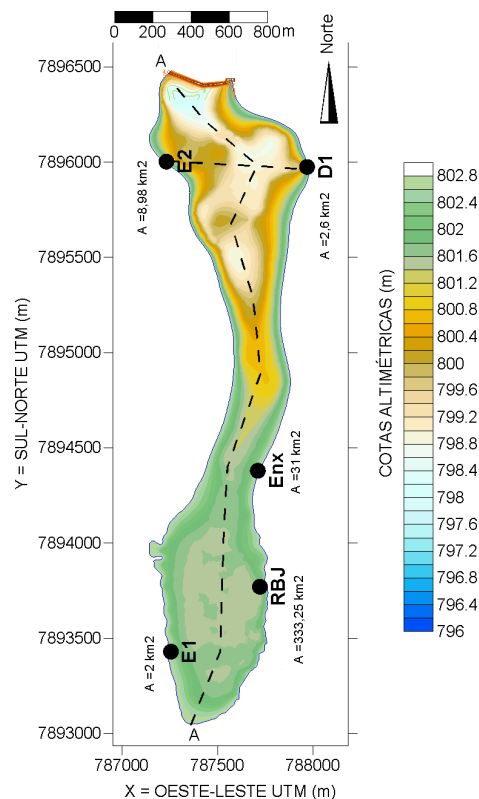
Conforme ilustra a Figura 3, no caso específico do reservatório do Bom Jardim, os principais afluxos de água ocorrem em cinco pontos: RBJ (principal seção de entrada no delta do ribeirão Bom Jardim, que drena uma área de 333,25 km<sup>2</sup>); ENX (delta do córrego da Enxada, com área drenante de 31 km<sup>2</sup>); E1 (veio de água da margem esquerda, com área contribuinte de 2 km<sup>2</sup>); E2 (outro veio de água da margem esquerda, com área drenante de 8,98 km<sup>2</sup>) e D1 (veio de água da margem direita, cuja área contribuinte é de 2,6 km<sup>2</sup>).

Figura 3 – Localização e mapa batimétrico do reservatório do Bom Jardim

- (a) Localização do reservatório do Bom Jardim em relação à malha urbana de Uberlândia, MG. Adaptado de *Google Earth*.



- (b) Mapa batimétrico do reservatório, com indicação das principais entradas pontuais. Adaptado de Martins (2018).



Fonte: autor

Entradas de tributários nos reservatórios ocorrem em seções quase sempre desprovidas de réguas limimétricas, o que impossibilita a construção de registros históricos de vazão. Nesse sentido, a simulação do assoreamento dentro de um horizonte temporal demanda fluviogramas afluentes que devem ser obtidos por regionalização de vazões. Neste trabalho, para estimativa das séries sintéticas de vazão nos pontos RBJ, ENX, E1, E2 e D1, foi utilizada a função apresentada por Amaral (2018). Essa função regionaliza a vazão específica em função da precipitação mensal estimada no centróide das bacias fonte. Para isto, foram utilizados registros históricos coletados em 9 estações fluviométricas alocadas em rios do Triângulo Mineiro, além de séries de precipitação em 13 postos pluviométricos vizinhos. As bacias fonte possuem áreas variando de 17,52 km<sup>2</sup> (no rio Bagagem) a 1510 km<sup>2</sup> (no rio Tijuco). Enfim, a função regional aplicada para geração da série sintética de vazões afluentes ao reservatório é descrita por:

$$Q^* = (Q/A) = (a.P + b) \cdot (1 + \alpha \cdot D_{80}^+ - \beta \cdot D_{80}^-) \quad (11)$$

