

# **DIMENSIONAMENTO HIDROLÓGICO DE RESERVATÓRIOS SOB INCERTEZAS: Avaliação estocástica e reflexos financeiros.**

*Francisco Jácome Sarmiento<sup>1</sup>*

**RESUMO** --- No presente artigo são apresentadas três alternativas para o dimensionamento de reservatórios em bacias do semi-árido brasileiro com carência de dados hidrológicos. Os procedimentos baseiam-se no uso de modelo chuva-vazão no cálculo de série pseudo-históricas, no mapeamento de rendimentos hidrológicos e na geração estocástica de vazões. Conjuntamente aplicados, os procedimentos contornam as dificuldades relativas à insuficiência de dados e reduzem o risco de engano na definição da capacidade máxima de reservatórios nessas bacias. Um estudo de caso demonstra a viabilidade e consistência dos procedimentos comparando-os com o uso de fórmulas empíricas em termos de resultados e suas implicações econômicas, financeiras e ambientais sobre o projeto.

**ABSTRACT** --- In the present paper three alternatives for the sizing of reservoirs in basins of the semi-arid Brazilian with lack of hydrological data are presented. The procedures are based on the rain flow model in the calculation of pseudo-historical series, the mapping of runoff coefficient and the inflow stochastic generation. Jointly applied, the procedures skirt the relative difficulties to the insufficiency of data and reduce the risk of deceit in the definition of the maximum capacity of reservoirs in these basins. A case study it demonstrates to the viability and consistency of the procedures comparing them with the empirical formula use in economic, financial and ambient terms of results and its implications on the project.

**Palavras-chave:** fórmula de Aguiar, modelo chuva-vazão, séries estocásticas

---

<sup>1</sup> Professor da Universidade Federal da Paraíba, CT, CEP 58059-900, Campus I, João Pessoa, PB, (0 XX 61)-3411-2239. e-mail [sarmiento@planalto.gov.br](mailto:sarmiento@planalto.gov.br).

## 1 – BREVE HISTÓRICO

No contexto da convivência do homem com o semi-árido brasileiro a construção de reservatórios - os açudes – representou desde os primórdios da colonização a principal alternativa para transpor na dimensão do tempo as águas precipitadas com extrema variabilidade intra- e interanual na região. Ao longo praticamente do todo o século XX, o Dnocs – Departamento Nacional de Obras contra as Secas capitaneou essas ações de infra-estrutura hídrica, consolidando a denominada *fase hidráulica* das intervenções no semi-árido. Durante décadas, o dimensionamento hidrológico de reservatórios foi realizado com base em critério empírico pela instituição hoje quase secular. Trata-se do famoso 2VA, ou seja, o critério segundo o qual o volume máximo a ser adotado no projeto de uma barragem é igual a duas vezes o volume médio de água que anualmente chega pelo rio no local onde se pretende construí-la.

No período em que prevaleceu o procedimento, tinha-se como igualmente válido o cálculo de volumes médios anuais com base em fórmulas empíricas propostas pelo engenheiro Francisco Gonçalves Aguiar (1978, *reprint*). Profissional atuante no Dnocs nas primeiras décadas do século passado, Aguiar consubstanciou nos idos de 1934 curvas de rendimento ajustadas com dados coletados entre 1911 e 1930 principalmente para as bacias do Quixeramobim e do Jaguaribe, ambas no semi-árido cearense. O uso de fórmulas empíricas como única ferramenta para análise de açudes era a prática desde o século XIX, quando Rippl propôs o seu famoso diagrama de massas, elaborado a partir da série de vazões disponíveis (Rippl, 1883). Na época em que foram propostas, as fórmulas empíricas de Aguiar representavam uma alternativa prática no dimensionamento de açudes no nordeste brasileiro. O valor histórico dos procedimentos propostos por Aguiar é indiscutível, mas caiu em desuso a partir da década de 1960.

