

MAURICIO MÜLLER



**INVESTIGAÇÃO DA APLICABILIDADE DO USO DE
MODELOS HIDROLÓGICOS E REDES NEURAIIS
NA PROPAGAÇÃO DE VAZÕES**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica, do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre.

Orientador: Prof. Heinz D. O. A. Fill

CURITIBA

2000

MAURICIO MÜLLER

**INVESTIGAÇÃO DA APLICABILIDADE DO USO DE
MODELOS HIDROLÓGICOS E REDES NEURAIS
NA PROPAGAÇÃO DE VAZÕES**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica, do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre.

Orientador: Prof. Heinz D. O. A. Fill

CURITIBA

2000

BC/MUFPR
DOAÇÃO: DO AUTOR
R\$ 15,00
...26/03/2001

BC/MUFPR - MEMORIA DA UNIVERSIDADE F. DO PARANA
AUTOR
R\$ 15.00 - Doacao
Termo No. 84/01 Registro: 316,572
29/03/2001

UFPR - Sistema de Bibliotecas

PV-00001241-9

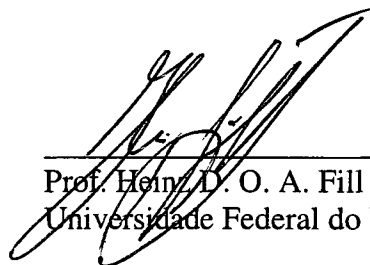
INVESTIGAÇÃO DA APLICABILIDADE DO USO DE MODELOS HIDROLÓGICOS E REDES NEURAIIS NA PROPAGAÇÃO DE VAZÕES

por

MAURICIO MÜLLER


Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica do Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná, pela comissão formada pelos professores:

Orientador:

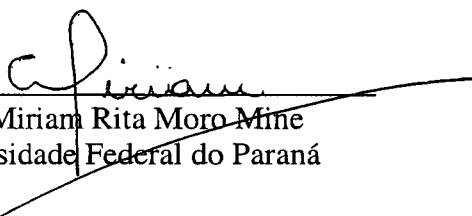


Prof. Heinz D. O. A. Fill
Universidade Federal do Paraná

Membros:



Prof. Carlos Eduardo Morelli Tucci
Universidade Federal do Rio Grande do Sul



Prof.ª Miriam Rita Moro Mine
Universidade Federal do Paraná

Curitiba, 20 de dezembro de 2000

aos meus pais
Mauro e Leila

à minha esposa
Ingrid

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que de uma maneira ou outra contribuíram para o desenvolvimento desta dissertação, em especial:

Ao professor Heinz Dieter Fill, pela orientação segura e precisa do trabalho.

Aos professores Eloy Kaviski e Ralph Groszewicz pela amizade, apoio e estímulo recebidos durante a graduação, pós-graduação, neste trabalho e na vida profissional.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica.

Aos colegas Henrique Scremin e Karina Sanches pelo auxílio na elaboração de parte das figuras desta dissertação.

À minha esposa Ingrid, fortaleza nas horas difíceis, pelo apoio e compreensão durante a execução desse trabalho.

Aos amigos, em especial aos da Tecnologia da Informação e do CEHPAR, pelo incentivo e apoio recebidos ao longo da elaboração desse trabalho.

Ao Centro de Hidráulica e Hidrologia Prof. Parigot de Souza – CEHPAR, à Companhia Paranaense de Energia - COPEL, e ao Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC pela oportunidade da realização do curso.

SUMÁRIO

	LISTA DE TABELAS	vii
	LISTA DE FIGURAS	viii
	RESUMO	xi
	ABSTRACT	xii
1	INTRODUÇÃO	1
1.1	GENERALIDADES	1
1.2	OBJETIVOS DO TRABALHO	4
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	5
2	ESCOAMENTO NÃO-PERMANENTE	7
2.1	EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE	7
2.2	EQUAÇÃO DA QUANTIDADE DE MOVIMENTO	11
3	PROPAGAÇÃO DE VAZÕES	19
3.1	CLASSIFICAÇÃO DE MODELOS	19
3.2	CONCEITUAÇÃO DE MODELOS	20
3.2.1	Modelos Hidrológicos	22
3.2.2	Modelo da Onda Cinemática	22
3.2.3	Modelo da Onda Difusa	24
3.2.4	Modelos Hidrodinâmicos	25
4	MODELOS HIDROLÓGICOS DE PROPAGAÇÃO DE VAZÕES	27
4.1	MÉTODO DE MUSKINGUM	27
4.2	MÉTODO DE MUSKINGUM MODIFICADO	33
4.3	MÉTODO DE MUSKINGUM-CUNGE	35

4.4	MÉTODO DE MUSKINGUM-CUNGE MODIFICADO	43
4.5	MÉTODO DE MUSKINGUM-CUNGE NÃO-LINEAR	45
5	MODELOS HIDRODINÂMICOS DE PROPAGAÇÃO DE VAZÕES.....	46
5.1	MODELO DAMBRK.....	46
6	REDES NEURAS	49
6.1	INTRODUÇÃO	49
6.2	REDE NEURAL NATURAL OU BIOLÓGICA	50
6.3	REDE NEURAL NATURAL X COMPUTADORES DIGITAIS	51
6.4	HISTÓRICO	53
6.5	CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS REDES NEURAS.....	56
6.5.1	Unidades de Processamento e Nível de Atividade.....	56
6.5.2	Geometria.....	58
6.5.3	Conexões.....	59
6.5.4	Processos de Ativação.....	60
6.5.5	Função Erro.....	61
6.5.6	<i>Epoch</i>	62
6.5.7	Pesos Iniciais.....	62
6.5.8	Taxa de Aprendizado	62
6.5.9	Ruídos	62
6.5.10	Processos de Aprendizado	64
6.6	<i>PERCEPTRON</i>	64
6.7	<i>PERCEPTRON</i> MULTICAMADAS.....	65
6.8	<i>BACKPROPAGATION</i>	66
6.9	REDES NEURAS EM RECURSOS HÍDRICOS	69
6.10	USO DE REDES NEURAS	70
7	ESTUDO DE CASO	72

7.1	CARACTERÍSTICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA.....	72
7.2	DADOS DISPONÍVEIS	74
7.3	ESTUDOS ANTERIORES.....	77
7.4	VAZÃO INCREMENTAL.....	79
7.5	RESULTADOS.....	82
7.5.1	Erros dos Modelos	92
7.5.2	Sensibilidade quanto à Vazão Incremental	101
8	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	108
8.1	CONCLUSÕES	108
8.2	RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES	110
	APÊNDICE 1.....	112
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	140

LISTA DE TABELAS

7.1	Início, duração e tempo de recorrência dos eventos de enchente	76
7.2	Estações fluviométricas	77
7.3	Relação entre volumes afluentes e defluentes	80
7.4	Coeficiente corretor da vazão incremental	81
7.5	Parâmetros dos métodos Muskingum-Cunge e Muskingum	93
7.6	Estatísticas calculadas para as simulações realizadas - Comparação com DAMBRK.....	96
7.7	Estatísticas calculadas para as simulações realizadas - Comparação com observado	103

LISTA DE FIGURAS

1.1	Propagação de vazões	2
2.1	Trecho de canal (equação da continuidade).....	9
2.2	Trecho de canal (equação da quantidade de movimento).....	12
3.1	Equações de Saint-Venant	21
4.1	Cunha e prisma de armazenamento em um trecho de canal	28
4.2	Determinação dos parâmetros do método de Muskingum.....	31
4.3	Discretização do método Muskingum-Cunge.....	36
6.1	Esquema simplificado de um neurônio.....	50
6.2	<i>Perceptron</i>	54
6.3	Rede de Hopfield	55
6.4	Perceptrons Multicamadas	55
6.5	Unidade de processamento	57
6.6	Geometria de redes neurais.....	59
6.7	Conexão <i>FeedForward</i>	60
6.8	Conexão <i>Recurrent-Feedback</i>	60
6.9	Funções de ativação	63
7.1	Perfil do rio Iguaçu	73
7.2	Localização da área de estudo	75
7.3	Trecho Fluviópolis - União da Vitória.....	78
7.4	Hidrograma incremental - cheia de 1982.....	84
7.5	Hidrograma incremental - cheia de 1983	84
7.6	Hidrograma incremental - cheia de 1987	85
7.7	Hidrograma incremental - cheia de 1990	85

7.8	Hidrograma incremental - cheia de 1992	86
7.9	Hidrograma incremental - cheia de 1993	86
7.10	Hidrograma incremental - cheia de 1995	87
7.11	Vazões em União da Vitória – Observado x DAMBRK – 1982	88
7.12	Vazões em União da Vitória – Observado x DAMBRK – 1983	88
7.13	Vazões em União da Vitória – Observado x DAMBRK – 1987	89
7.14	Vazões em União da Vitória – Observado x DAMBRK – 1990	89
7.15	Vazões em União da Vitória – Observado x DAMBRK – 1992	90
7.16	Vazões em União da Vitória – Observado x DAMBRK – 1993	90
7.17	Vazões em União da Vitória – Observado x DAMBRK – 1995	91
7.18	Rede neural adotada para a propagação de vazões	94
7.19	Simulações cheia de 1982 – Vazões em União da Vitória – Comparação com DAMBRK	97
7.20	Simulações cheia de 1983 – Vazões em União da Vitória – Comparação com DAMBRK	97
7.21	Simulações cheia de 1987 – Vazões em União da Vitória – Comparação com DAMBRK	98
7.22	Simulações cheia de 1990– Vazões em União da Vitória – Comparação com DAMBRK	98
7.23	Simulações cheia de 1992 – Vazões em União da Vitória – Comparação com DAMBRK	99
7.24	Simulações cheia de 1993 – Vazões em União da Vitória – Comparação com DAMBRK	99
7.25	Simulações cheia de 1995 – Vazões em União da Vitória – Comparação com DAMBRK	100
7.26	Simulações cheia de 1982 – Vazões em União da Vitória – Comparação com observado	104
7.27	Simulações cheia de 1983 – Vazões em União da Vitória – Comparação com observado	104

7.28	Simulações cheia de 1987 – Vazões em União da Vitória – Comparação com observado	105
7.29	Simulações cheia de 1990 – Vazões em União da Vitória – Comparação com observado	105
7.30	Simulações cheia de 1992 – Vazões em União da Vitória – Comparação com observado	106
7.31	Simulações cheia de 1993 – Vazões em União da Vitória – Comparação com observado	106
7.32	Simulações cheia de 1995 – Vazões em União da Vitória – Comparação com observado	107

RESUMO

Essencialmente, a propagação de vazões é um problema de escoamento não-permanente em canais, equacionado por Barré de Saint-Venant em 1871 através de um sistema de duas equações diferenciais parciais que levam o seu nome. No caso de cheias naturais em rios, certos termos das equações de Saint-Venant podem ser negligenciados. Além disso, uma das equações é frequentemente substituída por relações puramente empíricas o que simplifica o método e reduz sobremaneira a quantidade de dados necessários. Modelos de propagação que seguem esta linha, isto é, usam apenas a equação da continuidade e uma relação empírica entre armazenamento e vazões, são denominados modelos hidrológicos. Já os modelos que utilizam as duas equações de Saint-Venant completas (equação da conservação de massa e da quantidade de movimento) são denominados modelos hidrodinâmicos. Nos últimos anos um novo tipo de enfoque tem sido dado a problemas que envolvem fenômenos complexos e de difícil modelagem - o uso de Redes Neurais Artificiais (*Artificial Neural Networks – ANN*). Redes neurais artificiais podem ser entendidas como uma reunião de várias unidades de processamento distribuídas e interconectadas, cujo funcionamento é inspirado na estrutura neural de organismos inteligentes. Essa rede de elementos tem a capacidade de armazenar informações e aprender com o ambiente em que está situado. O principal objetivo desse trabalho é verificar a aplicabilidade de modelos hidrológicos e redes neurais artificiais na propagação de vazões em rios. São, para isso, revisados os conceitos básicos do fenômeno da propagação de vazões, sua formulação matemática, e analisados modelos hidrológicos usuais, redes neurais e um modelo hidráulico completo. Através dos resultados obtidos verificar-se-á se o uso de modelos hidrológicos simples e de redes neurais artificiais, fornecem resultados suficientemente precisos e confiáveis a ponto de serem utilizados em problemas reais de propagação de vazões em rios. Os resultados obtidos indicam que as diferenças encontradas, nas comparações entre modelos hidrodinâmicos, hidrológicos e redes neurais, são pequenas. Porém para todos os modelos é necessário que se disponha de uma estimativa razoavelmente precisa da vazão incremental ao trecho estudado, sempre que esta seja significativa.

ABSTRACT

Flow routing is essentially a problem of unsteady flow in open channels, with the purpose of predicting the magnitude, and shape of a flood wave as a function of time and space along a watercourse. In 1871, Barré de Saint Venant derived the basic equations for one dimensional analysis of gradually varied unsteady flow in open channels. However, during almost 100 years owing to the mathematical complexity of the Saint Venant equations, simplifications were necessary to obtain solutions for practical problems. This resulted in the development of many simplified flow routing methods. Two general approaches are commonly used: hydrologic methods, based on mass conservation and empirical relations between storage and flow; and hydraulic methods, based on the principles of mass and momentum conservation. Recently, a new approach called Artificial Neural Networks – ANN have been successfully used in hydrology related areas such as rainfall-runoff modeling, streamflow forecasting, water quality and hydrologic time series. An ANN is a massive parallel-distributed information processing system that has certain performance characteristics resembling biological neural networks of the human brain. The main purpose of this dissertation is verify the aplicability of some simple hydrologic models, hydraulic models and ANN for the routing of natural floods at Iguazu river. The results show that much more detailed models, such as a complete hydrodynamic model (DAMBREAK), are only slightly better than some classical hydrologic models using a very simplified approach and very few field data. However, an accurate estimate of the lateral inflow is crucial for all models in order to get reliable results.

1 INTRODUÇÃO

1.1 GENERALIDADES

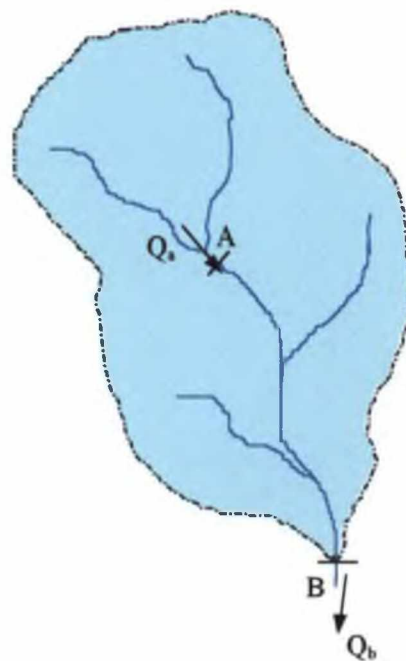
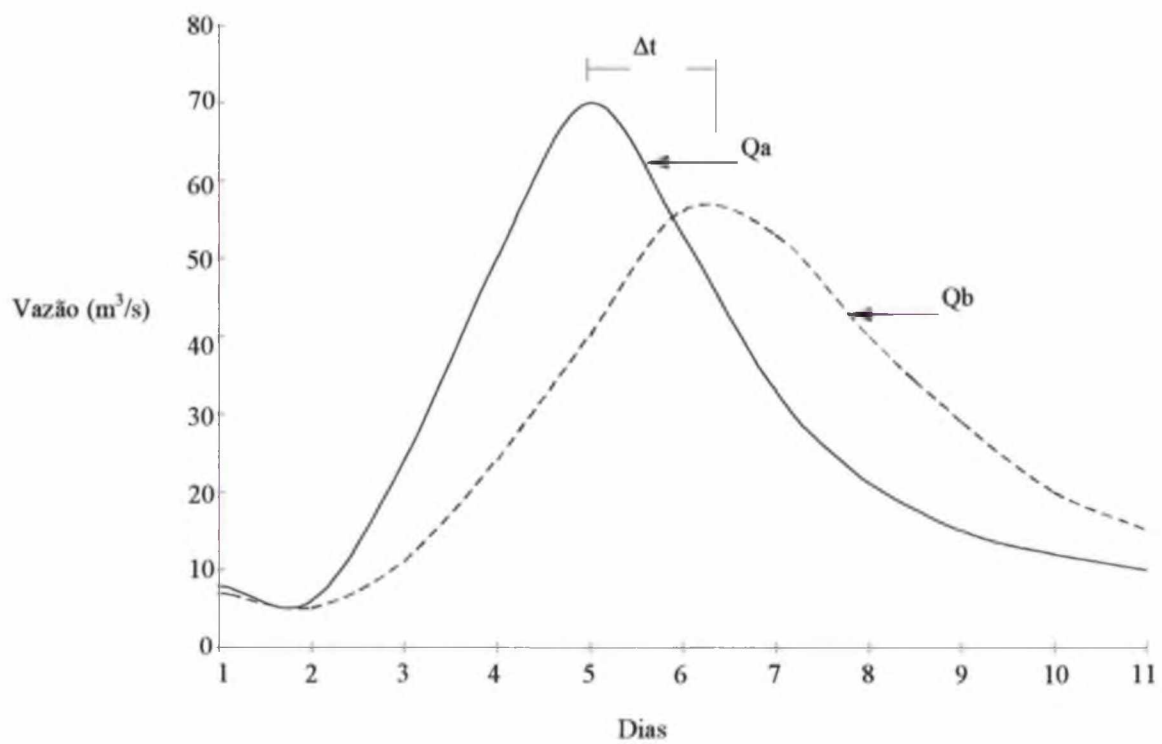
Denomina-se propagação de vazões todo procedimento matemático cuja finalidade é determinar a vazão em um rio, canal, lago ou reservatório, como função do espaço e do tempo. Essencialmente, a propagação de vazões é um problema de escoamento não-permanente em canais, equacionado por Barré de Saint-Venant em 1871 através de um sistema de duas equações diferenciais parciais que levam o seu nome.

Embora o escoamento de um fluido seja um fenômeno tridimensional, a propagação de vazões pode ser tratada de forma unidimensional se existir uma direção preponderante do escoamento, que permite definir seções tais que os vetores velocidade sejam todos perpendiculares ao plano dessas seções, denominadas seções transversais. Neste caso, os efeitos que a distribuição de velocidades exerce sobre a quantidade de movimento e sobre a energia cinética do fluido que escoar, pode ser levado em conta através do uso da velocidade média e de coeficientes corretores. Este procedimento é comum no caso de propagação de vazões em rios ou canais.

Do ponto de vista prático, a propagação de vazões é importante em uma série de aplicações que incluem rupturas de barragens, operação de comportas, o caminhamento de cheias naturais em rios, lagos ou reservatórios, previsão de vazões, e o preenchimento de falhas em séries temporais de vazões.

O caminhamento de cheias, é ilustrado pela figura 1.1, que descreve a situação onde conhecido o hidrograma de vazões afluentes (Q_a) a um certo trecho de rio, determina-se o correspondente hidrograma de vazões efluentes (Q_b). Esta é a principal aplicação hidrológica da propagação de vazões.

Figura 1.1 - Propagação de vazões



Quando entre duas seções existe contribuição em percurso ou em forma de canal que contribui ao curso principal, essa vazão incremental deve ser estimada com razoável precisão para não se correr o risco de cometer erros grosseiros na propagação de vazões.

No caso de cheias naturais em rios, certos termos das equações de Saint-Venant podem ser negligenciados. Além disso, uma das equações é frequentemente substituída por relações puramente empíricas o que simplifica o método e reduz sobremaneira a quantidade de dados necessários. Modelos de propagação que seguem esta linha, isto é, usam apenas a equação de Saint-Venant que traduz a conservação de massa (equação da continuidade) e uma relação empírica entre armazenamento e vazões, são denominados modelos hidrológicos. Já os modelos que utilizam as duas equações de Saint-Venant (equação da conservação de massa e da quantidade de movimento) são denominados modelos hidrodinâmicos. Evidentemente os modelos hidrodinâmicos se assemelham mais à verdade física e os seus resultados são, muitas vezes, aceitos como exatos a menos de incertezas nos dados de entrada do modelo e aproximações devidas à discretização da geometria.

Nos últimos anos um novo tipo de enfoque tem sido dado a problemas que envolvem fenômenos complexos e de difícil modelagem - o uso de Redes Neurais Artificiais (*Artificial Neural Networks – ANN*). Redes neurais artificiais podem ser entendidas como uma reunião de várias unidades de processamento distribuídas e interconectadas, cujo funcionamento é inspirado na estrutura neural de organismos inteligentes. Essa rede de elementos tem a capacidade de armazenar informações e aprender com o ambiente em que está situado.

Redes neurais artificiais têm sido utilizadas principalmente em problemas onde a relação entre variáveis não é totalmente conhecida, em problemas de difícil modelagem, onde pequenas alterações nos dados de entrada não produzem grandes mudanças nos resultados, e também em problemas onde uma grande quantidade de dados esteja disponível para aprendizado ou simulação. Talvez a grande vantagem do uso de redes neurais é a possibilidade de modelar um fenômeno físico sem conhecer a teoria intrínseca ao problema. São por essa característica também chamadas de *Free Models*.

Alguns assuntos onde estão sendo pesquisados o uso e aplicadas as redes neurais artificiais são: reconhecimento de vozes, reconhecimento de caracteres, engenharia elétrica, problemas relativos ao meio ambiente, recursos hídricos, engenharia de transportes, engenharia civil, economia e finanças.

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

O principal objetivo desse trabalho é verificar a aplicabilidade de modelos hidrológicos e redes neurais artificiais na propagação de vazões em rios. São, para isso, revisados os conceitos básicos do fenômeno da propagação de vazões, sua formulação matemática, e analisados modelos hidrológicos usuais, redes neurais e um modelo hidrodinâmico completo. Através dos resultados obtidos verificar-se-á se o uso de modelos hidrológicos simples e de redes neurais artificiais fornecem resultados suficientemente precisos e confiáveis a ponto de serem utilizados em problemas reais de propagação de vazões em rios. No caso das redes neurais também serão avaliadas suas limitações em virtude da não necessidade do conhecimento da teoria intrínseca ao fenômeno.

Não se pretende neste trabalho esgotar o assunto relativo à propagação de vazões em rios, mas sim comparar alguns modelos hidrológicos clássicos e uma nova técnica (redes neurais) com um modelo hidrodinâmico completo (considerado a representação mais precisa do fenômeno), além de discutir os conceitos subjacentes e sua aplicabilidade nesse ramo da hidrologia. Novas pesquisas poderão ser realizadas abordando aspectos não tratados ou não aprofundados nesse trabalho.

Como motivação do trabalho vale citar a discussão entre Gill e Meehan (MEEHAN, 1979; GILL, 1979). Meehan, em uma discussão de um artigo escrito por Gill que trata do método de Muskingum, questiona alguns pontos do artigo e conclui dizendo não entender porque ainda se fazem tentativas de melhoria no método de Muskingum. Segundo Meehan, o método de Muskingum serve apenas como introdução ao problema de propagação de vazões a alunos, e que novos modelos computacionais mais completos já tomaram conta do espaço que

um dia foi do método de Muskingum. Gill comenta que acha desagradável o comentário de Meehan e não concorda com ele. O que tem acontecido, segundo Gill, é o uso de forma errônea do método. Ele acredita que o método é eficaz e ainda é capaz de produzir bons resultados conforme vários trabalhos demonstram. Neste trabalho são apresentadas algumas vantagens do método de Muskingum cujo principal mérito é o fato de não necessitar de extensos trabalhos de campo (levantamento de seções, transporte de cotas, etc.) necessários à aplicação dos modelos hidrodinâmicos completos. Particularmente no Brasil, onde a disponibilidade de dados topográficos precisos é ainda bastante precária, esta vantagem pode ser significativa. A simplicidade computacional, sem dúvida, deixou de ser uma vantagem devido ao desenvolvimento extraordinário dos computadores nos últimos 15 anos.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está dividido em 8 capítulos, incluindo-se esta introdução.

O capítulo 2 descreve o fenômeno da propagação de vazões em rios. É apresentada a conceituação teórica e a dedução do sistema de equações que descrevem matematicamente os escoamentos não-permanentes unidimensionais em canais.

O capítulo 3 é dedicado à classificação dos modelos de propagação entre hidrológicos e hidrodinâmicos, as simplificações envolvidas em cada um deles, suas ramificações e derivações.

No capítulo 4 são apresentados os modelos hidrológicos de propagação de vazões, sua conceituação, equações e propriedades.

O capítulo 5 apresenta o modelo hidrodinâmico de propagação de vazões DAMBRK.

O capítulo 6 versa sobre redes neurais artificiais. Sua conceituação, histórico, conceitos básicos, regras e algoritmos de aprendizado.

No capítulo 7 são mostrados os resultados da aplicação de metodologias convencionais, isto é, modelos hidrológicos e hidrodinâmicos e os obtidos pelas redes neurais. Os resultados são comparados através de parâmetros estatísticos e através da forma dos hidrogramas resultantes.

Finalmente, no capítulo 8 são apresentadas as principais conclusões obtidas, e as recomendações e sugestões para pesquisas futuras no mesmo tema.

2 ESCOAMENTO NÃO-PERMANENTE

As equações desenvolvidas por Barré de Saint-Venant em 1871 descrevem matematicamente os escoamentos não-permanentes unidimensionais incompressíveis e de uma única fase em canais. Esse sistema de equações compreende:

- Equação da Continuidade, que exprime a conservação de massa.
- Equação da Quantidade de Movimento, que traduz a 2ª lei de Newton.

Para a dedução destas equações, apresentada a seguir, assumem-se as seguintes hipóteses (CHAUDHRY, 1993):

- i) Escoamento unidimensional;
- ii) Fluido incompressível e homogêneo;
- iii) Escoamento gradualmente variado (distribuição hidrostática de pressões, ou seja, acelerações verticais negligenciadas);
- iv) Declividade do fundo do canal pequena;
- v) Leito do canal fixo e impermeável;
- vi) Perdas de carga causadas pela resistência ao escoamento descritas por expressões válidas para movimento uniforme, como Chézy e Manning.

2.1 EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE

A equação da continuidade, para um volume de controle na sua forma integral pode ser escrita como (CHOW, MAIDMENT e MAYS, 1988):

$$0 = \frac{d}{dt} \iiint_{v.c.} \rho dV + \iint_{s.c.} \rho \mathbf{V} \cdot d\mathbf{A} \quad (2.1)$$

onde:

ρ = densidade do fluido;

\forall = volume;

\mathbf{V} = vetor velocidade;

$d\mathbf{A}$ = vetor área elementar com direção normal à superfície.

Considerando um volume de controle, mostrado na figura 2.1, de comprimento dx em um canal, a entrada para o volume de controle pode ser expressa como:

$$\iint_{s_1} \rho \mathbf{V} \cdot d\mathbf{A} = -\rho(Q + qdx) \quad (2.2)$$

onde:

q = vazão específica de contribuição lateral;

dx = elemento de comprimento;

ρ , Q , $d\mathbf{A}$ e \mathbf{V} já definidos anteriormente.

O sinal negativo resulta do ângulo aplicado no produto escalar $\mathbf{V} \cdot d\mathbf{A}$.

Com as mesmas considerações, a saída do volume de controle é expressa por:

$$\iint_{s_2} \rho \mathbf{V} \cdot d\mathbf{A} = \rho(Q + \frac{\partial Q}{\partial x} dx) \quad (2.3)$$

onde $\frac{\partial Q}{\partial x}$ é a taxa de variação da vazão com a distância, e demais termos já definidos.

Considerando o termo da equação (2.1):

$$\frac{d}{dt} \iiint_{v.c.} \rho d\forall \quad (2.4)$$

e que:

$$d\mathcal{V} = A dx \quad (2.5)$$

onde:

$d\mathcal{V}$ = elemento de volume;

A = área transversal média.

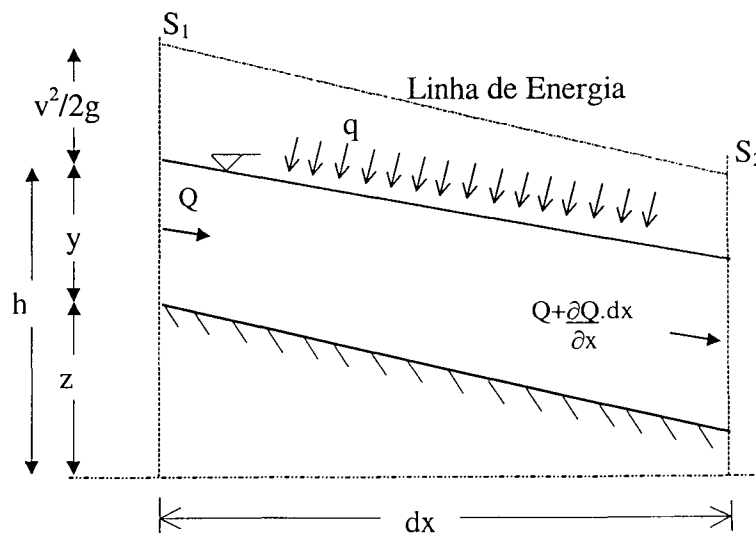
A taxa de variação da massa armazenada no volume de controle pode então ser expressa como:

$$\frac{d}{dt} \iiint_{v.c.} \rho d\mathcal{V} = \frac{\partial(\rho A dx)}{\partial t} \quad (2.6)$$

Substituindo as equações (2.2), (2.3) e (2.6) em (2.1), resulta em:

$$\frac{\partial(\rho A dx)}{\partial t} - \rho(Q + q dx) + \rho \left(Q + \frac{\partial Q}{\partial x} dx \right) = 0 \quad (2.7)$$

Figura 2.1 - Trecho de canal (equação da continuidade)



Assumindo a densidade do fluido constante (fluido incompressível) a equação (2.7) é simplificada, eliminando os termos ρ e dx , resultando na forma conservativa da equação da continuidade, válida para canais prismáticos ou não-prismáticos.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} - q = 0 \quad (2.8)$$

Para um canal de seção retangular com contribuição lateral nula, largura b , profundidade y e velocidade V resulta $A=by$ e $Q = byV$, que substituídos em (2.8) conduzem à equação da continuidade por unidade de largura ($b = 1$) com variáveis dependentes V e y ao invés de Q e A .

$$\frac{\partial(Vy)}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} = 0 \quad (2.9)$$

Efetuando a derivada do produto Vy obtém-se a forma não-conservativa da equação da continuidade:

$$V \frac{\partial y}{\partial x} + y \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} = 0 \quad (2.10)$$

2.2 EQUAÇÃO DA QUANTIDADE DE MOVIMENTO

A segunda equação de Saint-Venant é baseada na lei da conservação de momento. A conservação de momento é dada pela segunda lei de Newton, ou seja, a soma das forças que atuam no corpo de água é igual à taxa de variação da quantidade de movimento armazenado no volume de controle mais o fluxo da quantidade de movimento através da superfície de controle (KAVISKI, 1995). Ela pode ser expressa da seguinte maneira:

$$\sum \mathbf{F} = \frac{d}{dt} \iiint_{v.c.} \mathbf{V} \rho dV + \iint_{s.c.} \mathbf{V} \rho \mathbf{V} \cdot d\mathbf{A} \quad (2.11)$$

onde $\sum \mathbf{F}$ representa o somatório das forças atuantes, e demais termos já definidos.

