

Capítulo 16- Métodos: Brune, Heinemann e Brown

16.1 Introdução

Vamos apresentar o método de Brune para grandes reservatórios e o método de Heinemann, 1981 para pequenos reservatórios entre 0,8 Km² e 36,3 Km².

Apresentaremos um dos primeiros estudos feitos de sedimentos em reservatórios que foi feito por Brown, 1943 e que parece adequado para pequenos reservatórios.

Brune, 1953 pesquisou 44 reservatórios com área de bacia de 2,93km² a 478.0000km² com relação à eficiência na remoção de sedimentos e tem sido usado para pequenos e grandes reservatórios.

16.2 Método de Brune

Brune, 1953 relacionou a relação adimensional C/I como base do seu método que está na Figura (16.1).

Entendemos que C é o volume do reservatório e que I é o volume anual é causada pelo runoff na bacia. Esta facilidade de se obter os dados é a grande vantagem, a nosso ver, do método de Brune.

Teoricamente um reservatório pode ter eficiência zero ou 100% de retenção de sólidos. A eficiência de retenção de 100% no reservatório é impossível de acontecer como saliente Brune, 1953. Existem casos em que a eficiência de retenção foi de 100% em lagos nos quais não saiu nenhuma gota de água do vertedor e houve perdas por evaporação e por infiltração no solo.

Os reservatórios com relação $C/I \leq 1$ significam que são reservatórios sazonais e aqueles cuja relação $C/I > 1$ são aqueles que armazenam a água que são os mais comuns.

Brune, 1953 comenta também sobre descargas de fundo para a saída de sedimentos como um controle que podem funcionar ou não dependendo das condições locais como época de baixas vazões.

Brune, 1953 comenta sobre os reservatórios destinados a retenção de sedimentos que pode ter eficiência de 90% e que em outros conforme a relação C/I pode ter eficiência de remoção de somente 2%. Brune, 1953 quando comenta sobre o método de Churchill salienta que apesar do método ser bom, há grande dificuldade para se definir o período de retenção e outros dados como a velocidade média no reservatório.

Ponce, 1989 estabelece a seguinte ordem para aplicação da curva de Brune:

Primeiro: achar a capacidade (C) do reservatório em m³;

Segundo: determinar o volume médio anual de runoff (I) que chega no reservatório em m³;

Terceiro: usando a Figura (16.1) determinar a porcentagem de eficiência como função da relação C/I para as características de três sedimentos. Estimar a textura do sedimento, estudando as fontes de sedimentos e a fração de transporte. A curva superior da Figura (16.1) é aplicado a areia grossa ou sedimentos floculados; a linha média é destinada a sedimentos com larga variação de diâmetros de partículas e a linha inferior é para siltes finos e argilas.

