Geração estocástica de chuva e vazão para cálculo de volume de reservatório

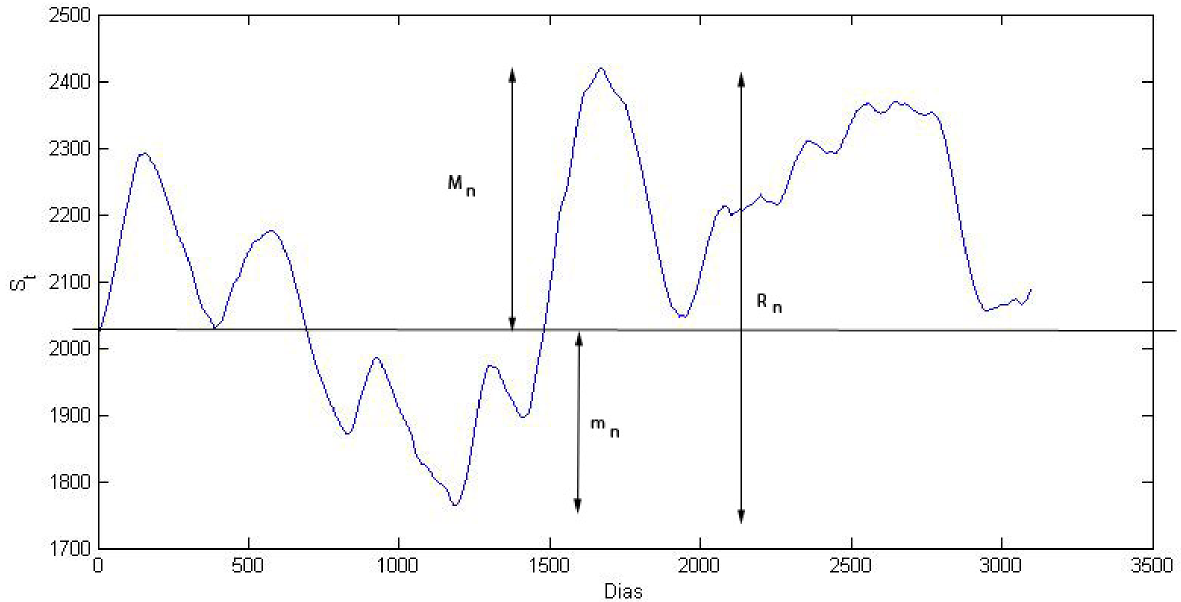
Maurício F. Gobbi, Helder Nocko, Ana Paula Soares, André Soares

