

## Capítulo 11

### Análise de simulação do reservatório e eficiência

*“A Terra é o único planeta em que a água existe nos três estados: sólido, líquido e gasoso, sob as condições de pressão e temperatura sobre a sua superfície”.*

*David Maidment, 1993*



**Capítulo 11- Análise de simulação do reservatório e eficiência**

<b>Seção</b>	<b>Título</b>
11.1	Introdução
11.2	Equação da continuidade
11.3	Confiança ( <i>reliability</i> )
11.4	Confiabilidade volumétrica

## Capítulo 11- Análise de simulação do reservatório e eficiência

### 11.1 Introdução

O volume do reservatório pode ser dimensionado pelo método de Rippl usando as médias mensais. Porém, existe uma outra maneira de se calcular o volume de um reservatório para aproveitamento de água de chuva, que é arbitrar um volume e verificar o que acontece com a água que vai sobrar (*overflow*) e com a água que vai faltar (suprimento do serviço público ou caminhão tanque). O método da análise de simulação é o melhor método para se avaliar um reservatório.

Portanto, nesta nova maneira de cálculo supõe-se conhecido o volume e verifica-se o que acontece.

### 11.2 Equação da continuidade

Para um determinado mês aplicando-se a equação da continuidade a um reservatório finito McMahon, 1993.

$$S_{(t)} = Q_{(t)} + S_{(t-1)} - D_{(t)} - PV_{(t)} - L_{(t)}$$

$S_{(t)}$  = volume de água no reservatório no tempo t;

$S_{(t-1)}$  = volume de água no reservatório no tempo t-1;

$Q_{(t)}$  = volume de chuva no tempo t;

$D_{(t)}$  = consumo ou demanda no tempo t. No caso supomos  $D_{(t)} = \text{constante}$ .

$PV_{(t)}$  = perda por evaporação no tempo t;

$L_{(t)}$  = outras perdas no tempo t (exemplo: vazamentos). Supomos  $L=0$

$V$  = volume do reservatório fixado.

$$Q_{(t)} = C \times \text{precipitação da chuva (t)} \times \text{Área de captação}$$

Tudo isto sujeito a seguinte **restrição**:

$$0 \leq S_{(t)} \leq V$$

Coefficiente de runoff  $C=0,80$  (mais comum)

Para a análise de simulação de um reservatório duas hipóteses básicas devem ser feitas:

- o reservatório está cheio no início da contagem do tempo "t" e
- os dados históricos são representativos para as condições futuras.

McMahon, 1993 diz que este método tem quatro atributos importantes:

- é simples de ser usado e facilmente entendido;
- o uso de dados históricos incorpora os períodos críticos de seca.
- a análise pode usar dados diários ou mensais (mais usada) e
- problemas sazonais e complicados são tomados em conta no uso da série histórica.

O básico da *análise de simulação do reservatório* é que é um método por tentativas e erros. Supõe-se conhecido o *volume do reservatório* bem como a *demand*.

Para o nosso caso, a evaporação da água não será levada em contas e devem ser consideradas dentro do coeficiente de runoff adotado  $C=0,80$ .

Supomos também a não existência de perda por vazamento no reservatório.

### 11.3 Série histórica e série sintética

A melhor aplicação do método de Rippl, Monte Carlo e Análise de simulação para o dimensionamento e verificação de um reservatório é usar uma série de precipitações mensais acima de 10 anos. Entretanto devido à facilidade dos cálculos usam-se séries sintéticas, como a média.

### Exemplo 11.1

Verificar o volume de 30m<sup>3</sup> de uma reservatório pela análise de simulação usando a série sintética da precipitação média mensal, demanda mensal de 30m<sup>3</sup>/mês, área de captação de 350m<sup>2</sup> e coeficiente de runoff C=0,80.

A grande vantagem do método é escolher mais facilmente o dimensionamento mais econômico do reservatório e verificar o risco.

Na Tabela (11.1) está o exemplo de aplicação da Análise de simulação do reservatório.