Na Equação (11),  $Q^*$  (m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>) é a vazão específica, relação entre a vazão ( $Q$ ) e a área ( $A$ ) drenada por uma seção;  $P$ (mm) é a altura pluviométrica mensal, trasladada para o centróide da bacia;  $a$  e  $b$  são parâmetros regionais ajustáveis que, para o local analisado (rios do Triângulo Mineiro) valem, respectivamente  $4,9290 \cdot 10^{-5}$  e  $0,0128643$ . Ainda nessa equação,  $\alpha$  e  $\beta$  são impulsos aleatórios, variáveis entre 0 e 1, utilizados para representar flutuações na correlação entre chuva e

vazão.  $D_{80}^+$  e  $D_{80}^-$ , quantificados em  $m^3/s/km^2$ , são desvios positivos e negativos, com 80% de permanência. Tais desvios representam flutuações entre os valores históricos de vazão específica e retas de regressão para a relação  $Q^*$  versus  $P$  nas bacias fonte.

### Descargas sólidas afluentes

As seções de entrada no reservatório do Bom Jardim também não dispõem de curvas chave de sedimentos, as quais normalmente relacionam a descarga sólida com a vazão afluente. Nesse sentido, utilizou-se a curva simulada por Martins (2018), a partir da aplicação do programa *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT). Essa curva descreve a variação da descarga específica de sedimentos em função da vazão específica e pode ser interpolada por um polinômio, conforme:

$$Q_s^* = (Q_s/A) = c \cdot (Q^*)^2 + d \cdot Q^* \quad (12)$$

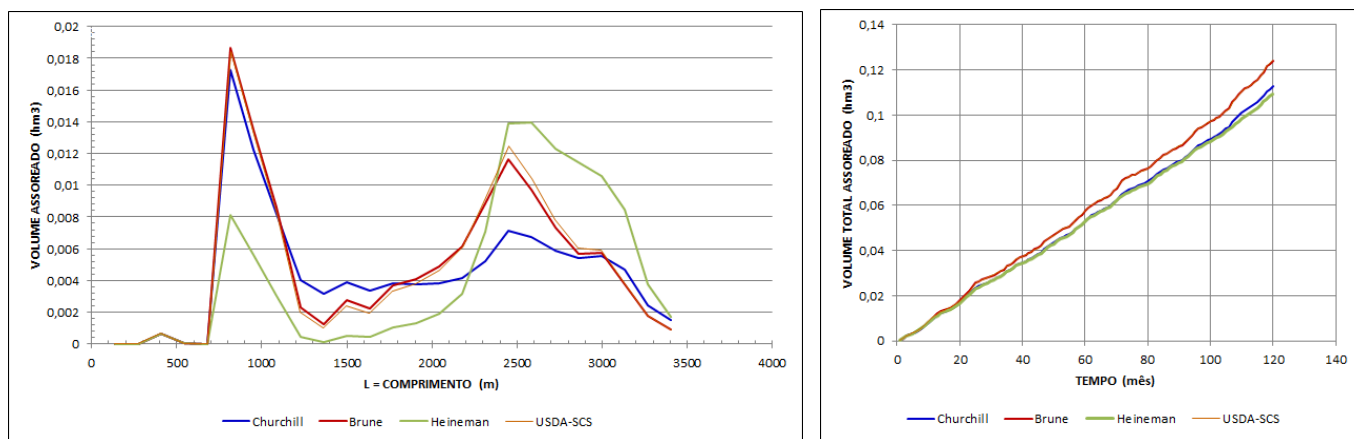
Na Equação (12),  $Q_s^*$  ( $t/dia/km^2$ ) é a descarga específica de sedimentos,  $A$  é a área da bacia de contribuição ( $km^2$ ), enquanto  $c$  e  $d$  são parâmetros regionais que valem, respectivamente, 104,4707 e 5,881465.

### RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a simulação, foi imposta a série histórica de vazões da estação Fazenda Letreiro, situada nas imediações do reservatório do Bom Jardim. O reservatório foi discretizado em 25 compartimentos. A Figura 4 apresenta os resultados de assoreamento para 10 anos de horizonte, conforme a aplicação dos quatro métodos abordados pelo *Siltingz*.