Na atualidade, reconhecesse que o “mundo” para o qual Aguiar propôs suas fórmulas já não existe mais. Mesmo nas bacias das quais ele utilizou os dados para o ajustamento das suas fórmulas empíricas, adensou-se a açudagem, diminuindo os seus respectivos rendimentos, assim como modificaram-se outras condições ambientais. Para a mesma precipitação, o volume escoado à calha do rio principal tornou-se menor. A inadequabilidade do “transporte” de fórmulas ajustadas em uma determinada região para outras bacias de características díspares encontra hoje restrições mesmo no Dnocs, difusor da prática na primeira metade do século XX. Na retrospectiva histórica disponível no sítio da instituição na internet ler-se: “De posse do acervo de dados coletados entre 1911 e 1930, o Engº Gonçalves Aguiar conseguiu realizar notável síntese hidrológica de cunho determinístico...que bem se adéqua às condições do semi-árido, estudos hoje, talvez, carentes de retoques, dado o nefasto desmatamento indiscriminado no “fácies” nordestino e de outras agressões ao meio.”

Os procedimentos de Aguiar, quando mencionados nas salas de aula dos cursos de graduação em engenharia dar-se muito mais como exemplo histórico de quão útil pode ser o empirismo do que como alternativa moderna aplicável na prática. Pelo exposto, é compreensível e nos meios acadêmicos, consensual, a sua inadequabilidade de uso atual. Surpreende quando, na aurora do século XXI, ressurja no bojo do dimensionamento hidrológico de barragens tal procedimento. Fato que, embora raro, resulta em problemas ambientais e desperdício de recursos públicos em algumas bacias nordestinas.

Nos meios acadêmico e consultivo de engenharia, já se vão mais de duas décadas de utilização em larga escala de modelos matemáticos do tipo chuva-vazão (*e.g.*, MODHAC – Modelo Hidrológico Auto-Calibrável, Lanna e Schwarzbach, 1988) nos estudos hidrológicos desenvolvidos para bacias do Nordeste. Tais modelos permitem sobrepujar a grande dificuldade existente na rede fluviométrica do semi-árido, em particular nas bacias do chamado semi-árido setentrional (estados do CE, PB, RN e PE), onde as séries de vazão são curtas e repletas de falhas. Calibrar e validar (quando possível) um modelo chuva-vazão para utilizá-lo na conversão das relativamente extensas séries de precipitação tem sido uma prática difundida desde muito nos cursos de graduação afetos à hidrologia, bem como aplicado por empresas de projeto no dimensionamento hidrológico de reservatórios construídos na região.

Com a possibilidade de obtenção de séries de vazão em diversas seções de controle de uma ou várias bacias hidrográficas de características hidrológicas semelhantes viabilizou-se também a aplicação de procedimentos de regionalização de variáveis características de deflúvios tais como médias, coeficientes de variação, rendimento, etc., o que permitiu análises consistentes sobre potenciais hídricos de pequenas bacias desprovidas de quaisquer informações fluviométricas.

Da mesma forma, o dimensionamento hidrológico considerando incertezas inerentes ao processo estocástico na formação da vazão ganhou fôlego prático no Nordeste a partir da difusão dos modelos chuva-vazão que proporcionaram o cálculo de séries pseudo-históricas suficientemente longas para utilização estatística. Desde a década de 1980 vários modelos têm sido propostos com o objetivo de geração estocásticas de séries de vazão em diversos níveis de discretização temporal.

## **2 – PROCEDIMENTOS EMPREGADOS**

A investigação a ser conduzida lança mão de um modelo estocástico de geração de vazão em duas etapas: vazões anuais e sua desagregação em valores mensais. Os detalhes do procedimento de geração podem ser encontrados em Sarmiento (1999). Os resultados obtidos com base no procedimento de Aguiar, no traçado de isolinhas de rendimentos bem como na simulação direta da operação do reservatório tomado como exemplo é analisada da perspectiva do modelo.

Consideremos um reservatório com volumes de armazenamento máximo e mínimo iguais a  $V_{\max}$  e  $V_{\min}$ , respectivamente. Se o reservatório armazena um determinado volume  $V_{i,j}$  no ano  $i$  e mês  $j$ , a simulação de operação para os meses futuros, considerando  $q_r$  a vazão retirada, irá ocorrer segundo a seguinte regra:

$$q_r = \begin{cases} Q \Leftrightarrow V_{j+1} \geq V_{\min} \\ 0 \Leftrightarrow \left[ V_j + Y_j - E_j \left( \frac{A_1 + A_2}{2} \right) \right] < V_{\min} \\ Q_v = \left[ V_j + Y_j - E_j \left( \frac{A_1 + A_2}{2} \right) \right] - V_{\min} \Leftrightarrow V_{j+1} < V_{\min} \end{cases} \quad (1)$$