As forças atuantes no volume de controle, mostrado na figura 2.2, consideradas são:

- i) Gravidade - F_g ;
- ii) Resistência - F_a ;
- iii) Acelerações longitudinais (Contração/Expansão) - F_e ;
- iv) Pressão - F_p .

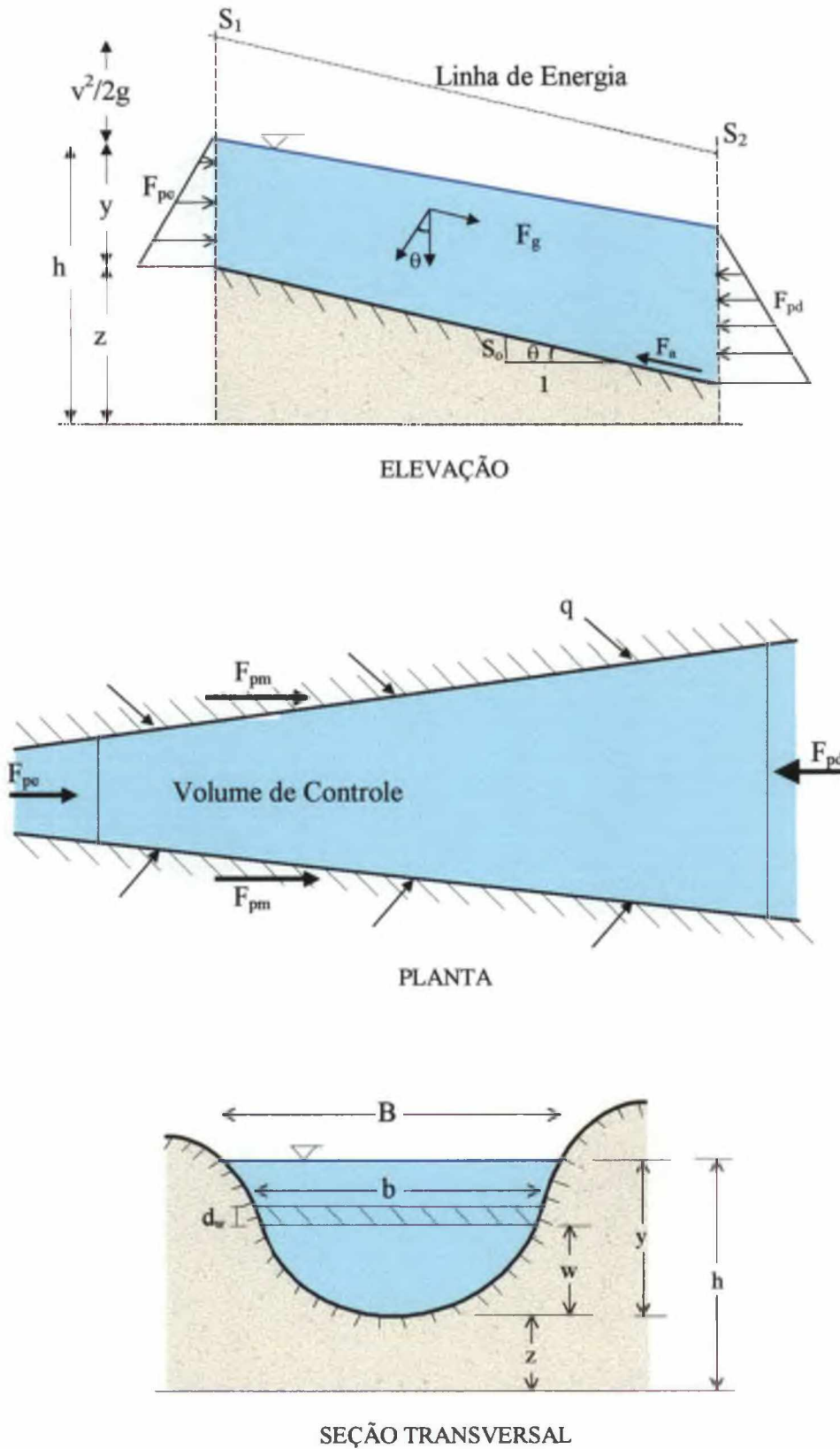
$$\sum F = F_g + F_a + F_e + F_p \quad (2.12)$$

Alguns autores ainda consideram um termo devido à tensão exercida pelo vento. Essa força em canais é relativamente pequena e não será considerada nesse trabalho.

A força devido à ação da gravidade, F_g , é a componente na direção do escoamento do peso da água no volume de controle ($A dx$).

$$F_g = \rho g A dx \sin \theta \quad (2.13)$$

Figura 2.2 - Trecho de canal (equação da quantidade de movimento)



Porém, desde que o ângulo θ entre o fundo do canal e o eixo horizontal seja pequeno, assume-se que:

$$\text{sen } \theta \cong \tan \theta = -\frac{\partial z}{\partial y} = S_0 \quad (2.14)$$

logo,

$$F_g = \rho g A S_0 dx \quad (2.15)$$

A força devido à resistência do contorno sólido do volume de controle, F_a , pode ser escrita como:

$$F_a = -\tau_0 P dx \quad (2.16)$$

Por outro lado sabe-se que:

$$\tau_0 = \gamma R_h S_f = \rho g (A / P) S_f \quad (2.17)$$

logo,

$$F_a = -\rho g A S_f dx \quad (2.18)$$

onde:

τ_0 = tensão tangencial no contorno;

P = perímetro molhado;

R_h = raio hidráulico;

A = área;

S_f = declividade da linha de energia (perda de carga unitária).

A força de resistência que corresponde à perda de energia causada por vórtices produzidos na presença de contração ou expansão abrupta (perda de carga localizada), F_e , é dada por:

$$F_e = -\rho g A S_e dx \quad (2.19)$$

onde S_e é a declividade da linha de energia equivalente à perda de carga localizada, dada por:

$$S_e = \frac{K_e}{2g} \frac{\partial(Q/A)^2}{\partial x} \quad (2.20)$$

onde K_e é um coeficiente de contração ou expansão adimensional.

A força de pressão, F_p , é estimada considerando uma distribuição de pressões hidrostática, o que é razoável para escoamentos gradualmente variados e com baixas declividades. As forças de pressão atuam nos limites do volume de controle (lado esquerdo e direito) e também nas margens, conforme mostrado na figura 2.2.

$$F_p = F_{pe} - F_{pd} + F_{pm} \quad (2.21)$$

A força exercida no lado esquerdo do volume de controle é dada por:

$$F_{pe} = \int_0^y \rho g (y - w) b dw \quad (2.22)$$

A força exercida no lado direito do volume de controle é dada por:

$$F_{pd} = \left(F_{pe} + \frac{\partial F_{pe}}{\partial x} dx \right) \quad (2.23)$$

onde:

$$\frac{\partial F_{pe}}{\partial x} = \int_0^y \rho g \frac{\partial y}{\partial x} b dw + \int_0^y \rho g (y - w) \frac{\partial b}{\partial x} dw \quad (2.24)$$

Da figura 2.2, estima-se a área de um seção transversal como:

$$A = \int_0^y b dw \quad (2.25)$$

que substituída na equação (2.24) resulta em:

$$\frac{\partial F_{pe}}{\partial x} = \rho g A \frac{\partial y}{\partial x} + \int_0^y \rho g (y - w) \frac{\partial b}{\partial x} dw \quad (2.26)$$

A força exercida pelas margens é dada por:

$$F_{pm} = \left[\int_0^y \rho g (y - w) \frac{\partial b}{\partial x} dw \right] dx \quad (2.27)$$

substituindo a equação (2.23) na equação (2.21), resulta em:

$$F_p = F_{pe} - \left(F_{pe} + \frac{\partial F_{pe}}{\partial x} dx \right) + F_{pm} = -\frac{\partial F_{pe}}{\partial x} dx + F_{pm} \quad (2.28)$$

uma nova substituição de (2.26) e (2.27) em (2.28), resulta em:

$$F_p = -\rho g A \frac{\partial y}{\partial x} dx \quad (2.29)$$

Utilizando as equações (2.15), (2.18), (2.19) e (2.29), a equação (2.12) pode ser escrita como:

$$\sum F = \rho g A S_0 dx - \rho g A S_f dx - \rho g A S_e dx - \rho g A \frac{\partial y}{\partial x} dx \quad (2.30)$$

Os termos da direita da equação (2.11), que representam a taxa de variação da quantidade de movimento armazenada no volume de controle e o fluxo da quantidade de movimento através da superfície de controle, podem ser determinados da seguinte maneira:

A quantidade de movimento, que entra no volume de controle é:

$$\iint_{s1} \mathbf{V} \rho \mathbf{V} \cdot d\mathbf{A} = -\rho(\beta V Q + \beta v_x q dx) \quad (2.31)$$

onde $\rho\beta V Q$ é a quantidade de movimento que chega na seção S1, $\rho\beta v_x q dx$ é a quantidade de movimento que entra lateralmente e possui uma componente de velocidade v_x na direção (x). O termo β é conhecido como coeficiente corretor da quantidade de movimento ou coeficiente de Boussinesq, expresso pela equação:

$$\beta = \frac{1}{V^2 A} \int v^2 dA \quad (2.32)$$

onde:

V = velocidade média;

v = velocidade em um elemento de área;

A = área.

A quantidade de movimento que deixa o volume de controle é expressa por:

$$\iint_{s2} \mathbf{V} \rho \mathbf{V} \cdot d\mathbf{A} = \rho \left[\beta V Q + \frac{\partial(\beta V Q)}{\partial x} dx \right] \quad (2.33)$$

A variação da quantidade de movimento da superfície de controle é a soma das equações (2.31) e (2.33):

$$\begin{aligned}
\iint_{s.c.} \mathbf{V} \rho \mathbf{V} \cdot d\mathbf{A} &= -\rho [\beta V Q + \beta v_x q dx] + \rho \left[\beta V Q + \frac{\partial(\beta V Q)}{\partial x} dx \right] \\
&= -\rho \left[\beta v_x q - \frac{\partial(\beta V Q)}{\partial x} \right] dx
\end{aligned} \tag{2.34}$$

A variação da quantidade de movimento armazenada no volume de controle pode ser determinada por:

$$\frac{d}{dt} \iiint_{v.c.} \mathbf{V} \rho dV = \rho \frac{\partial Q}{\partial t} dx \tag{2.35}$$

Substituindo (2.30), (2.34) e (2.35) em (2.11) resulta em:

$$\begin{aligned}
\rho g A S_0 dx - \rho g A S_f dx - \rho g A S_e dx - \rho g A \frac{\partial y}{\partial x} dx \\
= -\rho \left[\beta v_x q - \frac{\partial(\beta V Q)}{\partial x} \right] dx + \rho \frac{\partial Q}{\partial t} dx
\end{aligned} \tag{2.36}$$

Dividindo por ρdx , substituindo V por Q/A e rearranjando obtém-se a equação da quantidade de movimento na forma conservativa:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\beta Q^2 / A)}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial y}{\partial x} - S_0 + S_f + S_e \right) - \beta q v_x = 0 \tag{2.37}$$

Uma nova modificação pode ser feita a fim de expressar a equação da quantidade de movimento em função da cota da superfície livre h (ver figura 2.2):

$$h = y + z \tag{2.38}$$

onde z é a elevação do fundo do canal em relação ao nível do mar.

A derivada da equação (2.38) em relação à distância (x) é:

$$\frac{\partial h}{\partial x} = \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{\partial z}{\partial x} \quad (2.39)$$

mas,

$$\frac{\partial z}{\partial x} = -S_0 \quad (2.40)$$

então,

$$\frac{\partial h}{\partial x} = \frac{\partial y}{\partial x} - S_0 \quad (2.41)$$

resultando em:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\beta Q^2 / A)}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial h}{\partial x} + S_f + S_e \right) - \beta q v_x = 0 \quad (2.42)$$

ou ainda, considerando a equação (2.37), negligenciando efeitos de contribuição lateral, da contração/expansão e considerando $\beta \cong 1,0$, obtém-se a forma conservativa da equação da quantidade de movimento, mostrada a seguir:

$$\frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{A} \frac{\partial(Q^2 / A)}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} - g(S_0 - S_f) = 0 \quad (2.43)$$

A forma não-conservativa da equação da quantidade de movimento, seguindo os mesmos princípios da equação da continuidade, pode ser expressa como:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} - g(S_0 - S_f) = 0 \quad (2.44)$$

3 PROPAGAÇÃO DE VAZÕES

3.1 CLASSIFICAÇÃO DE MODELOS

Muitos autores classificam de maneiras diferentes os modelos utilizados na propagação de vazões. A seguir são apresentadas algumas classificações que constam nas principais publicações de hidrologia e recursos hídricos.

CHOW (1959), LINSLEY, KOEHLER e PAULHUS (1975), VIESSMAN et al. (1977), e ROBERSON, CASSIDY e CHAUDHRY (1988) classificam os modelos como hidráulicos e hidrológicos. Os modelos hidráulicos baseiam-se nas soluções das duas equações de Saint-Venant; os modelos hidrológicos usam apenas a equação da continuidade e uma relação empírica para relacionar armazenamentos e vazões.

NERC (1975) e RAUDIKIVI (1979), apresentam a seguinte classificação:

- i) Modelos de propagação hidrológica;
- ii) Modelos de propagação baseada na equação convecção-difusão;
- iii) Modelos baseados na solução numérica das equações de movimento e continuidade, também conhecidos como propagação hidráulica.

Para CHOW, MAIDMENT e MAYS (1988) e KILLINGTVEIT e SAELTHUN (1995) os modelos hidrológicos podem ser considerados como modelos concentrados, já que as vazões são calculadas em um único local, apenas como função do tempo. Os modelos hidráulicos por sua vez são modelos distribuídos, no sentido que as vazões são calculadas como função do tempo e do espaço.

PONCE (1989) e TUCCI (1993a) classificam os modelos de propagação de vazões em canais em modelos hidrológicos baseados no conceito de armazenamento, e hidráulicos baseados na conservação de massa e quantidade de movimento. Para estes autores, os modelos hidráulicos podem ser subdivididos em três tipos:

- i) Modelo da onda cinemática;
- ii) Modelo da onda difusa;
- iii) Modelo da onda dinâmica.

A onda dinâmica é o modelo mais completo de escoamento não-permanente em canais para o caso unidimensional. As ondas difusa e cinemática são aproximações práticas e convenientes em algumas aplicações específicas.

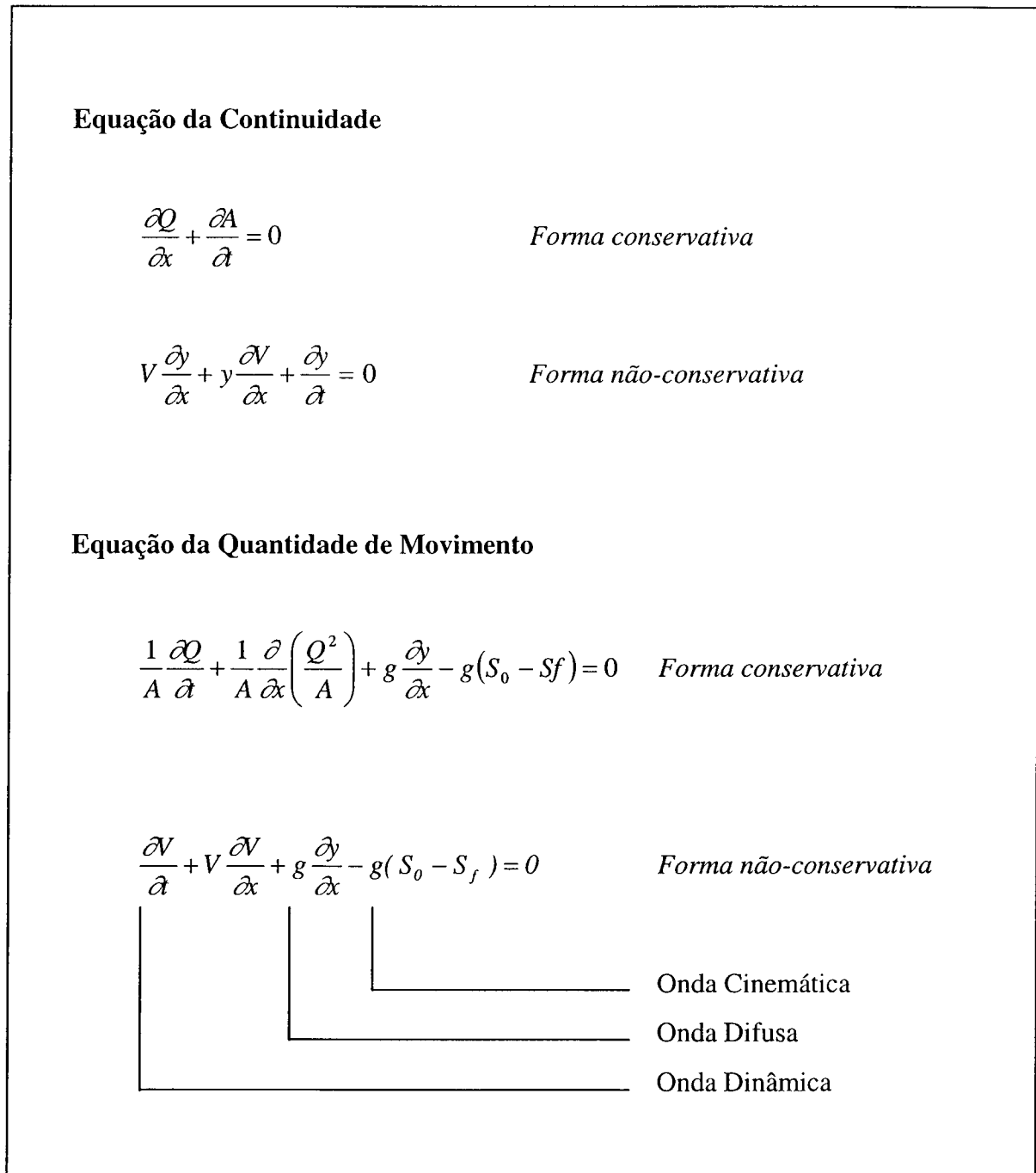
3.2 CONCEITUAÇÃO DE MODELOS

No capítulo 2 foram demonstradas as equações de Saint-Venant, que descrevem os escoamentos não-permanentes em canais. Matematicamente as equações de Saint-Venant são classificadas como equações diferenciais parciais quasi-lineares e hiperbólicas (FABIANI, 1995). A figura 3.1 apresenta um resumo dessas equações.

As equações de Saint-Venant embora sejam representativas do fenômeno do escoamento não-permanente não possuem solução analítica geral, a não ser para alguns casos particulares muito simples (HENDERSON, 1966). Conforme o tipo de problema a ser abordado ou de acordo com o grau de precisão esperado dos resultados, algumas simplificações podem ser adotadas. Certos termos, que em determinada aplicação apresentem ordens de grandeza muito inferiores aos outros termos da equação, podem ser negligenciados. Essas simplificações podem apresentar resultados bastante satisfatórios e próximos àqueles obtidos com as equações completas.

HENDERSON (1966) mostra que, para cheias naturais em rios, a ordem de grandeza para os termos $\frac{\partial y}{\partial x}$, $\frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x}$ e $\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t}$ são 0,1; 0,03 e 0,01 m/km, respectivamente. A declividade do canal na maioria dos rios naturais varia de 0,1 a 10 m/km, correspondendo respectivamente a rios de planície e a rios torrenciais de regiões acidentadas.

Figura 3.1 – Equações de Saint-Venant



A seguir, descreve-se a conceituação básica dos modelos, desde os mais simplificados até os mais completos, em geral chamados de modelos hidrodinâmicos.

3.2.1 Modelos Hidrológicos

Para fins dessa dissertação, denominam-se modelos hidrológicos aqueles que utilizam apenas a equação da continuidade das equações de Saint-Venant, e uma relação empírica entre vazão e armazenamento no trecho considerado.

Pela sua simplicidade de formulação e também pela pouca quantidade de dados necessários (hidrogramas de entrada, saída e incremental), os modelos hidrológicos vem sendo amplamente utilizados em problemas de propagação de vazões, embora não levem em consideração, de forma explícita, os efeitos de acelerações, inércia e resistência do escoamento.

Um modelo hidrológico clássico é o chamado método de Muskingum, que estabelece uma relação linear empírica entre o armazenamento em um trecho de canal e as vazões afluentes e defluentes. O método de Muskingum será detalhado no capítulo 4 dessa dissertação.

3.2.2 Modelo da Onda Cinemática

No modelo da onda cinemática, são utilizadas a equação da continuidade e apenas os termos $S_o = S_f$ da equação da quantidade de movimento, ou seja, declividade do fundo do canal igual à declividade da linha de energia. Desta forma, os termos de acelerações locais e convectivas $\left(\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x}\right)$ e os termos de pressão $\left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)$ da equação da quantidade de movimento são desprezados.

As restrições à aplicação da onda cinemática na propagação de vazões residem no fato da mesma não conseguir reproduzir os efeitos da influência de fatores de jusante, como por exemplo a presença de lagos, sobre o escoamento. Além disso, a onda cinemática não reproduz o abatimento da onda a medida que a mesma progride. Em termos práticos o modelo da onda cinemática apresenta bons resultados em canais de alta declividade ($S_o > 1\text{m/km}$)

como ocorre nas fases iniciais do escoamento superficial (escoamento distribuído e canais efêmeros) ou em rios torrenciais de regiões serranas.

A solução do modelo da onda cinemática pode ser analítica ou numérica. Na solução analítica para canais prismáticos ocorre apenas a translação do hidrograma, já na solução numérica pode haver difusão (mudança na magnitude do pico e forma do hidrograma). Essa difusão, geralmente referida como difusão numérica, ocorre exclusivamente devido às aproximações dos métodos de solução e não tem nenhuma associação com o fenômeno físico.

Ondas de enchente podem ser consideradas cinemáticas se tiverem longa duração em canais de alta declividade. Um critério para a aplicabilidade da onda cinemática foi desenvolvido por PONCE, LI e SIMONS (1978) e é dado pela seguinte equação:

$$\frac{tS_0V}{y} \geq 171 \quad (3.1)$$

onde:

t = período da onda de enchente (s);

S_0 = declividade do canal (m/m);

V = velocidade média (m/s);

y = profundidade (m).

WOOLHISER e LIGGETT (1967) também desenvolveram um critério para a aplicabilidade da onda cinemática através da seguinte expressão:

$$\frac{S_0L}{F^2y} > 20 \quad (3.2)$$

onde:

S_0 = declividade do canal (m/m);

L = comprimento longitudinal do escoamento (m);

F = número de Froude = $\frac{V}{\sqrt{gy}}$ (adimensional);

y = profundidade média.

TUCCI (1993a) considera que o critério da expressão (3.1) é mais completo, dado que leva em conta não só as características do sistema e da profundidade, mas também o período da onda, que é um indicador dos gradientes envolvidos.

3.2.3 Modelo da Onda Difusa

No modelo da onda difusa, além da equação da continuidade é utilizada a equação da $\left(\frac{\partial \mathcal{V}}{\partial t} + V \frac{\partial \mathcal{V}}{\partial x}\right)$ de movimento, desprezando os termos de aceleração local e convectiva $\left(\frac{\partial \mathcal{V}}{\partial t} + V \frac{\partial \mathcal{V}}{\partial x}\right)$. Por essas características, o modelo da onda difusa pode ser utilizado numa faixa maior de aplicações práticas de propagação de vazões quando comparado ao modelo da onda cinemática. A onda difusa pode ser aplicada a trechos sujeitos à influência de jusante desde que a velocidade não sofra variações temporais ou espaciais consideráveis, como é o caso de cheias naturais em rios de planície ($S_0 \cong 0,1$ m/km).

PONCE, LI e SIMONS (1978) apresentam o seguinte critério para a aplicabilidade da onda difusa:

$$tS_0 \sqrt{\frac{g}{y}} \geq 30 \quad (3.3)$$

onde:

t = período da onda de enchente (s);

S_0 = declividade do canal (m/m);

g = constante gravitacional (m/s^2);

y = profundidade (m).

3.2.4 Modelos Hidrodinâmicos

Os modelos hidrodinâmicos, também conhecidos como modelos da onda dinâmica, são o mais precisos e de maior embasamento físico para a propagação de vazões porém, por serem muito rico em detalhes, a sua solução é mais complexa. Ao contrário da onda cinemática e da onda difusa, a onda dinâmica utiliza todos os termos da equação da quantidade de movimento em conjunto com a equação da continuidade, ou seja, trabalha com as equações de Saint-Venant completas. Como a solução analítica das equações de Saint-Venant só ocorre para alguns casos particulares muito simples, normalmente são utilizados, para a resolução das equações, métodos numéricos como: diferenças finitas, método das características, e elementos finitos.

No método das diferenças finitas, as derivadas parciais das equações diferenciais são aproximadas por quocientes de incrementos finitos segundo um esquema de discretizações. Para isso normalmente se usa uma malha de dimensões finitas fixas no espaço e no tempo, possibilitando o cálculo das variáveis e dos seus incrementos para cada instante de tempo desejado. O método das diferenças finitas pode ser classificado em esquemas explícitos e implícitos. Os explícitos são aqueles onde a aproximação das derivadas espaciais depende apenas de valores calculados no tempo anterior, e apenas as derivadas temporais envolvem grandezas (desconhecidas) no tempo futuro. Exemplos de esquemas explícitos são os de Lax-Wendroff e o “Leap-frog”. Os esquemas implícitos são aqueles nos quais tanto as derivadas temporais como as espaciais para um determinado instante de tempo dependem da solução para o tempo futuro. Exemplos dos esquemas implícitos são os de Preissman e o de Vasiliev (KAVISKI, 1995).

O método das características resolve as equações diferenciais parciais através da transformação das equações de Saint-Venant em equações diferenciais ordinárias. Em 1789, Monge desenvolveu um procedimento gráfico para resolução de equações diferenciais parciais (CHAUDHRY, 1993). Ele chamou esse procedimento de método das características. ABBOTT (1975) apresenta o desenvolvimento deste método às equações de Saint-Venant. Uma das grandes vantagens do método é a facilidade de tratamento das condições de contorno e por isso é frequentemente utilizado como auxiliar nos outros métodos de resolução, como o das diferenças finitas e o dos elementos finitos. O método das características embora bastante atraente do ponto de vista teórico é pouco utilizado devido ao fato de não se poder usar uma malha retangular fixa. A solução é obtida ao longo das chamadas linhas características e a sua transposição para os pontos de interesse envolve interpolações adicionais.

O método dos elementos finitos resolve as equações de Saint-Venant através de um *grid* de elementos finitos que possibilita tratar diferentes tipos de contorno ao contrário do método de diferenças finitas, onde o *grid* usado é quase sempre igualmente espaçado no tempo e perpendicular entre si. Uma das grandes vantagens do método é que o *grid* pode ser moldado de acordo com o fenômeno estudado.

No passado, a utilização de modelos hidrodinâmicos na propagação de vazões ficava quase que descartado devido à restrição computacional existente na época. Nos dias de hoje esse problema não existe mais. A capacidade de memória e de processamento dos microcomputadores de hoje permite que se desenvolvam pacotes computacionais que solucionam complexos sistemas de equações diferenciais em questão de horas. Talvez a maior desvantagem dos modelos hidrodinâmicos resida na necessidade de levantamentos topobatimétricos detalhados e precisos na região a ser estudada. Esses levantamentos são caros e demorados e muitas vezes acabam por limitar o uso dos modelos hidrodinâmicos, por comprometerem os prazos ou recursos financeiros disponíveis.

4 MODELOS HIDROLÓGICOS DE PROPAGAÇÃO DE VAZÕES

Neste capítulo são apresentados os conceitos, equações, restrições e propriedades dos modelos hidrológicos mais comumente empregados na propagação de vazões.

4.1 MÉTODO DE MUSKINGUM

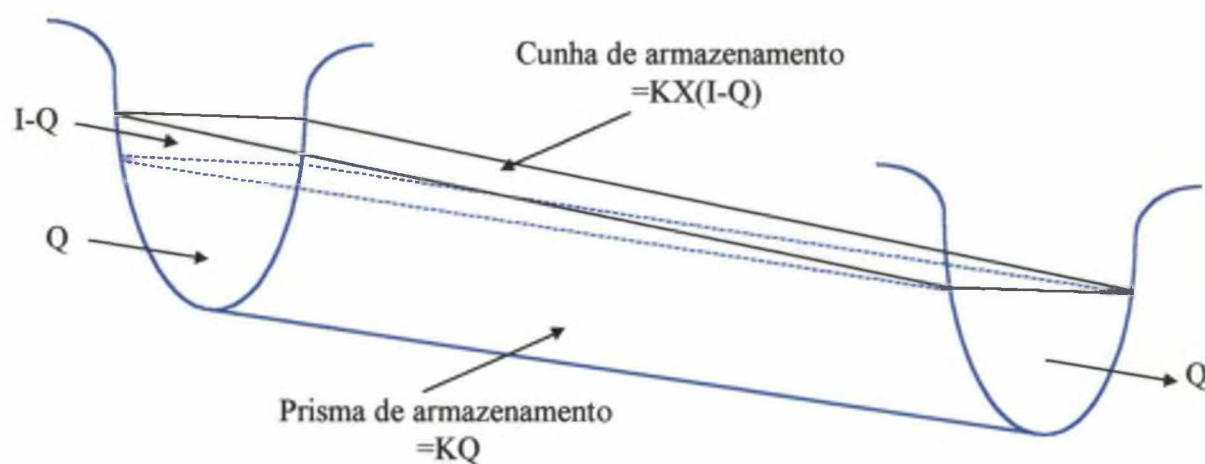
O método de propagação de vazões de Muskingum foi desenvolvido na década de trinta por McCarthy, no desenvolvimento de estudos hidrológicos para a bacia do rio Muskingum nos Estados Unidos. Este método modela o armazenamento de uma cheia em um trecho de rio através da combinação de prismas e cunhas de armazenamento, conforme mostrado na figura 4.1.