Figura 4 – Resultados de assoreamento para horizonte de 10 anos

- (a) Distribuição dos depósitos ao longo do comprimento axial do reservatório      (b) Evolução temporal do volume assoreado total



Fonte: autor

No que tange aos locais volumetricamente mais afetados pela formação de depósitos, nota-se que há diferenças entre os resultados, muito embora os métodos de Brune, Churchill e USDA-SCS indiquem tendências similares. Nesses casos, a principal zona de deposição é indicada a montante do delta do ribeirão Bom Jardim (ponto RBJ), havendo formação de depósitos significativos nos compartimentos mais largos, nas adjacências dos pontos E2 e D1. O método de Heineman indica

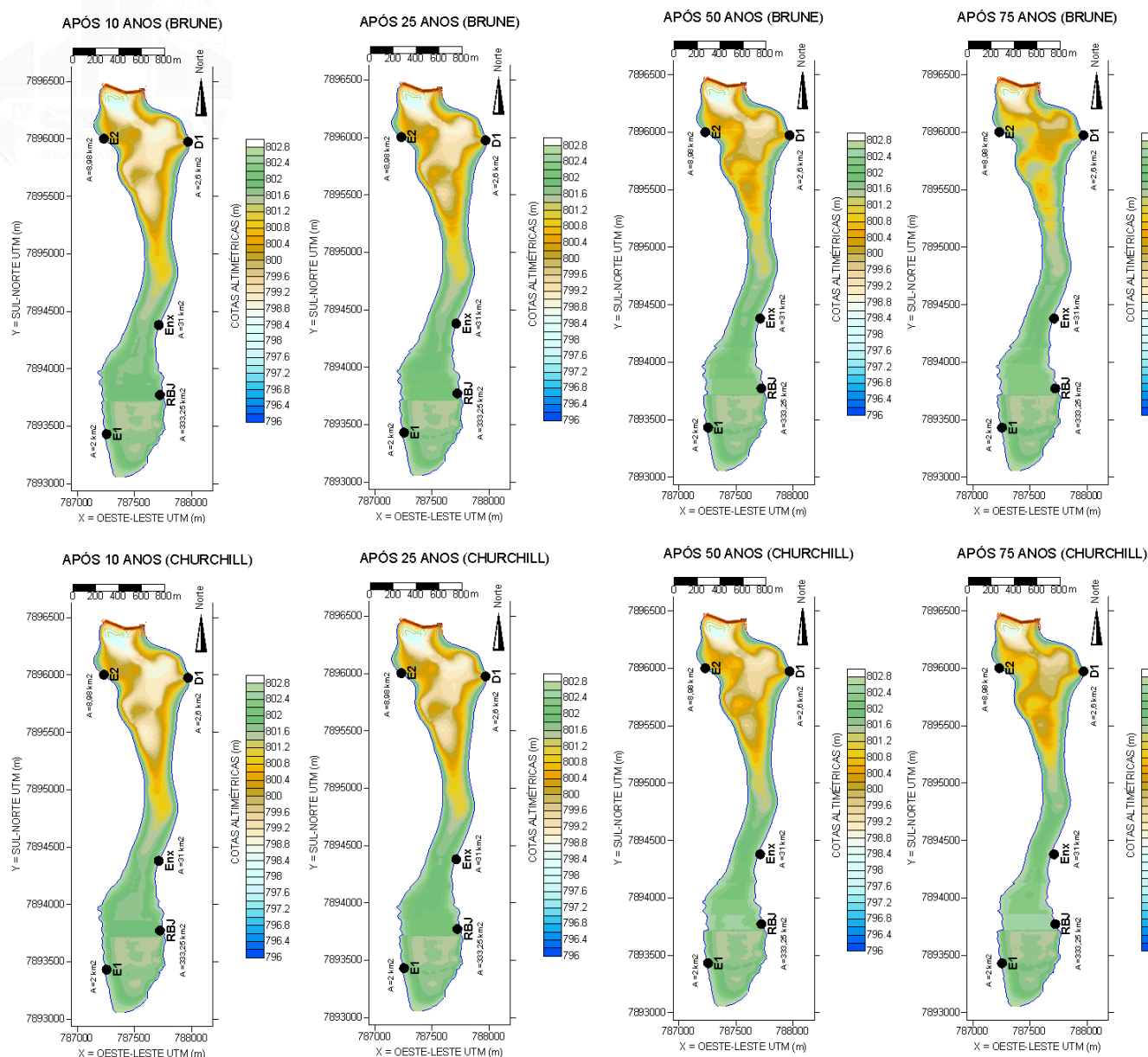


que essas últimas zonas correspondem aos depósitos principais, ao contrário dos demais métodos. Há desvios insignificantes entre os métodos de Brune e USDA-SCS, indicando paridade entre eficiências de retenção estimadas por ambos.