$V_{i+1} \leq V_{\max}$   
 $i = 1, 2, \dots, n$   
 $j = 1, 2, 3, \dots, 12$

onde

$V$  : volume de água armazenada ( $m^3$ )

$Q_v$  : vazão de falha ( $m^3/s$ )

$Q$  : valor de vazão assumido por  $q_r$  ( $m^3/s$ ) em função das condições de armazenamento

$E_j$  : evaporação no mês  $j$  (m)

$A_1$  e  $A_2$  : áreas do espelho d'água do reservatório no início e no fim de mês ( $m^2$ )

Os estudos de mapeamento de isolinhas de rendimento hidrológico na região da bacia do Paraíba foram desenvolvidos com base no MODHAC e podem ser resumidos nas seguintes etapas (MI/Funcate, 2000a e 2000b):

- Coleta de todos os postos fluviométricos disponíveis para a bacia do rio Paraíba, bem como bacias adjacentes;
- Análise de consistência das séries fluviométricas disponíveis da perspectiva das curvas-chave, continuidade de vazões e rendimentos;
- Definição das séries de melhor qualidade;
- Calibração de modelo chuva-vazão (MODHAC) às séries consideradas de qualidade;
- Análise final, identificando o posto fluviométrico de maior adequação tanto da perspectiva quantitativa (ajustamentos) como da perspectiva qualitativa (comparação com bacias melhor monitoradas);
- Quando possível, validação do modelo calibrado para um trecho de série não utilizado no procedimento de calibração;
- Geração da série pseudo-histórica de deflúvios para o reservatório;

- Cálculo e mapeamento do coeficiente de rendimento hidrológico (relação entre o deflúvio e a precipitação média anual)

### 3 - ESTUDO DE CASO: BARRAGEM JOSÉ RODRIGUES

A barragem José Rodrigues está localizada no município de Campina Grande – PB na bacia do Médio Paraíba. Construída para armazenar um volume máximo de 22,3 milhões de m<sup>3</sup> a obra enfrentou seu primeiro enchimento durante o intenso inverno de 2004 (chuvas concentradas no semestre de janeiro a junho). Campina Grande polariza uma região altamente problemática em termos de suprimento hídrico. A própria sede municipal, com seus mais de 340 mil habitantes está submetida a freqüentes crises de abastecimento de água, inclusive com risco concreto de colapso absoluto. A situação de desabastecimento tem colocado a cidade como exemplo preferencial da necessidade de interligação do semi-árido setentrional com o rio São Francisco.

O posto pluviométrico utilizado como referência no dimensionamento hidrológico da barragem foi o de Fagundes (3848741), cuja precipitação média anual é de 981,3 mm. O rendimento médio obtido pelas fórmulas de Aguiar totaliza 14,33%, considerando uma área de drenagem de 63 km<sup>2</sup> (ATECEL, 1999). O volume afluyente médio à barragem resulta em 11,1 milhões de m<sup>3</sup>, logo, pelo critério mencionado  $2VA = 2 \times 11,1 = \mathbf{22,2 \text{ milhões de m}^3}$ , volume adotado como a capacidade máxima da obra concluída em 2000.

A figura 1 destaca a zona de inserção da bacia hidrográfica do açude José Rodrigues. O mapeamento completo abrange praticamente todas as bacias dos estados da PB, CE, RN e PE. Todas as informações pluviométricas e fluviométricas disponíveis nos quatro estados foram processadas segundo a metodologia referida. O rendimento máximo representativo da bacia chega, no máximo, a 6%. Considerando a média pluviométrica do posto de Fagundes (981,3mm) e a área da bacia de drenagem da barragem (63 km<sup>2</sup>), o volume médio afluyente de dimensionamento é de 3,709 milhões m<sup>3</sup>/ano, e a capacidade máxima, sob o mesmo critério,  $2VA = 2 \times 3,709 = \mathbf{7,4 \text{ milhões de m}^3}$ .