A cunha de armazenamento resulta de uma variação desigual do nível de água ao longo do trecho. Durante a ascensão de uma onda de cheia, a afluência é maior que a defluência, produzindo então a cunha de armazenamento. Durante a recessão, a defluência é maior que a afluência diminuindo a cunha de armazenamento.

O prisma de armazenamento é formado pela variação simultânea do nível de água ao longo de todo trecho considerado.

Assumindo que a área da seção transversal é diretamente proporcional à descarga na seção, o volume do prisma de armazenamento é KQ onde K é um coeficiente de proporcionalidade. O volume da cunha de armazenamento pode ser expresso como $KX(I-Q)$, onde X é um fator de ponderação variando entre 0 e 0,5 .

Figura 4.1 - Cunha e prisma de armazenamento em um trecho de canal



O armazenamento total é a soma dos volumes armazenados na cunha e no prisma.

$$S = KQ + KX(I-Q) \quad (4.1)$$

onde:

S = armazenamento (m^3);

I = afluência (m^3/s);

Q = defluência (m^3/s);

K = coeficiente de proporcionalidade de armazenamento (s);

X = fator adimensional de ponderação.

Agrupando os termos em I e Q a equação (4.1) resulta em:

$$S = K[XI + (1-X)Q] \quad (4.2)$$

ou seja, no método de Muskingum o armazenamento é uma função linear das vazões afluentes e defluentes.

O parâmetro K tem dimensão de tempo e equivale ao tempo de viagem da onda de cheia ao longo do trecho e portanto é função do comprimento do canal e da velocidade do escoamento.

O valor de X depende da forma da cunha de armazenamento modelada. Para um dado evento, existe um valor de X para o qual o valor do armazenamento no hidrograma defluente calculado corresponde àquele do hidrograma defluente observado. O armazenamento em cunha atenua o pico e difunde o hidrograma no tempo.

Valores de X maiores que 0,5 produzem ampliações do hidrograma, isto é, difusão negativa. Para $K = \Delta t$, sendo Δt um intervalo de tempo, e $X = 0,5$, o hidrograma defluente possui a mesma forma do hidrograma afluente mas é deslocado de um tempo K . Para $X = 0$, o método de Muskingum se reduz à propagação em reservatórios lineares.

Os valores de armazenamento no tempo j e $j+1$ podem ser escritos como:

$$S_j = K[XI_j + (1 - X)Q_j] \quad (4.3)$$

$$S_{j+1} = K[XI_{j+1} + (1 - X)Q_{j+1}] \quad (4.4)$$

Num intervalo de tempo Δt , a variação do armazenamento pode ser expressa como:

$$S_{j+1} - S_j = K\{[XI_{j+1} + (1 - X)Q_{j+1}] - [XI_j + (1 - X)Q_j]\} \quad (4.5)$$

Pela equação da continuidade $\frac{dS}{dt} = I - Q$, a variação do armazenamento resulta em:

$$\int_{S_j}^{S_{j+1}} dS = \int_{j\Delta t}^{(j+1)\Delta t} I(t)dt - \int_{j\Delta t}^{(j+1)\Delta t} Q(t)dt \quad (4.6)$$

Considerando $I(t)$ e $Q(t)$ constantes ao longo do intervalo Δt , resulta:

$$S_{j+1} - S_j = \frac{(I_j + I_{j+1})}{2} \Delta t - \frac{(Q_j + Q_{j+1})}{2} \Delta t \quad (4.7)$$

Substituindo a equação (4.5) em (4.7) e fazendo algumas simplificações, resulta a equação de propagação de vazão do método de Muskingum:

$$Q_{j+1} = C_1 I_{j+1} + C_2 I_j + C_3 Q_j \quad (4.8)$$

onde:

$$C_1 = \frac{\Delta t - 2KX}{2K(1-X) + \Delta t} \quad (4.9)$$

$$C_2 = \frac{\Delta t + 2KX}{2K(1-X) + \Delta t} \quad (4.10)$$

$$C_3 = \frac{2K(1-X) - \Delta t}{2K(1-X) + \Delta t} \quad (4.11)$$

Nas expressões (4.9), (4.10) e (4.11) é fácil verificar que $C_1 + C_2 + C_3 = 1$.

Para o caso de cheias históricas, se forem disponíveis para o trecho do rio considerado os hidrogramas de entrada e saída, os valores de K e X podem ser determinados a partir dessas informações. Para tanto é conveniente considerar a seguinte equação que pode ser derivada de (4.5) e (4.7):

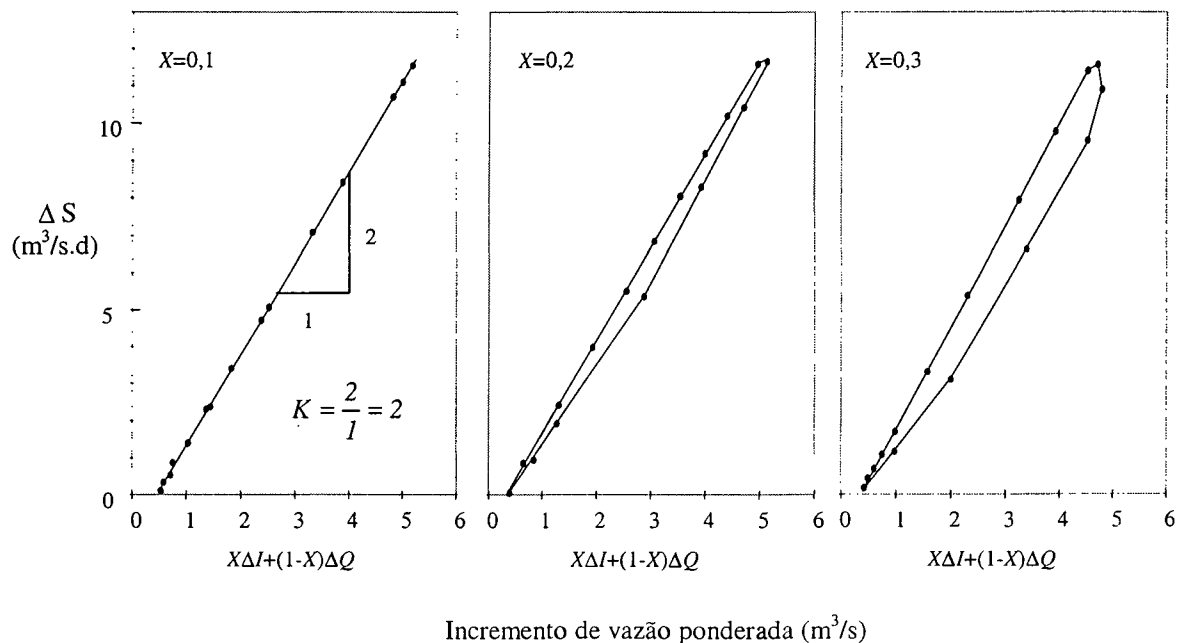
$$K = \frac{0,5\Delta t [(I_{j+1} + I_j) - (Q_{j+1} + Q_j)]}{X(I_{j+1} - I_j) + (1-X)(Q_{j+1} - Q_j)} \quad (4.12)$$

Ao se plotar os valores calculados do numerador (ΔS) no eixo vertical e os valores calculados do denominador (incremento de vazão ponderada) no eixo horizontal, para cada intervalo de tempo, obtemos os gráficos em forma de laço mostrados na figura 4.2.

Varia-se o valor de X até que o laço tenda a uma linha reta. O valor correspondente é considerado o correto para o trecho e K é dado pela inclinação dessa reta. No exemplo mostrado na figura 4.2, obtém-se $X=0,1$ e $K \cong 2$ dias.

TUCCI (1993a) faz algumas considerações sobre a faixa de variação dos parâmetros K e X , entre elas a premissa de que os coeficientes C_1 e C_3 não devem ser negativos, evitando assim a possibilidade da vazão estimada ser negativa.

Figura 4.2 - Determinação dos parâmetros do método de Muskingum



Na propagação de vazões pelo método de Muskingum, os valores de K e X embora variem com a magnitude das cheias, são assumidos como característicos do canal e constantes ao longo do tempo. Em locais com grande quantidade de hidrogramas afluentes e defluentes

de eventos de cheias, os parâmetros K e X podem ser calibrados para determinadas faixas de vazões, construindo assim uma relação entre vazões e parâmetros, melhorando os resultados.

Outra maneira de se obter os valores de K e X é através do ajuste de mínimos quadrados. Podemos expressar a diferença quadrática entre o armazenamento observado e calculado como:

$$D = \sum (S_{cj} - S_{oj})^2 \quad (4.13)$$

onde:

S_{cj} = armazenamento calculado no tempo j , obtido pela equação (4.2);

S_{oj} = armazenamento observado no tempo j , obtido pela equação (4.7).

Fazendo:

$$A = KX \quad (4.14)$$

$$B = (1-X) K \quad (4.15)$$

$$S = AI + BQ \quad (4.16)$$

Resolvendo as equações normais dos mínimos quadrados, temos:

$$A = \frac{\sum IS \sum Q^2 - \sum QI \sum QS}{\sum I^2 \sum Q^2 - (\sum QI)^2} \quad (4.17)$$

$$B = \frac{\sum QS - (\sum QI)A}{\sum Q^2} \quad (4.18)$$

Com A e B obtidos pelas equações (4.17) e (4.18) e retornando às equações (4.14) e (4.15) obtém-se os valores de K e X do método de Muskingum.

Buscando minimizar as restrições da relação linear de armazenamento na aplicação do método de Muskingum, um outro tipo de abordagem pode ser realizada considerando as seguintes expressões:

$$S_j = K[XI_j + (1 - X)Q_j]^n \quad (4.19)$$

$$S_j = K[XI_j^n + (1 - X)Q_j^n] \quad (4.20)$$

Para a estimativa dos parâmetros dessas equações, podem ser utilizadas técnicas como a dos mínimos quadrados não-lineares, modelos de otimização de parâmetros como o método Hooke-Jeeve em conjunto com regressão linear (TUNG, 1985), e uso de algoritmos genéticos, como apresentado por MOHAN (1997).

4.2 MÉTODO DE MUSKINGUM MODIFICADO

FILL e ZSCHOERPER (1981) propuseram um método para propagação de vazões em canais, semelhante ao tradicional método de Muskingum, utilizando o conceito da onda cinemática.

A propagação é determinada pela equação da continuidade e uma relação biunívoca não decrescente, mas não linear, entre a vazão e a área da seção transversal. Esta hipótese é razoável para rios de alta declividade e bastante encachoeirados. Admite-se que o volume armazenado possa ser aproximado a partir da área das seções limítrofes e do comprimento do trecho, mostrado na equação (4.21).

$$V = \frac{A_m + A_j}{2} \Delta L \quad (4.21)$$

onde:

V = volume armazenado;

A_m = área da seção transversal de montante;

A_j = área da seção transversal de jusante;

ΔL = comprimento do trecho.

O método difere do método tradicional de Muskingum pela não linearidade da relação área/vazão em cada local, e pela não necessidade de calibração de parâmetros.

Utilizando a equação da continuidade na forma da equação (4.7) com a equação (4.21), o método pode ser expresso da seguinte maneira:

$$Q_e^{i+1} + A_j^{i+1} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \left(Q_a^i + A_m^i \frac{\Delta x}{\Delta t} \right) + \left(Q_a^{i+1} - A_m^{i+1} \frac{\Delta x}{\Delta t} \right) - \left(Q_e^i - A_j^i \frac{\Delta x}{\Delta t} \right) \quad (4.22)$$

onde:

Q_e^i, Q_e^{i+1} = vazões defluentes nos instantes t e $t+I$, respectivamente;

Q_a^i, Q_a^{i+1} = vazões afluentes nos instantes t e $t+I$, respectivamente;

A_j^i, A_j^{i+1} = área da seção de jusante nos instantes t e $t+I$, respectivamente;

A_m^i, A_m^{i+1} = área da seção de montante nos instantes t e $t+I$, respectivamente;

$\Delta t = t_{i+1} - t_i$ = intervalo de tempo entre t e $t+I$.

As relações vazão-cota para as seções de jusante e montante, associadas às relações área-cota para essas mesmas seções, obtidas facilmente da geometria das seções limítrofes, permitem definir as áreas A_m e A_j em função das vazões. Assim apenas Q_e^{i+1} e a área correspondente A_j^{i+1} são incógnitas no instante t_{i+1} .

A equação (4.22) é exata desde que Δx e Δt tendam a zero, mas à medida que esses incrementos se tornam maiores, incoerências podem aparecer nos resultados devido a um crescimento excessivo do termo $A_m^{i+1} \frac{\Delta x}{\Delta t}$.

Para evitar essas possíveis inconsistências, o método realiza uma análise do hidrograma defluente obtido e compensa as eventuais diferenças na continuidade do cálculo, por meio de uma variável que acumula as diferenças, somando-as à vazão afluente no próximo passo de cálculo.

4.3 MÉTODO DE MUSKINGUM-CUNGE

CUNGE (1969) fez uma análise detalhada do método de Muskingum e concluiu que corresponde à solução da equação da onda cinemática. A atenuação da onda de cheia resultante no método de Muskingum é resultante da difusão numérica do método, devido ao fato de se desprezar os termos de ordem superior à primeira na aproximação das derivadas por diferenças finitas.

A equação da onda cinemática resulta da combinação da equação da continuidade $\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$ com a equação dinâmica $S_o = S_f$, o que implica que a vazão depende apenas da profundidade. Supondo que a dependência da vazão com a área possa ser expressa por uma relação do tipo $Q = \alpha A^\beta$ obtém-se:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = \alpha \beta A^{\beta-1} \frac{\partial A}{\partial x} = \beta \frac{Q}{A} \frac{\partial A}{\partial x} = \beta V \frac{\partial A}{\partial x} \quad (4.23)$$

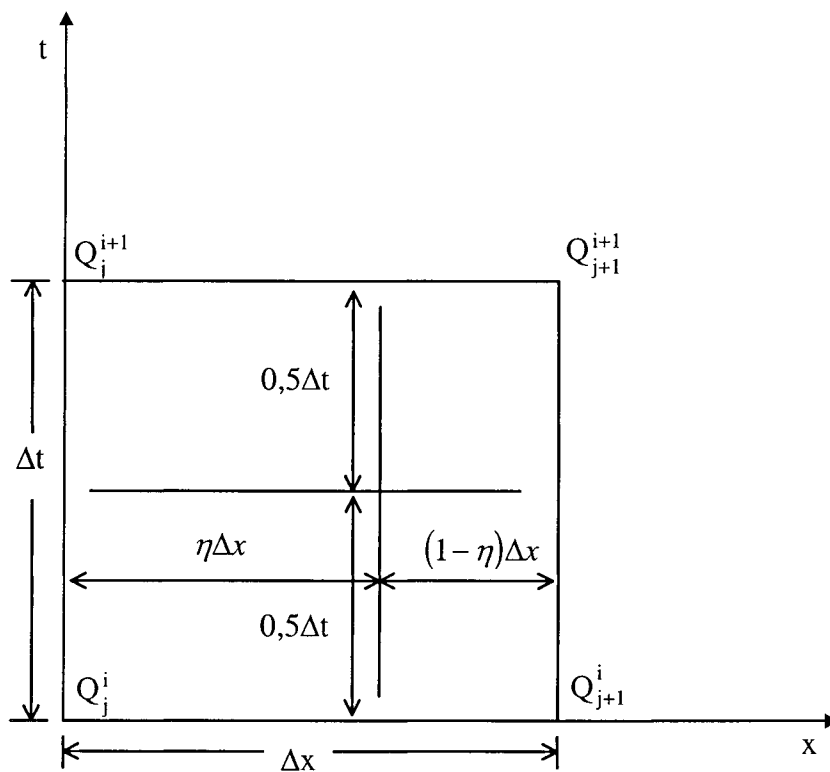
substituindo $\frac{\partial A}{\partial x} = \frac{1}{\beta V} \frac{\partial Q}{\partial x}$ na equação da continuidade resulta:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \beta V \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (4.24)$$

também conhecida como equação da onda cinemática.

Considerando um esquema de discretização da vazão no plano x-t conforme a figura 4.3.

Figura 4.3 - Discretização do método Muskingum-Cunge



As derivadas temporais e espaciais podem ser expressas como:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{[\eta Q_j^{i+1} + (1-\eta) Q_{j+1}^{i+1}] - [\eta Q_j^i + (1-\eta) Q_{j+1}^i]}{\Delta t} \quad (4.25)$$

$$\frac{\partial \mathcal{Q}}{\partial x} = \frac{(\mathcal{Q}_{j+1}^i + \mathcal{Q}_{j+1}^{i+1}) - (\mathcal{Q}_j^i + \mathcal{Q}_j^{i+1})}{2\Delta x} \quad (4.26)$$

A equação da onda cinemática pode ser agora escrita como:

$$\frac{\eta(\mathcal{Q}_j^{i+1} - \mathcal{Q}_j^i) + (1-\eta)(\mathcal{Q}_{j+1}^{i+1} - \mathcal{Q}_{j+1}^i)}{\Delta t} + c \frac{(\mathcal{Q}_{j+1}^i - \mathcal{Q}_j^i) + (\mathcal{Q}_{j+1}^{i+1} - \mathcal{Q}_j^{i+1})}{2\Delta x} = 0 \quad (4.27)$$

onde $c = \beta V$ é a celeridade da onda cinemática.

A equação (4.27) pode ser escrita como:

$$\mathcal{Q}_{j+1}^{i+1} = C_1 \mathcal{Q}_j^{i+1} + C_2 \mathcal{Q}_j^i + C_3 \mathcal{Q}_{j+1}^i \quad (4.28)$$

onde:

$$C_1 = \frac{c(\Delta t / \Delta x) - 2\eta}{2(1-\eta) + c(\Delta t / \Delta x)} \quad (4.29)$$

$$C_2 = \frac{c(\Delta t / \Delta x) + 2\eta}{2(1-\eta) + c(\Delta t / \Delta x)} \quad (4.30)$$

$$C_3 = \frac{2(1-\eta) - c(\Delta t / \Delta x)}{2(1-\eta) + c(\Delta t / \Delta x)} \quad (4.31)$$

fazendo $K = \frac{\Delta x}{c}$ e $X = \eta$, as equações (4.29), (4.30) e (4.31) passam a ser iguais às (4.9),

(4.10) e (4.11), respectivamente. A relação $K = \frac{\Delta x}{c}$ confirma que K é de fato o tempo de

viagem da onda de cheia, isto é, o tempo que uma certa vazão leva para se propagar em um trecho Δx com a celeridade da onda cinemática c . No método Muskingum-Cunge linear a celeridade c é constante e independe da vazão. No método Muskingum-Cunge não-linear a celeridade varia com a vazão.

Para $\eta=0,5$ as equações (4.29) a (4.31) se reduzem a:

$$C_1 = \frac{c\left(\frac{\Delta t}{\Delta x}\right) - 1}{c\left(\frac{\Delta t}{\Delta x}\right) + 1} = \frac{C - 1}{C + 1} \quad (4.32)$$

$$C_2 = 1 \quad (4.33)$$

$$C_3 = \frac{1 - c\left(\frac{\Delta t}{\Delta x}\right)}{c\left(\frac{\Delta t}{\Delta x}\right) + 1} = -\frac{C - 1}{C + 1} \quad (4.34)$$

sendo C o número de Courant:

$$C = c \frac{\Delta t}{\Delta x} = \beta V \frac{\Delta t}{\Delta x} \quad (4.35)$$

A equação (4.28) se reduz a:

$$Q_{j+1}^{i+1} = \frac{C - 1}{C + 1} (Q_j^{i+1} - Q_{j+1}^i) + Q_j^i \quad (4.36)$$

Para certos valores de C , o método de Muskingum se torna semelhante ao modelo da Onda Cinemática. Para $C=1$ temc $Q_{j+1}^{i+1} = Q_j^i$, isto é, a onda de cheia não sofre atenuação e fornece os mesmos resultados que o modelo da Onda Cinemática.

Cunge também demonstrou que a equação (4.28) pode ser considerada como uma aproximação do método da Difusão. Expandindo os termos da equação (4.28), em série de Taylor:

$$Q_j^{i+1} = Q_j^i + \left[\frac{\partial Q}{\partial t} \right]_j \Delta t + \frac{1}{2} \left[\frac{\partial^2 Q}{\partial t^2} \right]_j \Delta t^2 + \dots \quad (4.37)$$

$$Q_{j+1}^{i+1} = Q_{j+1}^i + \left[\frac{\partial Q}{\partial t} \right]_{j+1} \Delta t + \frac{1}{2} \left[\frac{\partial^2 Q}{\partial t^2} \right]_{j+1} \Delta t^2 + \dots \quad (4.38)$$

$$Q_{j+1}^i = Q_j^i + \left[\frac{\partial Q}{\partial x} \right]_i \Delta x + \frac{1}{2} \left[\frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} \right]_i \Delta x^2 + \dots \quad (4.39)$$

$$Q_{j+1}^{i+1} = Q_{j+1}^{i+1} + \left[\frac{\partial Q}{\partial x} \right]_{i+1} \Delta x + \frac{1}{2} \left[\frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} \right]_{i+1} \Delta x^2 + \dots \quad (4.40)$$

substituindo as equações (4.37) a (4.40) em (4.27), e negligenciando os termos superiores à segunda ordem,

$$\begin{aligned} & \eta \left\{ \left[\frac{\partial Q}{\partial t} \right]_j \Delta t + \frac{1}{2} \left[\frac{\partial^2 Q}{\partial t^2} \right]_j \Delta t^2 \right\} + (1-\eta) \left\{ \left[\frac{\partial Q}{\partial t} \right]_{j+1} \Delta t + \frac{1}{2} \left[\frac{\partial^2 Q}{\partial t^2} \right]_{j+1} \Delta t^2 \right\} + \\ & \frac{C}{2} \left\{ \left[\frac{\partial Q}{\partial x} \right]_i \Delta x + \frac{1}{2} \left[\frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} \right]_i \Delta x^2 \right\} + \frac{C}{2} \left\{ \left[\frac{\partial Q}{\partial x} \right]_{i+1} \Delta x + \frac{1}{2} \left[\frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} \right]_{i+1} \Delta x^2 \right\} = 0 \quad (4.41) \end{aligned}$$

Expandindo as derivadas no ponto $[(j+1)\Delta x, (i+1)\Delta t]$ em série de Taylor:

$$\left[\frac{\partial Q}{\partial a} \right]_{j+1} = \left[\frac{\partial Q}{\partial a} \right]_j + \left[\frac{\partial^2 Q}{\partial x \partial a} \right]_{j,i} \Delta x + \dots \quad (4.42)$$

$$\left[\frac{\partial Q}{\partial x} \right]_{i+1} = \left[\frac{\partial Q}{\partial x} \right]_i + \left[\frac{\partial^2 Q}{\partial x \partial a} \right]_{j,i} \Delta t + \dots \quad (4.43)$$

$$\left[\frac{\partial^2 Q}{\partial a^2} \right]_{j+1} = \left[\frac{\partial^2 Q}{\partial a^2} \right]_j + \left[\frac{\partial^3 Q}{\partial a^3} \right]_j \Delta x + \dots \quad (4.44)$$

$$\left[\frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} \right]_{i+1} = \left[\frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} \right]_i + \left[\frac{\partial^3 Q}{\partial x^3} \right]_i \Delta t + \dots \quad (4.45)$$

Substituindo as equações (4.42) a (4.45) em (4.41), fazendo algumas simplificações e dividindo por Δt , resulta em:

$$\left[\frac{\partial Q}{\partial a} \right]_j + c \left[\frac{\partial Q}{\partial x} \right]_i + \frac{\Delta t}{2} \left[\frac{\partial^2 Q}{\partial a^2} \right]_j + \frac{c \Delta x}{2} \left[\frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} \right]_i + \Delta x \left\{ (1 - \eta) + \frac{C}{2} \right\} \left[\frac{\partial^2 Q}{\partial x \partial a} \right]_{j,i} = 0 \quad (4.46)$$

Os dois primeiros termos da equação (4.46) constituem a equação da onda cinemática, o restante dos termos é resultante do erro devido ao esquema de discretização de primeira ordem adotado, denominado R e expresso por:

$$R = \frac{\Delta t}{2} \left[\frac{\partial^2 Q}{\partial a^2} \right]_j + \frac{c \Delta x}{2} \left[\frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} \right]_i + \Delta x \left\{ (1 - \eta) + \frac{C}{2} \right\} \left[\frac{\partial^2 Q}{\partial x \partial a} \right]_{j,i} = 0 \quad (4.47)$$

Derivando a equação (4.24) em relação a x :

$$\frac{\partial^2 Q}{\partial x \partial a} = -c \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} \quad (4.48)$$

Derivando a equação (4.24) em relação a t :

$$\frac{\partial^2 Q}{\partial t^2} = -c \frac{\partial^2 Q}{\partial x \partial t} \quad (4.49)$$

Combinando as equações (4.48) e (4.49) obtém-se a equação da onda unidimensional clássica:

$$\frac{\partial^2 Q}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} \quad (4.50)$$

Substituindo as equações (4.48) e (4.50) na equação (4.47) e simplificando, resulta:

$$R = c\Delta x \left(\eta - \frac{1}{2} \right) \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} \quad (4.51)$$

logo,

$$\left[\frac{\partial Q}{\partial t} \right] + c \left[\frac{\partial Q}{\partial x} \right] + c\Delta x \left(\eta - \frac{1}{2} \right) \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} = 0 \quad (4.52)$$

O termo $c\Delta x \left(\eta - \frac{1}{2} \right)$ é chamado de difusividade numérica (ν_g).

A equação da onda difusa, cujos conceitos estão apresentados no capítulo 3, pode ser expressa como:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + c \frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{Q}{2BS_0} \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} \quad (4.53)$$

O termo $\frac{Q}{2BS_0}$ é chamado de difusividade hidráulica (v_h).

Comparando a equação (4.52) com a (4.53), resulta em:

$$\eta = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{Q}{S_0 B c \Delta x} \right) \quad (4.54)$$

Assumindo válida a equação de Manning resulta:

$$Q = \frac{1}{n} A R_h^{\frac{2}{3}} S_f^{\frac{1}{2}}$$

onde:

A = área;

R_h = raio hidráulico (A/P);

P = perímetro molhado;

S_f = declividade da linha de energia;

S_0 = declividade do fundo do canal;

B = largura do canal;

c = celeridade;

Δx = comprimento do trecho.

Com X calculado pela equação (4.54), o método de Muskingum passa a ser denominado de método Muskingum-Cunge, que não necessita de eventos de calibração pois os parâmetros X e K são obtidos diretamente das características hidráulicas e geométricas do canal.

4.4 MÉTODO DE MUSKINGUM-CUNGE MODIFICADO

Um aperfeiçoamento do método Muskingum-Cunge foi proposto por PONCE e YEVJEVICH (1978).

Fazendo D a relação entre difusividade hidráulica e difusividade numérica, resulta em:

$$D = \frac{Q}{S_o Bc \Delta x} \quad (4.55)$$

com essa expressão, η pode agora ser expresso como:

$$\eta = \frac{1}{2}(1 - D) \quad (4.56)$$

Valores de η negativos são perfeitamente possíveis no método de Muskingum-Cunge e permitem assim a propagação em trechos curtos, onde o método tradicional de Muskingum não se aplica. No método tradicional, η é considerado um fator de ponderação e por isso restrito à faixa de aplicação de valores 0 a 0,5.

As equações (4.29) a (4.31) com o uso das equações (4.35) e (4.55) podem agora ser expressas como:

$$C_1 = \frac{-1 + C + D}{1 + C + D} \quad (4.57)$$

$$C_2 = \frac{1 + C - D}{1 + C + D} \quad (4.58)$$

$$C_3 = \frac{1 - C + D}{1 + C + D} \quad (4.59)$$

Os parâmetros X e K do método tradicional de Muskingum foram substituídos pelos parâmetros C e D que podem ser calculados diretamente a partir das características geométricas da seção e do coeficiente de rugosidade de Manning. A celeridade c é obtida através da seguinte fórmula:

$$c = \frac{dQ}{dA} \quad (4.60)$$

Supondo válida a equação de Manning e tendo em vista que para a onda cinemática $S_0=S_f$, resulta:

$$c = \frac{d \left[\frac{1}{n} AR_h^{\frac{2}{3}} S_0^{\frac{1}{2}} \right]}{dA} = \frac{S_0^{\frac{1}{2}}}{nb} \frac{d}{dy} \left(bR_h^{\frac{2}{3}} + \frac{2}{3} AR_h^{-\frac{1}{3}} \frac{dR_h}{dy} \right) \quad (4.61)$$

Para uma canal retangular de grande largura ($R_h=y$, $A=by$) a equação (4.61) se reduz a:

$$c = \frac{5}{3} \frac{y^{\frac{2}{3}} S_0^{\frac{1}{2}}}{n} = \frac{5}{3} V \quad (4.62)$$

sendo V a velocidade em m/s.

Para um canal de formato parabólico de grande largura e equação (4.61) se reduz a:

$$c = \frac{11}{9} \frac{y^{\frac{2}{3}} S_0^{\frac{1}{2}}}{n} = \frac{11}{9} V \quad (4.63)$$

Para casos práticos, onde além das seções transversais, curvas de descargas estiverem disponíveis, a celeridade pode ser obtida por aproximações numéricas da equação (4.60).

4.5 MÉTODO DE MUSKINGUM-CUNGE NÃO-LINEAR

Neste método, os parâmetros variam com a vazão ao longo do escoamento, o que está mais próximo da verdade física do processo.

