

**Janaina Veiga Carvalho**

**Modelagem temporal das medidas de vazão de drenos  
na Barragem de Funil (RJ)  
utilizando redes neurais e métodos estatísticos.**

**TESE DE DOUTORADO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio como parte dos requisitos parciais para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil. Área de Concentração: Geotecnia.

Orientador: Celso Romanel

Rio de Janeiro  
Março de 2005



**Janaina Veiga Carvalho**

**Modelagem temporal das medias de vazão de drenos  
na Barragem de Funil (RJ)  
utilizando redes neurais e métodos estatísticos**

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Celso Romanel**

Presidente/Orientador

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

**Profa. Deane de Mesquita Roehl**

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

**Prof. Paulo Batista Gonçalves**

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

**Profa. Andréa Sell Dyminski**

UFPR

**Prof. Fernando Saboya Albuquerque Junior**

UENF

**Prof. Eduardo Parente Ribeiro**

UFPR

**Prof. José Eugenio Leal**

Coordenador Setorial

do Centro Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 29 de março de 2005

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

## Janaina Veiga Carvalho

Graduou-se em Engenharia Civil na UFPa (Universidade Federal do Pará) em 1998. Fez o curso de Mestrado pelo Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio no período de 1998 a 2000.

### Ficha catalográfica

Carvalho, Janaina Veiga

Modelagem temporal das medidas de vazão de drenos na Barragem de Funil (RJ) utilizando redes neurais e métodos estatísticos / Janaina Veiga Carvalho ; orientador: Celso Romanel. – Rio de Janeiro : PUC, Departamento de Engenharia Civil, 2005.

v. , 185 f. : IL. ; 29,7 cm;

Tese (doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil.

Inclui referências bibliográficas

1. Engenharia civil – Teses. 2. Barragem Funil. 3. Redes neurais temporais. 4. Intervalos de confiança. 5. Monitoramento de barragens. 6. Séries temporais. 7. Instrumentação. I. Romanel, Celso. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil . III. Título.

CDD: 624

Para meus pais, Agostinho e Ivone, e para  
meu querido esposo Carlos Vitor.

## **Agradecimentos**

A Deus, meu Criador e perene Inspiração.

Ao meu orientador, Celso Romanel, pela orientação, pelo incentivo constante, pela dedicação, pelos conhecimentos transmitidos durante os cursos de mestrado e doutorado, pela confiança depositada em meu trabalho e principalmente pela oportunidade de estudar e desenvolver esta tese.

Ao meu esposo Carlos Vitor pela compreensão, força, apoio, ajuda e incentivo durante todo o tempo.

Ao meu pai Agostinho Veiga e minha mãe Ivone Veiga a minha eterna gratidão pelo apoio e incentivo que me deram para desenvolver este trabalho e ao longo de toda a minha vida.

Ao Departamento de Engenharia Civil de Furnas Centrais Elétricas S.A. pelo apoio incondicional e por permitir total acesso aos dados instrumentais da barragem Funil apresentados neste trabalho.

A todos os professores do Departamento de Engenharia Civil pelos ensinamentos transmitidos.

Aos funcionários de Departamento de Engenharia Civil principalmente à Ana Roxo pelo apoio.

Aos colegas de curso da PUC-Rio, com os quais compartilhei inesquecíveis experiências acadêmicas e de vida.

À CAPES, à FAPERJ e à PUC-Rio, pelos auxílios concedidos, fundamentais para que este trabalho pudesse ser desenvolvido.

## Resumo

Carvalho, Janaina Veiga; **Modelagem temporal das medidas de vazão de drenos na Barragem de Funil (RJ) utilizando redes neurais e métodos estatísticos.** Rio de Janeiro, 2005, 185p. Tese de Doutorado – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Em obras de maior porte e grande responsabilidade (portos, barragens, usinas nucleares, etc.), a quantidade de instrumentações pode se tornar suficiente para permitir a construção de modelos de variabilidade temporal das propriedades de interesse com base em redes neurais artificiais. No caso de barragens, o monitoramento 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. Neste trabalho empregou-se a técnica de redes neurais temporais (RNT) para análise, modelagem e previsão dos valores de vazão na barragem Funil, do sistema Furnas Centrais Elétricas, a partir dos dados de instrumentações disponíveis no período compreendido entre 02/09/1985 e 25/02/2002. 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 ainda a geração de intervalos de confiança para RNT e para métodos geoestatísticos. As previsões de vazão analisadas neste trabalho, envolvendo o comportamento da barragem Funil, apresentaram resultados satisfatórios tanto os obtidos pelos modelos de redes neurais temporais como pelos de Box & Jenkins e métodos geoestatísticos.