Em relação ao assoreamento total, as maiores taxas de deposição foram verificadas pelos métodos de Brune e USDA-SCS (valor médio de 1040 m<sup>3</sup>/mês), ao passo que os métodos de Churchill e de Heineman estimaram taxas de 944 m<sup>3</sup>/mês e 916 m<sup>3</sup>/mês, respectivamente. Levando em conta os resultados mais extremos e adotando padrão de comparação mais palpável, isto sugere que o assoreamento preenche volumes mensais da ordem de 40% de uma piscina olímpica, ou volumes equivalentes a 4,75 piscinas por ano.

Simulações de períodos mais extensos permitem identificar mudanças no mapa batimétrico do reservatório. A Figura 5 apresenta uma série de mapas para horizontes variáveis de 10 a 75 anos, simulados com os métodos de Brune e de Churchill.

Figura 5 – Mapas batimétricos simulados para horizontes de 10 a 75 anos



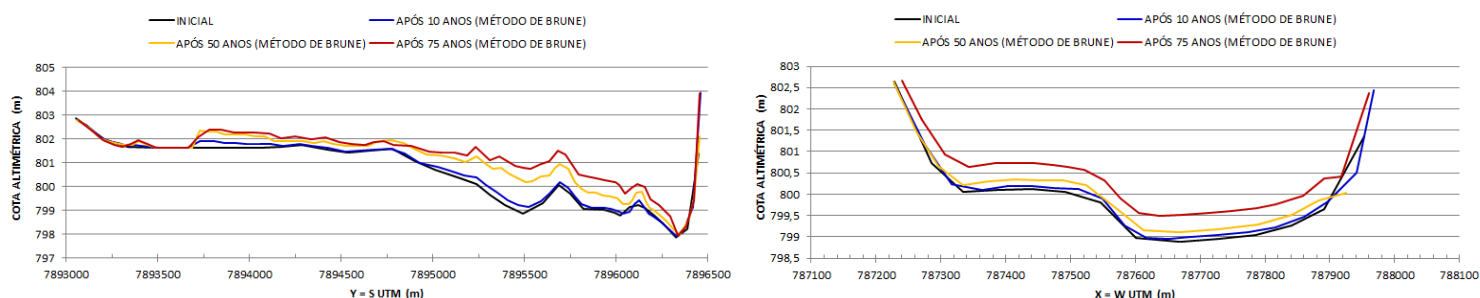
Fonte: autor

Conforme ilustra a Figura 6, a evolução espaço-temporal dos depósitos fica evidenciada pela seção longitudinal A-A e pela seção transversal E2-D1, ambas indicadas na Figura 3(b).