A onda cinemática, fundamento do método de Muskingum-Cunge, é não linear já que a celeridade varia com a vazão. Esta não linearidade muitas vezes não é notada já que a variação da celeridade, em muitos casos, é pequena. Entretanto, em alguns casos pode ser necessário levar em conta essa não linearidade. Pode-se trabalhar de duas maneiras:

- Durante a discretização do método, resultando em um esquema numérico não-linear resolvido por iterações;
- Após a discretização, variando os parâmetros do método.

PONCE e YEVJEVICH (1978) estudaram três alternativas para estimar a vazão, variando os parâmetros do método de Muskingum-Cunge, com base na figura 4.3:

- i) Através da média dos valores no tempo t na entrada e saída do trecho;
- ii) Através da média dos valores conhecidos, ou seja, dos pontos (j,i) , $(j+1,i)$ e $(j,i+1)$;
- iii) Através de iterações, utilizando a média de todas as vazões, ou seja, (j,i) , $(j+1,i)$, $(j,x+1)$ e $(j+1,x+1)$. Uma maneira de iniciar o processo de iteração é utilizar o valor encontrado no item (ii).

O método com parâmetros variáveis apresenta uma melhora perceptível nos resultados principalmente em trechos longos e com grandes variações de nível.

5 MODELOS HIDRODINÂMICOS PARA PROPAGAÇÃO DE VAZÕES

Existem vários modelos hidrodinâmicos para propagação de vazões em rios, todos eles utilizando as equações completas de Saint-Venant. O que difere são as técnicas de solução das equações, e algumas opções de cálculo. Podemos citar como exemplos os modelos BRANCH, DAMBRK, DWOPER, FLDWAV (FREAD, 1993). No Brasil, o Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, tem desenvolvido uma família de modelos denominados IPH (TUCCI, 1998). O modelo IPH-IV é um modelo hidrodinâmico que utiliza para a solução das equações de Saint-Venant um esquema implícito de quatro pontos. Este modelo considera confluências, planícies de inundação e existência de barragens.

Nesta dissertação será utilizado o modelo DAMBRK, cujo uso em recursos hídricos está consagrado, e que foi usado com sucesso no rio Iguaçu (CEHPAR, 1996) no mesmo trecho objeto desta pesquisa, de modo que muitos resultados daquele estudo puderam ser aproveitados.

5.1 MODELO DAMBRK

O modelo DAMBRK foi desenvolvido por FREAD (1988). Trata-se de um modelo hidrodinâmico concebido com o objetivo de simular rupturas de barragem, mas que também pode ser utilizado com sucesso na propagação de vazões. Um exemplo do uso do modelo DAMBRK em propagação de vazões em rios é o projeto HG-79 – Análise do escoamento em regime não-permanente no rio Iguaçu entre Fluviópolis e Foz do Areia, desenvolvido no CEHPAR (1996).

O modelo DAMBRK resolve numericamente as equações completas de Saint-Venant, sendo que além da geometria do canal, apenas o coeficiente de rugosidade de Manning precisa ser fornecido ao modelo. A técnica de solução das equações de Saint-Venant

é a das diferenças finitas implícitas, utilizando o esquema de discretização de Preissmann (BOSS, 1994).

Dentre as principais opções de simulação disponíveis estão:

- i) simulação de planícies de inundação;
- ii) variação do coeficiente de Manning com o nível de água;
- iii) incorporação do efeito da sinuosidade do canal quando do seu extravasamento;
- iv) simulação de contribuições laterais;
- v) simulação em regime subcrítico, supercrítico ou seqüência de trechos subcríticos e supercríticos.

A formulação do DAMBRK é bastante complexa, e nesse trabalho apenas alguns elementos da formulação serão detalhados. Uma descrição completa pode ser encontrada nos manuais do programa (BOSS, 1994) e no trabalho de FREAD (1988).

A perda de carga unitária é estimada através da seguinte equação:

$$S_f = \frac{|Q|Q}{K^2} \quad (5.1)$$

onde K é a condutância hidráulica calculada por:

$$K = K_c + K_e + K_d \quad (5.2)$$

sendo,

$$K_c = \frac{1}{n_c} A_c R_c^{2/3} \quad (5.3)$$

$$K_e = \frac{1}{n_e} A_e R_e^{2/3} \quad (5.4)$$

$$K_d = \frac{1}{n_d} A_d R_d^{2/3} \quad (5.5)$$

onde:

c , e e d = correspondem à calha principal, planície de inundação esquerda e planície de inundação direita, respectivamente;

A = área molhada;

R = raio hidráulico;

n = coeficiente de Manning

O coeficiente corretor da quantidade de movimento β é calculado por:

$$\beta = 1,06 \frac{(K_e^2 / A_e + K_c^2 / A_c + K_d^2 / A_d)}{(K_e + K_c + K_d)^2 / (A_e + A_c + A_d)} \quad (5.6)$$

O coeficiente β será igual a 1,06 quando a seção transversal é considerada composta (com planícies de inundação), porém, as características dessas planícies não são conhecidas.

As restrições do modelo DAMBRK são basicamente as mesmas adotadas para o desenvolvimento das equações de Saint-Venant, apresentadas no capítulo 2, e que são comuns a todos os modelos que utilizam estas equações.

6 REDES NEURAIIS

6.1 INTRODUÇÃO

Redes neurais podem ser entendidas como uma reunião de várias unidades de processamento distribuídas e interconectadas, cujo funcionamento é inspirado na estrutura neural de organismos inteligentes. Essa rede de elementos tem a capacidade de armazenar informações e aprender com o ambiente em que está situado.

Redes neurais têm sido utilizadas principalmente em problemas onde a relação entre variáveis não é totalmente conhecida, em problemas de difícil modelagem, em problemas onde pequenas alterações nos dados de entrada não produzem grandes mudanças nos resultados, e também em problemas onde uma grande quantidade de dados esteja disponível para aprendizado ou simulação. Talvez a grande vantagem do uso de redes neurais é a possibilidade de modelar um fenômeno físico sem conhecer a teoria intrínseca ao problema. São por essas características chamadas de *Free Models*. Recentemente as aplicações das redes neurais, tem aumentado consideravelmente, focalizando entre outros os seguintes assuntos:

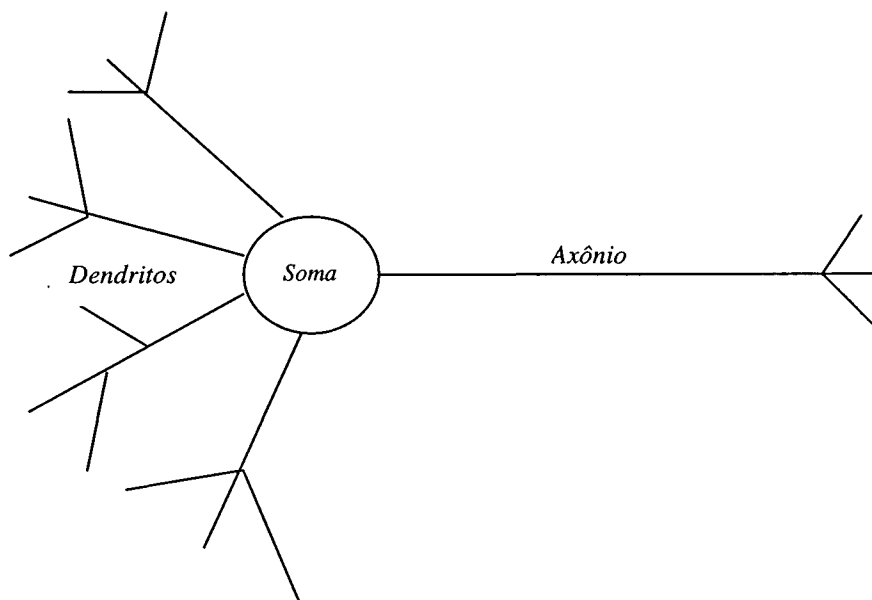
- i) Reconhecimento de vozes - identificação de pessoas através das ondas sonoras da fala humana;
- ii) Reconhecimento de caracteres - processos para verificação de autenticidade de assinaturas;
- iii) Engenharia elétrica - processamento de sinais e automação;
- iv) Meio ambiente - estudos de qualidade de água e índices ambientais;
- v) Recursos hídricos - estudos de previsão de vazão, transformação chuva-vazão;
- vi) Engenharia de transportes - estimativa de volumes de tráfego, estudos de demanda de serviços de táxi e ônibus;
- vii) Engenharia civil - controle da execução de estruturas, esforços em pilares;
- viii) Economia e finanças - previsão de índices econômicos, comportamento do mercado de ações.

6.2 REDE NEURAL NATURAL OU BIOLÓGICA

Todo o processamento de informações do ser humano ocorre no cérebro, que por sua vez é composto de células altamente diferenciadas e especializadas denominadas neurônios, que constituem o elemento básico do sistema nervoso.

O neurônio, mostrado esquematicamente na figura 6.1, é composto por um corpo celular chamado *soma*. Da *soma* de cada neurônio partem vários prolongamentos chamados *dendritos* e um nervo fibroso chamado *axônio*. O neurônio é capaz de receber impulsos elétricos a partir de seus *dendritos*, processá-los na *soma* e transmití-los através do seu *axônio* para os *dendritos* ou mesmo *soma* de outros neurônios. A conexão entre o *axônio* e o *dendrito* ou *soma* de outro neurônio chama-se *sinapse*.

Figura 6.1- Esquema simplificado de um neurônio



O sistema nervoso humano é constituído por cerca de 100 bilhões (10^{11}) de neurônios e cada um desses neurônios pode conectar-se a outros 10.000 (10^4). Na realidade, estima-se em 10^{13} o número de conexões existentes.

Todos os neurônios, interligados por *axônios* e *dendritos* e que carregam sinais elétricos regulados pelas sinapses, criam o que se conhece por rede neural.

O “modelo” de um neurônio em sua forma simplificada pode ser considerado como uma unidade *threshold*, um elemento processador que coleta dados de entrada e produz uma saída somente se a soma dos dados de entrada excederem um valor interno limiar (*threshold*). Se os sinais coletados são fortes o suficiente para exceder o *threshold* do neurônio, um sinal é enviado pelo *axônio* que toca em outros neurônios e *dendritos*. A *soma* une todos os sinais que vem das sinapses dos *dendritos* envolvidos. A soma dos sinais é então comparada à um valor interno de *threshold* e propaga um sinal pelo *axônio* se esse limiar for excedido.

Na tentativa de simular a operação dessa rede neural natural, computadores com grande capacidade de processamento têm sido utilizados, porém ficando restrito a algumas limitações desses equipamentos.

6.3 REDE NEURAL NATURAL X COMPUTADORES DIGITAIS

A comparação entre o cérebro e o computador serve para ganhar entendimento de porque a mente é tão adaptável e capaz de recuperação e o computador é tão rígido e preciso.

Em supercomputadores, o tempo necessário para executar um passo de programa é da ordem de nanosegundos. No cérebro humano um neurônio reage na faixa dos milisegundos. A diferença então é da ordem de 10^6 , portanto o computador pode processar uma informação um milhão de vezes mais rápido que o cérebro humano.

Se os mais avançados computadores são hábeis em processar informações um milhão de vezes mais rápido que o cérebro, por que o cérebro é tão superior em processar certos tipos de problemas? A diferença entre eles pode, em parte, ser explicada pela ordem de processamento. O cérebro processa informações em paralelo e o computador em série. FELDMAN (1985) formulou a teoria do programa de 100 passos: “Se a mente reage em aproximadamente meio segundo (500 milissegundos) a um estímulo dado (responder a uma questão certo ou errado, nomear figuras) e sendo a média de tempo do ciclo de um neurônio de 5 milissegundos, então em 100 ciclos de um neurônio a decisão é alcançada”.

Se fizermos uma analogia com um computador, o cérebro executa programas que tem só 100 passos. Contrastando com os *softwares* que operam serialmente em computadores, o cérebro humano opera com muitos programas paralelos e que tem comparativamente poucos passos. Isso explica em parte por que o cérebro é superior em processamento de informações “humanas”, como por exemplo o reconhecimento de pessoas, apesar de ser, em velocidade de processamento, muito mais lento.

Outra distinção entre o computador e o cérebro é a maneira de armazenar informação (conhecimento). Em computadores, uma cópia estática das informações é colocada em um endereço físico de memória. Novas informações são sobrepostas às anteriores, destruindo-as.

No cérebro, novos dados são adicionados com apenas ajustes nas sinapses entre neurônios. Esta característica explica a habilidade da mente humana em generalizar o conhecimento. Resumindo, no cérebro o conhecimento é adaptável e dinâmico, já em computadores o conhecimento é estritamente fixo e substituível, isto é, novo conhecimento em substituição ao antigo.

O cérebro também apresenta tolerância a falhas. Se um neurônio sofrer danos, o processamento provavelmente não será prejudicado, corroborando assim a teoria que explica que o conhecimento não está em um neurônio e sim ao longo de vários neurônios e em suas conexões. Se uma parte do cérebro for retirada, ainda assim é capaz que o conhecimento continue intacto, devido à redundância de neurônios e distribuição desse conhecimento ao

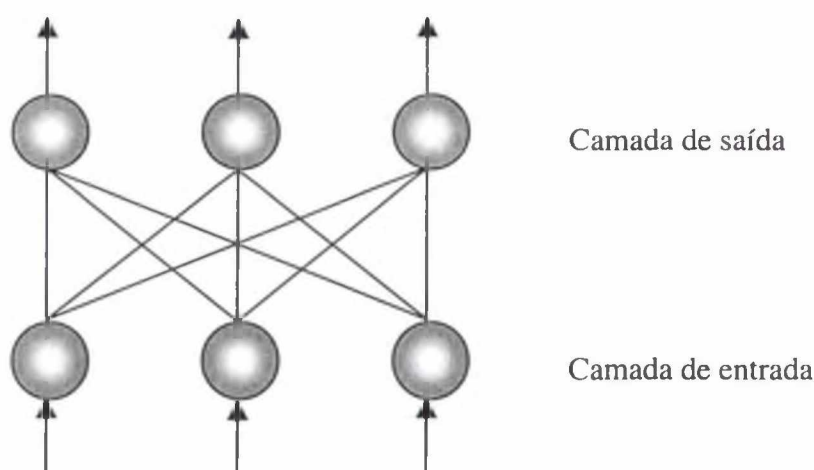
longo deles. Já em computadores, a retirada de qualquer componente de processamento ou memória, acaba por prejudicar todo o processamento de informações.

Outra vantagem do cérebro é o fato de não possuir uma área específica de controle, funcionando como um sistema anárquico. Cada neurônio se comunica apenas com os neurônios com que faz sinapse e tem acesso somente a essas informações locais. Os computadores possuem uma central de processamento que monitora, comanda e tem acesso a todas as informações, criando assim um ponto crítico em relação a eventuais falhas.

6.4 HISTÓRICO

O primeiro trabalho com redes neurais que se tem notícia data de 1913 (RUSSEL, 1913) e simulava o funcionamento das descargas nervosas. MCCULLOCH e PITTS (1943) desenvolveram o primeiro modelo matemático de redes neurais, onde cada neurônio possuía apenas uma saída que era função da soma de suas diversas entradas. Em 1949, HEBB descreveu um modelo que pela primeira vez utilizava um método de aprendizado, baseado no comportamento das “células” pré-sinápticas e pós-sinápticas. Em 1957, ROSENBLATT apresentou o modelo *Perceptron*, onde os elementos processadores estão organizados em duas camadas (uma para entrada e outra para saída) totalmente conectadas entre si, como mostra a figura 6.2. Estas conexões eram direcionadas da camada de entrada para a de saída. O processo de aprendizado era baseado no ajuste de pesos das conexões, considerando o erro entre os valores obtidos pela rede neural e os valores verdadeiros. Rosenblatt tentou utilizar redes com três camadas mas acabou não tendo sucesso em um modelo de treinamento consistente para os elementos processadores da camada intermediária.

Da década de 60 podemos citar os trabalhos de WIDROW e HOFF (1960) que criaram uma estrutura bastante parecida com o *Perceptron* de Rosenblatt, chamado *Adaline*. Os autores conseguiram provar matematicamente que os erros entre os valores verdadeiros e os obtidos pelo modelo podem chegar ao mínimo global sob certas condições, sendo a principal que os elementos de entrada sejam linearmente separáveis.

Figura 6.2 – *Perceptron*

Em 1969, MINSKI e PAPERT publicaram o livro intitulado "*Perceptrons*" divulgando as limitações do *Perceptron*, principalmente de se utilizar apenas entradas linearmente separáveis, e sendo assim, incapaz de resolver problemas simples como a função XOR (ou / exclusão). Após a publicação, houve uma certa perda de interesse no assunto, embora vários trabalhos tenham sido desenvolvidos por KOHONEN (1972), WERBOS (1974), SEJNOWSKI (1976), entre outros.

Em 1982, HOPFIELD publica um trabalho onde aplica redes neurais em otimização. Apresenta um modelo de rede no qual todos os elementos processadores estavam totalmente interconectados entre si. Esta tipologia tornava a rede recursiva pois a saída de cada elemento servia como entrada para todas as demais unidades, como mostrado na figura 6.3. Demonstrou-se que a rede de Hopfield funciona de modo a minimizar uma função de energia, até alcançar um estado onde ela seja mínima (estável). Com esse trabalho alguns cientistas novamente se voltaram ao estudo das redes neurais artificiais.

Porém o grande impulso nas pesquisas sobre redes neurais aconteceu após 1986, quando pesquisas de Rumelhart, Hinton e Williams (RUMELHART e MCCLELLAND, 1986) introduziram o uso de um algoritmo de treinamento denominado *Backpropagation*,

aplicado em redes com camadas intermediárias, diferenciando assim do *Perceptron*. Esse modelo, *Perceptrons Multicamadas* treinadas com o algoritmo *Backpropagation*, desde então, é o modelo mais utilizado. A figura 6.4 ilustra uma rede *Perceptrons Multicamadas*.

Figura 6.3 – Rede de Hopfield

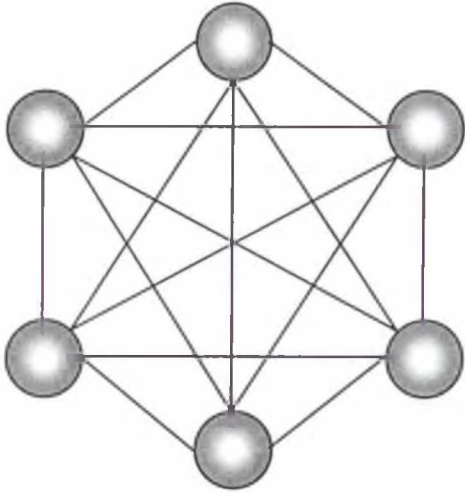
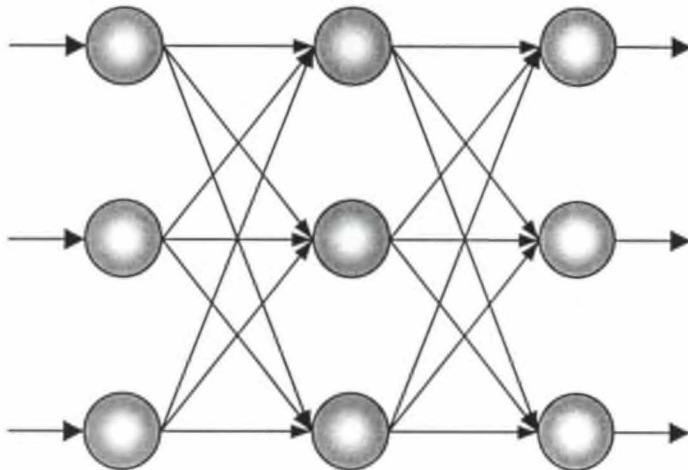


Figura 6.4 – *Perceptrons Multicamadas*



6.5 CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS REDES NEURAIIS

6.5.1 Unidades de Processamento e Nível de Atividade

Uma rede neural artificial é composta por várias unidades de processamento (neurônios), cujo funcionamento é bastante simples. Essas unidades geralmente são conectadas por canais de comunicação que estão associados a determinado peso. As unidades fazem operações apenas sobre seus dados locais, que são entradas recebidas pelas suas conexões. O comportamento inteligente de uma rede neural artificial vem das interações entre as unidades de processamento da rede.

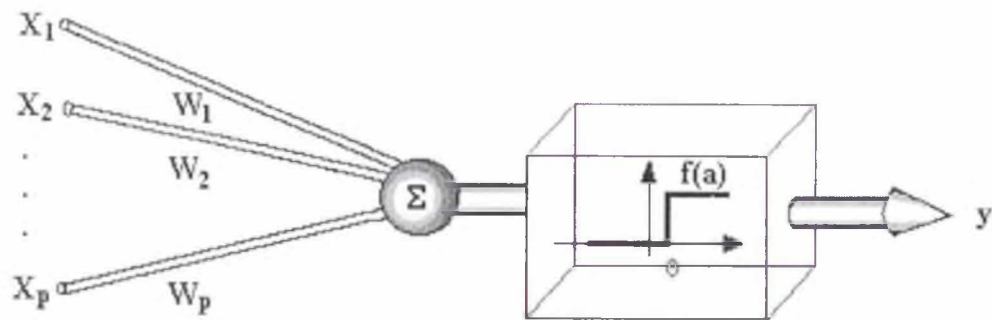
A operação de uma unidade de processamento, figura 6.5, proposta por MCCULLOCH e PITTS (1943) pode ser resumida da seguinte maneira:

- i) sinais são apresentados à entrada (X_1, X_2, \dots, X_p);
- ii) cada sinal é multiplicado por um número, ou peso, que indica a sua influência na saída da unidade (w_1, w_2, \dots, w_p);
- iii) é feita a soma ponderada dos sinais, que produz um nível de atividade a , sendo:

$$a = w_1X_1 + w_2X_2 + \dots + w_pX_p \quad (6.1)$$

- iv) se este nível de atividade exceder um limiar (Z) a unidade produz uma determinada resposta de saída função do nível de atividade, $S = f(a)$.

Figura 6.5 – Unidade de processamento



Exemplificando, supondo que tenhamos p sinais de entrada X_1, X_2, \dots, X_p e com pesos w_1, w_2, \dots, w_p e limiar Z , com sinais assumindo valores booleanos (0 ou 1) e os pesos valores numéricos reais.

Neste modelo, o nível de atividade a é dado pela expressão (6.1). A saída Y é dada por:

$$Y = 1, \text{ se } a \geq Z \text{ ou}$$

$$Y = 0, \text{ se } a < Z.$$

Em um outro tipo de unidade denominada Sigma-Pi, duas ou mais entradas (X_i) são multiplicadas antes do somatório (a), permitindo assim que uma entrada bloqueie a ação da outra. Considerando duas entradas, neste caso temos:

$$a = w_1(X_1X_2) + w_2(X_3X_4) + \dots + w_p(X_{p-1}X_p)$$

As unidades de processamento também são conhecidas como neurônios, nós da rede ou elementos processadores.

6.5.2 Geometria

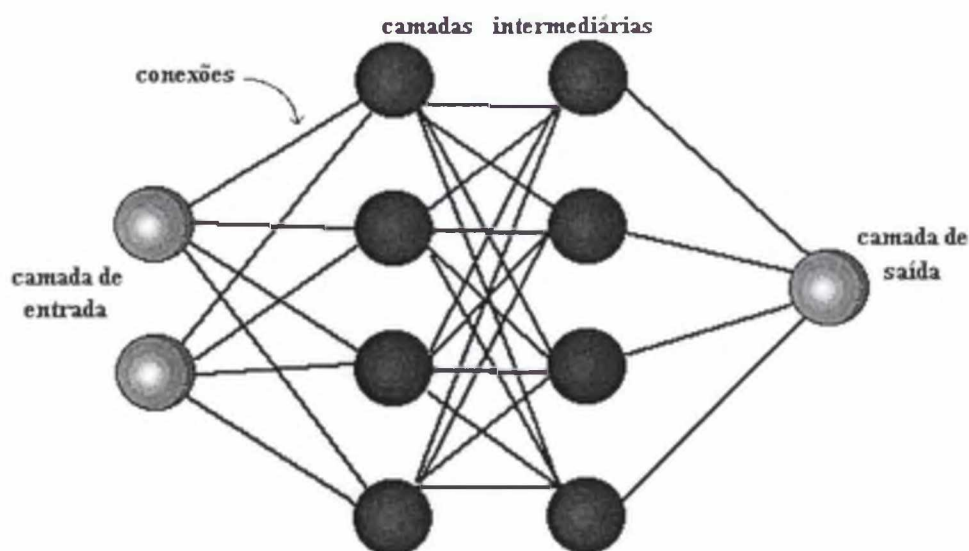
As redes neurais são tipicamente organizadas em camadas, usualmente classificadas em três grupos, conforme mostrado na figura 6.6.

- i) Camada de Entrada: onde os padrões (sinais de entrada) são apresentados à rede e transmitidos para as camadas seguintes sem nenhuma modificação.
- ii) Camadas Intermediárias ou Escondidas: onde é feita a maior parte do processamento, através de conexões ponderadas, podendo ser consideradas como extratoras de características. Estas camadas não possuem nenhum contato com o ambiente externo à rede.
- iii) Camada de Saída: onde o resultado final é concluído e apresentado.

O número de camadas intermediárias varia de rede para rede. Estudos provaram que redes com apenas uma camada intermediária podem aproximar qualquer função, desde que possuam unidades de processamento suficientes. Entretanto, na prática, muitas funções acabam requerendo um número excessivo de unidades de processamento, acabando por inviabilizar essa geometria. Já a utilização de mais de uma camada escondida proporciona uma maior flexibilidade e permite a solução de funções complexas com poucas unidades de processamento. Tradicionalmente, a geometria ótima de uma rede acaba sendo um processo de tentativa e erro. FLOOD e KARTMAN (1994) sugerem o uso de duas camadas intermediárias como ponto de início de definição da geometria da rede.

Não existe uma maneira geral de determinar o número de unidades de processamento nas camadas intermediárias. O processo de escolha acaba sendo empírico e baseado na experiência de outros trabalhos. FLOOD e KARTMAN (1994) sugerem que se inicie o treinamento com grande quantidade de unidades e com o passar do treinamento eliminar as unidades em que os pesos associados apresentam valores insignificantes.

Figura 6.6 – Geometria de redes neurais



6.5.3 Conexões

Existem dois tipos básicos de redes neurais quanto ao tipo de conexão utilizada:

- i) *FeedForward*: neste tipo de rede as unidades de uma camada só influenciam atividades de unidades de camadas de nível mais alto, isto é, mais próxima da camada de saída. As informações se propagam em apenas uma direção.
- ii) *Recurrent-Feedback*: neste tipo de rede qualquer unidade pode estar conectada com qualquer unidade da rede. Nenhuma restrição é feita quanto ao conjunto de entradas de uma determinada camada.

Os tipos de conexão *FeedForward* e *Recurrent-Feedback* são esquematizados nas figuras 6.7 e 6.8 respectivamente.

Figura 6.7 – Conexão *FeedForward*

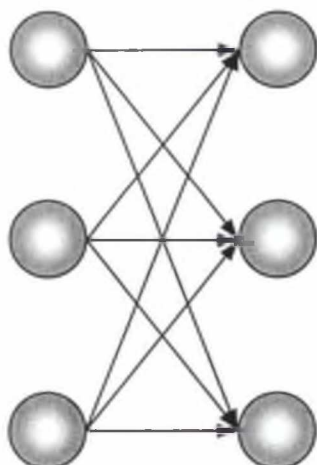
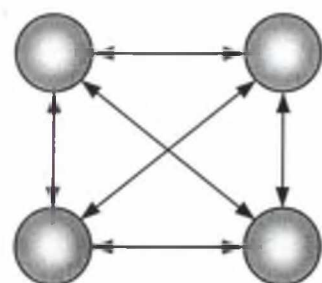


Figura 6.8 – Conexão *Recurrent-Feedback*



6.5.4 Processos de Ativação

Nos processos de ativação, o nível de atividade (igual a soma ponderada das entradas) é transformado pela função de ativação e um valor de saída é produzido. Diversos tipos de função de ativação têm sido utilizados em redes neurais. As mais comuns são descritas abaixo e mostradas na figura 6.9:

- i) Função de ativação linear: a saída desta função é representada por uma equação linear. Os modelos que usam este tipo de função de ativação consistem de redes de camadas simples, ou seja, não possuem camada intermediária.

- ii) Função degrau de ativação: algumas das limitações do modelo linear podem ser ultrapassadas pela adição de não linearidades. O modelo não linear mais simples consiste em utilizar a função de ativação degrau. Neste modelo as unidades são ditas binárias, isto é, suas saídas assumem normalmente o valor 0 ou 1. Algumas vezes os valores 0 e 1 são substituídos por -1 e 1 . Esta unidade responde com uma saída igual a 1 se o nível de atividade for superior a um determinado valor limite, caso contrário responde com 0 ou -1 .
- iii) Função rampa: Também tem sido utilizada como uma maneira de se trabalhar com não linearidades.
- iv) Função sigmóide: a função sigmóide é a mais utilizada. A popularidade está ligada ao fato de que suas derivadas podem ser expressas em função das próprias funções, agilizando assim a sua implantação em computadores. As mais utilizadas são a logística e a tangente hiperbólica.

Geralmente, uma mesma função de ativação é utilizada para a rede toda. Entretanto, o uso de uma função de ativação diferente na camada de saída pode ser útil em algumas aplicações específicas, como mostrado em KARUNANITHI (1994).

6.5.5 Função Erro

É a função que será minimizada durante o treinamento da rede. O erro médio quadrático é a função mais utilizada. Suas vantagens são a facilidade de cálculo e a penalização de grandes erros.

6.5.6 *Epoch*

O termo denominado *Epoch* determina o número de amostras apresentadas à rede antes da atualização dos pesos das conexões. Se o valor de *Epoch* for 1, a rede opera *On-line*, isso é, a cada amostra apresentada, os pesos das conexões são recalculados. Se o valor de *Epoch* for igual ao tamanho total da amostra, ela opera em *Batch*. Alguns pesquisadores recomendam o método *On-line* afirmando que dessa maneira os pesos das conexões podem explorar melhor o espaço de variação desses valores.