Para aplicação do MODHAC foi possível o estabelecimento de uma série média de precipitações com extensão de 30 anos (1962 a 1991) também com base no posto pluviométrico de Fagundes. A transformação desta série em deflúvios através dos parâmetros calibrados e validados disponíveis (MI/Funcate, 2000a e 2000b) permitiu a solução da equação 1 para diversas capacidades máximas do reservatório,  $V_{\min} = 704.869 \text{ m}^3$  e valores de precipitação (P) e evaporação (E) dados no quadro 1 (ATECEL, 1999). Para uma garantia de 90%, a triplicação o volume máximo da barragem (de 7,4 para 22,3 milhões de m<sup>3</sup>) acresceu apenas 22% na vazão regularizada. Para a mesma garantia, dobrar o volume máximo (de 7,4 para 15 milhões m<sup>3</sup>) resulta em apenas 15% adicionais à vazão regularizada. A figura 2 mostra que as curvas de regularização para os dois

volumes hipotéticos e o volume da barragem conforme construída (22,3 milhões de m<sup>3</sup>) praticamente não diferem, ou seja, da perspectiva hidrológica, não houve vantagem justificativa da duplicação do volume recomendável para a barragem, menos ainda da triplicação.

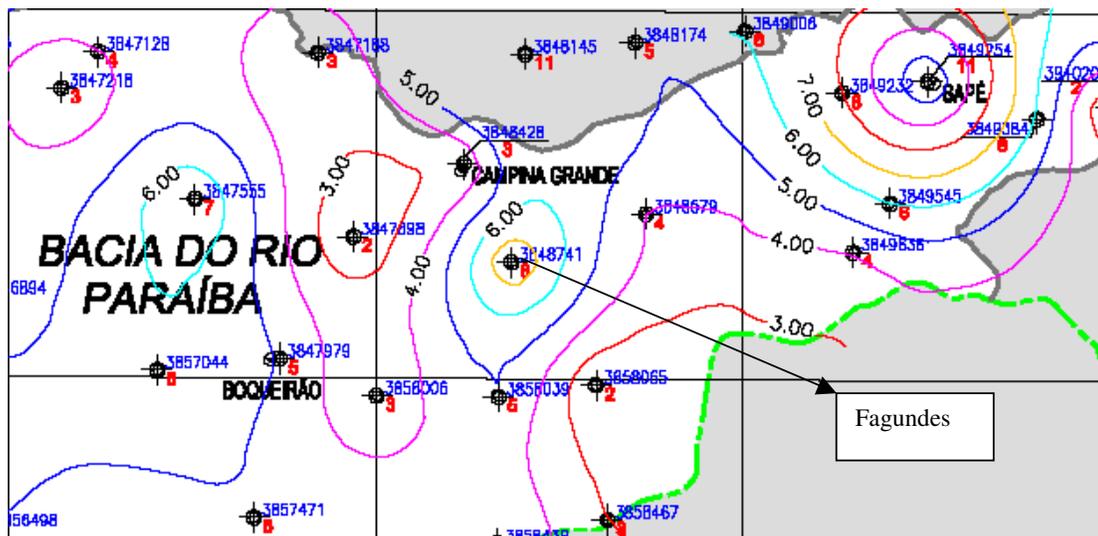


Figura 1 – Zoneamento do rendimento na região de Campina Grande

Quadro 1 – Precipitação e evaporação no lago de José Rodrigues utilizados na simulação.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Pmm	36,0	57,2	123,4	137,4	128,2	150,5	154,7	86,2	46,6	17,8	15,0	31,0
Emm	209	169	213	178	191	142	119	155	181	309	232	248

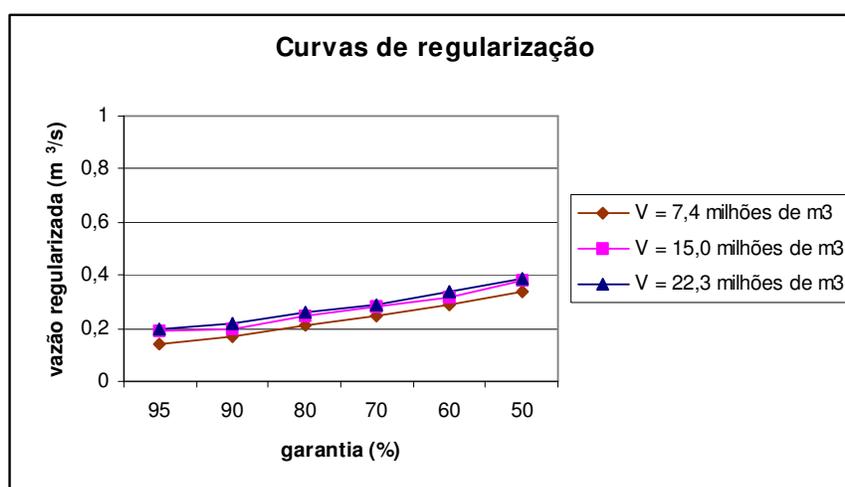


Figura 2 – Curvas de regularização para diferentes capacidades do açude José Rodrigues