## Palavras-chave

Barragem Funil, Redes neurais temporais, Intervalos de confiança, Monitoramento de barragem, Séries temporais, Instrumentação.

## Abstract

Carvalho, Janaina Veiga; **Temporal modelling of the water discharges measurements on Funil Dam (RJ) using neural network and statistical methods.** Rio de Janeiro, 2005, 185p. D. Sc. Thesis – Civil Engineering Department, Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

In works of great responsibility (ports, dams, nuclear power, etc.), the amount of instrumentation data may allow the construction of models for the temporary variability of the properties of interest based on neural network techniques. In case of dams, the monitoring through the installation of an instrumentation system plays a fundamental part in the evaluation of the behavior of these structures, during the construction period as well as in the operation period. In this work the technique of temporal neural networks (TNN) was used for analysis, modeling and forecast of the water discharges values in the Funil dam, from Furnas Centrais Elétricas system, starting from the data of available instrumentation in the period between 02/09/1985 and 25/02/2002. The temporal neural networks used in this research were the following: TNN with feedforward architecture and the *windowing* technique, recursive TNN Elman, TNN FIR and TNN Jordan. Two additional techniques (Box & Jenkins and geostatistical models) were employed for analysis of the time series with the purpose to compare the results obtained with neural networks. In this research the generation of confidence intervals for TNN and geostatistical methods were also investigated. The discharge values forecasts analyzed in this work for the Funil dam presented satisfactory results, with respect to the neural network, Box & Jenkins and geostatistical methods.

## Keywords

Funil Dam, temporal neural network, confidence intervals, dam monitoring, time series, instrumentation.

## Sumário

1	INTRODUÇÃO	22
1.1	Introdução	22
1.2	Instrumentação de barragens	22
1.2.1	Objetivos	22
1.2.2	Análise dos dados	24
1.2.3	Importância das instrumentações na segurança de barragens	24
1.3	Objetivos	26
1.4	Organização da Tese	27
2	ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS	29
2.1	Introdução	29
2.2	Séries Temporais	29
2.3	Modelos Arima de Box & Jenkins	30
2.4	Redes Neurais	32
2.4.1	O uso das redes neurais em engenharia geotécnica	34
2.4.2	Arquitetura de rede	42
2.4.3	O conjunto de dados	43
2.4.4	Treinamento e testes	43
2.4.5	O algoritmo de retro-propagação do erro	45
2.4.6	O algoritmo de Levenberg-Marquardt	52
2.4.7	O algoritmo de regularização bayseana	53
2.4.8	Redes neurais temporais (RNT's)	54
2.4.8.1	Redes neurais com atrasos no tempo	55
2.4.8.2	Redes neurais FIR	56
2.4.8.3	Redes neurais recorrentes	58
2.4.8.4	Redes neurais Elman	61
2.5	Métodos Geoestatísticos	62
2.5.1	Função Covariância	63
2.5.2	Função correlação ou correlograma	63
2.5.3	Variograma	64
2.5.4	Modelos Variográficos	66
2.5.5	Krigagem ordinária	67

3	INTERVALOS DE CONFIANÇA	71
3.1	Introdução	71
3.2	Técnicas para estimar intervalos de confiança para redes neurais	73
3.2.1	Saída de erro	75
3.2.2	Re-amostragem dos erros	76
3.3.	Técnicas para estimar intervalos de confiança para métodos geoestatísticos	77
4	METODOLOGIA	79
4.1	Introdução	79
4.2	Barragem de Funil	79
4.3	Análise e preparação dos dados	82
4.4	Análises realizadas	83
4.5	Técnicas empregadas	83
4.6	Métricas Adotadas	85
5	PREVISÃO DE SÉRIES TEMPORAIS DE VAZÃO DE DRENOS DA BARRAGEM DE FUNIL	87
5.1	Introdução	87
5.2	Análise com as séries com intervalo de tempo constante	87
5.2.1	Previsão obtida pelo método de Box & Jenkins (1970)	88
5.2.2	Previsão obtida pela técnica de rede neural temporal com janelamento	90
5.2.3	Previsão obtida pela técnica de rede neural temporal Elman	93
5.2.4	Previsão obtida pela técnica de rede neural temporal FIR	95
5.2.5	Previsão obtida pela técnica de rede neural temporal Jordan	98
5.2.6	Previsão obtida com o método geoestatístico	100
5.2.7	Análise dos Resultados	106
5.3	Análise com as séries com intervalo de tempo variável	108
5.3.1	Previsão obtida pela técnica de rede neural temporal com janelamento	108