28/04/2008

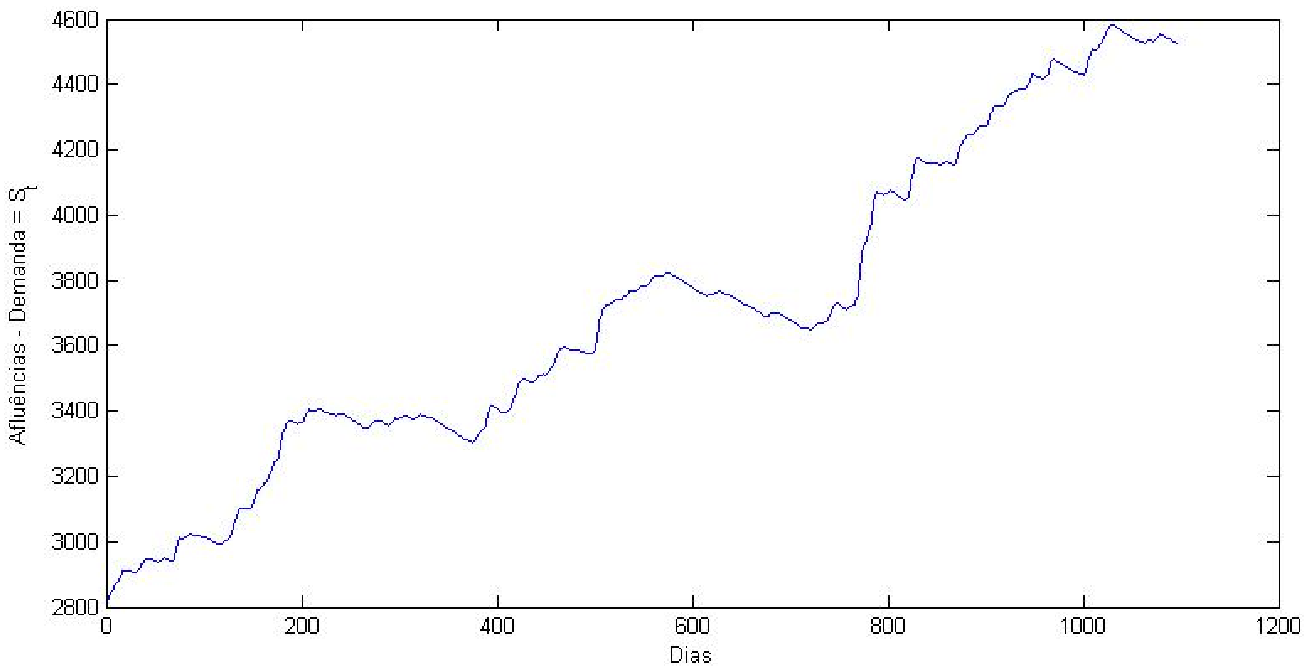
Seja X a variável aleatória vazão afluente menos a demanda regularizada do reservatório. S_t é definido como a soma parcial de X:

$$S_t = \sum_{i=1}^{t} X_i, \;\; t = 1...n$$

Vamos definir o máximo, mínimo, e a amplitude máxima de S_t no período $(1...n)$ como M_n, m_n, e R_n.


2500
2400
2300
2200
2100
2000
1900
1800
1700
S_t
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
Dias
M_n
m_n
R_n

Quando a nossa variável aleatória tem média diferente de zero (em média de longo prazo há mais água disponível que demanda), o gráfico anterior fica com um aspecto diferente



Para eliminar a tendência podemos subtrair a média amostral de S_t:

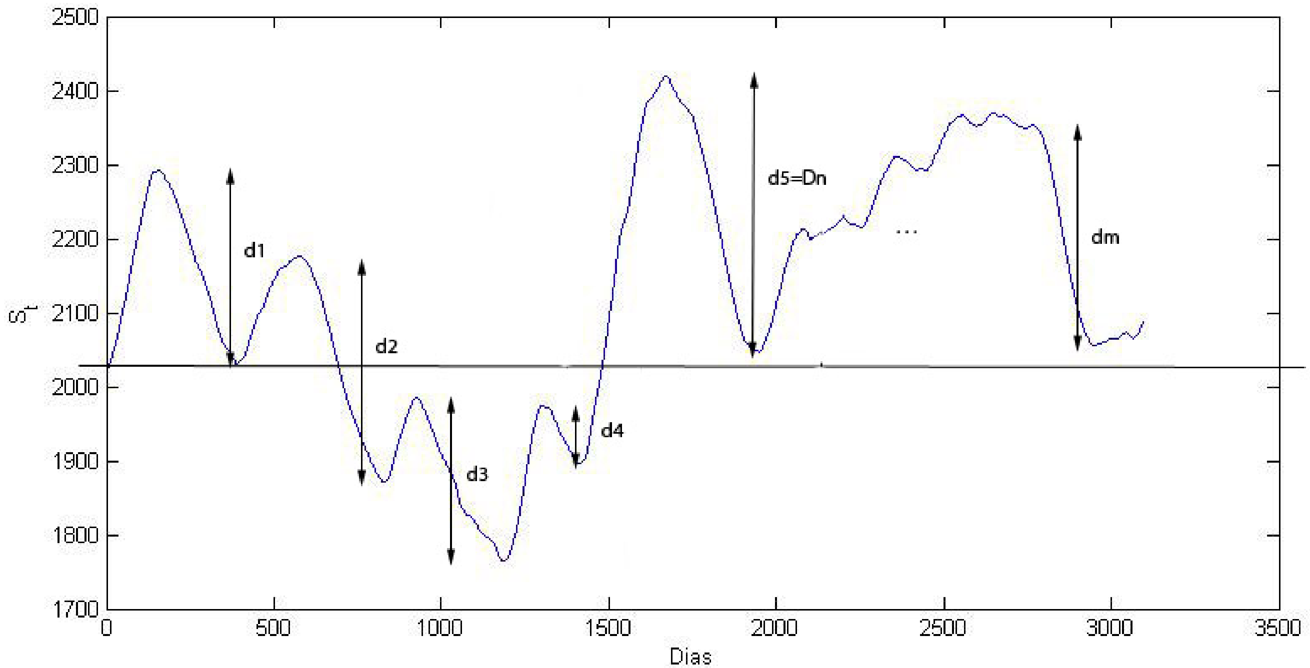
$$S_t^* = S_t - t/nS_n, \;\; M_n^* = \mathsf{max}(0, S_1^* ..., S_n^*),$$