**Tabela 11.1- Aplicação da Análise de simulação  
 para reservatório com 30m<sup>3</sup> considerando a média mensal das precipitações**

Mês	Chuva média (mm)	Demanda mensal constante (m <sup>3</sup> )	Área de captação (m <sup>2</sup> )	Volume de chuva C=0,80 (m <sup>3</sup> )	Volume da reservatório fixado (m <sup>3</sup> )	Volume do reservatório no tempo t-1 (m <sup>3</sup> )	Volume do Reservatório no tempo t. (m <sup>3</sup> )	Overflow (m <sup>3</sup> )	Suprimento de água externo (m <sup>3</sup> )
	P	Dt	A	Qt	V	St-1	St	Ov	S
Coluna	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5	Coluna 6	Coluna 7	Coluna 8	Coluna 9	Coluna 10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Jan</b>	272	30	350	76	30	0	<b>30</b>	16	0
<b>fev</b>	243	30	350	68	30	30	30	38	0
<b>Mar</b>	223	30	350	62	30	30	30	32	0
<b>Abr</b>	89	30	350	25	30	30	25	0	0
<b>Mai</b>	92	30	350	26	30	25	21	0	0
<b>Jun</b>	47	30	350	13	30	21	4	0	0
<b>Jul</b>	40	30	350	11	30	4	-15	0	15
<b>Ago</b>	30	30	350	8	30	0	-22	0	22
<b>Set</b>	82	30	350	23	30	0	-7	0	7
<b>Out</b>	121	30	350	34	30	0	4	0	0
<b>Nov</b>	114	30	350	32	30	4	6	0	0
<b>Dez</b>	216	30	350	60	30	6	30	6	0
<b>Total</b>									
<b>=</b>	<b>1569</b>	<b>360</b>		<b>439</b>				<b>93</b>	<b>44</b>

Vamos explicar a Tabela (11.1) coluna 1 a coluna 10.

#### Tabela (11.1)

##### Coluna 1:

Constam os meses do ano de janeiro a dezembro.

##### Coluna 2:

São as chuvas médias mensais (série sintética).

##### Coluna 3:

É o consumo mensal de 30m<sup>3</sup> de água não potável.

##### Coluna 4:

É a área de captação da chuva que é de 350m<sup>2</sup> que é a área de todo o telhado disponível.

##### Coluna 5:

O volume de água de chuva é obtido da seguinte maneira:

Coluna 5 = coluna 2 x coluna 4 x 0,80 / 1000 para o resultado sair em metros cúbicos

Para perdas de água por evaporação, perdas de água na autolimpeza supomos o coeficiente 0,80.

#### Coluna 6

Volume do reservatório que é fixado. O volume para este tipo de problema é arbitrado e depois verificado o overflow e a reposição de água, até se escolher um volume adequado. No caso deste exemplo, usamos o volume de  $30\text{m}^3$  para o reservatório.

#### Coluna 7:

É o volume do reservatório no início da contagem do tempo. Supomos que no início do ano o reservatório está vazio e que, portanto a primeira linha da coluna 7 referente ao mês de janeiro será igual a zero. Os demais valores são obtidos usando a função SE do Excel:

SE (coluna 8 < 0 ; 0 ; coluna 8)

#### Coluna 8:

Fornece o volume do reservatório no fim do mês. Assim o volume de  $30\text{m}^3$  no mês de janeiro refere-se ao volume do reservatório no último dia de janeiro. Vê-se que o reservatório é considerado *cheio*.

Obtém-se a coluna 8 da seguinte maneira:

Coluna 8 = SE (coluna5 + coluna7 – coluna3 > coluna 6; coluna 7 ; coluna 5 + coluna 7 – coluna 3 )

Nota: a coluna 8 pode resultar em número negativo. Deve ser entendido como água necessária para reposição. Aparecerá o mesmo valor com sinal positivo na coluna 10.

#### Coluna 9:

É relativa ao *overflow*, isto é, quando a água fica sobrando e é jogada fora.