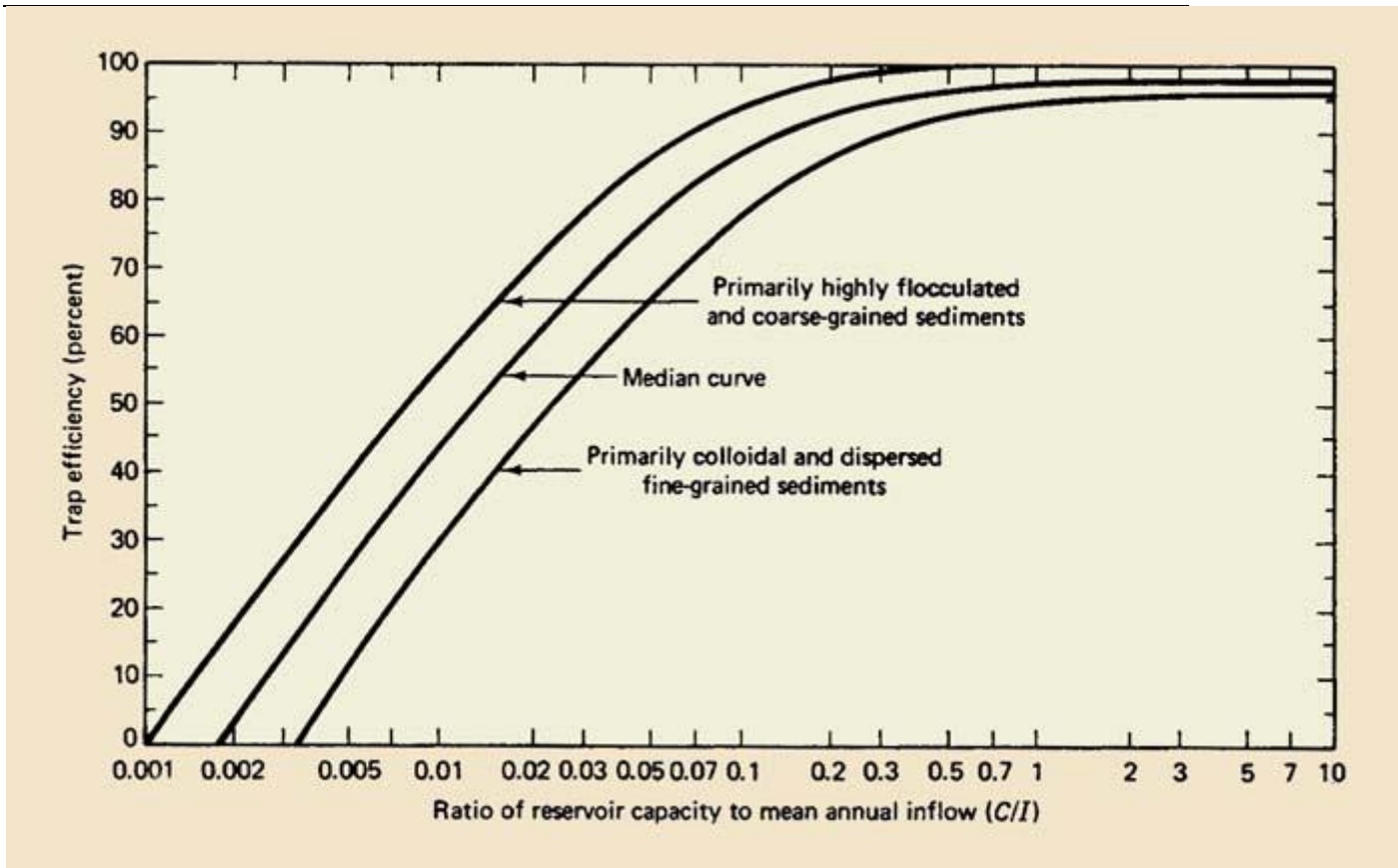


Figura 16.1- Curva de Brune elaboradas em 1953

Exemplo 16.1

Usando o método de Brune, calcular o tempo de enchimento de um reservatório em uma bacia com os seguintes dados:

Área da bacia= $4,92\text{km}^2 = 492\text{ ha}$

Precipitação média anual = 1660mm

Runoff médio anual suposto de 40% da precipitação= 664mm

Runoff anual=I= $(664\text{mm}/1000) \times 492\text{ha} \times 10000\text{m}^2 = 3.266.880\text{m}^3/\text{ano}$

C= volume do reservatório = 122.428m^3

I = runoff anual= $3.266.880\text{m}^3/\text{ano}$

C/I = $122.428 / 3.266.880\text{m}^3/\text{ano} = 0,037$

Entrando na curva média da Figura (16.1) achamos **75% = 0,75**.

Supondo que a descarga total de sedimentos é de 3 ton/dia e para 365 dias teremos:

Dst= 365 dias x 3 ton/dia= 1095ton/ano

$$S = \text{Dst} \times \text{ER} / \gamma_{\text{ap}}$$

$$S = 1095 \times 0,75 / 1,552 = 529\text{m}^3/\text{ano}$$

$$\text{Tempo de duração do barramento} = 122.428\text{m}^3 / 529\text{m}^3/\text{ano} = 231\text{ anos}$$

16.3 Carga de sedimentos conforme Dendy e Bolton, 1976.

Conforme Ponce, 1989 Dendy e Bolton, 1976 pesquisaram nos Estados Unidos 505 reservatórios e estabeleceram as seguintes equações baseadas na média anual do runoff Q se é menor que 50mm/ano ou se é maior que 50mm/ano e na área da bacia. Ponce, 1989 salienta que as equações fornecem uma primeira aproximação do transporte de sedimentos para ser usado em um projeto regional.