6.5.7 Pesos Iniciais

No início do treinamento, pesos iniciais devem ser arbitrados às diversas conexões. Todo o processo é sensível a essa escolha inicial. Geralmente utilizam-se números aleatórios uniformes. Alguns cuidados devem ser tomados na escolha dos limites inferior e superior para a geração desses números. A literatura apresenta valores como $[-1; 1]$, $[-0,5;0,5]$ e $[-0,1;0,1]$.

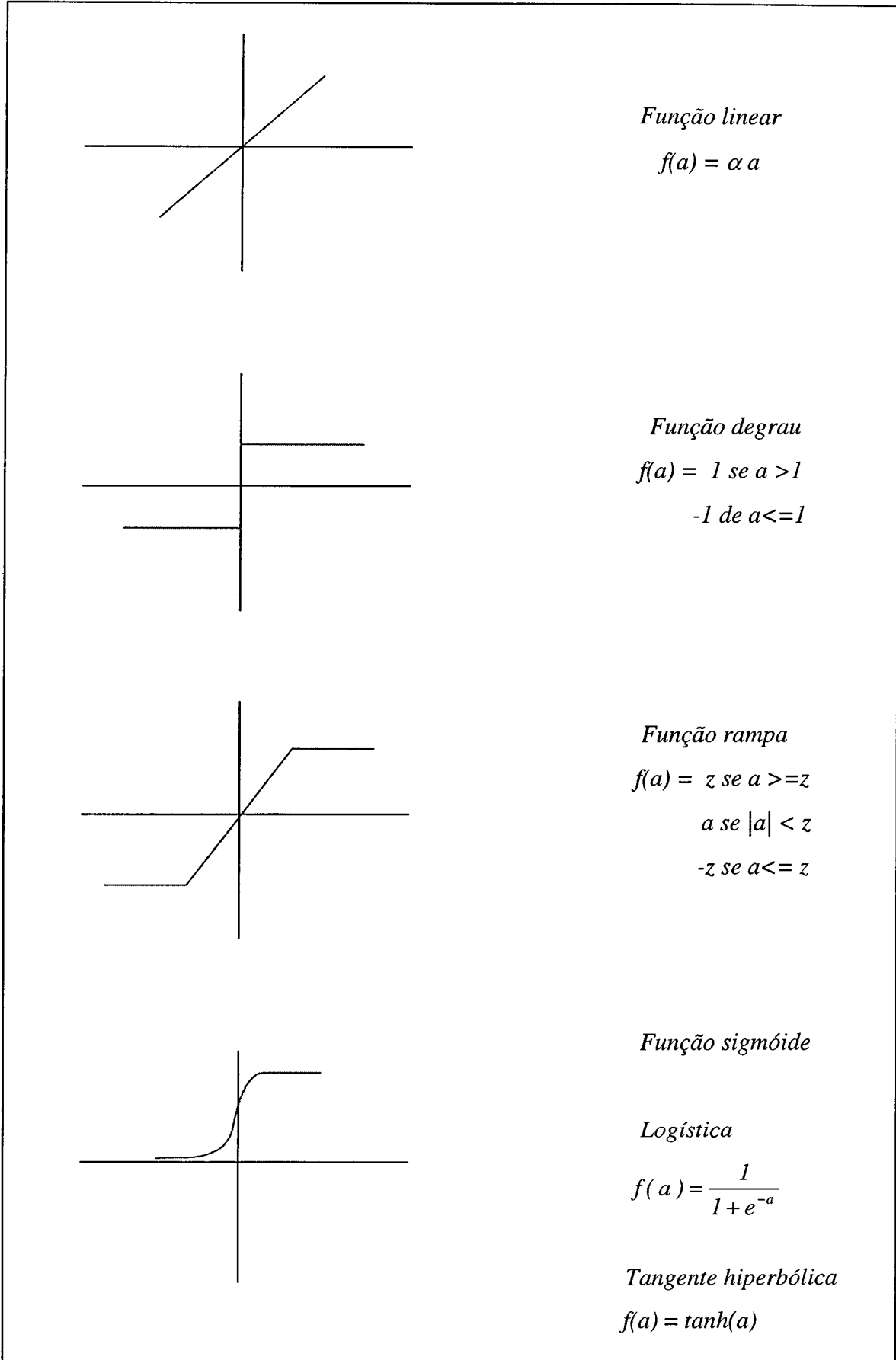
6.5.8 Taxa de Aprendizado

A taxa de aprendizado é um fator de escala que informa quanto deve-se mover os valores dos pesos das conexões em direção à solução. Uma pequena taxa pode levar a uma aprendizagem mais lenta, já uma taxa grande pode fazer com que se ultrapasse a solução ótima. Esse parâmetro pode ser automatizado, fazendo com que na medida que a função de erro diminua ele é reduzido, e vice-versa.

6.5.9 Ruídos

Ruídos podem ser adicionados ao valores de entrada da rede com o objetivo de deixá-la menos sujeita às variações dos dados de entrada. São utilizados números aleatórios uniformes.

Figura 6.9 – Funções de ativação



6.5.10 Processos de Aprendizado

A propriedade mais importante das redes neurais é a habilidade de aprender com o seu ambiente e melhorar sua performance. Os mecanismos de aprendizado possibilitam a modificação de seu padrão de interconexão capacitando-a a resolver um determinado problema. Para treinar uma rede neural podem ser utilizados três mecanismos distintos de aprendizado:

- i) Aprendizado supervisionado: são fornecidos integralmente os resultados desejados.
- ii) Aprendizado por reforço: quando apenas um parâmetro externo de comparação é fornecido com o objetivo de avaliar se a rede está agindo corretamente ou erroneamente.
- iii) Aprendizado não-supervisionado: quando a própria rede é capaz de ajustar o seu funcionamento (auto-organização).

6.6 PERCEPTRON

O *Perceptron* foi o primeiro modelo de redes neurais inspirado na reunião de várias unidades processadoras. Sua arquitetura é definida apenas com a camada de entrada e de saída. Quando uma amostra é apresentada à rede, ela produz uma saída. Após calcular a diferença entre a resposta obtida e a desejada, são realizados ajustes nos pesos das conexões de modo a reduzir essa diferença. Este procedimento é conhecido como regra delta e funciona da seguinte maneira:

- i) Todos os pesos das conexões são iniciados com valores aleatórios;
- ii) Calcula-se a resposta da rede;
- iii) Se o erro $E = (\text{Valor Calculado} - \text{Valor Observado})$ não for satisfatório, atualizam-se os pesos (w) das conexões considerando o peso anterior mais o

produto de uma taxa de aprendizado (η) com o erro encontrado (E) e com o valor de entrada (X): $w_{novo} = w_{anterior} + \eta * E * X$

iv) Repete-se o passo (ii).

As redes *Perceptron* receberam muitas críticas sendo as maiores de MINSKI e PAPERT (1969) que afirmavam que a rede *Perceptron* não é capaz de solucionar problemas simples que não sejam linearmente separáveis. Afirmaram ainda que não seria possível construir algoritmos de aprendizagem para redes com mais camadas e assim sendo, as redes neurais sempre teriam essa limitação.

6.7 PERCEPTRON MULTICAMADAS

Neste modelo, os elementos processadores estão organizados em camadas, estando cada elemento de uma camada amplamente conectado à camada subsequente. Cada camada tem uma função específica, a camada de saída recebe os estímulos da camada intermediária e constrói o padrão que será a resposta. As camadas intermediárias funcionam como extratoras de características apresentadas nos padrões de entrada e permitem que a rede crie sua própria representação, mais rica e complexa do problema. A camada de entrada é responsável pela apresentação das entradas à rede.

O padrão apresentado é propagado até a camada de saída onde é calculado o erro entre a saída calculada e a saída desejada de cada elemento processador da camada de saída. Nesse ponto entra em funcionamento um processo de aprendizado.

Contrariando as afirmações de Minski e Papert, vários algoritmos de treinamento foram desenvolvidos para redes com várias camadas, como por exemplo: *Backpropagation* (RUMELHART e MCCLELLAND, 1986), Cascade Correlation (FAHLMAN e LEBIERE, 1990) e Conjugate Gradient (WASSERMAN, 1993).

Nesta dissertação apenas o algoritmo *Backpropagation* será abordado.

6.8 BACKPROPAGATION

Durante o treinamento com o algoritmo *Backpropagation*, a rede opera em uma seqüência de dois passos. Primeiro, um padrão é apresentado à camada de entrada da rede. A atividade resultante flui através da rede, camada por camada, até que a resposta seja produzida pela camada de saída (rede *feedforward*). No segundo passo, a saída obtida é comparada à saída desejada para esse padrão particular. Se esta não estiver correta, o erro é calculado. O erro é propagado a partir da camada de saída até a camada de entrada e os pesos das conexões das unidades das camadas internas vão sendo modificados conforme o erro é retropropagado.

As redes que utilizam *Backpropagation* trabalham com uma variação da regra delta, apropriada para redes multicamadas, chamada de regra delta generalizada. Redes sem camadas intermediárias podem resolver problemas onde a superfície de erro tem a forma de um parabolóide com apenas um mínimo. Entretanto, a superfície de erro pode não ser tão simples. Nestes casos, as redes ficam sujeitas aos problemas de mínimos locais.

A regra delta generalizada funciona com funções de ativação do tipo sigmóide.

A seguir é apresentado o algoritmo, de maneira simplificada, do método de aprendizado *Backpropagation*:

- i) Define-se a arquitetura da rede e quantas unidades processadoras cada camada possuirá. Admitamos uma rede com uma camada de entrada com A unidades, uma camada intermediária com B unidades e a camada de saída com C unidades;
- ii) Todas os pesos das conexões são iniciados com valores aleatórios uniformes. Nesse exemplo, com apenas uma camada intermediária, os pesos que conectam a camada de entrada com a camada intermediária são denotados w_{I_j} , onde o índice i indexa as unidades de entrada e o j , as unidades intermediárias. Da mesma maneira, os pesos que conectam a camada intermediária à camada de saída são

denotados por $w2_{ij}$, com i indexando as unidades intermediárias e j , as unidades de saída.

$w1_{ij}$ = número aleatório, para $i = 1, \dots, A$ $j = 1, \dots, B$.

$w2_{ij}$ = número aleatório, para $i = 1, \dots, B$ $j = 1, \dots, C$.

iii) Os dados de entrada são o vetor x , e os dados de saída o vetor y . Escolhe-se um par de entrada-saída (x_i, y_i) . Calcula-se o nível de atividade da camada inicial com o auxílio da equação (6.1);

iv) Propagam-se os níveis de atividade da camada de entrada para as unidades da camada intermediária utilizando a função de ativação;

$$h_j = \frac{1}{1 + e^{-\sum_i^A w1_{ij} x_i}} \quad \text{para } j = 1, \dots, B \quad (6.2)$$

v) Propagam-se os níveis de atividade das unidades intermediárias para as unidades da camada saída, utilizando a função de ativação;

$$o_j = \frac{1}{1 + e^{-\sum_i^B w2_{ij} h_i}} \quad \text{para } j = 1, \dots, C \quad (6.3)$$

vi) Calculam-se os erros na camada de saída da rede. Nesse caso não é o erro quadrático utilizado para avaliar a rede como um todo, e sim uma função erro que é função dos pesos. Essa função é utilizada apenas no algoritmo *Backpropagation*. A primeira derivada (gradiente) dessa função erro pode ser assim expressa:

$$\delta 2_j = o_j (1 - o_j) (y_j - o_j) \quad \text{para } j = 1, \dots, C \quad (6.4)$$

onde:

o_j = saída real da rede;

y_j = saída esperada.

vii) Calculam-se os erros na camada oculta, função dos erros da camada de saída;

$$\delta 1_j = h_j(1 - h_j) \sum_l^C (\delta 2_l \cdot w 2_{jl}) \quad \text{para } j = 1, \dots, B \quad (6.5)$$

viii) Ajustam-se os pesos entre a camada intermediária e a camada de saída, função dos erros entre as camadas e da taxa de aprendizagem;

$$\Delta w 2_{ij} = \eta \cdot \delta 2_j \cdot h_i \quad \text{para } i = 1, \dots, B \quad j = 1, \dots, C \quad (6.6)$$

onde:

η = taxa de aprendizado.

ix) Ajustam-se os pesos entre a camada de entrada e a camada intermediária, função dos erros entre as camadas e da taxa de aprendizagem;

$$\Delta w 1_{ij} = \eta \cdot \delta 1_j \cdot x_i \quad \text{para } i = 1, \dots, A \quad j = 1, \dots, B \quad (6.7)$$

x) Repete-se a etapa (iv) até que todas as amostras tenham sido apresentadas à rede e a função erro tenha sido minimizada a contento.

A velocidade de aprendizado pode aumentar se as etapas (viii) e (ix) incluírem um termo de *momentum* que tem por objetivo permitir o aumento da taxa de aprendizado, sem que ocorram oscilações, bem como atuar no aumento da velocidade de convergência (GALVÃO et al., 1999). Nesse caso, as equações (6.6) e (6.7) passam a ser expressas, respectivamente, pelas equações (6.8) e (6.9).

$$\Delta w_{2_j}(t+1) = \eta \cdot \delta_{2_j} \cdot h_i + \alpha \cdot \Delta w_{2_j}(t) \quad (6.8)$$

$$\Delta w_{1_j}(t+1) = \eta \cdot \delta_{1_j} \cdot x_i + \alpha \cdot \Delta w_{1_j}(t) \quad (6.9)$$

onde:

$h_i, x_i, \delta_{1_j}, \delta_{2_j}$ = medidos no instante $(t+1)$;

α = *momentum*.

O algoritmo apresentado é para redes com uma camada intermediária. Para cada camada intermediária extra, basta inserir uma etapa de propagação para frente entre as camadas, uma etapa de cálculo de erros e uma etapa para ajuste de pesos.

6.9 REDES NEURAIAS EM RECURSOS HÍDRICOS

A aplicação efetiva de redes neurais em problemas práticos de engenharia, teve início apenas na década de 90. Em recursos hídricos os primeiros trabalhos datam de 1992. Ainda hoje o número de trabalhos versando sobre redes neurais em recursos hídricos é pequeno, principalmente se nos voltarmos aos trabalhos publicados no Brasil.

Em recursos hídricos, as pesquisas tem se concentrado no uso de redes neurais em previsão de vazões, na transformação chuva-vazão, na análise de frequência de cheias, e em problemas de qualidade de água.

Aplicações em previsão de vazões são as mais numerosas, com destaque para os trabalhos de KARUNANITHI et al., (1994), BALLINI et al., (1997), THIRUMALAI AH e DEO, (1998), CAMPOLO, ANDREUSSI e SOLDATI, (1999).

Os trabalhos voltados à transformação chuva-vazão também tem aumentado nos últimos anos. Trabalhos bastante completos são os de HSU, GUPTA e SOROOSHIAN, (1995) e TOKAR e JOHNSON, (1999).

Outros trabalhos que despertam interesse são os relacionados à qualidade de água (MAIER e DANDY, 1996), operação de reservatórios (JAIN, DAS e SRIVASTAVA, 1999), previsão de chuva (FRENCH, KRAJEWSKI e CUYKENDALL, 1992) e de análise de frequência de enchentes (HALL e MINNS, 1998).

Como já dito anteriormente, redes neurais são novas ferramentas que somente agora estão sendo utilizadas em problemas de recursos hídricos. Há muito ainda a se pesquisar em praticamente todos os assuntos relativos a redes neurais com aplicação em recursos hídricos. Com o avanço das pesquisas, discussões e avaliações poderão ser melhor embasadas.

6.10 USO DE REDES NEURAIAS

Para se aplicar redes neurais a um determinado problema, deve-se definir a geometria da rede, o tipo de conexões, o processo de ativação escolhido, a função erro, a taxa de aprendizado, o *momentum* e qual o tipo de algoritmo de aprendizagem a ser utilizado. Todos esses aspectos já foram abordados anteriormente.

Uma rede neural quando aplicada a um problema real deve passar por um processo de treinamento, isso é, ajuste das conexões a fim de reproduzir os resultados desejados, e por um processo de validação que verificará se a rede realmente está respondendo corretamente.

É muito comum separarmos os dados disponíveis em dois conjuntos de dados, um para o treinamento da rede e o outro conjunto para verificação da rede. As redes neurais, muitas vezes, não são capazes de extrapolar suas respostas. Se os dados utilizados no treinamento não forem representativos do problema em questão, resultados pouco precisos serão obtidos.

Os dados de entrada geralmente sofrem um processo de normalização antes de se iniciar o processo de treinamento. O objetivo da normalização é fazer com que todos os valores de entrada recebam igual tratamento. Com esse procedimento, os dados de entrada passam a ter valores compatíveis com as funções de ativação. Usando a função sigmóide logística, cujas respostas variam de 0 a 1, é comum que os dados de entrada passem a variar entre 0,1 - 0,9 ou 0,2 - 0,8.

Após completada a fase de treinamento da rede, isto é, após atingido o mínimo valor pré-determinado da função de erro, é verificado o comportamento da rede, agora com o conjunto de dados reservados para a verificação. É importante que esse conjunto de dados não tenha sido utilizado no treinamento.

Se os erros apresentados na fase de verificação forem muito diferentes daqueles obtidos na fase de treinamento, a rede não está pronta para ser utilizada. Essa diferença pode ocorrer quando os conjuntos de dados utilizados no treinamento não são representativos dos eventos da fase de verificação. Também podem representar uma arquitetura inadequada ao problema em questão ou uma normalização incorreta dos dados de entrada. Esses fatores devem ser checados e a rede deve novamente passar pelo processo de treinamento e validação.

Quando o processo de validação apresentar erros compatíveis com o processo de treinamento, a rede é considerada treinada e pronta para ser utilizada.

7 ESTUDO DE CASO

7.1 CARACTERÍSTICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA

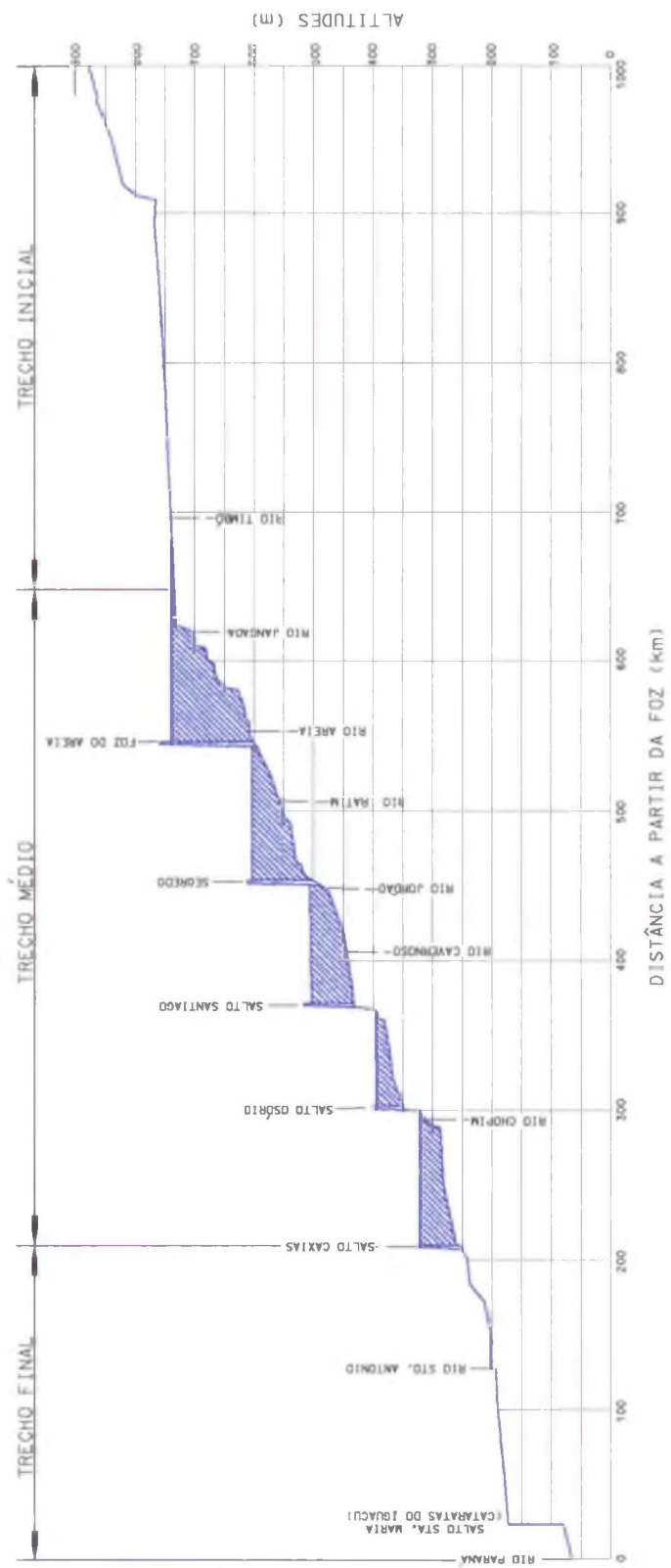
O rio Iguaçu é considerado o rio mais importante do Estado do Paraná. Ele é formado pela confluência dos rios Iraí e Pequeno, na região de Curitiba e percorre todo o Estado até a sua foz junto a cidade de Foz do Iguaçu, onde deságua no rio Paraná após percorrer aproximadamente 1.100 km e drenar uma área de 68.700 km².

O rio Iguaçu atravessa três das mais importantes regiões geomorfológicas do Paraná. O planalto de Curitiba, constituído de rochas graníticas e metamórficas, o planalto de Ponta Grossa onde predominam sedimentos paleozóicos, e o planalto de Guarapuava que consiste de um derrame basáltico que cobre todo o oeste do Paraná. Essas regiões são também conhecidas como primeiro, segundo e terceiro planaltos respectivamente.

O rio Iguaçu é bastante atrativo do ponto de vista energético dado que possui em seu trecho médio após adentrar a região de basalto, vales estreitos, com margens íngremes e canal com alta declividade. Ao longo do rio Iguaçu estão localizadas cinco usinas hidrelétricas de grande porte: Foz do Areia com 1.670 MW, Segredo com 1.260 MW, Salto Santiago com 1.333 MW, Salto Osório com 1.050 MW e Salto Caxias com 1.240 MW. Todos estes aproveitamentos hidrelétricos que foram implantados a partir da década de 70, se situam no trecho médio e inferior do rio Iguaçu. A figura 7.1 mostra as divisões dos trechos inicial, médio e final do rio Iguaçu.

O trecho onde o rio percorre o planalto de Ponta Grossa é bastante diferente. Nesse trecho inicial destacam-se vales amplos, canal com baixa declividade, vastas planícies de inundação, tendo sido no passado palco de intensa navegação fluvial. Devido a essas características, a presença urbana acabou por se desenvolver muito próxima à calha do rio o que tem trazido prejuízos para o meio ambiente, além de consideráveis danos causados pelas enchentes que periodicamente alagam as planícies de inundação.

Figura 7.1 – Perfil do Rio Iguaçu



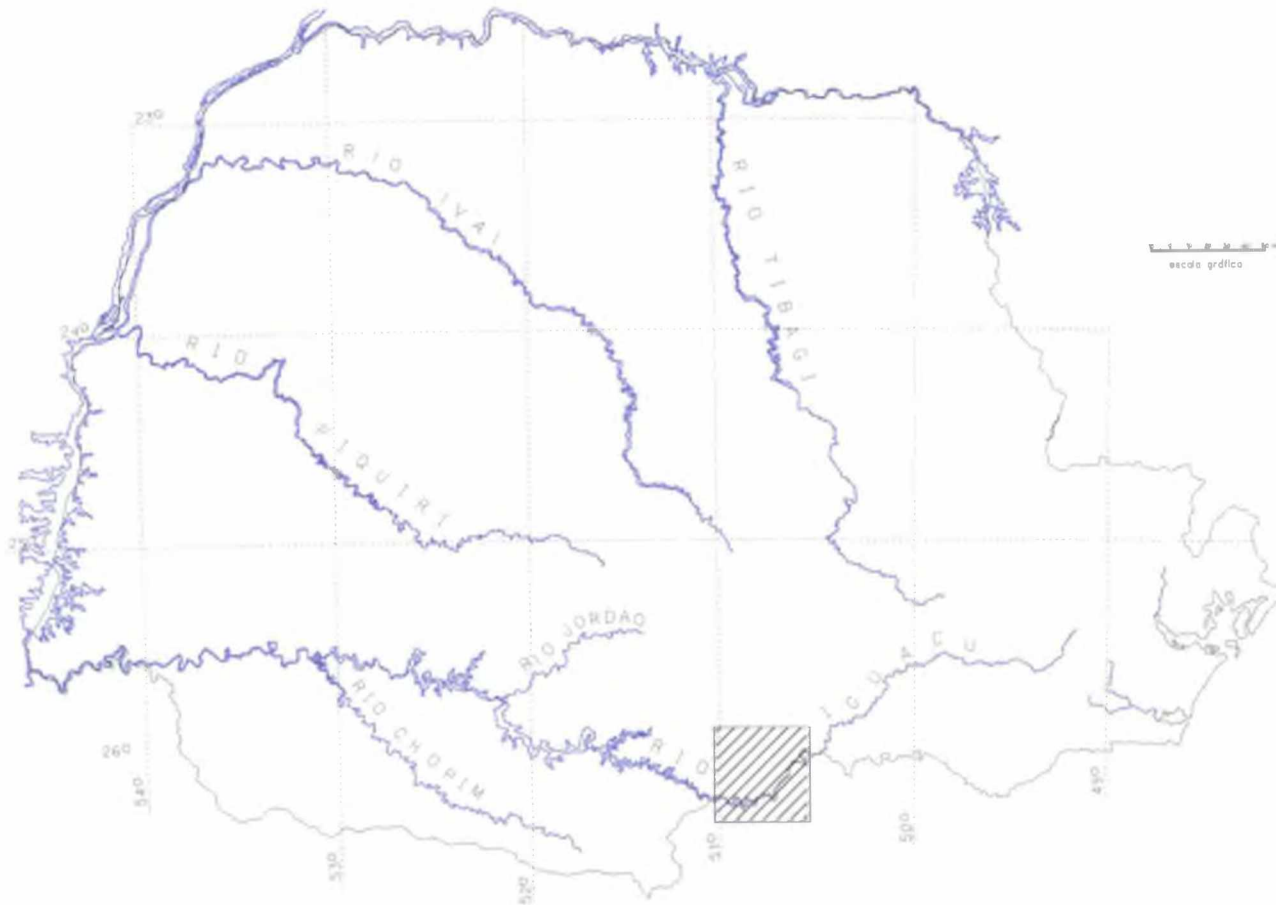
O trecho Fluvialópolis – União da Vitória estudado neste trabalho, está localizado no final do trecho do segundo planalto pois a cidade de Porto Vitória localizada 20 km a jusante de União da Vitória é considerada limítrofe entre o segundo e o terceiro planalto. A partir desse ponto a declividade do rio se altera de forma acentuada, passando de cerca de 0,1 ‰ para 1‰.

O rio Iguaçu em Fluvialópolis drena uma área de 18.700 km² e em União da Vitória 24.200 km². Este trecho tem aproximadamente 104 km de extensão e a declividade média do rio é de 0,1 m/km. O principal afluente ao trecho estudado é o rio Timbó, com área de drenagem de 2.760 km² o que representa cerca de 50% de toda a área incremental. Outros afluentes de menor porte são os rios Claro, Paciência, Santana, Preto e Pintado. A figura 7.2 ilustra a região em estudo.

7.2 DADOS DISPONÍVEIS

De acordo com o objetivo do trabalho, procurou-se trabalhar com eventos de enchente na região em estudo. Foram definidos sete eventos que serão utilizados para a investigação da aplicabilidade dos modelos propostos. Estes eventos são as enchentes ocorridas nos anos de 1982, 1983, 1987, 1990, 1993 e 1995, com tempo de recorrência estimados entre 5 e 100 anos. A tabela 7.1 apresenta o início, a duração e o tempo de recorrência estimado de cada evento.

Figura 7.2 - Localização da área de estudo



FONTE: CEHPAR, 1996

Tabela 7.1 – Início, duração e tempo de recorrência dos eventos de enchente

Evento	Data Início	Duração (horas)	Tempo de Recorrência
1982	05/11/1982	991	5 anos
1983	23/06/1983	1063	100 anos
1987	04/05/1987	953	7 anos
1990	12/01/1990	991	5 anos
1992	25/05/1990	871	35 anos
1993	15/09/1993	991	12 anos
1995	01/01/1995	991	7 anos

Na região estudada existem diversas estações fluviométricas com dados de nível de água disponíveis, porém, sem curvas de descarga definidas, o que impossibilita a conversão de níveis em vazões, além de serem de instalação recente. As estações do rio Timbó mais representativas sofrem a influência dos níveis do rio Iguaçu, dificultando ainda mais a estimativa confiável da vazão. Essa falta de informações no rio Timbó acaba trazendo sérias implicações na estimativa da vazão incremental no trecho estudado, indispensável como dado de entrada nos modelos de propagação de vazões. A tabela 7.2 apresenta as estações fluviométricas existentes na região e suas características.

Ao longo do trecho Fluiópolis – União da Vitória existem levantamentos de seções transversais e perfis longitudinais, função de outros estudos realizados na região. Destacam-se os levantamentos executados pela Japan International Cooperation Agency – JICA (JICA, 1995) e pela Companhia Paranaense de Energia - COPEL (CEHPAR, 1996).

Foram utilizadas 29 seções transversais, todas elas com a batimetria precisa do fundo do rio, niveladas geometricamente e amarradas a um marco referencial comum. Todas as seções foram levantadas até cotas suficientemente altas, evitando extrapolações dessas seções durante eventos extremos.

A figura 7.3 mostra a localização das seções transversais e outros detalhes da bacia hidrográfica ao longo do trecho estudado.