5.3.2	Previsão obtida pela técnica de rede neural temporal Elman	114
5.3.3	Previsão obtida pela técnica de rede neural temporal FIR	118
5.3.4	Previsão obtida pela técnica de rede neural temporal Jordan	121
5.3.5	Previsão obtida com o método geoestatístico	126
5.3.6	Geração do intervalo de confiança utilizando os resultados da previsão obtida com o método geoestatístico	134
5.3.7	Geração do intervalo de confiança através da os erros de saída da rede utilizando os resultados da previsão obtida com a técnica de RNT com janelamento	137
5.3.8	Geração do intervalo de confiança através de re-amostragem dos erros utilizando os resultados da previsão obtida com a RNT com janelamento	139
5.3.9	Análise dos Resultados	141
6	CONCLUSÕES E SUGESTÕES	144
6.1	Conclusões	144
6.2	Sugestões	147
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	148
	APÊNDICE A	155
	APÊNDICE B	173
	APÊNDICE C	178
	APÊNDICE D	184

## Lista de Figuras

Figura 2.1 Valores de série temporal com previsão e intervalo de confiança com probabilidade de 95%	30
Figura 2.2 Modelo de um neurônio artificial	33
Figura 2.3 Funções de ativação (a) degrau, (b) linear, (c) sigmoidal logística e (d) tangente hiperbólica.	34
Figura 2.4 Exemplo de rede neural multi-camadas feedforward, totalmente conectada.	42
Figura 2.5 Métodos adequados em função da quantidade de dados e complexidade do problema..	43
Figura 2.6 Ilustração do monitoramento do erro do método “early stopping”.	44
Figura 2.7 Fluxo de sinais dentro do neurônio de saída j	47
Figura 2.8 Fluxo de sinais dentro do neurônio de camada oculta j conectado ao neurônio de saída k.	49
Figura 2.9 Classificação das redes neurais temporais	55
Figura 2.10 Método de ‘janelamento’ para processamento temporal	55
Figura 2.11 Rede TDNN para processamento temporal	56
Figura 2.12 Modelo FIR do neurônio	57
Figura 2.13 Neurônio FIR numa rede multicamada	58
Figura 2.14 Esquema de processamento temporal utilizando redes neurais recorrentes	59
Figura 2.15 Rede de Elman	59
Figura 2.16 Rede de Williams-Zipser	60
Figura 2.17 Rede de Jordan	60
Figura 2.18 Rede completamente recorrente – Rede de Elman	61
Figura 2.19 Esquema de funções: (a) covariância, (b) correlograma e (c) variograma	65
Figura 2.20 Esquema básico de uma função variograma	66
Figura 3.1 O efeito de amostras adicionais na confiabilidade da estimativa. A estimativa de um valor desconhecido com um sinal da cruz no centro (a) deve tornar-se mais confiável com amostras adicionais. O arranjo espacial	

das amostras em (b) , entretanto, não melhorará a confiabilidade tanto quanto as amostras uniformemente distribuídas em (c)	72
Figura 3.2 Rede neural para a técnica erro de saída	75
Figura 3.3 Exemplo da técnica de re-amostragem dos erros	76
Figura 4.1 Arranjo geral da barragem Funil do tipo abóbada de dupla curvatura	79
Figura 4.2 Galeria no soco da barragem de Funil.	80
Figura 4.3 Quadro de controle dos extensômetros e do termômetro	80
Figura 4.4 Dreno “D191”.	81
Figura 4.5 Dreno “D192”.	81
Figura 4.6 Dreno “D193”.	81
Figura 5.1 Modelagem e previsão da vazão com o modelo AR(1) para o dreno “D191”.	89
Figura 5.2 Modelagem e previsão da vazão com o modelo AR(1) para o dreno “D192”.	90
Figura 5.3 Modelagem e previsão da vazão com o modelo AR(2) para o dreno “D193”.	90
Figura 5.4 Modelagem e previsão da vazão com o modelo de RNT com janelamento para o dreno “D191”.	92
Figura 5.5 Modelagem e previsão da vazão com o modelo de RNT com janelamento para o dreno “D192”.	92
Figura 5.6 Modelagem e previsão da vazão com o modelo de RNT com janelamento para o dreno “D193”.	93
Figura 5.7 Modelagem e previsão da vazão com o modelo de RNT Elman para o dreno “D191”.	94
Figura 5.8 Modelagem e previsão da vazão com o modelo de RNT Elman para o dreno “D192”.	94
Figura 5.9 Modelagem e previsão da vazão com o modelo de RNT Elman para o dreno “D193”.	95
Figura 5.10 Modelagem e previsão da vazão com o modelo de RNT FIR para o dreno “D191”.	96
Figura 5.11 Modelagem e previsão da vazão com o modelo de RNT FIR para o dreno “D192”.	97

