

6

Conclusões e considerações finais

A utilização do PAR (p) para modelar de séries de vazões hidrológicas e de energias naturais afluentes vem sendo aplicada no planejamento da operação energética no Brasil há muitos anos e recentemente alguns aspectos da modelagem têm sido alvo de estudos e diversas pesquisas vêm sendo realizados em alguns dos centros de referência do país.

Ao longo deste estudo, duas alternativas de melhorias no modelo PAR (p) foram propostas: utilização da técnica de *Bootstrap* na fase de identificação da ordem dos modelos autorregressivos periódicos e durante a geração de cenários sintéticos de afluências para *input* na fase de Programação Dinâmica Dual Estocástica.

O emprego do *Bootstrap* para estimar os coeficientes das funções de autocorrelação e autocorrelação parcial levou à identificação de ordens inferiores na maioria (92% dos casos) dos períodos de todos os subsistemas, tornando os modelos substancialmente mais parcimoniosos, um dos principais fundamentos da metodologia proposta por Box & Jenkins (1976), baseados na Teoria Geral de Sistemas Lineares.

Ainda, a utilização do Critério 2 para seleção das ordens mostrou-se realmente mais adequada, confirmando o julgamento de STEDINGER (2001), numa análise em que o autor critica a forma clássica de identificação e afirma que a solução para o desafio enfrentado na modelagem seria a adoção de uma visão mais ampla do modelo de decisões que deve ser guiado pela razoabilidade hidrológica dos modelos selecionados com o reconhecimento da intrínseca ligação entre os modelos escolhidos para diferentes períodos. Em geral, as ordens identificadas pelo Critério 2 da identificação clássica e via *Bootstrap* foram idênticas, salvo as poucas exceções que, no caso extremo, diferiu em duas unidades (mês de junho no subsistema Nordeste).

Isto posto, o *Bootstrap* apresentou-se eficiente na identificação das ordens dos modelos de cada período, aproximando-se do Critério 2 do método clássico, já

proposto por STEDINGER (2001) como, provavelmente, a maneira mais adequada. Desta forma, recomenda-se como alternativa mais acertada a utilização da técnica de computação intensiva na fase crítica de identificação das ordens p ou, inicialmente, a utilização do Critério 2 em substituição ao Critério 1, implantado atualmente.

Com relação à geração dos cenários sintéticos de afluências, foram apresentadas duas alternativas: via ajuste de uma distribuição Lognormal aos resíduos históricos e via simulações utilizando *Bootstrap*. A segunda proposta surge em função de possíveis problemas enfrentados durante a PDDE, dada a não-linearidade assumida pelo PAR (p). Contudo, essa não garante a geração de ENAs não-negativas e a solução empregada no algoritmo foi, dada a obtenção de um cenário negativo na matriz de cenários, substituí-lo (por meio de novos sorteios *Bootstrap* dos resíduos históricos) até que se obtenham séries com valores positivos. Assim, são gerados tantos cenários quantos forem necessários para que o número mínimo estabelecido para a fase de otimização na PDDE seja alcançado, respeitando a correspondência entre os subsistemas. Desta maneira, foi possível gerar cenários com elementos não-negativos para todos os subsistemas, cenários estes que conservaram as propriedades estatísticas da série original.

Para avaliação dos cenários foram empregados testes estatísticos de igualdade de médias, variâncias e de distribuições para cada mês dos anos dos cenários e para a média deles, além dos testes das análises de sequência negativas e correlação cruzada. Ao nível de significância de 5%, a hipótese nula não pode ser rejeitada em nenhum dos testes realizados nas médias e apenas em alguns poucos casos nas análises detalhadas dos períodos. As análises de sequências mostraram que os cenários gerados por ambas as propostas são capazes de reproduzir bem os períodos críticos ocorridos no histórico, assim como as correlações cruzadas seguiram o mesmo comportamento em ambas as alternativas de geração.

Finalmente, considerando que o problema da não-linearidade assumida pelo PAR (p) na geração clássica deixa de existir quando se faz uso do *Bootstrap* na construção dos cenários, que os modelos autorregressivos utilizados são consideravelmente mais parcimoniosos e os testes estatísticos realizados mostraram que os cenários gerados por meio desta modelagem são capazes de reproduzir os primeiros momentos (média e variância), correlação cruzada,

distribuição e períodos críticos da série histórica original de ENAs, é possível concluir que o modelo proposto é adequado, considerando os pontos analisados ao longo desta pesquisa.

Para trabalhos futuros recomenda-se a aplicação das técnicas de otimização das funções de custo futuro e definição das árvores de cenários de afluições com base nas séries sintéticas geradas a partir das simulações sugeridas neste trabalho, incorporando o *Bootstrap* na PDDE, e a extensão a estrutura PAR (p) para modelos mais robustos do tipo PARMA (p,q), aprimorando o procedimento de estimação paramétrica utilizado, na tentativa de melhorar o desempenho da geração de cenários. Por fim, sugere-se o desenvolvimento de formulações alternativas, como os modelos ARFIMA e a análise das séries no domínio da frequência, na tentativa de incluir efeitos de longo prazo (*El Niño*, *La Niña*, Manchas Solares) nos modelos individuais de cada mês, além da possível inclusão de variáveis exógenas nos modelos.