A avaliação estocástica do dimensionamento do reservatório consistiu na geração de 1000 séries sintéticas com características estatísticas idênticas às da série pseudo-histórica. Cada uma das séries foi utilizada na solução da equação 1 resultando assim em uma amostra de parâmetros de interesse na análise em foco. O principal parâmetro analisado foi a frequência de vertimento.

Considerando a capacidade de 22,3 milhões de m<sup>3</sup>, a simulação com a série pseudo-histórica já fornece um valor que chama atenção: a frequência de vertimento é de 1,1%. Uma avaliação do período de retorno do evento vertimento com base nas séries sintéticas estima-o em aproximadamente 100 anos. Uma análise incremental do volume máximo de armazenamento indica que os ganhos em termos de vazão regularizada para valores superiores a 8 milhões de m<sup>3</sup> não são atrativos.

### 3.1 - Aferições práticas dos resultados encontrados

Com vistas a melhor aferir a consistência dos resultados encontrados foi escolhido o ano de 2004 como referência de análise. Assim como ocorreu em todo o Nordeste, sob a influência de um vórtice ciclônico de elevadas altitudes, os índices pluviométricos médios, principalmente em janeiro, em todas as regiões da Paraíba foram multiplicados por 2, 3, 4, 5 e até 6 (figura 3).

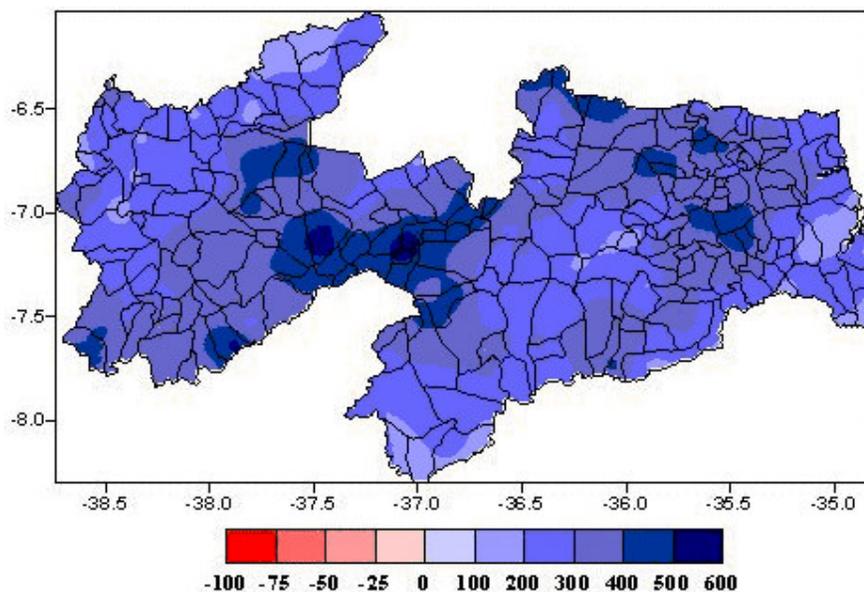


Figura 3 – Desvio da precipitação acumulada (mm) em janeiro/2004 em relação a sua média mensal  
fonte: Semarh/LMRS-PB

A barragem de Acauã, localizada na mesma bacia hidrográfica do açude José Rodrigues, com um volume máximo de armazenamento de 253 milhões de m<sup>3</sup>, encheu em apenas 16 dias (janeiro/fevereiro de 2004), chegando a apresentar lâmina de vertimento de mais de 2 metros. O vertimento estendeu-se por várias semanas e repetiu-se nos meses de junho e julho. Em dezembro de 2003, a barragem José Rodrigues acumulava 5,3% de sua capacidade – percentual superior ao que acumulava da barragem de Acauã, no mesmo mês. A evolução do enchimento da barragem comparativamente à Acauã é mostrada na figura 4.

