

1 Introdução

O gerenciamento integrado dos recursos hídricos tem sido amplamente discutido em todas as esferas políticas, sociais e econômicas. No que tange à geração de energia, o Brasil possui cerca de 90% de seu potencial composto por usinas hidrelétricas, o que justifica os altos níveis de investimentos e pesquisas a fim de garantir e melhorar todo o sistema de produção energética.

Sabe-se que uma das principais características dos sistemas de geração com predominância hidráulica é a forte dependência dos regimes hidrológicos. Assim, percebe-se a importância dos modelos de geração de cenários de vazões com vista na otimização do desempenho das operações do sistema, com consequente aumento de benefícios e confiabilidade e, sobretudo, redução de custos.

Dadas as incertezas associadas aos fenômenos naturais e ainda sob a influência de fenômenos influentes de longo prazo, como o *El Niño*, *La Niña* e as Manchas Solares, a atividade de planejamento e operação energética do sistema hidrelétrico brasileiro torna-se um problema complexo, estocástico e de solução não trivial. Faz-se necessário, portanto, dividir e equacionar a modelagem do problema em etapas, horizontes e níveis diversos de detalhamento temporal e matemático.

Assim, a fim de garantir a operação energética no país, diversas abordagens têm sido empregadas com vista na simulação de cenários, principalmente para médio e longo prazo. Em geral, são utilizados modelos determinísticos, ou hidrológicos de chuva-vazão, (consideram características geográficas da região de interesse), estocásticos (BARTOLINI, 1988) – extração de informações com base em modelagem matemática e estatística dos dados disponíveis ao longo do tempo – e, por fim, os modelos baseados em inteligência artificial, sobretudo pela utilização de Redes Neurais e Lógica Nebulosa.

O foco deste trabalho são os modelos probabilísticos baseados na metodologia proposta por Box & Jenkins (1976), baseados na Teoria Geral de Sistemas Lineares e fundamentada em duas ideias básicas: o princípio da

parcimônia – escolha de um modelo com o menor número de parâmetros possíveis - e a construção dos modelos por meio de um ciclo iterativo, isto é, abrangendo várias etapas, desde identificação da estrutura da modelagem, passando pela estimação dos parâmetros até os vários testes de validação dos modelos. Mais especificamente, algumas séries com intervalo de tempo menor que o ano – séries mensais, por exemplo – têm como característica o comportamento periódico das suas propriedades probabilísticas, como, por exemplo, média, variância e a estrutura de autocorrelação. Isto posto, a modelagem deste tipo de séries pode ser feita por meio de formulações autorregressivas cujos parâmetros apresentam um comportamento periódico em função das secas e chuvas. Costuma-se denominar esta classe por modelos autorregressivos periódicos, PAR (p), utilizados na geração de séries sintéticas no planejamento da operação do sistema elétrico nacional.

Neste contexto, o modelo utilizado no planejamento da operação de médio prazo do sistema elétrico brasileiro é o modelo Newave, em que o planejamento é representado por um problema de programação linear estocástica multiestágio, cujo objetivo é a minimização do custo total de operação (custo de combustível das unidades térmicas mais a penalidade de atendimento à demanda) ao longo do horizonte de planejamento. O modelo Newave é baseado na técnica de PDDE (Programação Dinâmica Dual Estocástica) e, dada uma representação agregada do parque hidrelétrico, é possível considerar vários subsistemas interligados. Ele também permite a representação estática ou dinâmica da configuração do sistema, discretização da carga própria em até três patamares (por exemplo, pesada, média e leve), representação dos cortes no suprimento do mercado de energia elétrica em até quatro patamares de déficit, além da consideração de diversos cenários de energias afluentes, obtidos por meio de modelos autorregressivos periódicos.

A utilização do PAR (p) para modelar de séries de vazões hidrológicas e de energias naturais afluentes (ENAs) 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.

O objetivo deste trabalho é propor duas alternativas de melhorias metodológicas no modelo PAR (p): utilização da técnica de computação intensiva *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 otimização das funções de custo futuro.

Esta Dissertação está organizada da seguinte maneira: no Capítulo 2 tem-se uma revisão bibliográfica do modelo PAR (p) com os detalhes matemáticos pertinentes ao entendimento do leitor quanto à modelagem do problema, sobretudo acerca das fases de identificação das ordens dos polinômios autorregressivos e da fase final de geração de cenários sintéticos. No Capítulo 3, a técnica de *Bootstrap* é descrita e as motivações para aplicação do método no contexto do problema são apresentadas. O Capítulo 4 apresenta o modelo proposto, com as justificativas de aplicação e as várias formas de comparação e avaliação do mesmo. O Capítulo 5 detalha, compara e avalia os resultados obtidos por meio de uma série de testes estatísticos acompanhados de uma apresentação visual gráfica que facilita a interpretação das análises. Finalmente, no Capítulo 6 são expostas as conclusões e considerações finais do trabalho e as sugestões de possíveis novas investigações e aprofundamentos acerca do tema.