Tabela 7.2 - Estações fluviométricas

Código	Nome	Rio	Área (km ²)	Tipo	Período de dados	Altitude régua (m)
65220000	Fluviópolis	Iguaçu	18700	FQ	08/63 -- 12/96	749.89
65253000	Felipe Schmidt	Iguaçu	20340	F	12/94 -- 12-96	744.52
65255000	Irineópolis	Iguaçu	20700	F	12/93 -- 12/96	743.15
65260000	Foz do Cachoeira	Timbó	693	FQ	10/85 -- 12/96	-----
65285000	São Pedro do Timbó	Timbó	1760	F	12/94 -- 12/96	741.22
65295000	Santa Cruz do Timbó	Timbó	2610	F	08/74 -- 12/96	742.09
65299000	Foz do Timbó	Timbó	2760	F	12/93 -- 12/96	741.84
65308000	Fazenda Santa Marta	Iguaçu	24000	F	12/93 -- 12/96	740.78
65310000	União da Vitória	Iguaçu	24200	FQ	05/30 -- 12/96	739.61

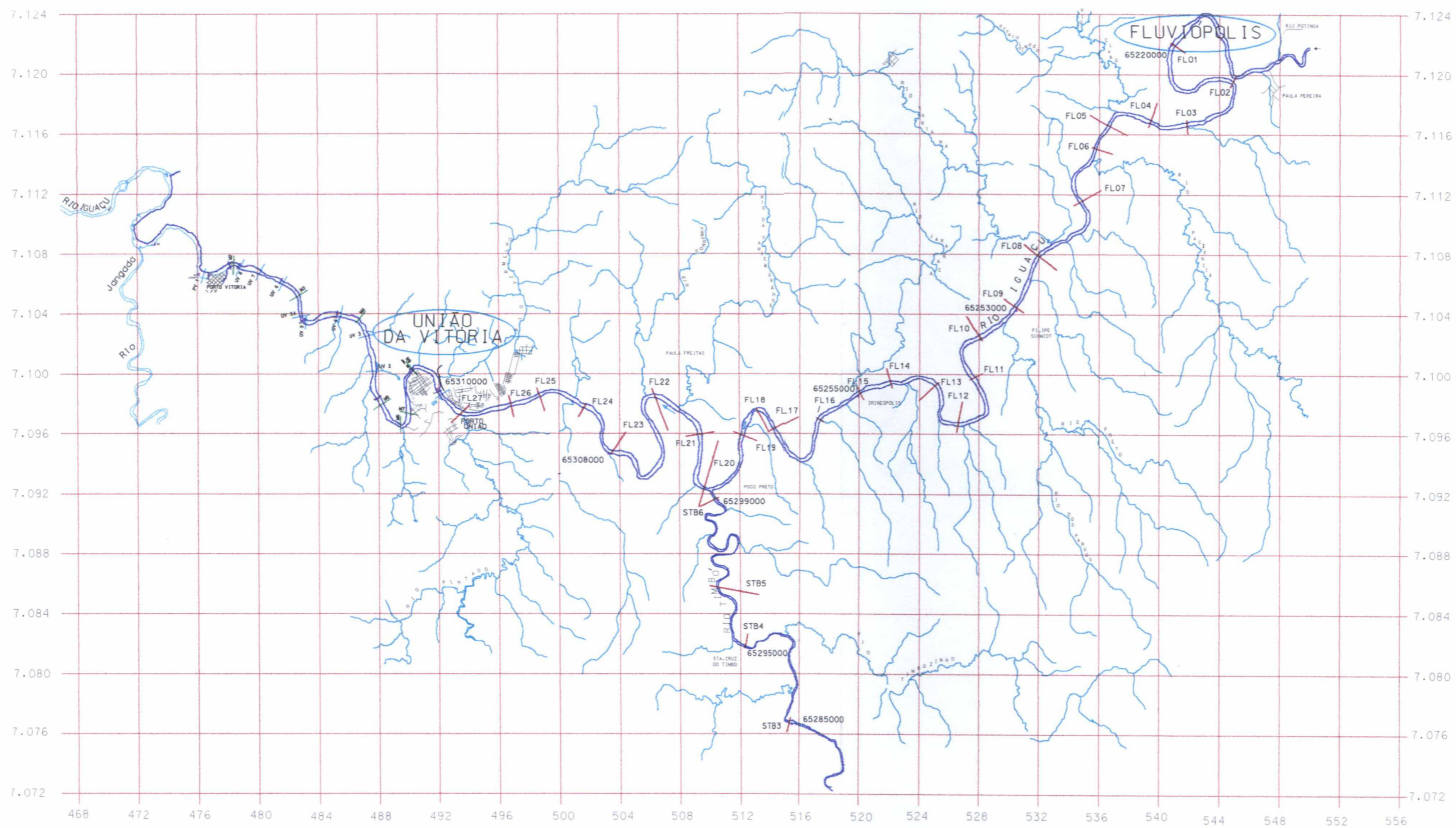
Obs: F - leitura de régua, Q - medição de vazão

7.3 ESTUDOS ANTERIORES

As características hidrológicas do rio Iguaçu foram objetos de vários estudos, muitos deles de viabilidade e projeto básico de usinas hidrelétricas que acabaram sendo implantadas ao longo do rio.

Vale a pena destacar os estudos realizados, para a usina de Foz do Areia localizada 100 km a jusante de União da Vitória, por MILDNER-KAISER (1975 e 1976), os estudos hidráulicos do remanso de Foz do Areia realizados a pedido da COPEL por SUGAI (1980) e SUGAI et al. (1985), os trabalhos de consultoria realizados pelo Dr. Carlos Tucci para a comunidade de União da Vitória (TUCCI, 1993b; TUCCI e VILLANUEVA, 1997), o estudo realizado pelo CEHPAR (1996) denominado Projeto HG-79 – Análise do Escoamento em Regime Não-Permanente no Rio Iguaçu entre Fluviópolis e União da Vitória, e a pesquisa de doutorado da Dra. Miriam Mine (MINE, 1998). Todos esses estudos tinham como objetivo

Figura 7.3 - Trecho Fluviópolis - União da Vitória



determinar e analisar a influência do reservatório da usina Foz do Areia nos níveis de cheia observados na cidade de União da Vitória. Com exceção do trabalho do CEHPAR, nenhum outro trabalho analisou o escoamento no trecho Fluviópolis – União da Vitória, concentrando-se no trecho União da Vitória – Foz do Areia. Por esse motivo aqueles estudos não serão detalhados no presente trabalho.

O projeto HG-79 utilizou o modelo hidrodinâmico DAMBRK, descrito no capítulo 5, para determinar a possível influência do reservatório de Foz do Areia sobre os níveis do rio Iguaçu no trecho Fluviópolis – Foz do Areia, abrangendo assim o trecho de interesse Fluviópolis – União da Vitória. O projeto HG-79 utilizou os mesmos eventos de enchente que esse trabalho e considerou a vazão lateral como sendo a diferença, com um intervalo de tempo de 24 horas, das vazões observadas em União da Vitória e Fluviópolis, às vezes usando um artifício para eliminar o abatimento dinâmico da vazão incremental na própria calha do rio. Esse artifício consistia em utilizar o método de Muskingum de maneira invertida, isso é, dada a vazão defluente obter a afluenta. O DAMBRK foi calibrado e aplicado com sucesso, atingindo os objetivos do projeto.

7.4 VAZÃO INCREMENTAL

Para o cálculo da propagação de vazões entre Fluviópolis e União da Vitória, além de condições de contorno iniciais apropriadas, é necessário o conhecimento da contribuição lateral ao longo do tempo entre as duas seções. A metodologia adotada no projeto HG-79, de considerar a vazão lateral como a diferença das vazões em União da Vitória e Fluviópolis defasadas de 24 horas não pode ser utilizada no caso de modelos hidrológicos tradicionais como o de Muskingum, pois implica simplesmente na transposição indeformada da enchente deslocada em 24 horas. Além disso, esse procedimento determina a vazão incremental já abatida no trecho estudado, quando na verdade o que é necessário é uma estimativa da vazão na foz dos afluentes, cujo abatimento no rio principal deve ser computado pelo próprio modelo. No projeto HG-79 houve, apenas para a cheia de 1983, uma tentativa de ajustar a vazão incremental a fim de se obter uma concordância mais precisa aos níveis observados.

Como não se dispõe de dados de vazão confiáveis próximo à foz do rio Timbó, principal contribuinte da vazão incremental, essa vazão incremental deve ser estimada através de métodos de transposição de vazões ou pela simulação de modelos chuva-vazão. Contudo a inexistência de postos confiáveis de vazão não permitiria a calibragem destes.

Devido a essa dificuldade optou-se pela estimativa da vazão incremental pela transposição de vazões a partir de estações fluviométricas vizinhas. Utilizou-se particularmente as vazões observadas nas estações de Foz do Cachoeira, no próprio rio Timbó, embora bem a montante de sua foz, e da estação Jangada no rio Jangada.

O volume da contribuição lateral é bastante significativo, o que acaba descartando a definição da vazão incremental como uma simples ponderação da vazão afluente. A tabela 7.3 mostra a relação entre os volumes afluentes e defluentes para cada evento de enchente.

Tabela 7.3 – Relação entre volumes afluentes e defluentes

Evento	Relação Volume Incremental
1982	27 %
1983	32 %
1987	21 %
1990	20 %
1992	30 %
1993	24 %
1995	22 %

Optou-se por estimar a vazão incremental proporcionalmente a uma estação vizinha, usando como coeficiente de proporcionalidade a razão entre o volume incremental observado (União da Vitória – Fluviópolis) e o volume escoado no mesmo período na estação de referência. Em forma de expressão seria:

$$Q_{inc} = \alpha Q_r \quad (7.1)$$

sendo:

$$\alpha = \frac{[Vol(União da Vitória) - Vol(Fluviópolis)]}{Vol(Estação de Referência)}$$

Para os eventos de 1987, 1990, 1992, 1993 e 1995 foi utilizada a estação de Foz do Cachoeira com área de drenagem de 693 km² situada no próprio rio Timbó. Para os eventos de 1982 e 1983, anteriores à instalação da estação Foz do Cachoeira, foi utilizada a estação de Jangada, com área de drenagem de 1.040 km² e que está situada fora da bacia estudada porém possui características similares. A tabela 7.4 mostra os coeficientes encontrados para os diversos eventos.

Tabela 7.4 – Coeficiente corretor da vazão incremental

Evento	Coeficiente
1982	5,2
1983	6,3
1987	7,6
1990	7,2
1992	8,3
1993	7,6
1995	7,7

Dessa forma foram gerados hidrogramas de vazão incremental preservando o volume incremental observado. Uma vez que as estações de referência possuíam uma área de drenagem bem reduzida, os picos dos hidrogramas gerados eram excessivamente concentrados. Era então necessário abater o pico desses hidrogramas e deslocá-los no tempo para propagá-los para a foz dos afluentes. Para tanto, foi utilizado o método de Muskingum tendo como parâmetros $X = 0,1$ e $K = 36$ horas. O parâmetro X foi definido de forma que o

pico do hidrograma incremental representasse um valor situado aproximadamente na média entre o pico do hidrograma gerado e a diferença entre os picos em União da Vitória e Fluviópolis. Dessa maneira admitiu-se implicitamente que metade da atenuação ocorre no trecho do afluente ao rio Iguaçu e a outra metade no próprio rio Iguaçu. O parâmetro K foi estimado como sendo um tempo de viagem razoável analisando alguns hidrogramas disponíveis no rio Timbó. As figuras 7.4 a 7.10 mostram os hidrograma incrementais estimados.

7.5 RESULTADOS

De posse dos hidrogramas afluentes (Fluviópolis), defluentes (União da Vitória) e dos hidrogramas incrementais, foram executadas simulações utilizando os métodos descritos nos capítulos 3, 4 e 5.

Uma importante ressalva que deve ser feita é que a vazão observada em União da Vitória em um dado evento não necessariamente ocorreu em conjunto com o hidrograma incremental definido nesse trabalho. Talvez o hidrograma incremental artificial gerado no item 7.4 nunca tenha ocorrido e nunca venha a ocorrer. É muito provável que o hidrograma incremental que originou as vazões observadas em União da Vitória seja diferente daquele estimado conforme os procedimentos descritos na seção anterior. O verdadeiro hidrograma incremental que deu origem às vazões realmente observadas em União da Vitória é desconhecido.

Uma maneira de verificar se a vazão incremental estimada forneceria resultados semelhantes aos observados em União da Vitória, é simular os eventos com o modelo hidrodinâmico DAMBRK, utilizando para tanto os mesmos parâmetros já calibrados para o trecho, a mesma condição de contorno de montante (hidrograma de Fluviópolis), a mesma condição de contorno de jusante (corredeira de Porto Vitória), e alterando apenas os valores da vazão incremental. Os resultados, ilustrados nas figuras 7.11 a 7.17 mostram o que já se esperava, as vazões calculadas em União da Vitória são bastante diferentes das observadas.

Dado que o DAMBRK simula a propagação com bastante precisão, como ficou demonstrado no projeto HG-79, as diferenças devem ser atribuídas quase que integralmente ao erro na estimativa da vazão incremental.

Devido a esse fato, procurou-se fazer duas análises distintas para a propagação de vazões no trecho: aplicação dos modelos hidrológicos e redes neurais, e comparação com os resultados do DAMBRK com o objetivo de estimar quais os erros inerentes aos métodos, e uma segunda análise procurando quantificar a sensibilidade dos modelos com relação aos erros na estimativa da vazão incremental, comparando os resultados das simulações com as vazões observadas.