No período de dezembro de 2003 a julho de 2004, Acauã verteu diversas vezes enquanto que José Rodrigues evoluiu em armazenamento apenas de dezembro/2003 a fevereiro/2003. Com base nos dados oficiais fornecidos pelo LMRS-PB (sítio do Governo do Estado na internet) pode-se obter

o rendimento da bacia de José Rodrigues. Para diversos meses, durante o período de pico de cheia, obtêm-se sempre praticamente o mesmo valor:

- Rendimento de janeiro a maio de 2004 = 10,9%
- Rendimento de janeiro a junho de 2004 = 9,5%
- Rendimento de janeiro a julho de 2004 = 10,1%
- **Rendimento médio = 10,2%**

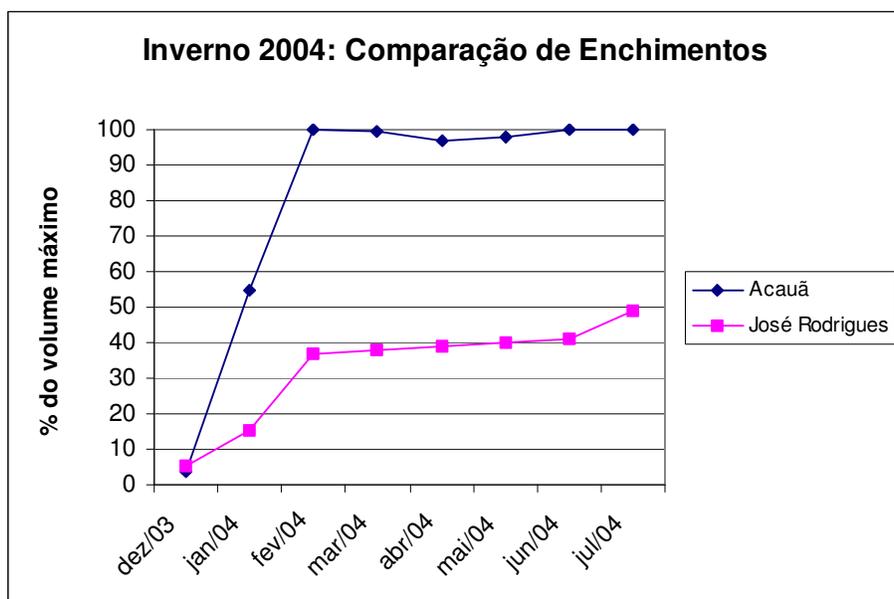


Figura 4 – Evolução do enchimento das barragens de Acauã e José Rodrigues em 2004

Importante ressaltar que os rendimentos acima se referem com certeza a um valor bem acima do rendimento médio (estimado em 6% pelas isolinhas mapeadas), dado que foi calculado para um ano úmido.

Apesar do diluvioso inverno de 2004, a barragem José Rodrigues sequer atingiu 50% do armazenamento máximo – acumulava  $10.939.312 \text{ m}^3$  (48,98%) no final de julho de 2004. Este comportamento hidrológico intrigante fugiu completamente à regra seguida pelos demais açudes do Nordeste. A atipicidade foi enfatizada com as seguintes constatações adicionais:

- Segundo dados do LMRS – Laboratório de Meteorologia, Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto da Paraíba, entre os meses de janeiro a julho de 2004 o posto pluviométrico de Fagundes (utilizado no dimensionamento hidrológico da barragem) totalizava 1.270,7mm (em apenas sete meses), ou seja, 30% acima da média histórica dos totais anuais (12 meses);
- Os 1.270,7mm precipitados em apenas sete meses, alcançam 88% da precipitação ocorrida nos 12 meses do ano incrivelmente úmido de 1985 (1.446,3mm) – tido como a maior cheia da história da região, desde que os registros começaram a ser colhidos sistematicamente;
- Não havendo sido a ocorrência de uma “ilha de seca” exatamente sobre a bacia hidrográfica de José Rodrigues, a causa do não enchimento da barragem - visto que também lá abundaram

chuvas - faz-se a situação ainda mais anômala quando comparada a dos demais principais reservatórios da bacia do Médio Paraíba e também do Alto Paraíba, esta última ainda mais seca e sem a influência benéfica da altitude na ocorrência de chuvas como é o caso de José Rodrigues. O Alto Paraíba engloba a região de Cabaceiras, que registra os menores índices pluviométricos do Brasil. Na comparação gráfica fica clara a anomalia até mesmo em relação ao açude Sumé (Sumé - PB), em cuja bacia a construção indiscriminada de açudes de pequeno e médio porte à montante prejudicou sobremaneira o seu enchimento.