Obtém-se da seguinte maneira:

Coluna 9 = SE (coluna 5 + coluna 7 – coluna 3) > coluna 6 ; coluna 5 + coluna 7 – coluna 3 – coluna 6 ; 0)

#### Coluna 10:

É a coluna da reposição da água, que pode vir do serviço público de abastecimento ou de caminhão tanque ou de outra procedência.

Coluna 10= SE (coluna 7 +coluna 5 – coluna 3 < 0 ; - (coluna 7 + coluna 5 – coluna 3) ; 0)

#### Comentário sobre a Tabela (11.1):

No processo de verificação é fornecido o volume de  $30\text{m}^3$  e a chuva média mensal adotada. Durante o ano verificamos que haverá overflow de  $93\text{m}^3$  e que será necessário  $44\text{m}^3$  de água de outra fonte para suprir o reservatório durante o ano.

O volume de água de chuva considerando o coeficiente de runoff de 0,80 será de  $439\text{m}^3/\text{ano}$  maior que a demanda anual de  $360\text{m}^3$ .

Para a coluna 8 o reservatório está cheio em janeiro.

#### 11.4 Confiança (reliability)

Vamos definir duas variáveis muito usadas em aproveitamento de água de chuva, que é a confiança (*reliability*) e a eficiência do sistema.

A melhor definição de falha (Pr) é a relação entre o número de meses que o reservatório não atendeu a demanda (nr) e o número total de meses (n) que no caso  $n=12\text{meses}$  conforme McMahon, 1993.

$$Pr = nr/n$$

A confiança (Rr) representa a proporção do tempo em que o reservatório atende a demanda.

É o complemento da falha (Pr).

$$\text{Confiança} = Rr = (1 - Pr)$$

#### 11.5 Confiabilidade volumétrica (McMahon, 1993)

$$Rv = 100. Vs/ Vd$$

Sendo:

Vs= volume da água de chuva

Vd= volume da demanda

#### Exemplo 11.2-

Baseado na Tabela (11.1) calcular a confiança do sistema de coleta de águas de chuvas.

Olhando-se a Tabela (11.1) pode-se ver que durante 3 (três) meses o reservatório não atende a demanda e portanto teremos:

$$R_f = (1 - F_r) = (1 - 3/12) = 0,75 \text{ ou seja } 75\%$$

Portanto, a **confiança** do sistema de coleta de águas de chuvas é de **75%**.

#### Exemplo 11.4-

Calcular a eficiência do sistema da Tabela (11.1)

A chuva aproveitada é a chuva total de  $439\text{m}^3$  menos o volume de overflow que é de  $93\text{m}^3$  e menos o volume de suprimento de  $44\text{m}^3$ .

$$\text{Confiabilidade volumétrica} = 100 \cdot (439 - 93 - 44) / 439 = 69\%$$

Portanto, a confiabilidade volumétrica do sistema de captação de água de chuva é de 69%.

#### 11.6 Método do Máximo Aproveitamento (MMA)

O prof. dr Mierzwa da EPUSP em 1972 criou o Método do Máximo Aproveitamento com a sigla MMA.

O MMA pressupõe o aproveitamento de água pluvial para os dias em que o volume armazenado é maior ou igual à demanda exercida.

$$dV/dt = V_p \times C - D$$

$$\text{Para } dV/dt \text{ (diário)} \geq 0$$

Sendo:

$dV/dt$ = taxa de variação de volume no reservatório

$V_p$ = volume de precipitação considerando o descarte da primeira chuva

$C$ = coeficiente de escoamento superficial =0,8

$D$ = demanda de água exercida

A grande vantagem do MMA que constatamos na prática é em indústrias com alto consumo de água de chuva não potável em processo industrial, pois possibilita a construção de reservatórios bem menores, mas que funcionam somente quando chove. Quando não chove não há reserva suficiente para atender a demanda.

O MMA requer menor volume de reservatório, menor custo de construção e de espaço.

O professor dr. Rodrigo Moruzzi da Universidade Federal de São Carlos no ano 2008 elaborou um programa em Fortran para aprimoramento do cálculo do MMA e o comparou com o método da análise de simulação que chamaremos de MAS.