Figura 5.12 Modelagem e previsão da vazão com o modelo de RNT FIR para o dreno “D193”.	97
Figura 5.13 Modelagem e previsão da vazão com o modelo de RNT Jordan para o dreno “D191”.	99
Figura 5.14 Modelagem e previsão da vazão com o modelo de RNT Jordan para o dreno “D192”.	99
Figura 5.15 Modelagem e previsão da vazão com o modelo de RNT Jordan para o dreno “D193”.	100
Figura 5.16 Variogramas experimentais e teóricos para o dreno “D191”: (a) modelo esférico, (b) modelo exponencial e (c) modelo gaussiano.	101
Figura 5.17 Variogramas experimentais e teóricos para o dreno “D192”: (a) modelo esférico, (b) modelo exponencial e (c) modelo gaussiano.	102
Figura 5.18 Variogramas experimental e teórico para o dreno “D193”: (a) modelo esférico, (b) modelo exponencial e (c) modelo gaussiano.	103
Figura 5.19 Modelagem e previsão da vazão com krigagem ordinária para o dreno “D191”.	104
Figura 5.20 Modelagem e previsão da vazão com krigagem ordinária para o dreno “D192”.	105
Figura 5.21 Modelagem e previsão da vazão com krigagem ordinária para o dreno “D193”.	105
Figura 5.22 Modelagem e previsão da vazão com o modelo de RNT com janelamento para o dreno “D191”.	111
Figura 5.23 Modelagem e previsão da vazão com o modelo de RNT com janelamento para o dreno “D192”.	112
Figura 5.24 Modelagem e previsão da vazão com o modelo de RNT com janelamento para o dreno “D193”.	113
Figura 5.25 Modelagem e previsão da vazão com o modelo de RNT Elman para o dreno “D191”.	115
Figura 5.26 Modelagem e previsão da vazão com o modelo de RNT Elman para o dreno “D192”.	116
Figura 5.27 Modelagem e previsão da vazão com o modelo de RNT Elman para o dreno “D193”.	117
Figura 5.28 Modelagem e previsão da vazão com o modelo de RNT FIR para o dreno “D191”.	119

Figura 5.29 Modelagem e previsão da vazão com o modelo de RNT FIR para o dreno “D192”.	120
Figura 5.30 Modelagem e previsão da vazão com o modelo de RNT FIR para o dreno “D193”.	121
Figura 5.31 Modelagem e previsão da vazão com o modelo de RNT Jordan para o dreno “D191”.	124
Figura 5.32 Modelagem e previsão da vazão com o modelo de RNT Jordan para o dreno “D192”.	125
Figura 5.33 Modelagem e previsão da vazão com o modelo de RNT Jordan para o dreno “D193”.	126
Figura 5.34 Variogramas experimental e teórico para o dreno “D191”: (a) modelo esférico, (b) modelo exponencial e (c) modelo gaussiano.	127
Figura 5.35 Variogramas experimental e teórico para o dreno “D192”: (a) modelo esférico, (b) modelo exponencial e (c) modelo gaussiano.	128
Figura 5.36 Variogramas experimental e teórico para o dreno “D193”: (a) modelo esférico, (b) modelo exponencial e (c) modelo gaussiano.	129
Figura 5.37 Modelagem e previsão da vazão com krigagem ordinária para o dreno “D191”.	131
Figura 5.38 Modelagem e previsão da vazão com krigagem ordinária para o dreno “D192”.	132
Figura 5.39 Modelagem e previsão da vazão com krigagem ordinária para o dreno “D193”.	133
Figura 5.40 Histograma dos erros da previsão do modelo geoestatístico do dreno “D191”.	134
Figura 5.41 Histograma dos erros da previsão do modelo geoestatístico do dreno “D192”.	134
Figura 5.42 Histograma dos erros da previsão do modelo geoestatístico do dreno “D193”.	135
Figura 5.43 Intervalo de Confiança gerado pela previsão do método geoestatístico para o dreno “D191”.	135
Figura 5.44 Intervalo de Confiança gerado pela previsão do método geoestatístico para o dreno “D192”.	136
Figura 5.45 Intervalo de Confiança gerado pela previsão do método geoestatístico para o dreno “D193”.	136

