6 Conclusão

Como foi indicado no capítulo 1, o principal objetivo dessa tese foi a elaboração de um novo modelo de processo estocástico genérico, intrinsecamente não-linear, que possa ser aplicado em uma grande gama de problemas envolvendo fenômenos não-lineares de comportamento estocástico e/ou com características periódicas de suas propriedades.

Dado que as redes neurais artificiais (RNAs) são modelos não-lineares, simples de entendimento e implementação, capazes de identificar e assimilar características de séries temporais históricas, tais como sazonalidade, periodicidade e tendência, decidiu-se utilizá-las como base do novo modelo de processo estocástico, denominado Processo Estocástico Neural (PEN). Uma grande vantagem do uso de RNAs é que elas não necessitam de conhecimentos a priori do ambiente da série ou de uma complexa formulação teórica ou de suposições sobre o comportamento da série para serem aplicadas em uma série temporal, pois todas as características da série são aprendidas através de exemplos da própria série.

A meta desse modelo é gerar cenários de séries temporais sintéticas igualmente prováveis à série histórica, abordando qualquer período de tempo, na quantidade necessária, para serem utilizados na solução de problemas que envolvem fenômenos climatológicos (ex: vazão, temperatura, precipitação...) e econômicos (ex: preços de ações), entre outros.

O PEN é composto por s componentes estocásticas (CE), uma para cada período da série analisada. Cada componente estocástica é composta por uma RNA e pela distribuição de probabilidade dos resíduos obtidos no treinamento da RNA.

No estudo de caso dessa tese, aplicou-se o PEN no tratamento das incertezas das séries de vazões mensais, dentro do contexto do planejamento da operação energética do sistema hidrotérmico brasileiro.

Como foi visto no capítulo 5, testou-se várias estruturas do modelo $PEN(p, l)$, variando a ordem p (número de termos passados da série usados como entrada das RNAs) e o número l de neurônios na camada escondida das

RNAs de cada CE do PEN. As estruturas foram escolhidas segundo algumas medidas de desempenho estabelecidas, definidas no capítulo 4.

Com cada estrutura do modelo $PEN(p, l)$ escolhida por uma medida de desempenho gerou-se 200 cenários de 5 anos de energia natural afluenta (ENA). Aplicou-se em cada cenário alguns testes de aderência para verificar se os cenários são estatisticamente similares às séries históricas de ENA. A partir dos resultados dos testes de aderência, escolheu-se uma estrutura de modelo PEN para tratar as séries históricas de energia natural afluenta (ENA) de todos subsistemas do Sistema Interligado Nacional (SIN). Os cenários desse modelo PEN apresentaram aderência ao conjunto de séries históricas compatíveis com as aderências dos cenários gerados pelo modelo $PAR(p)$ - modelo atualmente utilizado pelo setor elétrico no tratamento de afluências mensais.

Na inspeção visual dos cenários gerados, observou-se que o modelo PEN ajustado para o subsistema Nordeste está, ocasionalmente, gerando valores muito altos de ENA no mês de março. Realizou-se alguns testes e verificou-se que isso afeta poucos cenários, e portanto, não chega a interferir na aderência do conjunto completo de cenários com a série histórica de ENA do Nordeste.

Como foi apresentado no capítulo 5, utilizou-se duas versões do modelo PEN para incorporar a correlação espacial entre os subsistemas do SIN nos cenários. Entretanto, os cenários desses modelos, denominados PEN_{log} e PEN_{4Out} , não conseguiram boas aderências nos dois conjuntos históricos testados. Contudo, apesar do modelo PEN utilizado (que é a versão original) não incorporar a correlação espacial entre os subsistemas do SIN nos cenários, ele conseguiu representar bem a correlação espacial entre os pares de subsistemas Sul-Nordeste e Sul-Norte.

Utilizou-se também os cenários gerados pelos modelos PEN e $PAR(p)$ no planejamento da operação energética de médio prazo. O objetivo desse planejamento é minimizar o custo total da operação energética e é realizado através do modelo de otimização monocritério da operação de sistemas hidrotérmicos utilizando algoritmos genéticos, desenvolvido em [60].

Como descreveu-se no capítulo 5, com os cenários do modelo PEN obteve-se um custo médio de operação energética um pouco mais alto do que com os cenários do modelo $PAR(p)$.

Conclui-se então que os cenários gerados pelo modelo Processo Estocástico Neural, conseguiram apresentarem boa aderência com a série histórica, e conseguiram um custo total médio de operação do SIN compatível com os cenários do $PAR(p)$, indicando que o modelo PEN conseguiu capturar as características das séries históricas de ENA.

6.1 Trabalhos Futuros

Em relação ao modelo Processo Estocástico Neural (PEN), pretende-se utilizá-lo na geração de cenários de outros tipos de séries temporais, uma vez que se trata de um modelo genérico de processo estocástico.

Um outro trabalho futuro consiste em utilizar uma outra topologia de rede neural artificial para compor as componentes estocásticas do modelo PEN, como por exemplo as redes recorrentes de Elman que são muito utilizadas na previsão de séries temporais.

Em relação ao estudo de caso dessa tese, um dos trabalhos futuros sugeridos consiste em testar alguns critérios para determinar uma ordem (número de termos passados da série) para cada mês ao invés de escolher empiricamente. Além de ser possível testar a ordem de termos não consecutivos da série. Principalmente nas versões do modelo PEN que incorporam a correlação espacial existente entre os subsistemas do Sistema Interligado Nacional. No modelo PEN_{4Out} deve-se permitir ordens diferentes para cada janela temporal (uma de cada subsistema do Sistema Interligado Nacional) da rede neural que o compõe.