

## 7 Conclusão

### 7.1.1. Considerações Finais

Uma metodologia foi proposta para a previsão do preço spot da energia elétrica em sistemas hidrotérmicos com base hidráulica, como o brasileiro, baseada em sistemas neuro-fuzzy e programas do planejamento da operação. Construiu-se uma função “preço spot” para horizontes de previsão de até seis meses através da simulação do cálculo feito pelo Newave, considerando variáveis como energia natural afluyente, energia armazenada e custo marginal de operação, sendo fixas as demais condições. As distribuições estimadas do preço spot obtidas nos casos estudados são mais informativas e com menor dispersão do que àquelas disponíveis via Newave.

Uma importante característica do modelo de previsão proposto é sua rapidez. O sistema leva menos de 1 minuto para estimar o preço em  $T$  para  $T+k$  ( $k=1, \dots, 6$ ), viabilizando análises de sensibilidade, de cenários ou simulações dos níveis de armazenamentos e afluências. Além disso, é possível expressar a relação (estrutura) existente entre as principais variáveis que afetam o preço, devido às características intrínsecas de um modelo neuro-fuzzy (regras fuzzy).

No capítulo introdutório, foram apresentadas as principais motivações para a previsão do preço spot – levando-se em conta o novo paradigma do setor elétrico –, uma discussão sobre a literatura nacional e internacional sobre o tema, os objetivos principais da tese, as principais hipóteses e as condições sob as quais os resultados são válidos.

As principais motivações que levaram a maioria dos países do mundo a adotar a visão mercadológica no setor de energia elétrica nas últimas duas décadas foram apresentadas no segundo capítulo. Além disso, foram discutidos as principais características, os desafios e as perspectivas do processo de reformas do setor elétrico, sendo a experiência brasileira destacada.

Abordaram-se, também, os modelos teóricos de mercados, apresentando duas classificações para os diversos processos de reestruturação da indústria de energia elétrica: a de Tenenbaum et al (1992) e a de Hunt & Shuttleworth (1996). Além disso, as correntes mercadológicas Pool e bilateral foram descritas brevemente, bem como o sistema de despacho adotado no Brasil, denominado “Tigh Pool”. Finalmente, a modelagem da política de energia e do mercado foi abordada introduzindo os sistemas dinâmicos (SD), seus objetivos e processos de construção, incluindo alguns exemplos da estratégia de decisão em lances nos leilões de energia para o curto e longo prazos.

No terceiro capítulo, apresentaram-se as principais características do sistema elétrico brasileiro e o processo de formação do preço spot da energia elétrica no Brasil e no mundo, com ênfase para os sistemas hidrotérmicos. Ressalta-se a importância do planejamento da operação para a construção de modelos previsão do preço da energia elétrica no Brasil, pois é através de sua cadeia de modelos, desenvolvido pelo Cepel, que se pode obter, para cada subsistema, o custo marginal de operação, atualmente o valor base para o preço nas negociações no âmbito do mercado atacadista de energia.

Ainda com relação ao terceiro capítulo, é interessante observar que o cálculo da função de custo futuro não leva em consideração o fato de que um déficit de carga (acionamento) geralmente leva a prejuízos bem maiores que aqueles causados por um vertimento. Em outras palavras, um racionamento tem exatamente o mesmo peso que um vertimento no cálculo do custo operativo. Se um peso maior fosse dado a uma afluência mais baixa, o valor esperado do custo operativo seria maior, alterando assim a própria função de custo futuro, o que poderia indicar um sinal econômico mais adequado para a expansão do sistema.

O quarto capítulo apresentou a questão dos riscos econômico-financeiros no mercado de compra e venda de eletricidade, especialmente para o Brasil. Inicialmente, fez-se uma análise descritiva das variáveis mais importantes para o preço no escopo do risco hidrológico, incluindo o custo marginal de operação. Abordou-se, também, o problema da volatilidade do preço spot no Brasil. Noções sobre os riscos financeiros da contratação ou exposição ao preço spot foram apresentadas e discutiram-se, brevemente, as medidas de risco mais usadas na prática, como a volatilidade, a medida de arrependimento minimax, o valor a risco (*Value-at-Risk*) e a função utilidade. Além disso, foram analisados os contratos de

energia elétrica, um dos mais comuns instrumentos de proteção (*hedge*) da indústria.