Figura 5.46 Intervalo de Confiança gerado pela técnica de saída do erro com a previsão obtida pela RNT com janelamento para o dreno “D191”.	137
Figura 5.47 Intervalo de Confiança gerado pela técnica de saída do erro com a previsão obtida pela RNT com janelamento para o dreno “D192”.	138
Figura 5.48 Intervalo de Confiança gerado pela técnica de saída do erro com a previsão obtida pela RNT com janelamento para o dreno “D193”.	138
Figura 5.49 Intervalo de Confiança gerado pela técnica de re-amostragem dos erros obtida com a previsão da RNT com janelamento para o dreno “D191”.	139
Figura 5.50 Intervalo de Confiança gerado pela técnica de re-amostragem dos erros obtida com a previsão da RNT com janelamento para o dreno “D192”.	140
Figura 5.51 Intervalo de Confiança gerado pela técnica de re-amostragem dos erros obtida com a previsão da RNT com janelamento para o dreno “D193”.	140
Figura A.1 Série de vazão para o conjunto de modelagem (200 primeiros valores da série histórica).	155
Figura A.2 Funções de autocorrelação simples e parcial da série de vazão do dreno “D191” (E-views 4.0).	156
Figura A.3 Representação gráfica das séries de vazão, do modelo ajustado AR(1) e dos resíduos para o dreno “D191”.	158
Figura A.4 Correlograma do quadrado dos resíduos obtidos pelo modelo AR(1) na modelagem da vazão para o dreno “D191”.	159
Figura A.5 Série de vazão para o conjunto de modelagem (250 primeiros valores da série histórica).	161
Figura A.6 Funções de autocorrelação simples e parcial da série de vazão do dreno “D192” (E-views 4.0).	162
Figura A.7 Representação gráfica das séries de vazão, do modelo ajustado AR(1) e dos resíduos para o dreno “D192”.	164
Figura A.8 Correlograma do quadrado dos resíduos obtidos pelo modelo AR(1) na modelagem da vazão para o dreno “D192”.	165

Figura A.9 Série de vazão para o conjunto de modelagem (200 primeiros valores da série histórica).	167
Figura A.10 Funções de autocorrelação simples e parcial da série de vazão do dreno “D193” (E-views 4.0).	168
Figura A.11 Representação gráfica das séries de vazão, do modelo ajustado AR(2) e dos resíduos para o dreno “D193”.	170
Figura A.12 Correlograma do quadrado dos resíduos obtidos pelo modelo AR(2) na modelagem da vazão para o dreno “D193”.	171
Figura B.1 Modelagem e previsão da vazão com intervalo de tempo quinzenal para o modelo de RNT com janelamento para o dreno “D191”.	173
Figura B.2 Modelagem e previsão da vazão com intervalo de tempo quinzenal para o modelo de RNT Elman para o dreno “D191”.	174
Figura B.3 Modelagem e previsão da vazão com intervalo de tempo quinzenal para o modelo de RNT FIR para o dreno “D191”.	174
Figura B.4 Modelagem e previsão da vazão com intervalo de tempo quinzenal para o modelo de RNT Jordan para o dreno “D191”.	175
Figura B.5 Modelagem e previsão da vazão com intervalo de tempo mensal para o modelo de RNT com janelamento para o dreno “D191”.	176
Figura B.6 Modelagem e previsão da vazão com intervalo de tempo mensal para o modelo de RNT Elman para o dreno “D191”.	176
Figura B.7 Modelagem e previsão da vazão com intervalo de tempo mensal para o modelo de RNT FIR para o dreno “D191”.	177
Figura B.8 Modelagem e previsão da vazão com intervalo de tempo mensal para o modelo de RNT Jordan para o dreno “D191”.	177
Figura C.1 Comparação da previsão do modelo III da tabela C.2 com as previsões obtidas pelas RNT’s para o dreno “D191”.	181
Figura C.2 Comparação da previsão do modelo III da tabela C.3 com as previsões obtidas pelas RNT’s para o dreno “D192”.	182
Figura C.3 Comparação da previsão do modelo III da tabela C.4 com as previsões obtidas pelas RNT’s para o dreno “D193”.	183
Figura D.1 Diagrama de dispersão “D191” x nível do reservatório.	184
Figura D.2 Diagrama de dispersão “D192” x nível do reservatório.	185
Figura D.3 Diagrama de dispersão “D193” x nível do reservatório.	185