$$m_n^* = \mathsf{min}(0, S_1^* ..., S_n^*),$$

$$R_n^* = M_n^* - m_n^*.$$

S_t no período (1...n) como M_n, m_n, e R_n.

Pode-se também trabalhar com uma nova variável, mais local: o déficit acumulado das somas parciais $D_n =$ max(d_r), onde d_r são apmplitudes de trechos puramente decrescentes, e está ilustrado na figura.


2500
2400
2300
2200
2100
2000
1900
1800
1700
S_t
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
Dias
d1
d2
d3
d4
d5=Dn
...
dm

Rippl (1883) – Criou o conceito de curva de massa para dimensionar reservatórios, mas ignorou o caráter estocástico de vazão.

Hazen (1914), Sudler (1927) – introduziram a geração artificial de vazão por simulação (literalmente usando sorteio com cartas de baralho).

Hurst (1951) – Estudou a natureza probabilística da amplitude S_t, e mostrou que se a vazão for tratada como uma variável aleatória aproximadamente normal, $E[R_n^*] \sim n^{1/2}$, porém, na prática, $E[R_n^*] \sim n^{0{,}729}$. Ainda hoje a explicação do "fenômeno de Hurst" é controversa.

A idéia do presente projeto é aplicar essas idéias para o reservatório do Rio Verde, que abastece a REPAR.

Não há como gerar série estocástica longa de vazão afluente ao reservatório a partir de estatística dados medidos, pois NÃO HÁ DADOS MEDIDOS. Na verdade, o reservatório foi construído nos anos 70 sem qualquer estudo hidrológico.