No quinto capítulo, procurou-se descrever a metodologia proposta para a previsão do preço de curto prazo (“spot”) no Brasil (seis meses à frente) usando uma abordagem proposta de simulação através de sistemas neuro-fuzzy. Inicialmente, foi apresentado o estado da arte em previsão do preço spot de energia elétrica no Brasil e no mundo. Os modelos de previsão do preço spot foram definidos e discutidos.

No sexto capítulo, foram apresentados e discutidos alguns estudos de caso usando a metodologia proposta no capítulo anterior para a previsão do preço spot no Brasil. Inicialmente, fez-se um estudo passo-a-passo aplicando o modelo neuro-fuzzy ANFIS ao caso do mês de abril de 2002, para, em seguida, apresentar diversos casos em dois períodos definidos: pré e pós-acionamento (junho de 2001 a fevereiro de 2002).

Todas as distribuições estimadas dos preços spot foram mostradas, bem como resultados em termos de erros relativos e MAPE. Verificou-se que essas distribuições apresentaram melhores propriedades estatísticas e forneceram informações mais qualificadas ao tomador de decisões, com respeito às previsões do preço spot no Brasil até seis passos à frente, do que àquelas obtidas utilizando apenas o Newave.

É interessante observar, ainda, que a definição de faixas de variação para as variáveis de entrada do modelo trouxe melhores resultados para a previsão do preço, uma vez que permite que especialistas possam sugerir distribuições para as variáveis simuladas.

Verificou-se que os erros de previsão são função do número de simulações e dos tipos de distribuições ou faixas de variação adotados. Empregou-se uma distribuição uniforme discreta para simular cada variáveis de entrada, entretanto, o uso de outras distribuições empíricas, certamente trará melhores resultados para as previsões, diminuindo a incerteza e o risco na estratégia de comercialização.

Nos estudos de caso, a título de comparação com o modelo neuro-fuzzy, foi utilizado ainda um modelo usual de redes neurais do tipo *feedforward backpropagation*. Os resultados encontrados utilizando os sistemas “inteligentes” nos encorajam a continuar pesquisando o assunto.

### 7.1.2. Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros, propõe-se investigar:

- Outras distribuições para as variáveis de entrada dos modelos inteligentes (neuro-fuzzy/redes neurais). O uso de distribuições uniformes, como se fez na tese, por um lado permite o uso do modelo de previsão quando não se dispõe de qualquer informação à respeito do preço para  $T+k$ , mas, por outro lado traz um aumento na dispersão da distribuição estimada do preço spot;
- Outras variáveis importantes para a previsão do preço spot, bem como o uso de valores semanais. O preço spot semanal no Brasil merece ser investigado, apesar do modelo oficial de formação do preço “Decomp” não fornecer, ainda, os valores sintéticos semanais de armazenamentos, aflúências e custo marginais de operação, necessários para o treinamento do modelo neuro-fuzzy;
- Modelo geral para todo o ano. Utilizando a metodologia da tese, criar-se-ia um modelo único para o ano todo, podendo ou não referenciar no modelo o mês a ser previsto;
- Outros sistemas neuro-fuzzy, particularmente os hierárquicos do tipo do NFHB e NFHQ (Souza et al 2002 e 2000; Souza, 1999). Uma grande vantagem de tais sistemas é a interpretabilidade das relações entre as variáveis, informando diretamente quais variáveis de entrada são as mais importantes para o preço spot, devido à estrutura hierárquica em árvore dessa classe de modelos;
- Modelos de volatilidade do tipo ARCH-GARCH para o preço spot.