## Lista de Tabelas

Tabela 5.1 Siglas adotadas	88
Tabela 5.2 Desempenho da previsão por Box & Jenkins para o dreno “D191”.	89
Tabela 5.3 Desempenho da previsão por Box & Jenkins para o dreno “D192”.	89
Tabela 5.4 Desempenho da previsão por Box & Jenkins para o dreno “D193”.	89
Tabela 5.5 Entradas e Saídas adotadas	91
Tabela 5.6 Desempenho da previsão por RNT com janelamento para o dreno “D191”.	91
Tabela 5.7 Desempenho da previsão por RNT com janelamento para o dreno “D192”.	91
Tabela 5.8 Desempenho da previsão por RNT com janelamento para o dreno “D193”.	92
Tabela 5.9 Desempenho da previsão por RNT Elman para o dreno “D191”.	93
Tabela 5.10 Desempenho da previsão por RNT Elman para o dreno “D192”.	93
Tabela 5.11 Desempenho da previsão por RNT Elman para o dreno “D193”.	94
Tabela 5.12 Desempenho da previsão por RNT FIR para o dreno “D191”.	96
Tabela 5.13 Desempenho da previsão por RNT FIR para o dreno “D192”.	96
Tabela 5.14 Desempenho da previsão por RNT FIR para o dreno “D193”.	96
Tabela 5.15 Entradas e Saídas adotadas.	98
Tabela 5.16 Desempenho da previsão por RNT Jordan para o dreno “D191”.	98
Tabela 5.17 Desempenho da previsão por RNT Jordan para o dreno “D192”.	98

Tabela 5.18 Desempenho da previsão por RNT Jordan para o dreno “D193”.	98
Tabela 5.19 Desempenho da previsão por krigagem ordinária para o dreno “D191”.	100
Tabela 5.20 Desempenho da previsão por krigagem ordinária para o dreno “D192”.	101
Tabela 5.21 Desempenho da previsão por krigagem ordinária para o dreno “D193”.	101
Tabela 5.22 Valores dos parâmetros do modelo teórico esférico para o dreno “D191”.	104
Tabela 5.23 Valores dos parâmetros do modelo teórico esférico para o dreno “D192”.	104
Tabela 5.24 Valores dos parâmetros do modelo teórico esférico para o dreno “D193”.	104
Tabela 5.25 Desempenho das previsões para o dreno “D191”.	107
Tabela 5.26 Desempenho das previsões para o dreno “D192”.	107
Tabela 5.27 Desempenho das previsões para o dreno “D193”.	107
Tabela 5.28 Desempenho das previsões para o dreno “D191” com a RNT com janelamento.	108
Tabela 5.29 Desempenho das previsões para o dreno “D191” com a RNT Elman.	108
Tabela 5.30 Desempenho das previsões para o dreno “D191” com a RNT FIR.	108
Tabela 5.31 Desempenho das previsões para o dreno “D191” com a RNT Jordan.	108
Tabela 5.32 Entradas e Saídas adotadas para o dreno “D191”.	109
Tabela 5.33 Entradas e Saídas adotadas para o dreno “D192”.	109
Tabela 5.34 Entradas e Saídas adotadas para o dreno “D193”.	109
Tabela 5.35 Desempenho da previsão por RNT com janelamento para o dreno “D191”.	110
Tabela 5.36 Desempenho da previsão por RNT com janelamento para o dreno “D192”.	110
Tabela 5.37 Desempenho da previsão por RNT com janelamento para o dreno “D193”.	110

