

## 6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

### 6.1 Conclusões

Barragens costumam apresentar uma grande quantidade de ensaios e instrumentações. Nestas obras, o monitoramento hidráulico e mecânico através da instalação de um sistema de instrumentação desempenha um papel fundamental na avaliação do comportamento destas estruturas, tanto durante o período de construção quanto no período de operação. O programa de monitoramento das barragens é composto geralmente por uma série de instrumentações que fornecem o conhecimento adequado da operação da obra. Estas medições podem ser de deslocamentos, cargas em elementos estruturais, poro-pressões, percolação e drenagem e também medidas de fatores ambientais que afetam o comportamento da barragem como temperatura, nível do reservatório, precipitação pluviométrica e etc., possibilitando a obtenção de algumas características, como por exemplo, as deformações.

Neste trabalho os resultados de instrumentação da barragem Funil, de Furnas Centrais Elétricas, em relação aos valores de vazão drenada da fundação da barragem (“D191”), da margem direita (“D192”) e da margem esquerda (“D193”), foram analisados com o auxílio de redes neurais temporais. As redes neurais temporais empregadas foram: RNT com arquitetura *feedforward* associada a técnica de janelamento, RNT recorrente Elman, RNT FIR e RNT Jordan. Adicionalmente, foram utilizadas duas técnicas para análise das séries temporais: os modelos de Box & Jenkins (1970) e métodos geoestatísticos, com a finalidade de comparar com o desempenho das RNT’s.

Nesta pesquisa estuda-se também a geração de intervalos de confiança para RNT e para métodos geoestatísticos. As previsões obtidas pela RNT com arquitetura *feedforward* associada à técnica de janelamento são utilizadas para a geração de intervalos de confiança pelos métodos de saída do erro e re-amostragem dos erros. O intervalo de confiança para previsões da krigagem

ordinária são gerados a partir da desigualdade proposta por Vysochanskii-Petunin em 1980.

As séries dos valores instrumentados são: as leituras de vazão dos drenos “D191”, “D192”, “D193”, do nível do reservatório e da temperatura. As séries foram amostradas no período compreendido entre 02/09/1985 e 25/02/2002, com frequência semanal. Na etapa de pré-processamento dos dados, os dados faltantes foram “recuperados” e leituras aberrantes substituídas por valores obtidos com base em interpolação por *splines cúbicas* com os valores adjacentes.

Cada uma das técnicas empregadas apresenta vantagens e desvantagens. As redes neurais temporais são redes dinâmicas que apresenta a vantagem de possuir propriedades de memória. Estas propriedades permitem-nas realizar tarefas de caráter temporal. Outra vantagem, comum a qualquer RNA, é a habilidade de simular fenômenos não lineares. A desvantagem da técnica é a necessidade de realização de testes com vários modelos de redes, com diferentes topologias e reinicializações randômicas, para tentar-se determinar a “melhor” rede neural para análise em questão.

Os modelos de Box & Jenkins apresentam como vantagem sua metodologia sistemática, que permite estimações baseadas em uma série de hipóteses e testes estatísticos para aceitação dos modelos, mas devem ser aplicados apenas para problemas lineares, estacionários ou não.

Métodos geoestatísticos, baseados na teoria das funções aleatórias, sobressai o conceito de “variograma” que expressa a correlação entre pares de “pontos” (na realidade valores da própria variável amostrada em diferentes posições temporais), não encarando o valor do “ponto” de maneira isolada, e assim capturando importantes informações sobre a variabilidade temporal da série.

No problema estudado correspondente à modelagem das vazões dos drenos, foi realizado duas análises distintas: a primeira considera o intervalo de tempo constante, ou seja, o conjunto de dados analisados apresenta sempre um intervalo de tempo semanal entre as amostras e a segunda análise considera que o conjunto de dados pode apresentar um intervalo de tempo variável entre as amostras.