Figura 7.4 – Hidrograma incremental - cheia de 1982

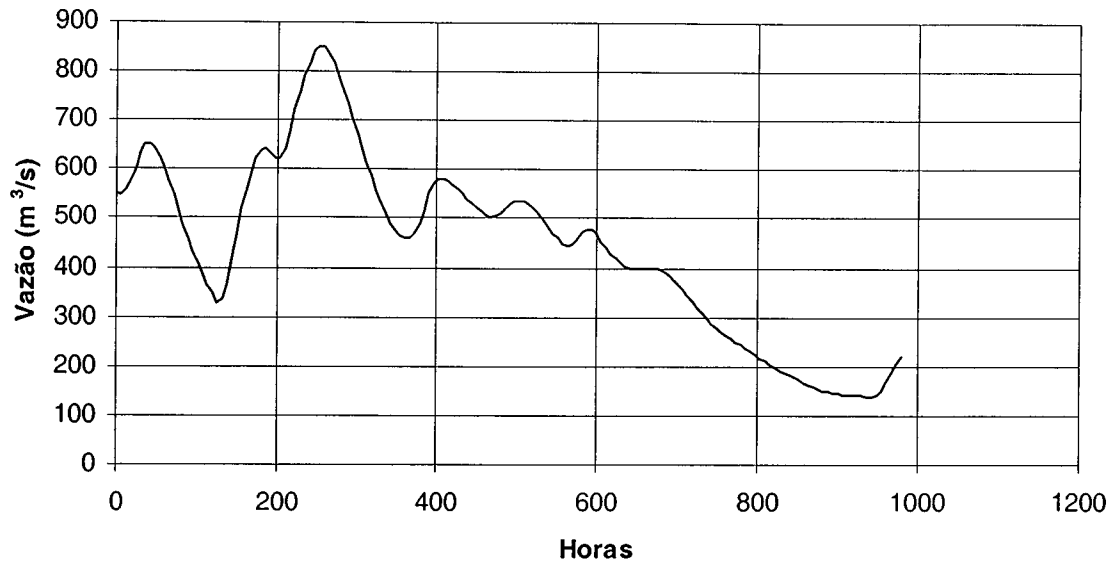


Figura 7.5 – Hidrograma incremental - cheia de 1983

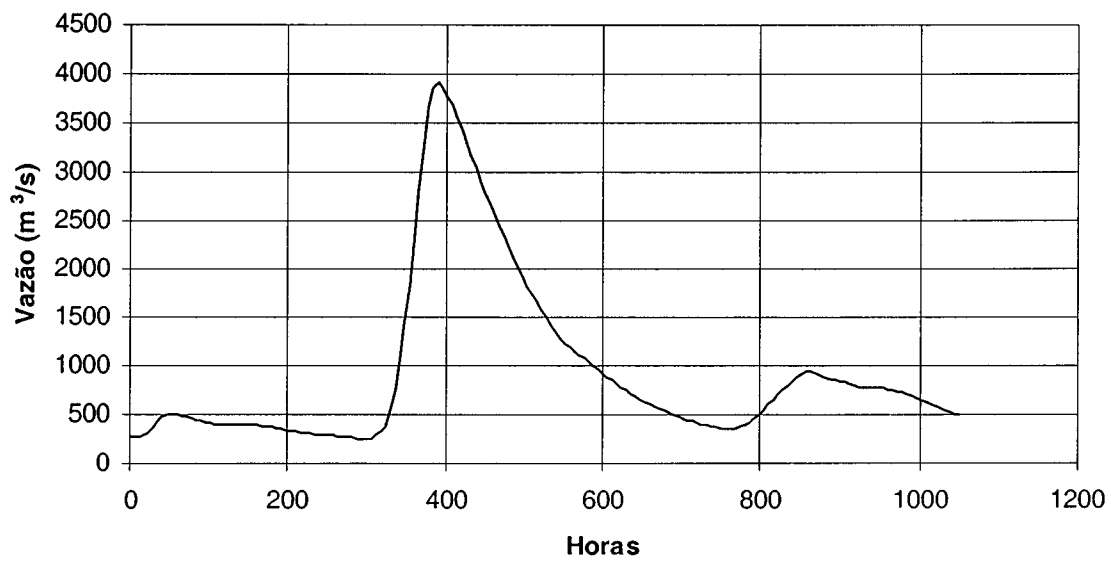


Figura 7.6 – Hidrograma incremental – cheia de 1987

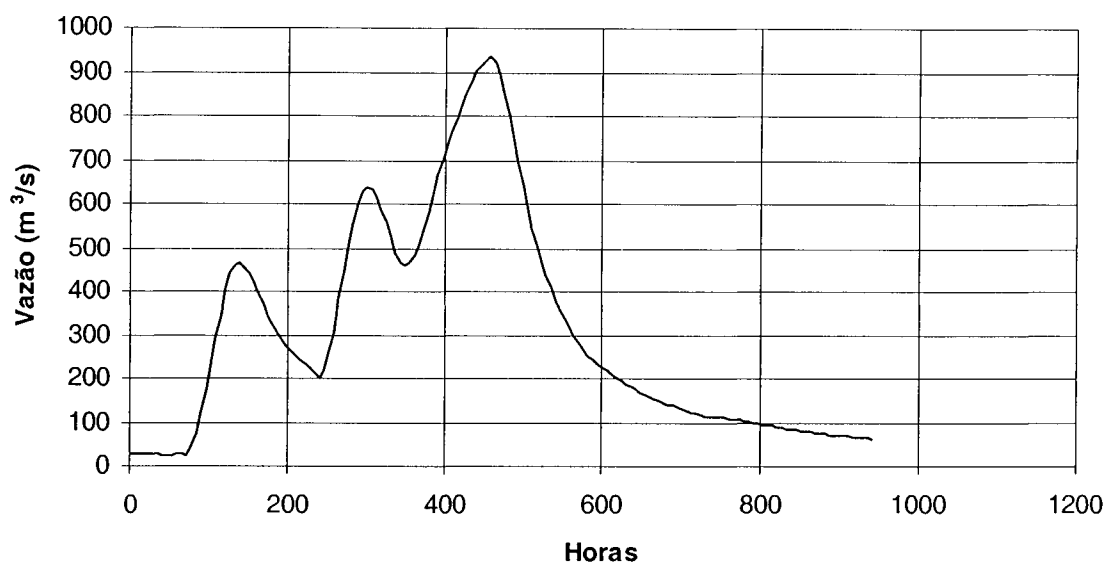


Figura 7.7 – Hidrograma incremental – cheia de 1990

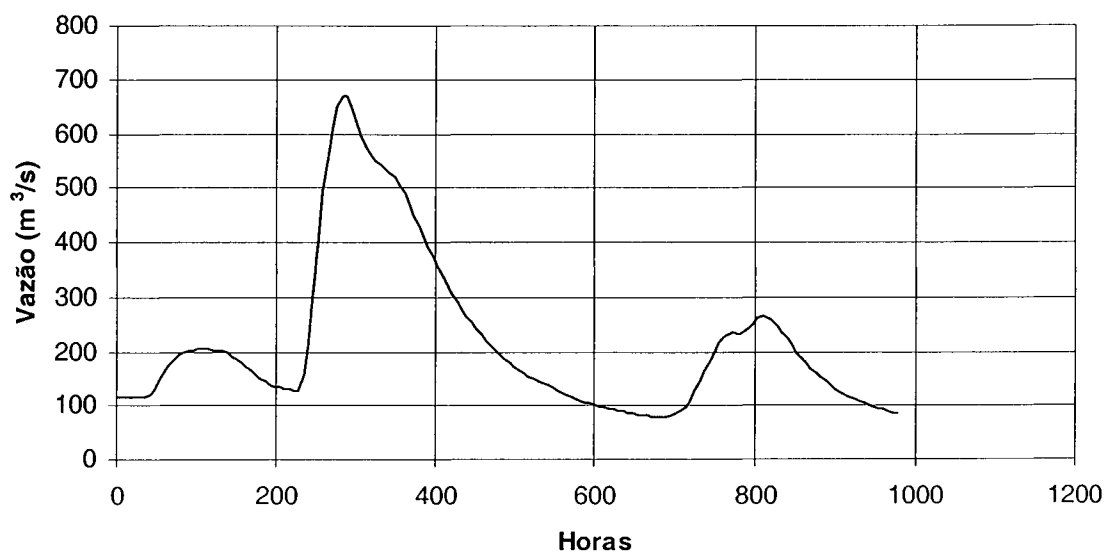


Figura 7.8 – Hidrograma incremental – cheia de 1992

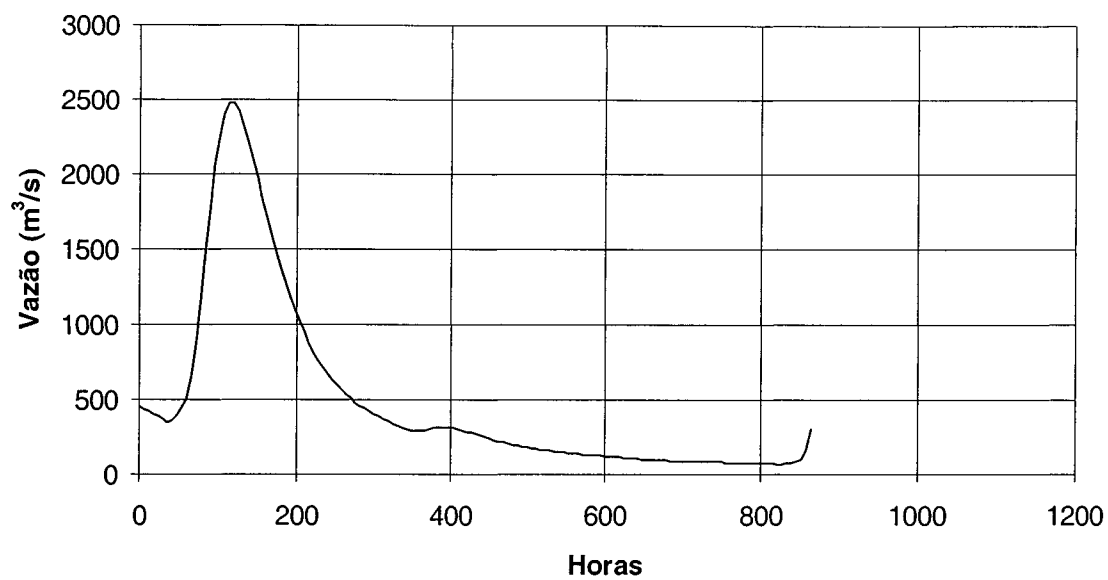


Figura 7.9 – Hidrograma incremental – cheia de 1993

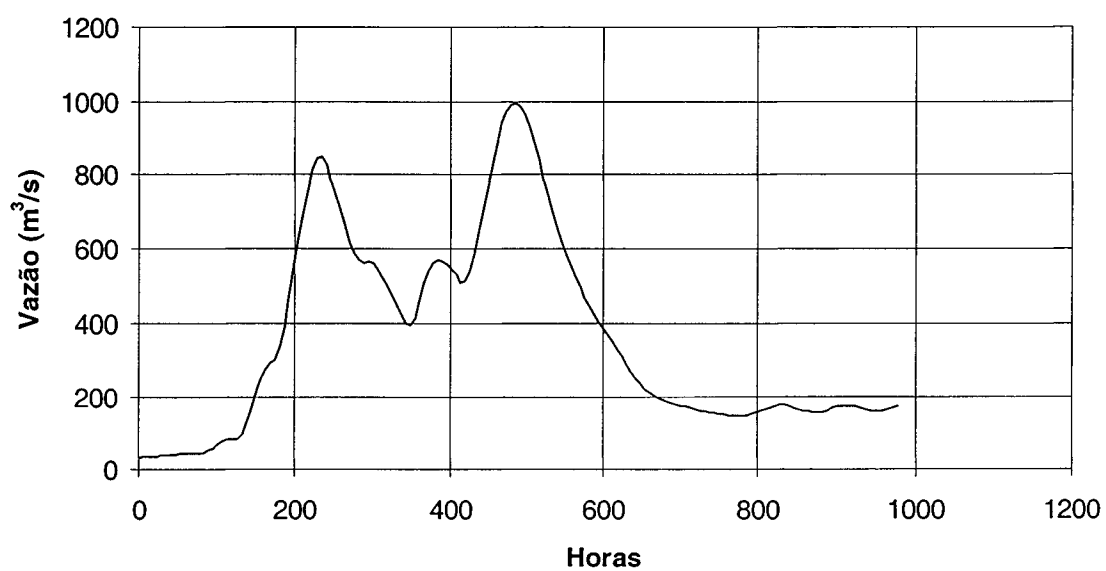


Figura 7.10 – Hidrograma incremental – cheia de 1995

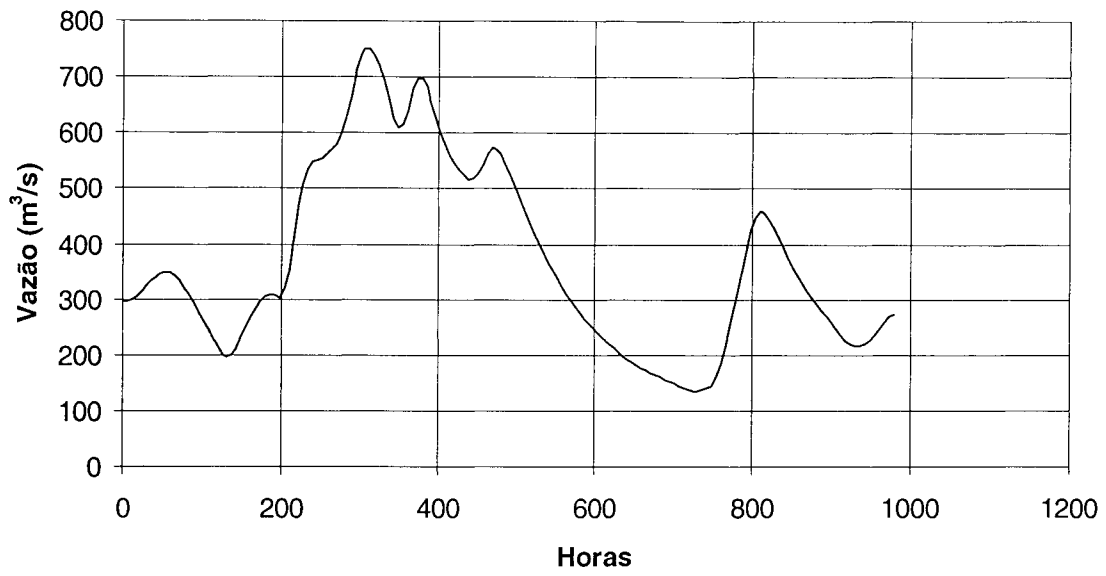


Figura 7.11 – Vazões em União da Vitória – Observado x DAMBRK - 1982

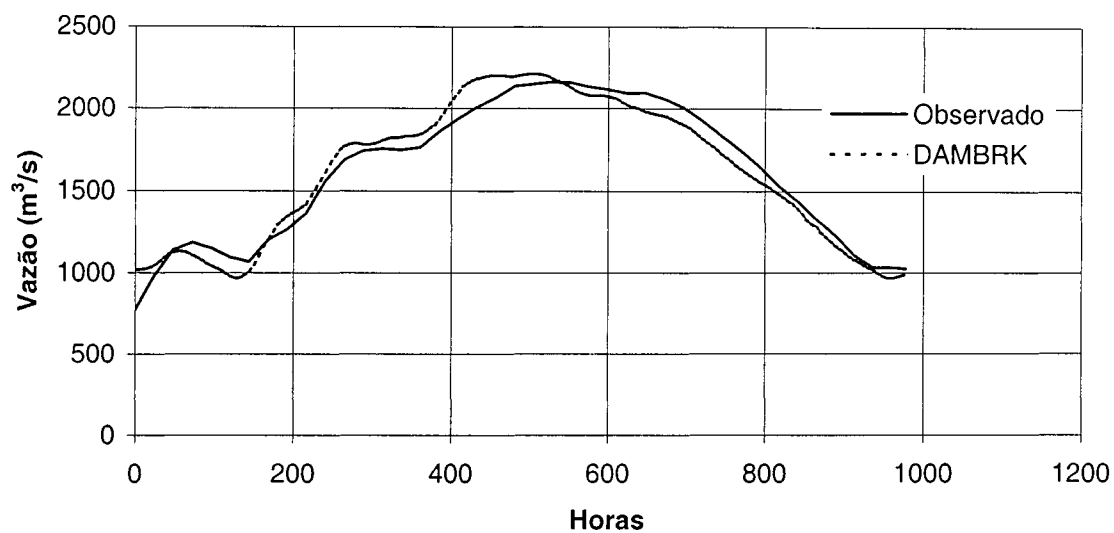


Figura 7.12 – Vazões em União da Vitória – Observado x DAMBRK - 1983

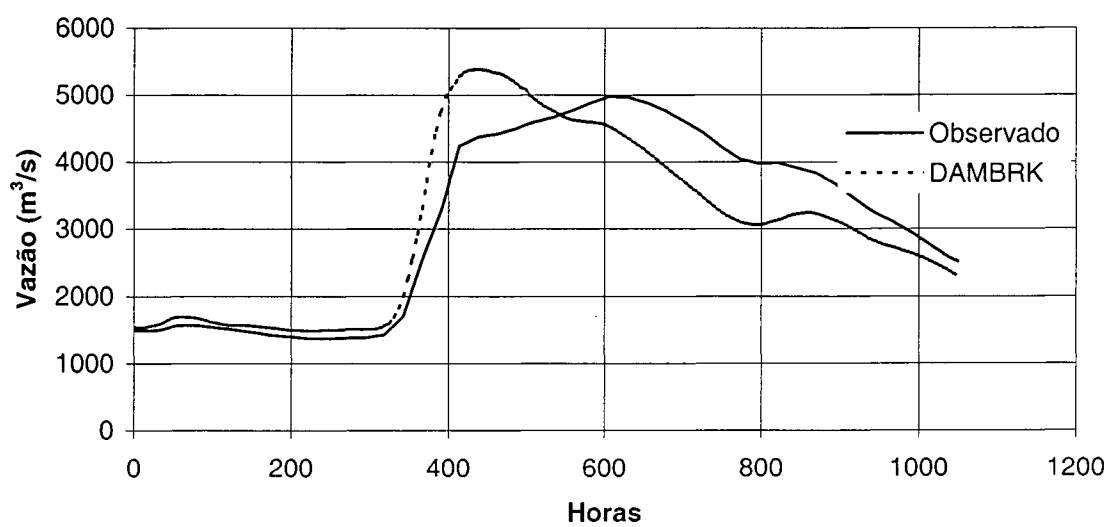


Figura 7.13 – Vazões em União da Vitória – Observado x DAMBRK - 1987

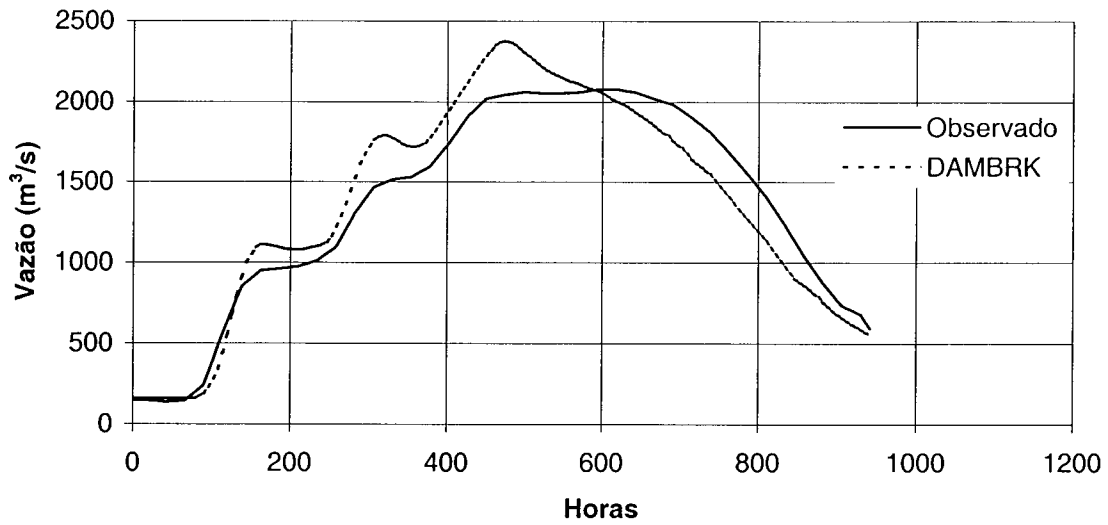


Figura 7.14 – Vazões em União da Vitória – Observado x DAMBRK - 1990

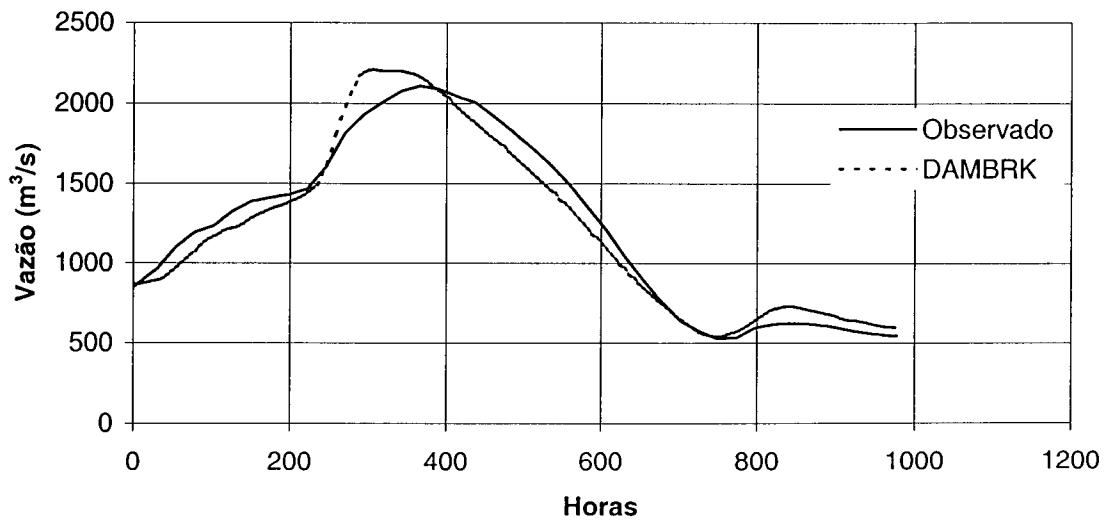


Figura 7.15 – Vazões em União da Vitória – Observado x DAMBRK - 1992

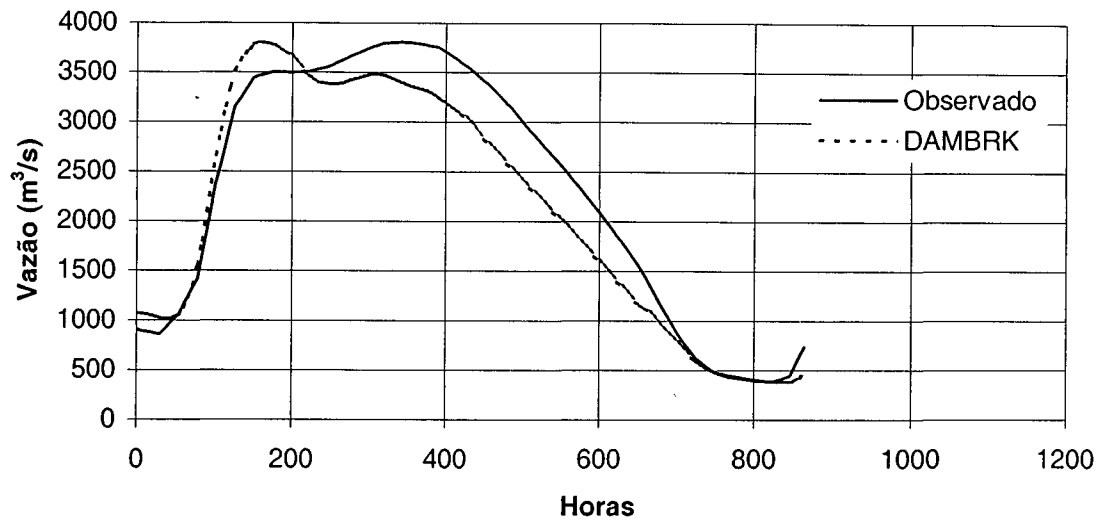


Figura 7.16 – Vazões em União da Vitória – Observado x DAMBRK - 1993

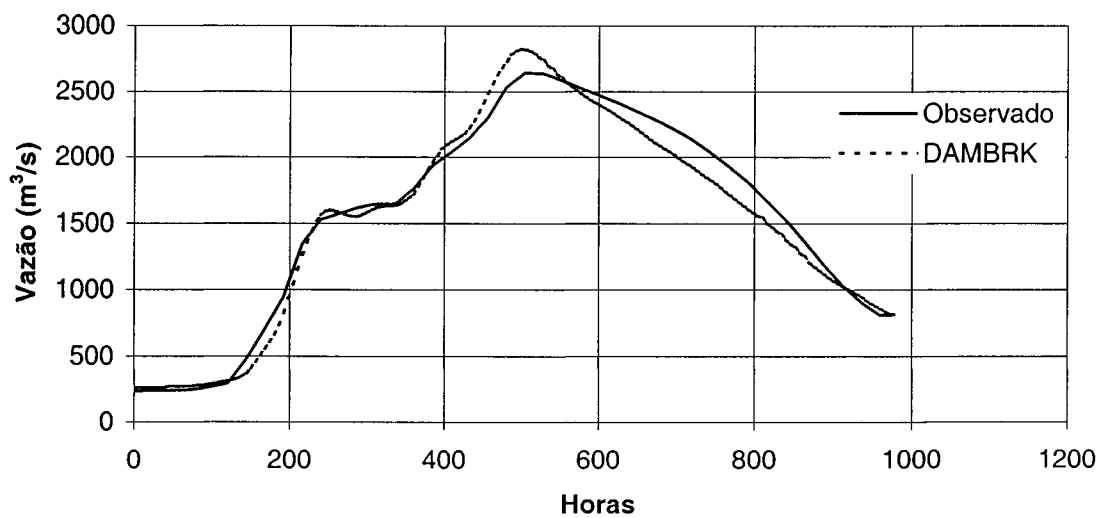
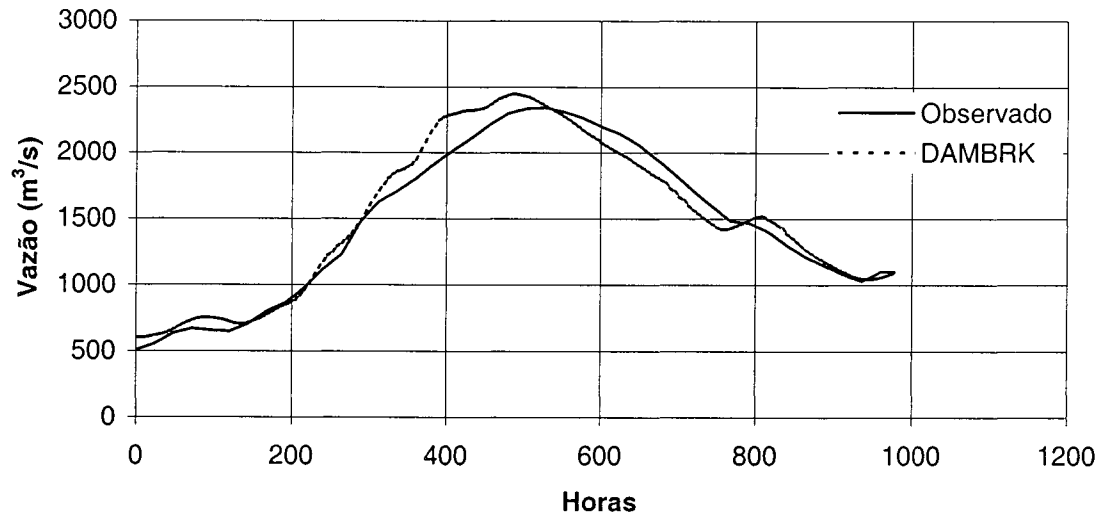


Figura 7.17 – Vazões em União da Vitória – Observado x DAMBRK - 1995



7.5.1 Erros dos Modelos

Foram consideradas como vazões em União da Vitória aquelas obtidas com o modelo DAMBRK, considerando os hidrogramas incrementais estimados conforme descrito na seção 7.4.

Foram utilizados os métodos de Muskingum, Muskingum Modificado, Muskingum-Cunge e Redes Neurais para a propagação de vazões e computados os erros em relação ao resultado do modelo DAMBRK. No caso dos métodos de Muskingum e Redes Neurais, que necessitam de uma fase de calibração, foram usados os eventos de 1982, 1983, 1987 e 1990 para calibração, e os anos de 1992, 1993 e 1995 para a fase de verificação. Os métodos Muskingum Modificado e Muskingum-Cunge não necessitam de eventos para calibração, então todos os sete eventos podem ser considerados como de verificação. Na verdade, o método Muskingum-Cunge depende do coeficiente de rugosidade e da celeridade do trecho, porém esses dados já estavam disponíveis a partir do projeto HG-79.

No método de Muskingum, o parâmetro K foi estimado como sendo o tempo de viagem da onda de enchente no trecho, resultando em um valor médio de 24 horas. Já o parâmetro X foi variado na faixa de 0,1 a 0,5, fornecendo os melhores resultados com o valor 0,2.

O método de Muskingum-Cunge foi aplicado tratando o trecho como um todo, utilizando valores médios de rugosidade, largura e celeridade. Os parâmetros K e X foram estimados a partir das fórmulas derivadas no capítulo 4. A tabela 7.5 apresenta os valores de K e X estimados pelo método de Muskingum-Cunge e pelo método tradicional de Muskingum.

Tabela 7.5 Parâmetros dos métodos Muskingum-Cunge e Muskingum

Evento	Muskingum-Cunge		Muskingum Tradicional	
	X	K (h)	X	K (h)
1982	0,31	26	0,2	24
1983	0,28	25	0,2	24
1987	0,30	25	0,2	24
1990	0,30	25	0,2	24
1992	0,30	26	0,2	24
1993	0,29	24	0,2	24
1995	0,29	24	0,2	24
<i>Média</i>	<i>0,296</i>	<i>35</i>	<i>0,2</i>	<i>24</i>

O método de Muskingum Modificado necessita apenas das curvas cota-área-vazão nas seções de montante (Fluviópolis) e de jusante (União da Vitória), dos hidrogramas de montante e dos hidrogramas incrementais. Nenhum parâmetro precisa ser calibrado.

A Rede Neural utilizada, ilustrada na figura 7.18, é do tipo *Perceptron* Multicamadas composta de dois neurônios na camada de entrada, representando a vazão em Fluviópolis e a vazão incremental, três camadas intermediárias com 8 neurônios por camada, e na camada de saída, um neurônio representando a vazão em União da Vitória. Outras geometrias foram analisadas, inclusive considerando as vazões no instante (t) e (t-1) em Fluviópolis e na incremental porém os resultados obtidos foram semelhantes ao da geometria adotada. Para o aprendizado da rede foi utilizado o algoritmo *Backpropagation*, tendo como função de ativação a função sigmóide logística. Os dados de entrada foram todos normalizados, a taxa de aprendizado foi mantida contínua até a proximidade da solução definitiva, e deste ponto em diante foi considerada como variável aumentando assim a velocidade de treinamento. O termo *EPOCH* foi definido como 100, isto é, a cada 100 valores apresentados à rede, os pesos eram atualizados. Os pesos iniciais foram sorteados utilizando um gerador de números aleatórios uniformes. Utilizou-se uma função de ruídos, deixando assim a rede menos sujeita

$$\text{Diferença de volumes (\%)}: \frac{\sum_1^n (Q_{calc} - Q_{obs})}{\sum_1^n (Q_{obs})} \quad (7.5)$$

O erro padrão relativo foi calculado para: todo o hidrograma; o período de ascensão ao pico; e, período de recessão do pico.

Uma outra estatística calculada foi a amplitude de uma faixa de confiança em (m³/s) ou em percentagem (%) em torno do hidrograma calculado, de modo que 95 % dos valores observados situem-se dentro desta faixa. Em outras palavras significa dizer que com 95 % de chance os erros são inferiores ao valor da semi-amplitude da faixa calculada. A tabela 7.6 mostra os valores dessas estatísticas para todos os métodos utilizados para cada um dos eventos analisados.

Analisando os resultados das estatísticas calculadas verifica-se que em termos médios, os erros padrão relativos referentes aos diferentes métodos simulados variam na faixa de 3 a 8%. Os erros dos modelos hidrológicos convencionais (Muskingum, Muskingum-Cunge e Muskingum Modificado) ficaram na faixa de 3 a 5%. As redes neurais apresentaram erros na ordem de 8%. Analisando as diferenças de volume calculadas conclui-se que todos os métodos preservam o volume dos hidrogramas iniciais.

Com relação às faixas de confiança, observa-se que no caso de faixas com amplitude fixa (m³/s), a semi-amplitude situa-se, para o método de Muskingum, sempre abaixo de 6% da vazão de pico do evento, isto é, em 95 % dos casos o erro de previsão será inferior a 6% do pico do hidrograma. Para o método de Muskingum-Cunge obtém-se uma semi-amplitude inferior a 7% do pico. Os métodos de Muskingum Modificado e Redes Neurais atingiram uma semi-amplitude de 12% do valor do pico. Para as faixas de amplitude variável (%) a semi-amplitude variou de 6% (Muskingum) a 19% (Redes Neurais). Analisando os modelos sob o enfoque das faixas de confiança, as conclusões são essencialmente as mesmas obtidas quando da análise dos erros padrão.

Tabela 7.6 - Estatísticas calculadas para as simulações realizadas - Comparação com DAMBRK

		Vazão Máxima Calculada (m ³ /s)	Vazão Máxima Observada (m ³ /s)	Diferença entre picos		Erro Padrão Relativo			Diferença Volumes (%)	Faixa	
				Vazão (m ³ /s)	Percentual (%)	Total (%)	Ascensão (%)	Recessão (%)		Vazão (m ³ /s)	Percentual (%)
Calibração *	1982										
	MK	2211,84	2210,00	-1,84	0,08	2,00	3,00	0,70	0,47	74,00	6,00
	MK-C	2216,67	2210,00	-6,67	0,30	2,70	3,90	0,80	0,48	87,00	7,00
	MK-M	2209,70	2210,00	0,30	-0,01	5,50	7,30	3,00	0,26	165,00	12,00
	RN	2197,39	2210,00	12,61	-0,57	4,00	5,00	4,00	-3,17	112,00	10,00
	1983										
	MK	5557,48	5386,67	-170,81	3,17	4,00	5,70	1,70	-0,13	287,00	11,00
	MK-C	5588,44	5386,67	-201,77	3,74	4,80	7,00	1,90	-0,14	345,00	13,00
	MK-M	5156,30	5386,67	230,37	-4,27	5,00	6,20	3,90	-0,58	390,00	10,00
	RN	5301,10	5386,67	85,57	-1,58	3,00	4,00	3,00	-1,51	165,00	7,00
	1987										
	MK	2366,41	2376,67	10,26	-0,43	6,50	7,00	4,80	-0,22	151,00	17,00
	MK-C	2381,11	2376,67	-4,44	0,18	7,00	9,00	5,00	-0,24	163,00	23,00
	MK-M	2301,70	2376,67	74,97	-3,15	4,00	6,00	2,00	-0,53	100,00	12,00
	RN	2279,70	2376,67	96,97	-4,08	16,00	22,00	2,00	-1,98	106,00	51,00
	1990										
MK	2212,61	2210,00	-2,61	0,11	2,00	2,00	1,00	0,00	61,00	5,00	
MK-C	2221,36	2210,00	-11,36	0,51	2,00	3,00	2,00	0,02	58,00	6,00	
MK-M	2185,87	2210,00	24,13	-1,09	2,00	3,00	2,00	-0,09	94,00	5,00	
RN	2214,00	2210,00	-4,00	0,18	8,00	7,00	8,00	-1,11	129,00	17,00	
Verificação	1992										
	MK	3966,52	3800,00	-166,52	4,38	4,00	8,00	2,00	0,23	189,00	11,00
	MK-C	3995,17	3800,00	-195,17	5,13	6,00	11,00	3,00	0,27	266,00	17,00
	MK-M	3530,66	3800,00	269,34	-7,08	7,00	10,00	5,00	-0,26	467,00	16,00
	RN	4000,00	3800,00	-200,00	5,26	8,00	6,00	8,00	1,46	310,00	19,00
	1993										
	MK	2835,94	2820,00	-15,94	0,56	2,00	3,00	1,00	0,07	84,00	6,00
	MK-C	2855,82	2820,00	-35,82	1,22	3,00	3,00	1,00	0,07	90,00	7,00
	MK-M	2749,10	2820,00	70,90	-2,51	4,00	5,00	3,00	-0,45	135,00	10,00
	RN	2965,22	2820,00	-145,22	5,15	8,00	11,00	4,00	2,22	240,00	17,00
	1995										
	MK	2470,05	2450,00	-20,05	0,81	4,00	4,00	3,00	0,63	146,00	9,00
MK-C	2477,89	2450,00	-27,89	1,13	4,00	4,00	3,00	0,63	145,00	10,00	
MK-M	2414,36	2450,00	35,64	-1,45	3,00	3,00	2,00	-0,33	106,00	7,00	
RN	2566,87	2450,00	-116,87	4,77	8,00	11,00	6,00	0,56	292,00	18,00	
Média para os eventos de verificação											
	MK				1,92	3,33	5,00	2,00	0,31		
	MK-C				2,49	4,33	6,00	2,33	0,32		
	MK-M				3,68	4,67	6,00	3,33	0,35		
	RN				5,06	8,00	9,33	6,00	1,41		
Média para todos os eventos (Calibração + Verificação)											
	MK				1,36	3,50	4,67	2,03	0,25		
	MK-C				1,74	4,21	5,84	2,39	0,26		
	MK-M				2,79	4,36	5,79	2,99	0,36		
	RN				3,08	7,86	9,43	5,00	1,72		

* - Para os métodos MK-C e MK-M não existem eventos de verificação. Todos podem ser considerados de verificação.

MK - Método de Muskingum

MK-C - Método de Muskingum-Cunge

MK-M - Método de Muskingum Modificado

RN - Redes Neurais

Figura 7.19 – Simulações cheia de 1982 – Vazões em União da Vitória – Comparação com DAMBRK

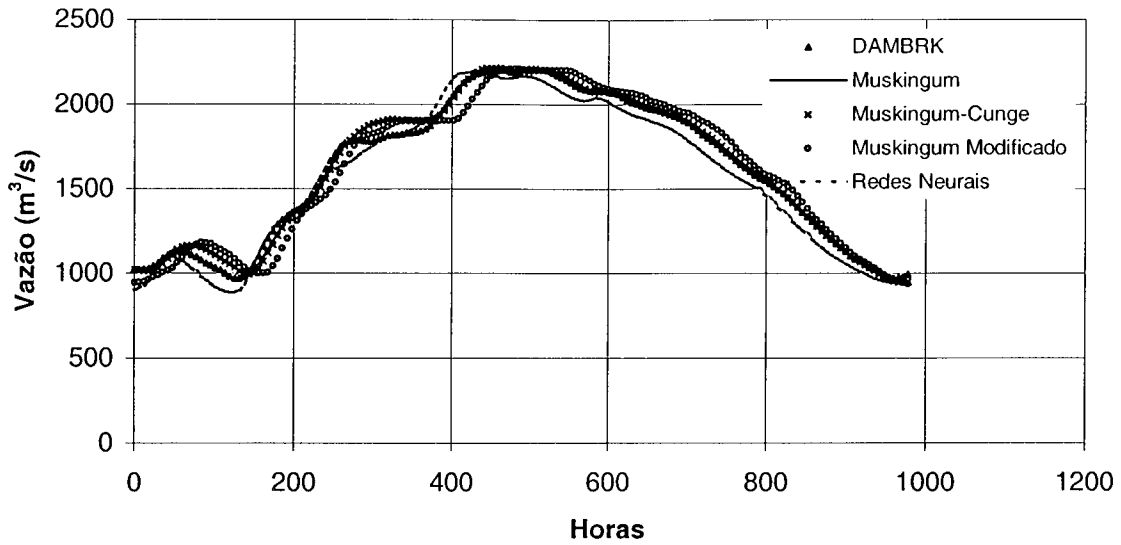


Figura 7.20 – Simulações cheia de 1983 – Vazões em União da Vitória – Comparação com DAMBRK

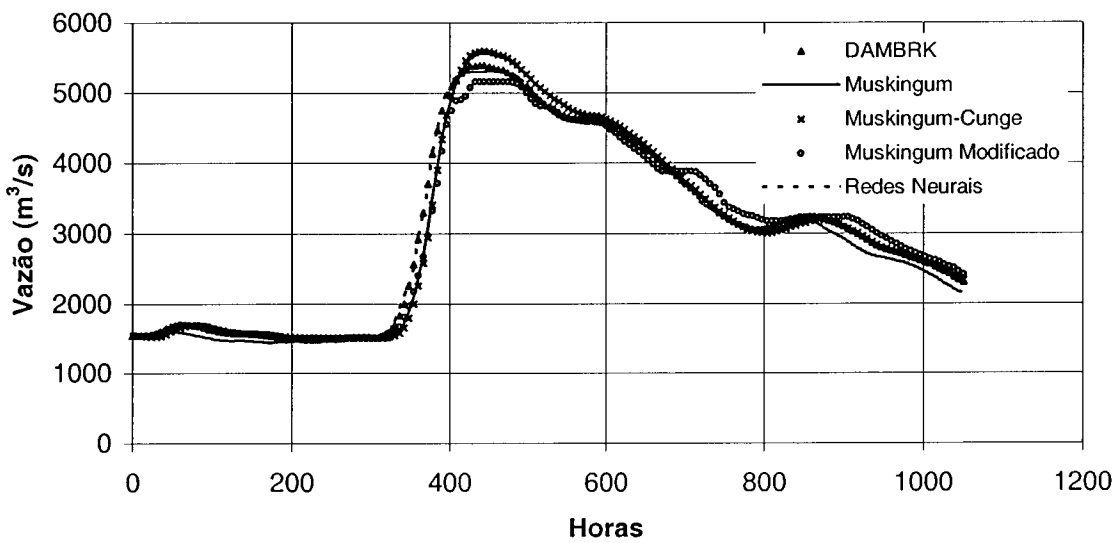


Figura 7.21 – Simulações cheia de 1987 – Vazões em União da Vitória – Comparação com DAMBRK

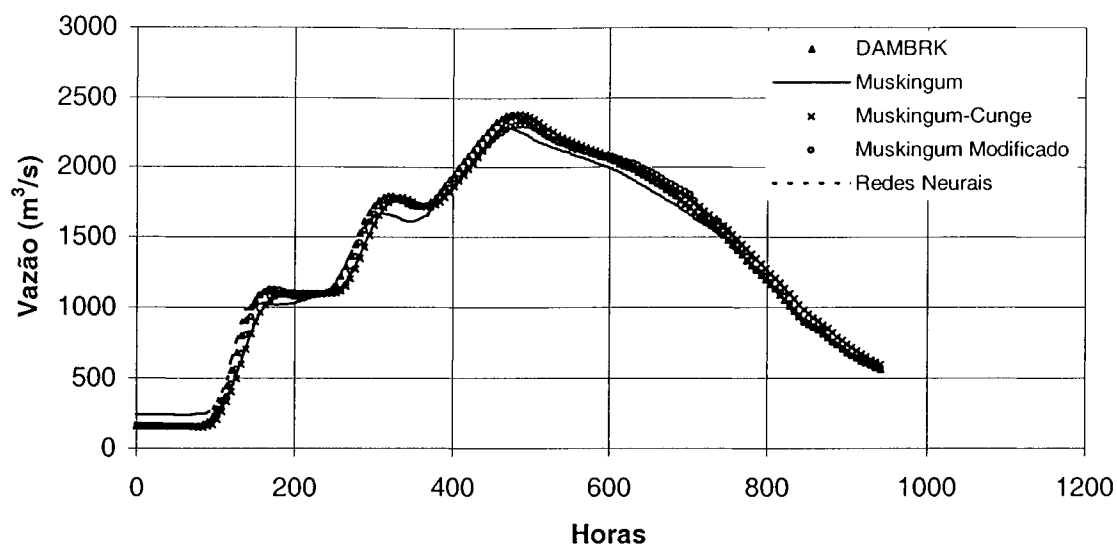


Figura 7.22 – Simulações cheia de 1990 – Vazões em União da Vitória – Comparação com DAMBRK

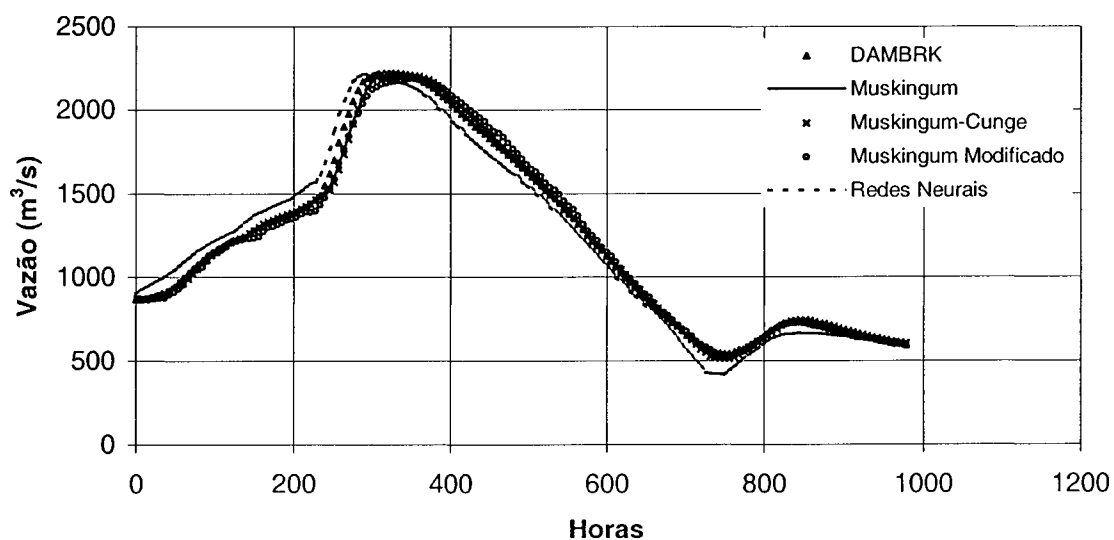


Figura 7.23 – Simulações cheia de 1992 – Vazões em União da Vitória – Comparação com DAMBRK