Tabela 5.38 Desempenho da previsão por RNT Elman para o dreno “D191”.	114
Tabela 5.39 Desempenho da previsão por RNT Elman para o dreno “D192”.	114
Tabela 5.40 Desempenho da previsão por RNT Elman para o dreno “D193”.	114
Tabela 5.41 Desempenho da previsão por RNT FIR para o dreno “D191”.	118
Tabela 5.42 Desempenho da previsão por RNT FIR para o dreno “D192”.	118
Tabela 5.43 Desempenho da previsão por RNT FIR para o dreno “D193”.	118
Tabela 5.44 Entradas e Saídas adotadas para a rede neural temporal Jordan para o dreno “D191”.	122
Tabela 5.45 Entradas e Saídas adotadas para a rede neural temporal Jordan para o dreno “D192”.	122
Tabela 5.46 Entradas e Saídas adotadas para a rede neural temporal Jordan para o dreno “D193”.	122
Tabela 5.47 Desempenho da previsão por RNT Jordan temporal para o dreno “D191”.	123
Tabela 5.48 Desempenho da previsão por RNT Jordan para o dreno “D192”.	123
Tabela 5.49 Desempenho da previsão por RNT Jordan para o dreno “D193”.	123
Tabela 5.50 Desempenho da previsão por krigagem ordinária para o dreno “D191”.	130
Tabela 5.51 Desempenho da previsão por krigagem ordinária para o dreno “D192”.	130
Tabela 5.52 Desempenho da previsão por krigagem ordinária para o dreno “D193”.	130
Tabela 5.53 Valores dos parâmetros do modelo teórico esférico para o dreno “D191”.	130
Tabela 5.54 Valores dos parâmetros do modelo teórico esférico para o dreno “D192”.	130

Tabela 5.55 Valores dos parâmetros do modelo teórico esférico para o dreno “D193”.	130
Tabela 5.56 Desempenho do intervalo de confiança gerado pela previsão do método geoestatístico.	137
Tabela 5.57 Desempenho do intervalo de confiança gerado pela técnica do erro de saída da rede utilizando os resultados da previsão obtida com a técnica de RNT com janelamento.	139
Tabela 5.58 Desempenho do intervalo de confiança gerado pela técnica de re-amostragem dos erros utilizando os resultados da previsão obtida com a técnica de RNT com janelamento.	141
Tabela 5.59 Desempenho das previsões para o dreno “D191”.	142
Tabela 5.60 Desempenho das previsões para o dreno “D192”.	142
Tabela 5.61 Desempenho das previsões para o dreno “D193”.	142
Tabela A.1 Teste de Dickey–Fuller Ampliado (ADF test) para a série de vazão do dreno “D191” (E-views 4.0)	156
Tabela A.2 Teste de significância dos parâmetros para o modelo AR(1) na previsão da vazão para o dreno “D191”.	157
Tabela A.3 Teste de ARCH para avaliação da variância dos resíduos obtidos pelo ajuste do modelo AR(1) na previsão de vazão do dreno “D191”.	160
Tabela A.4 Teste de Dickey–Fuller Ampliado (ADF test) para a série de vazão do dreno “D192” (E-views 4.0).	162
Tabela A.5 Teste de significância dos parâmetros para o modelo AR(1) na previsão da vazão para o dreno “D192”.	163
Tabela A.6 Teste de ARCH para avaliação da variância dos resíduos obtidos pelo ajuste do modelo AR(1) na previsão de vazão do dreno “D192”.	166
Tabela A.7 Teste de Dickey–Fuller Ampliado (ADF test) para a série de vazão do dreno “D193” (E-views 4.0).	168
Tabela A.8 Teste de significância dos parâmetros para o modelo AR(2) na previsão da vazão para o dreno “D193”.	169
Tabela A.9 Teste de ARCH para avaliação da variância dos resíduos obtidos pelo ajuste do modelo AR(2) na previsão de vazão do dreno “D193”.	172

Tabela C.1 Entradas e Saídas adotadas para o dreno “D191” danificado.	178
Tabela C.2 Entradas e Saídas adotadas para o dreno “D192” danificado.	179
Tabela C.3 Entradas e Saídas adotadas para o dreno “D193” danificado.	179
Tabela C.4 Desempenho da previsão da vazão a partir das outras séries para o dreno “D191”.	180
Tabela C.5 Desempenho da previsão da vazão a partir das outras séries para o dreno “D192”.	180
Tabela C.6 Desempenho da previsão da vazão a partir das outras séries para o dreno “D193”.	180