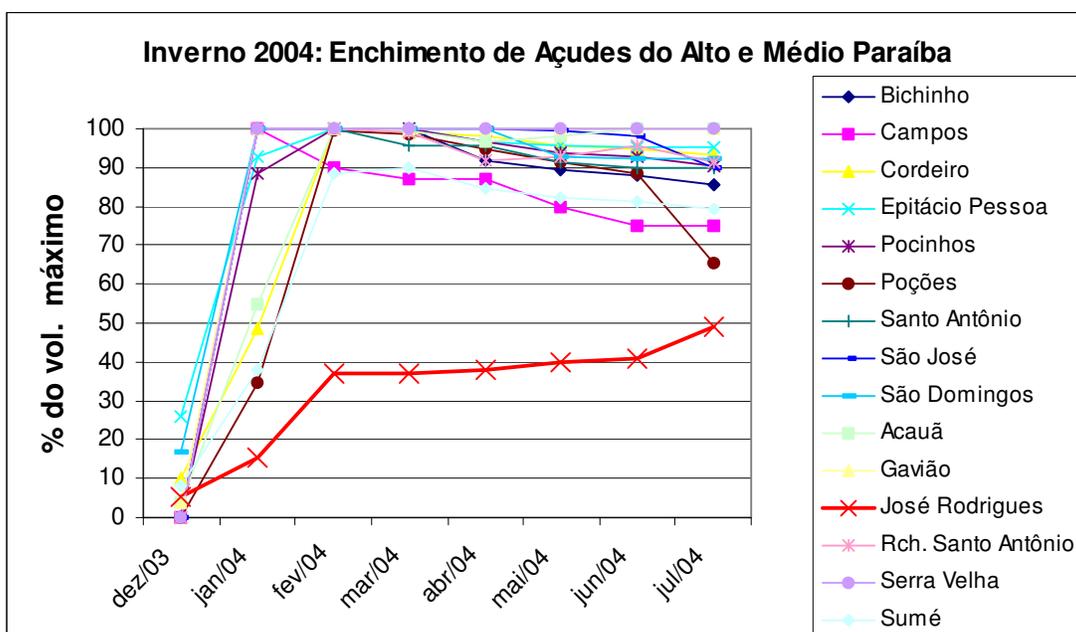


Figura 5 – Evolução do enchimento dos açudes do Alto e Médio Paraíba em 2004

Nos anos de 2005 e 2006, o comportamento de boa parte das barragens referidas na figura 5 se repetiu, inclusive na barragem de Acauã. Entretanto, a performance de enchimento em José Rodrigues não se alterou, persistindo em valores em torno dos 50% do volume máximo. A raridade dos eventos invernosos de 2004, conforme demonstraram os dados, superou o ano de 1985, este, evento único em 75 anos de séries históricas disponíveis. Ainda assim o período chuvoso de 2004 não foi suficiente para que sequer a metade da capacidade do reservatório fosse atingida, uma realidade recorrente nos anos subsequentes, considerados de pluviometria acima da média regional.

### 3.2 - Implicações econômicas e financeiras

Adotando-se o volume máximo de 7,4 milhões de m<sup>3</sup> conforme indicativo das três metodologias alternativas empregadas, há evidentemente que se ajustar o projeto da barragem José Rodrigues para essa nova condição. Em primeiro lugar, a cota do coroamento da barragem diminui de 319,0m para 309,0m. A do sangradouro de 316,3m (22,3 milhões de m<sup>3</sup>) para 307,0m (7,4 milhões de m<sup>3</sup>). A barragem passa então a ter 10 metros de altura a menos.

O custo total da obra, segundo orçamento apresentado ao Ministério da Integração Nacional em 1999 foi de R\$ 3.095.213,67 (ATECEL, 1999), ou seja, cerca de oito milhões de reais em valores atuais. O projeto construído apresenta duas bermas no talude de jusante da barragem (uma na cota 312,0 e outra na cota 299,0). Adotando-se as mesmas inclinações de taludes e refazendo-se o projeto para uma altura de 20,0m, desaparecem as bermas.