Quando $Q < 50\text{mm/ano}$ vale a expressão:

$$S/S_R = 1,07 (Q/Q_R)^{0,46} \cdot [1,43 - 0,26 \log(A/A_R)]$$

Quando $Q > 50\text{mm/ano}$ vale a expressão:

$$S/S_R = 1,19 \exp[-0,11 (Q/Q_R)] \cdot [1,43 - 0,26 \log(A/A_R)]$$

Sendo:

S = sedimentos em ton/ano

$S_R = 643 \text{ ton/ano/km}^2$ = sedimentos em ton/ano para uma área básica $A_R = 2,56\text{km}^2$

$Q_R = 50\text{mm}$ = média anual de runoff

Q = média anual do runoff da bacia em estudo (mm/ano)

$A_R = 2,56\text{km}^2$ = área básica

A = área da bacia (km^2)

Exemplo 16.2

Usando o método de **Dendy e Bolton, 1976**, calcular o tempo de enchimento de um reservatório em uma bacia com os seguintes dados:

Área da bacia = $4,92\text{km}^2 = 492 \text{ ha}$

Precipitação média anual = 1660mm

Runoff médio anual suposto de 40% da precipitação = 664mm

Como $Q_R = 664\text{mm} > 50\text{mm}$ usaremos a equação:

$$S/S_R = 1,19 \exp[-0,11 (Q/Q_R)] \cdot [1,43 - 0,26 \log(A/A_R)]$$
$$S/S_R = 1,19 \exp[-0,11 (664/50)] \cdot [1,43 - 0,26 \log(4,92/2,56)] = 0,37$$

$$S/S_R = 0,37$$

$$S_R = 643 \text{ ton/ano/km}^2$$

$$S = 643 \times 0,37 = 238 \text{ ton/ano/km}^2$$

Mas para $4,92\text{km}^2$ teremos:

$$S_{\text{total}} = 238 \times 4,92 = 1.171 \text{ m}^3/\text{ano} = 1.171/1,552 = 754\text{m}^3/\text{ano}$$

$$\text{Tempo de duração do barramento} = 122.428\text{m}^3 / 754\text{m}^3/\text{ano} = 162 \text{ anos}$$

16.4 Curva para pequenos reservatórios de Heinemann

Conforme Verstraeten e Poesen, 2010, Heinemann, 1981 verificou que a curva de Brune é para grandes reservatórios e para pequenos reservatórios variando de 0,8 Km² a 36,31 Km² a retenção de sólidos é menor conforme mostra a Figura (16.2);