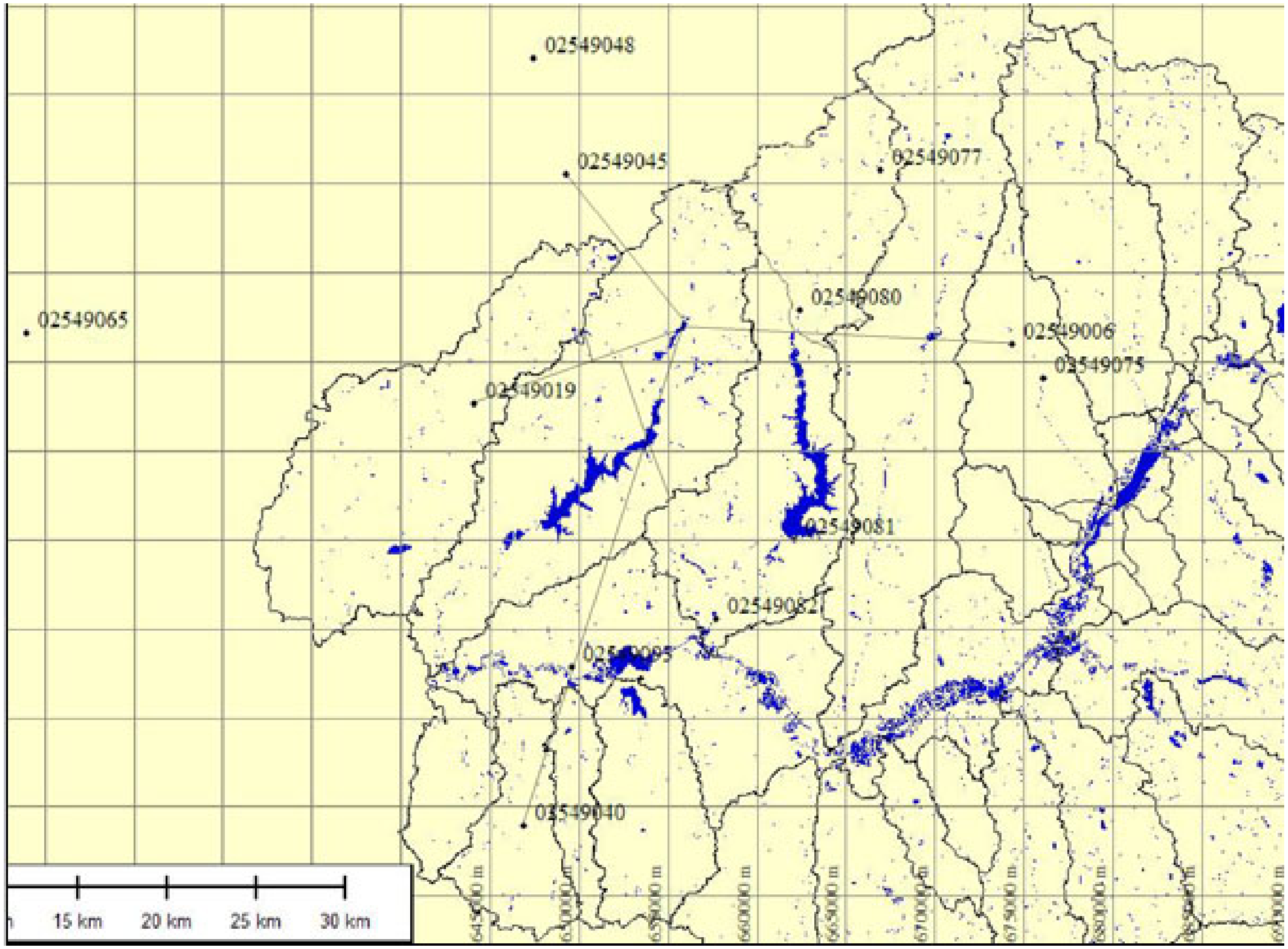
Solução: Usar precipitação medida para gerar 1000 anos de precipitação e alimentar um modelo que dê aproximadamente a vazão de médio-longo prazo correta.

Como?

Usar um modelo estocástico para chuva - cadeia de Markov com múltiplos estados aliada a diferentes distribuições probabilísticas em cada estado - e alimentar um modelo hidrológico determinístico (TOPMODEL) calibrado com dados de chuva/vazão para uma bacia vizinha (Rio Passaúna) com características fisiográficas semelhantes às do Rio Verde.

Estações pluviométricas

Em torno do Reservatório do Rio Verde há 4 estações pluviométricas de interesse (as restantes, ou têm poucos anos de dados para o nosso propósito, ou estão demasiadamente distante). Os códigos das estações são: 02549006 com 118 anos de dados, 02549019 (43 anos), 02549040 (33 anos), 02549045 (33 anos). Os dados são diários. A estação 02549006 fica bastante distante do reservatório, mas tem grande relevância por tem uma série muito longa.