Reduzir-se-iam aproximadamente 45% da seção máxima da barragem, afora bermas e eventuais diminuições no *cut-off* da fundação. Se se calcular a redução só no item do orçamento “Maciço (Corpo da Barragem)”, economizar-se-iam pelo menos cerca de 3,2 milhões de reais em valores atuais, ou seja, 40% do valor da obra, isso sem incluir os custos de ações complementares, como a indenização das terras e benfeitorias 10 metros acima do recomendável.

Imponderáveis em primeira análise são os custos de natureza ambiental. A bacia tem taxas de evaporação de 2.346 mm/ano, o que certamente acelerará a concentração de sais nas águas não renovadas. A permanência alongada dos volumes represados também não será positiva quando do aporte de efluentes contendo substâncias contributivas para eutrofização do lago (nitrogênio, fósforo, potássio), fato esperado posto não haver controle sobre práticas agrícolas na bacia nem tratamento de afluentes domésticos em nenhuma concentração urbana da área drenada.

#### **4 - CONCLUSÕES**

A análise incremental sugerida é ferramenta adequada para o dimensionamento hidrológico de reservatórios, sobretudo em se tratando do semi-árido onde os coeficientes de variação das vazões são muito elevados. O benefício econômico gerado em cada incremento de vazão regularizada deve ser considerado frente ao incremento de custos na obra, sob observância da compatibilidade entre o regime fluvial e o porte da barragem.

Em regiões com carências de informações hidrológicas, sobretudo pequenas bacias do semi-árido, há várias maneiras de se contornar essa deficiência sem que seja preciso lançar mão de metodologias invalidadas tanto pelo desaparecimento das condições físicas que lhe serviam de base como pelo próprio aprimoramento de procedimentos práticos desenvolvidos nas últimas décadas com consagrada aplicabilidade na região semi-árida.

Ressalte-se a importância que têm estudos hidrológicos desta natureza e suas implicações sobre a sociedade que arca com custos econômicos, financeiros e ambientais. O uso de empirismo ilídimo, desvirtuado pelas dessemelhanças hidrológicas locais implica em ônus evitável, em particular diante das inúmeras alternativas metodológicas disponíveis na literatura. Genericamente, a substituição de práticas de valor “apenas” histórico por modernos procedimentos representativos dos processos naturais de interesse, além de evitar ônus indesejáveis, invalida potenciais casos de má fé, disfarçados sob o manto da “tradição” do método empregado.

O desenvolvimento e a implementação dos mecanismos previstos na Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei Federal 9.433/97), sobretudo no que concerne às agências reguladoras e executivas (nacional e estaduais) é imprescindível para prover um controle adequado aos aproveitamentos hídricos em território nacional. A exigência de certificados de sustentabilidade hídrica dos empreendimentos quando estendida para bacias estaduais tende a eliminar casos raros como o aqui exemplificado.

## BIBLIOGRAFIA

AGUIAR, F. G. (1978, reprint). *Estudo Hidrométrico do Nordeste Brasileiro*. Boletim Técnico. Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – Dnocs, V. 36, N. 2.

ATECEL (1999). *Estudo Hidrológico da Barragem José Rodrigues*, ATECEL – Associação Técnico Científica Ernesto Luiz de Oliveira Junior, contido no Processo 03900.006535/99-90, Protocolado no Ministério da Integração Nacional em 01/12/99, através de Ofício nº 361/99 da Prefeitura Municipal de Campina Grande.

LANNA, A.E.; SCHWARZBACH, M., 1988: *MODHAC - Modelo Hidrológico Auto-Calibrável*. Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS.

MI/FUNCATE (2000a). *Operação Integrada dos Açudes*, Inserção Regional do Projeto de Transposição de Águas do São Francisco, PTSF.

MI/FUNCATE (2000b). *Estudo Hidrológico Regional*, Inserção Regional do Projeto de Transposição de Águas do São Francisco, PTSF.

RIPPL, W. (1883). “*Capacity of Storage Reservoirs for Water Supply, Proceedings of the Institution of Civil Engineers*”, v.71.

SARMENTO, F.J. (1999). “*Adequabilidade de Modelos Estocásticos de Vazão na Simulação de Reservatórios em Regiões Semi-áridas*”. XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Belo Horizonte – MG.