Figura 6 – Perfis de fundo do reservatório, simulados pelo método de Brune

(a) Seção longitudinal A-A

(b) Seção transversal E2-D1



Fonte: autor

Com o passar dos anos, o assoreamento destaca-se imediatamente a jusante do delta do RBJ. Considerando flutuações do nível de água entre as cotas 802 e 803 m, há alerta de formação de bancos de areia latentes nesse setor. Também há intensificação na formação de depósitos entre o estrangulamento do reservatório (nas imediações da coordenada  $Y=7895000$  m) e a base da barragem.

## CONCLUSÕES

O programa *Siltingz* é um preditor do assoreamento de reservatórios, embasado na quantificação da eficiência de retenção de sedimentos nesses corpos de água. Nesse sentido, há captura de parte das descargas sólidas que entram em um compartimento, resultando na formação de depósitos. O método não considera efeitos de ressuspensão, que são típicos em rios. A discretização do reservatório em compartimentos fornece estimativas rápidas das zonas preferenciais de formação de depósitos e, em casos mais extremos, de possíveis bancos de areia. Estudos regionais prévios devem ser realizados com o propósito de quantificar séries sintéticas de vazões afluentes e curvas-chave de sedimentos. Aplicações para o reservatório do Bom Jardim revelaram taxas mensais de assoreamento entre  $916 \text{ m}^3/\text{mês}$  e  $1040 \text{ m}^3/\text{mês}$  e a possibilidade latente de formação de bancos de areia imediatamente a jusante do ponto principal de descarga, no delta do ribeirão de mesmo nome.

## AGRADECIMENTOS

O autor agradece à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro concedido ao projeto “Gestão de Reservatórios: incentivos aos serviços ambientais para a sustentabilidade dos regimes hidrossedimentológicos”, processo TEC - APQ-02097-14, edital Demanda Universal 01/2014.

## REFERÊNCIAS

AMARAL, D. R. **Estimativa do assoreamento do reservatório do Bom Jardim a partir de modelos de eficiência de retenção de sedimentos.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Uberlândia, 2018.

CARVALHO, N. O.; FILIZOLA JÚNIOR, N. P.; SANTOS, P. M. C.; LIMA, J. E. F. W. **Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios.** Brasília: ANEEL, 2000. 140 p.

COSTA, L. F. **Análise de sensibilidade dos parâmetros utilizados na determinação de taxas de assoreamento de reservatórios.** Dissertação de Mestrado. COPPE/UFRJ, Programa de Engenharia Civil. Rio de Janeiro, 2012. 124 p.

GARG, V.; JOTHIPRAKASH, V. **Estimation of useful life of a reservoir using sediment trap efficiency.** Journal of Spatial Hydrology, v. 8, n. 2 Fall 2008, p.1-14, 2008.

MARTINS, C. S. **Influência do tipo de uso e ocupação do solo no assoreamento do reservatório Bom Jardim, Uberlândia-MG.** 2018. Dissertação de Mestrado. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/21419>. Acesso em: 14 ago. 2018.

MINEAR, J. T.; KONDOLF, G.M. **Estimating reservoir sedimentation rates at large spatial and temporal scales: a case study of California.** Water Resources Research, v. 45, W12502, doi:10.1029/2007 WR006703, p.1-8, 2009.

RANDLE, T. J.; KIMBREL, S.; COLLINS, K.; BOYD, P.; JONAS, M.; VERMEEREN, R.; EIDSON, D.; COOPER, D.; SHELLEY, J.; JURACEK, K.; FRIPP, J.; ALTINAKAR, M.; HOTCHKISS, R.; KONDOLF, M.; NELSON, P.; WEIRICH, F.; MORRIS, G.; ANNADALE, G.; JENSEN, K.; MC MILLEN J.; WHELAN, M. **Frequently asked questions about reservoir sedimentation and sustainability.** Subcommittee on Sedimentation, Denver, 2017.

VAN RIJN, L. C. **Sedimentation of sand and mud in reservoirs in rivers.** Disponível em: <https://www.leovanrijn-sediment.com/papers/Reservoirsiltation2013.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2018.