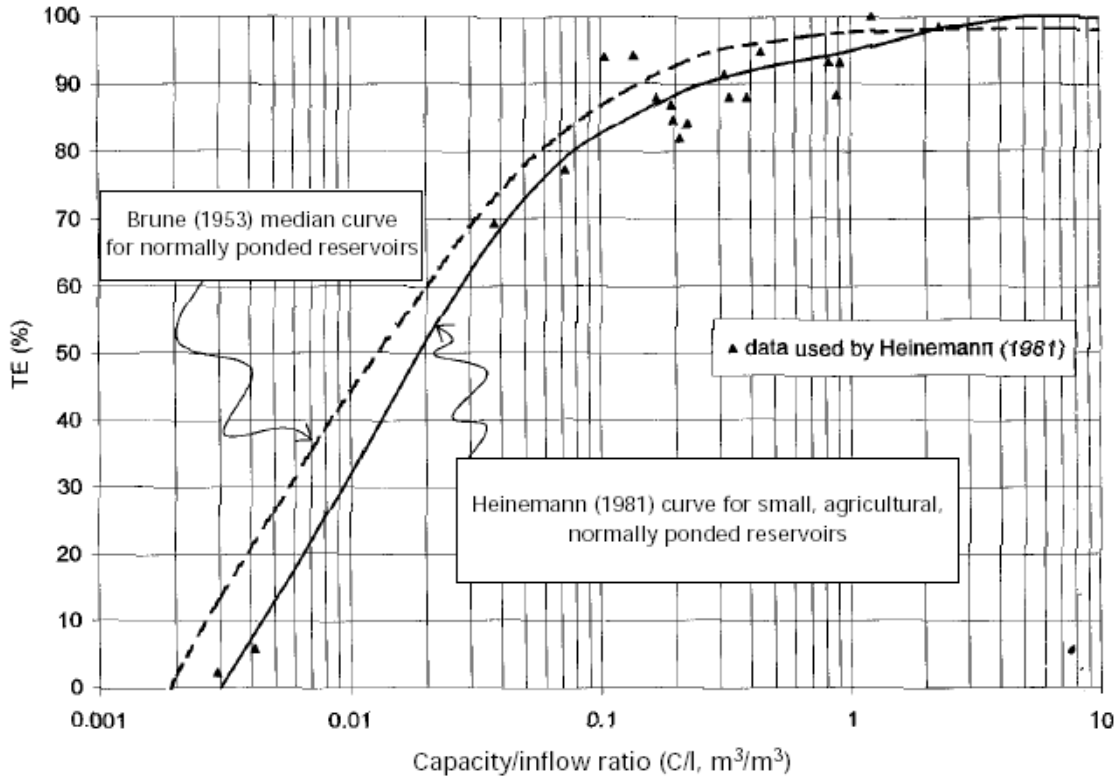


Figure 5 Revision of Brune's (1953) curve by Heinemann (1981) for small agricultural reservoirs

Source: After Heinemann, 1981 © The American Water Resources Association

Figura 16.2- Curva de Heinemann, 1981 para pequenos reservatórios entre 0,8 Km² 36,3 Km²

16.5 Curva para pequenos reservatórios de Brown, 1943

Heinemann, 1984 mostrou modelos empíricos usados para achar a trap eficiência (TE) de um reservatório e um destes modelos é o de Brown, 1943.

Nas unidades SI temos:

$$TE = 100 \left(1 - \frac{1}{1 + 0,0021 \times D \times C/W} \right)$$

Sendo:

TE= trap efficiency (%)

C= capacidade do reservatório em m³

W= área da bacia em Km²

D= variável variando entre 0,046 e 1 com média D=0,1

Na Figura (16.3) temos o gráfico de Brown, 1943 que é bom para pequenos reservatórios.