02549048
02549045
02549077
02549080
02549065
02549006
02549075
02549019
02549081
02549082
02549040
15 km
20 km
25 km
30 km
660000 m
665000 m
670000 m
675000 m

TPM - transition probability matrix

Limiares de chuva para cada estado (limite superior):

estado	P (mm)
1	0
2	2,9
3	5,9
4	10,9
5	20,9
6	40,9
7	∞

Usando os dados de chuva, uma matriz M_{ij} 7×7 é construída na qual dado que em um dia a chuva estava no estado m, a probabilidade de que ela estará no estado n no dia seguinte será M_{mn}.

TPM - transition probability matrix

Dado que a chuva ontem estava no estado m, um número aleatório é sorteado de uma distribuição uniforme, e esse número é usado para sortearmos o estado da chuva de hoje usando a TPM. Um novo sorteio é feito para, dentro dos limiares, escolhermos o valor da chuva. A distribuição usada é sempre a linear para estados intermediários. Para o estado 1, a distribuição é concentrada na origem e para o estado 7, a distribuição usada é a Gamma deslocada (Pearson Tipo III).

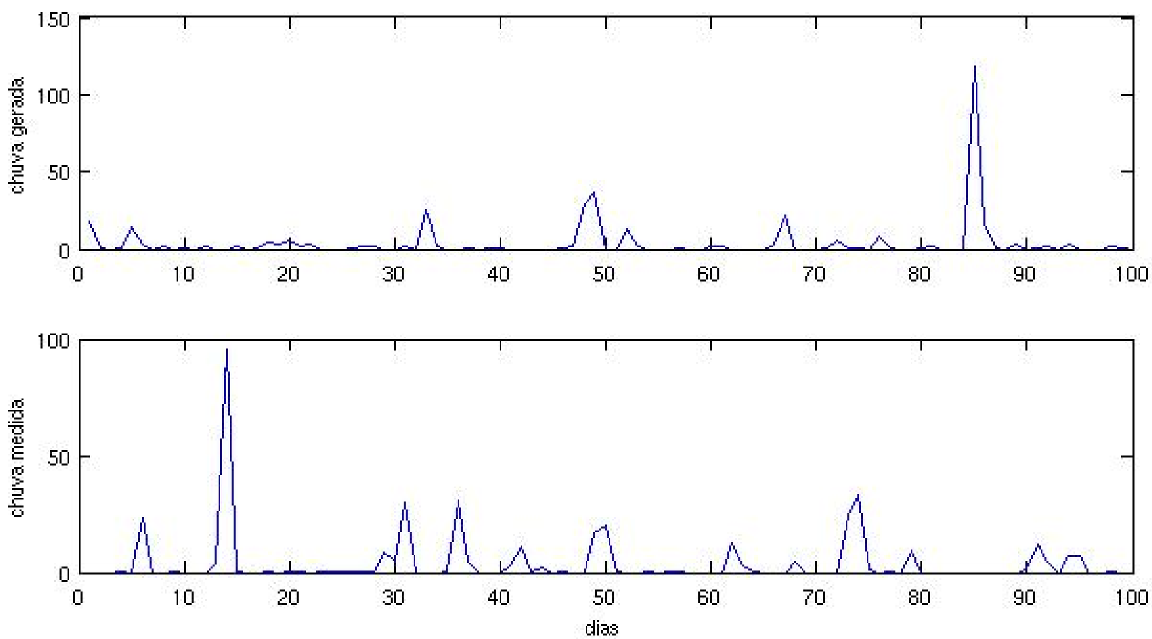
TPM - transition probability matrix

Após aplicação do método, é possível multiplicar cada chuva gerada no ano i por um fator de correção c_i

$$c_i = \frac{M + \frac{\sigma_{ger}}{\sigma_{obs}}(T_i - M)}{T_i},$$

T_i = chuva anual gerada, M média amostral da chuva anual.

Resultados - trecho de chuva gerada e observada



Clonclusão

Falta: gerar as vazões, dimensionar o reservatório para garantir vazão mínima com tempo de recorrência de 1000 anos.