No estudo com intervalo de tempo constante, os modelos obtidos pelas RNT com arquitetura *feedforward* associada a técnica de janelamento, RNT recorrente Elman e RNT Jordan apresentaram desempenho semelhante o que indica que o problema analisado apresenta características temporais que são fáceis de serem

captadas por todas as RNT, até pela RNT mais simples que é a com arquitetura *feedforward* associada a técnica de janelamento. Observando as métricas obtidas constatou-se que, tanto pelos modelos RNT quanto pelo modelo de Box & Jenkins e método geoestatístico, as previsões foram satisfatoriamente obtidas, com as previsões obtidas pelo método geoestatístico apresentando desempenho ligeiramente melhor. Foi analisada ainda a influência do intervalo de tempo na previsão, neste estudo foram considerados intervalos de tempo semanal, quinzenal e mensal sendo os melhores resultados obtidos para o intervalo de tempo semanal. Este resultado está bem coerente já que quanto menor o intervalo de tempo entre as amostras, mais informações da dependência temporal podem ser captadas pelos modelos de previsão.

No estudo do problema considerando o intervalo de tempo variável, o conjunto de amostras é bem maior já que se pode considerar todas as amostras independente de apresentarem o mesmo intervalo de tempo. Outro aspecto é que para os modelos conseguirem captar a distância entre as amostras, a data da amostra foi considerada como variável explicativa. Esta data foi utilizada como entrada para uma função seno, com o intuito de considerar o caráter cíclico do fenômeno estudado, onde a saída foi utilizada como entrada das RNT. Nesta análise consideram-se ainda, outras variáveis explicativas o nível do reservatório à montante e a temperatura. Observando as métricas obtidas constatou-se que, tanto pelos modelos RNT quanto pelo método geoestatístico, as previsões foram também satisfatoriamente obtidas, com a métrica U de Theil apresentando melhores resultados quando comparada com as obtidas com o intervalo de tempo constante.

Quanto ao estudo dos intervalos de confiança foram necessários utilizar técnicas que permitissem a geração de intervalos de confiança para estimativas com distribuição do erro não gaussiana. As técnicas de saída do erro, reamostragem dos erros apresentam esta característica, sendo utilizadas nas previsões geradas pelos modelos das RNT. Já para as previsões obtidas pela krigagem ordinária foi utilizada a desigualdade proposta por Vysochanskii-Petunin em 1980 para geração dos intervalos de confiança. Os intervalos de confiança obtidos pela previsão da krigagem ordinária apresentaram melhor desempenho. A aplicação de metodologias para determinação de intervalos de confiança é de grande importância, já que o processo de previsão sempre estará

associado a erros de estimativa. O intervalo de confiança permite que ao invés de fornecer um valor único para a estimativa, seja fornecido um intervalo e a probabilidade que o valor desconhecido esteja dentro deste intervalo.

No processo de pré-análise, o grau de correlação entre as séries temporais foi calculado para verificar se este pode ser tomado como um critério eficiente de seleção de variáveis de entrada para a RNT. Observando-se que pelos resultados obtidos para o dreno “D191” o melhor mecanismo para verificação de quais são as variáveis de entrada mais adequadas é a análise dos erros obtidos para os modelos neurais analisados.

No capítulo anterior (5), existem itens no qual constam as conclusões específicas das análises dos diferentes métodos, contendo comentários detalhados a respeito dos mesmos.

No presente capítulo, procurou-se fazer comentários mais gerais sobre este trabalho, bem como sugestões para a continuidade deste estudo.

## **6.2** **Sugestões**

Como trabalhos futuros para a continuidade do desenvolvimento de pesquisa na área da análise de séries temporais relacionadas com dados de instrumentação, sugerem-se os seguintes tópicos:

1 – aplicação das técnicas de redes neurais temporais na análise de séries temporais de instrumentações com dados que apresentem tendência para observar a capacidade de previsão de RNT's.

2 – utilização de métodos geoestatísticos apropriados à análise das séries temporais com tendência, como por exemplo, a técnica *de krigagem universal*.

3 – comparação de diferentes técnicas para geração de intervalos de confiança aplicadas nas previsões das redes neurais temporais.