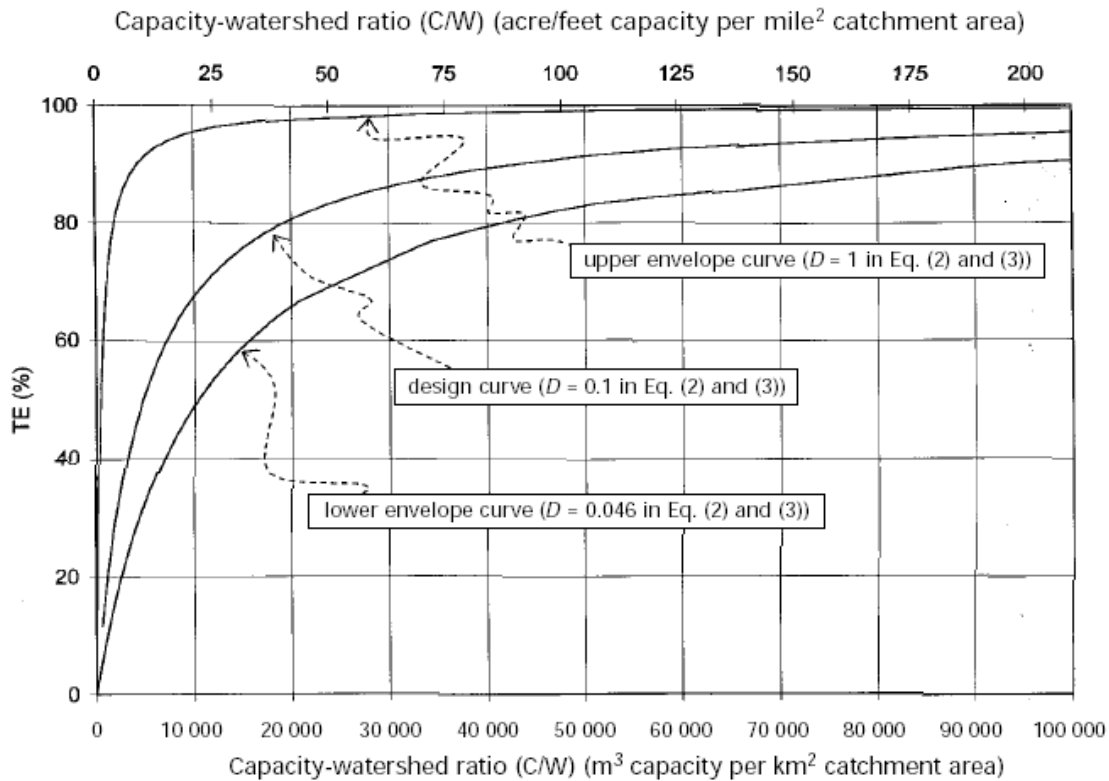


Figure 2 Trap efficiency related to capacity / watershed ratio

Source: Modified from 'Discussion of *Sedimentation in reservoirs* by J. Witzig'. Brown, C.B., *Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, 1943, reproduced by permission of the American Society of Civil Engineers

Figura 16.3- Curvas de Brown, 1943 bom para pequenos reservatórios.

16.4 Bibliografia e livros consultados

- BRUNE, GUNNAR M. *Trap efficiency of reservoirs*. junho de 1953. American Geophysical Union, páginas 407 a 418.
- CARVALHO, NEWTON DE OLIVEIRA et al. *Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios*. Brasília, DF, 2000, 107 páginas ANEL (Agencia Nacional de Energia Elétrica)
- CARVALHO, NEWTON DE OLIVEIRA. *Cálculo do assoreamento e da vida útil de um reservatório na fase de estudos de inventário*.
- HAAN, C. T. et al. *Design Hydrology and sedimentology for small catchments*. Academic press, 1994, 588páginas.
- HAAN, C. T. et al. *Design Hydrology and sedimentology for small catchments*. Academic press, 1994, 588páginas.
- HADLEY, R. F e WALLING, D. E. *Erosion and sediment yield: some methods of measurement and modeling*. University Press, Cambridge, 1984 21páginas.
- LINSLEY, RAY K et al. *Hydrology for engineers*. 3a ed. McGraw-Hill, 1982, 508 páginas.
- MCCUEN, RICHARD H. *Hydrologic analysis and design*. 2a ed. 1998, 814 páginas.
- PONCE, VICTOR MIGUEL. *Engineering Hydrology- principles and practices*. Prentice-Hall, 1989, ISBN 0-13-325466-1,639 páginas.
- PONCE, VITOR MIGUEL. *Engineering Hydrology*. Prentice-Hall, 640 páginas, 1989, ISBN 0-13-315466-1.
- RAMOS, CARLOS LLORET et al. *Campanhas hidrosedimentométricas na Região Metropolitana de São Paulo*.
- SCAPIN, JULIANA. *Caracterização do transporte de sedimentos em um pequeno rio urbano na cidade de Santa Maria, RS*. Dissertação de Mestrado, ano 2005,114páginas.
- USACE. *Stable channel desing functions*. Chapter 12. www.usbr.gov
- USBR (UNITED STATES BUREAU OF RECLAMATION). *Non cohesive sediment transport*. Chapter 3. www.usbr.gov .
- VERSTRAETEN, GERT E POESEN, JEAN. *Estimating trap efficiency of small reservoirs and ponds: methods and implications for the assessment of sediment yield*. Publicado por www.sagepublications.com em 31 de janeiro de 2010.;