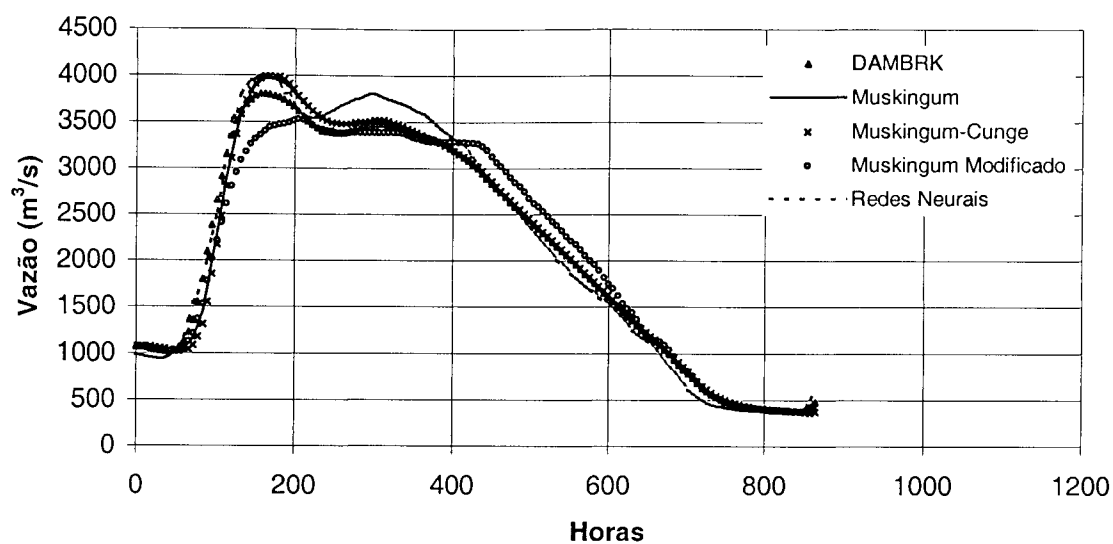


Figura 7.24 – Simulações cheia de 1993 – Vazões em União da Vitória – Comparação com DAMBRK

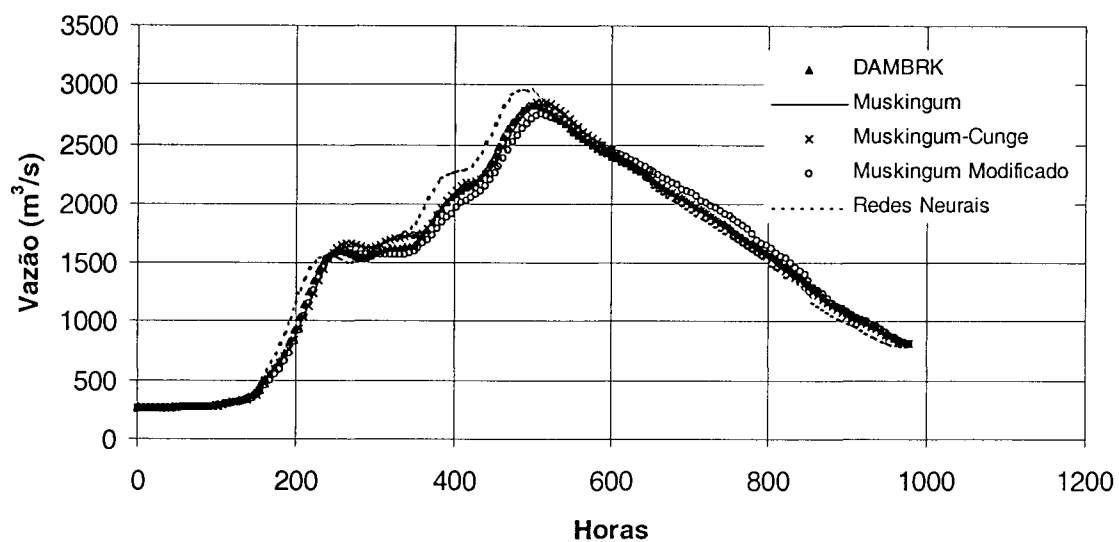
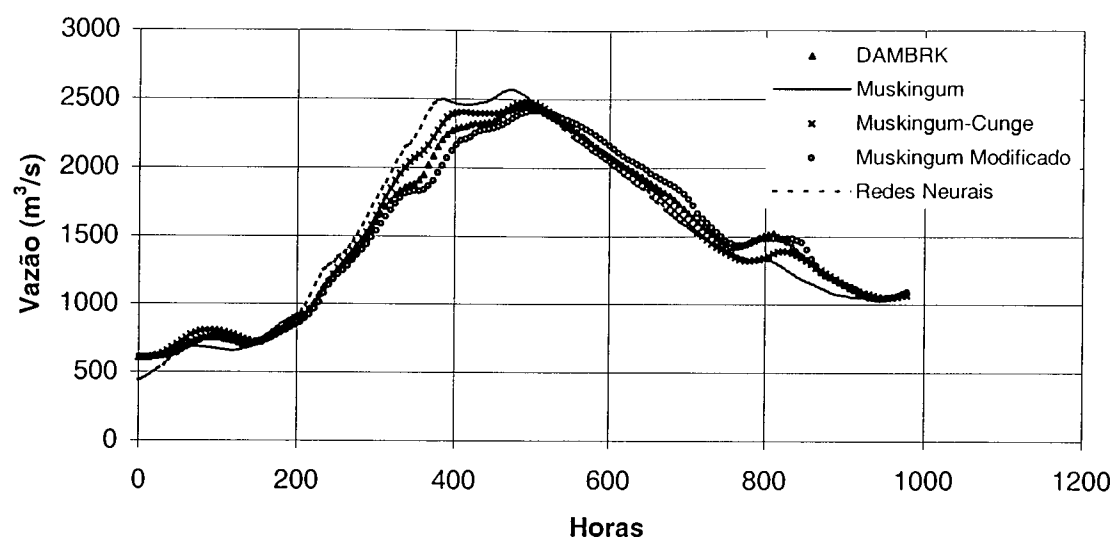


Figura 7.25 – Simulações cheia de 1995 – Vazões em União da Vitória – Comparação com DAMBRK



7.5.2 Sensibilidade quanto à Vazão Incremental

Para definir a influência da estimativa errônea da vazão lateral nos métodos, foi realizada uma nova série de simulações, considerando agora as vazões de União da Vitória aquelas que foram realmente observadas. Nestas simulações não foi utilizado o método de Muskingum-Cunge. As mesmas estatísticas de comparação utilizadas no item anterior foram calculadas e a tabela 7.7 mostra os resultados obtidos. As figuras 7.26 a 7.32 ilustram os hidrogramas obtidos pelos diversos métodos aplicados. No apêndice I estão listados todos os resultados das simulações, bem como os dados de entrada utilizados pelos métodos.

Analisando os resultados das estatísticas calculadas verifica-se que em termos médios, os erros padrão relativos referentes aos diferentes métodos simulados, variam na faixa de 9 a 13%. Os erros dos modelos hidrológicos convencionais (Muskingum, Muskingum-Cunge e Muskingum Modificado) ficaram na faixa de 9 a 11%. As Redes Neurais apresentaram erros na ordem de 14%. É interessante observar que nestas simulações o próprio modelo DAMBRK apresentou em média um erro padrão de 9,67%, sendo superior ao erro padrão do método Muskingum Modificado que ficou em 9,0%. Isso mostra que este modelo aparentemente é bastante robusto com relação a erros na vazão incremental. A análise das faixas de confiança corrobora essas conclusões evidenciando novamente a robustez do método Muskingum Modificado. Também a análise dos erros na vazão de pico confirmam a performance relativa dos modelos. Analisando as diferenças de volume calculadas conclui-se que todos os métodos preservam o volume dos hidrogramas iniciais.

A piora do desempenho dos métodos com relação à análise do item anterior mostra no caso do erro padrão relativo um aumento de 8% para o método de Muskingum, 4% para o Muskingum Modificado e 6% para as Redes Neurais. Para a diferença de picos esta piora é de 3,7% e 3,9% para Muskingum e Redes Neurais respectivamente, valor este praticamente idêntico ao erro do DAMBRK comparado aos valores observados. Portanto, pode-se afirmar que os erros associados exclusivamente aos modelos, isto é, com a vazão incremental bem definida são menores que aqueles provocados por erros na estimativa da vazão incremental,

mesmo para um modelo hidrodinâmico detalhado. Apenas no caso do método Muskingum Modificado o erro devido aos erros na vazão incremental foi relativamente pequeno.

Tabela 7.7 - Estatísticas calculadas para as simulações realizadas - Comparação com observado

		Vazão Máxima Calculada (m³/s)	Vazão Máxima Observada (m³/s)	Diferença entre picos		Erro Padrão Relativo			Diferença Volumes (%)	Faixa	
				Vazão (m³/s)	Percentual (%)	Total (%)	Ascensão (%)	Recessão (% [^])		Vazão (m³/s)	Percentual (%)
Calibração *	1982										
	MK	2211,84	2161,19	-50,65	2,34	6,00	7,00	4,00	0,22	164,00	10,00
	DB	2210,00	2161,19	-48,81	2,25	5,00	7,00	4,00	-0,24	160,00	10,00
	MK-M	2209,70	2161,19	-48,51	2,24	4,00	6,00	2,00	-0,03	144,00	9,00
	RN	2197,39	2161,19	-36,20	1,67	8,00	8,00	8,00	-3,40	210,00	17,00
	1983										
	MK	5557,48	4979,60	-577,88	11,60	14,00	13,00	15,00	-3,19	1140,00	27,00
	DB	5386,67	4979,60	-407,07	8,17	15,00	16,00	15,00	-3,06	1044,00	26,00
	MK-M	5156,30	4979,60	-176,70	3,54	12,00	10,00	13,00	-3,63	842,00	21,00
	RN	5301,10	4979,60	-321,50	6,45	16,00	16,00	16,00	-4,53	1025,00	29,00
	1987										
	MK	2366,41	2078,53	-287,88	13,85	12,00	14,00	9,00	0,97	261,00	26,00
	DB	2376,67	2078,53	-298,14	14,34	13,00	14,00	12,00	1,19	297,00	21,00
	MK-M	2301,70	2078,53	-223,17	10,73	13,00	15,00	11,00	0,65	258,00	21,00
	RN	2279,70	2078,53	-201,17	9,67	22,00	28,00	12,00	-0,80	289,00	65,00
	1990										
MK	2212,61	2108,23	-104,38	4,95	8,00	7,00	9,00	-1,20	152,00	17,00	
DB	2210,00	2108,23	-101,77	4,82	8,00	7,00	8,00	-1,20	175,00	15,00	
MK-M	2185,87	2108,23	-77,64	3,68	8,00	8,00	8,00	-1,24	154,00	16,00	
RN	2214,00	2108,23	-105,77	5,01	10,00	7,00	11,00	-2,30	225,00	18,00	
Verificação	1992										
	MK	3966,52	3808,51	-158,01	4,14	14,00	13,00	14,00	-7,67	583,00	24,00
	DB	3800,00	3808,51	8,51	-0,22	14,00	12,00	15,00	-8,06	590,00	25,00
	MK-M	3530,66	3808,51	277,85	-7,29	12,00	9,00	12,00	-8,38	467,00	21,00
	RN	4000,00	3808,51	-191,49	5,02	17,00	11,00	18,00	-6,71	684,00	29,00
	1993										
	MK	2835,94	2642,78	-193,16	7,30	9,00	10,00	7,00	-2,18	225,00	20,00
	DB	2820,00	2642,78	-177,22	6,70	8,00	9,00	6,00	-2,25	207,00	18,00
	MK-M	2749,10	2642,78	-106,32	4,02	9,00	11,00	4,00	-2,68	192,00	23,00
	RN	2965,22	2642,78	-322,44	12,20	12,00	15,00	10,00	-0,07	363,00	27,00
	1995										
	MK	2470,05	2342,74	-127,31	5,43	10,00	13,00	7,00	2,68	341,00	21,00
	DB	2450,00	2342,74	-107,26	4,57	7,00	8,00	5,00	2,03	234,00	15,00
MK-M	2414,36	2342,74	-71,62	3,05	6,00	7,00	4,00	1,67	158,00	14,00	
RN	2566,87	2342,74	-224,13	9,56	12,00	15,00	8,00	2,61	476,00	26,00	
Média para os eventos de verificação											
	MK				5,62	11,00	12,00	9,33	4,18		
	DB				3,83	9,67	9,67	8,67	4,11		
	MK-M				4,79	9,00	9,00	6,67	4,24		
	RN				8,93	13,67	13,67	12,00	3,13		
Média para todos os eventos (Calibração + Verificação)											
	MK				7,09	10,43	11,00	9,29	2,59		
	DB				5,87	10,00	10,43	9,29	2,58		
	MK-M				4,94	9,14	9,43	7,71	2,61		
	RN				7,08	13,86	14,29	11,86	2,92		

* - Para os métodos DB e MK-M não existem eventos de verificação. Todos podem ser considerados de verificação.

MK - Método de Muskingum

DB - DAMBRK

MK-M - Método de Muskingum Modificado

RN - Redes Neurais

Figura 7.26 – Simulações cheia de 1982 – Vazões em União da Vitória – Comparação com observado

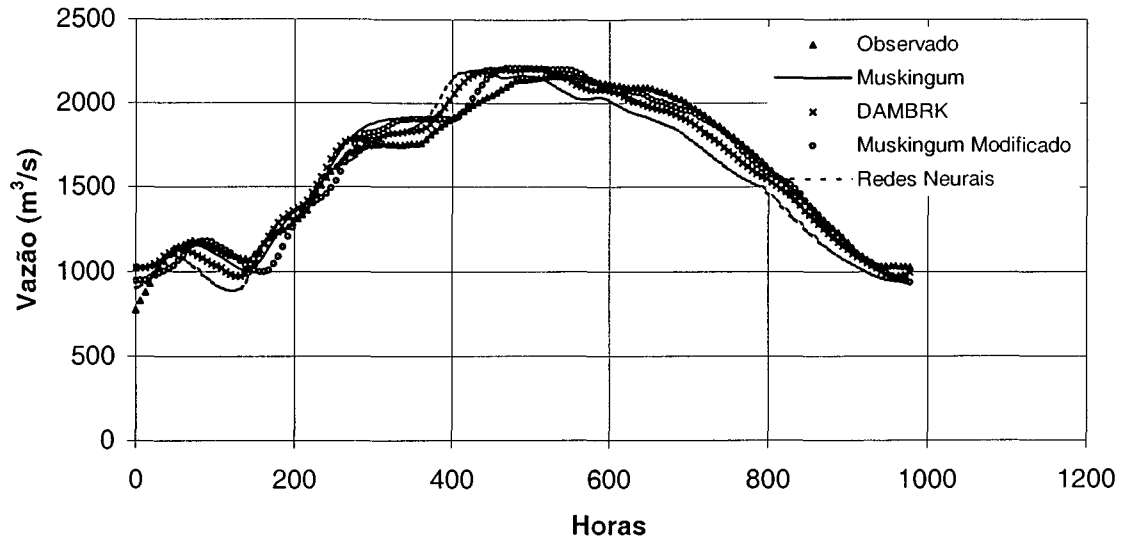


Figura 7.27 – Simulações cheia de 1983 – Vazões em União da Vitória – Comparação com observado

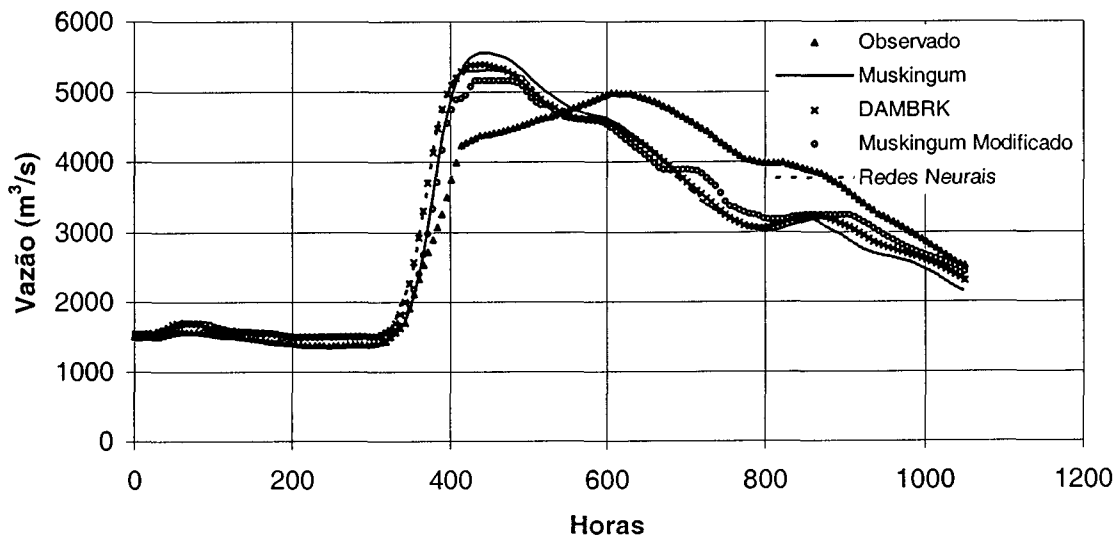


Figura 7.28 – Simulações cheia de 1987 – Vazões em União da Vitória – Comparação com observado

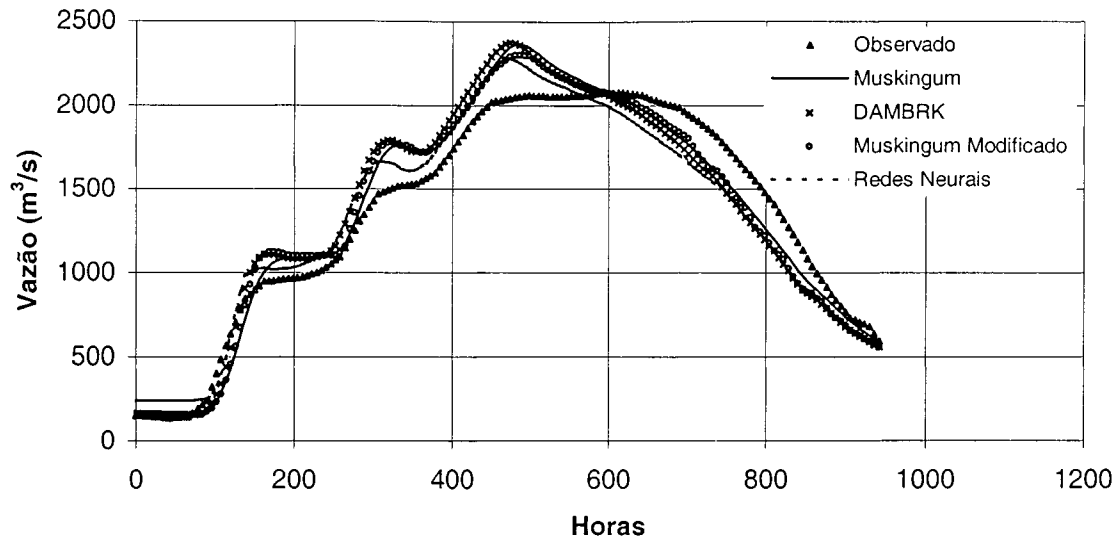


Figura 7.29 – Simulações cheia de 1990 – Vazões em União da Vitória – Comparação com observado

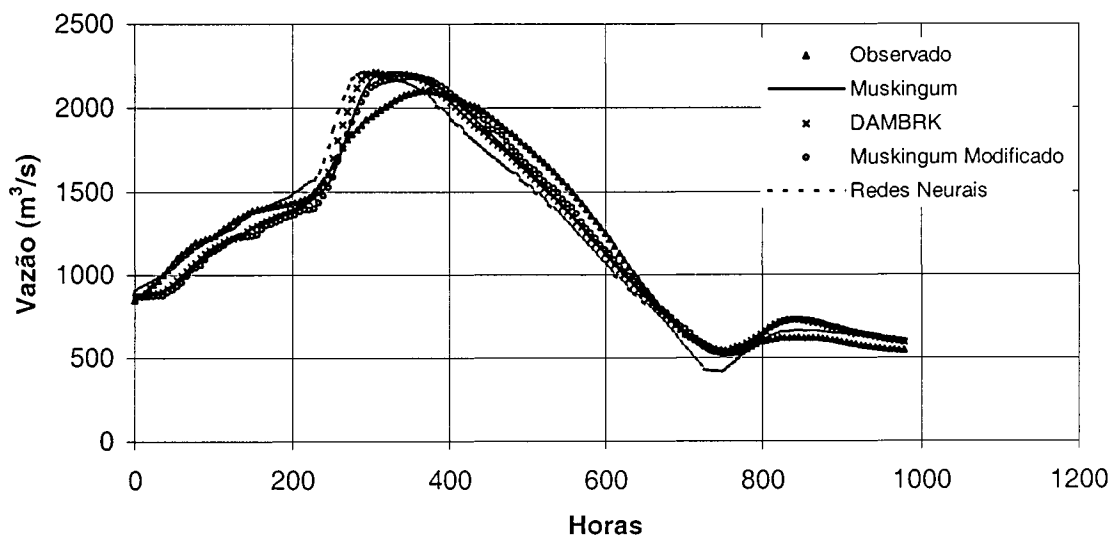


Figura 7.30 - Simulações cheia de 1992 – Vazões em União da Vitória – Comparação com observado

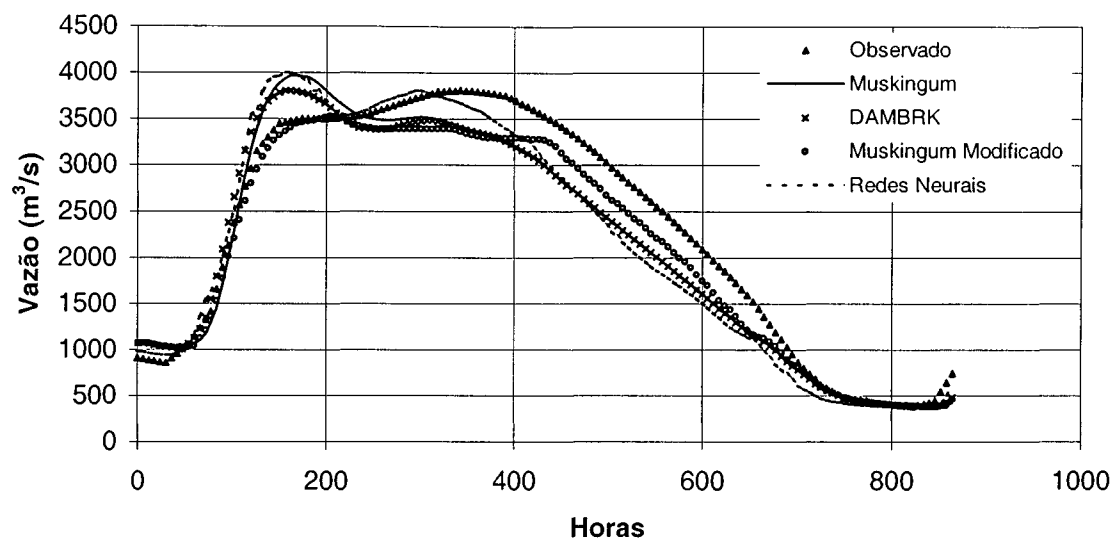


Figura 7.31 – Simulações cheia de 1993 – Vazões em União da Vitória – Comparação com observado

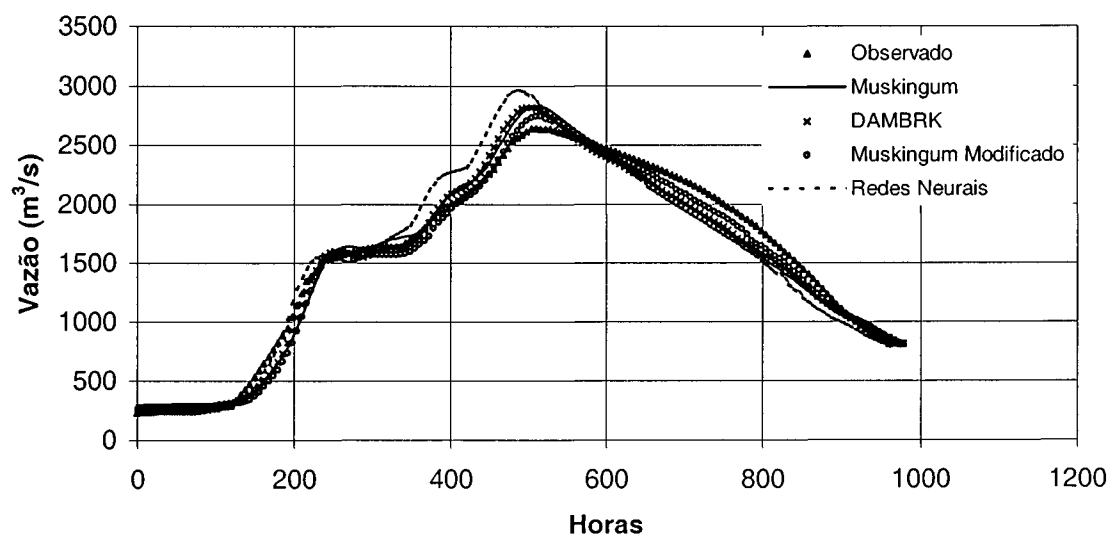
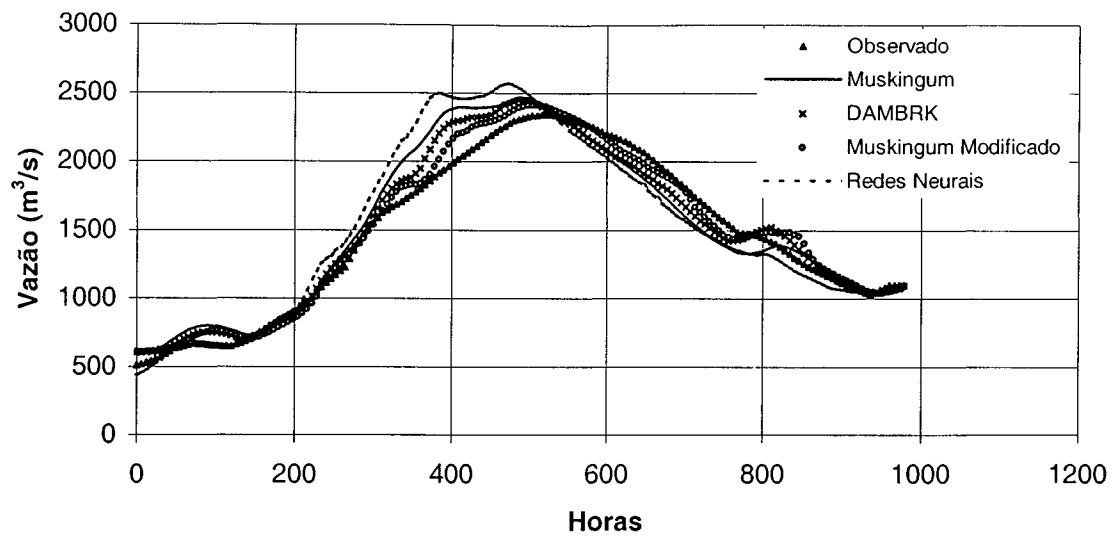


Figura 7.32 – Simulações cheia de 1995 – Vazões em União da Vitória – Comparação com observado



8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

8.1 CONCLUSÕES

Buscar técnicas cada vez mais precisas e aplicáveis em problemas concretos de engenharia para a propagação de vazões tem motivado a realização de muitos trabalhos e o desenvolvimento de novas metodologias de cálculo ao longo dos anos. Desde que o fenômeno do escoamento não-permanente foi equacionado matematicamente por Barré de Saint-Venant em 1871, diversas técnicas de solução dessas equações vêm sendo desenvolvidas, procurando reproduzir fisicamente o fenômeno da propagação. Entretanto, principalmente devido a dificuldades de ordem computacional, uma outra vertente de modelos foi desenvolvida. Esses modelos utilizam apenas a equação da continuidade de Saint-Venant associada a uma relação empírica e arbitrária entre o armazenamento no canal e as vazões. São os chamados modelos hidrológicos, que apesar de algumas limitações, têm sido utilizados por muitos pesquisadores e engenheiros em diferentes projetos ao longo de quase um século, como os estudos hidrológicos no rio Muskingum nos Estados Unidos em 1934, o planejamento para o enchimento do reservatório de Itaipu em 1982, a modelagem da bacia hidrográfica do rio Guadalupe no Estado do Texas no Estados Unidos, além de outros estudos de propagação de cheias no médio e baixo rio Iguaçu.

As redes neurais artificiais, a partir do início da década de 90, vêm ocupando um papel alternativo em diversos problemas de recursos hídricos. Têm sido utilizadas em problemas de previsão de vazões, transformação chuva-vazão e em problemas de otimização.

Procurando atender o principal objetivo que é a comparação de diferentes modelos hidrológicos e redes neurais na previsão de vazões em rio, essa dissertação pode ter suas conclusões assim resumidas:

a) Qualquer que seja o método aplicado na propagação de vazões uma estimativa confiável da vazão incremental é fundamental, principalmente nos casos em que o volume da vazão incremental é significativo, representando mais de 15% do volume da enchente. O presente trabalho mostra que os erros decorrentes da estimativa incorreta da vazão incremental são em geral superiores aos erros decorrentes do uso de modelos mais simples.

b) Face à conclusão anterior, recomenda-se, no caso de recursos escassos, investir prioritariamente na determinação da vazão incremental. Não que se deva abandonar o levantamento topo-batimétrico do trecho a ser estudado, pois o uso de modelos hidrodinâmicos certamente produzirá erros menores, mas a prioridade deve ser a determinação precisa da vazão incremental. Os levantamentos topo-batimétricos normalmente são de alto custo e demorados, e sem o conhecimento da vazão incremental podem não representar ganhos na qualidade dos resultados.

c) Os modelos hidrodinâmicos que trabalham com as equações completas de Saint-Venant, vazões incrementais bem definidas, e um número adequado de seções transversais ao longo do trecho estudado, sempre fornecem resultados mais precisos, ou seja, mais próximos dos observados na natureza. Hoje não existem as limitações computacionais de outrora, tanto que a maioria dos pacotes comerciais de modelos computacionais em hidrologia já trazem esse tipo de modelo embutido. Entretanto, há situações em que por falta de dados topo-batimétricos ou de parâmetros hidráulicos em controles intermediários do trecho, a sua aplicabilidade pode ficar comprometida, sendo preferível o uso de modelos hidrológicos.

d) Quando a vazão incremental não é bem definida, os resultados obtidos a partir de um modelo hidrodinâmico, de um modelo hidrológico, ou uma rede neural adaptada para o local são praticamente equivalentes. Esse trabalho mostrou que os erros médios nesse tipo de situação estão na faixa de 9 a 13%.

e) A análise comparativa dos modelos hidrológicos e redes neurais perante os modelos hidrodinâmicos mostrou valores de erros médios na faixa de 3 a 8%, o que acaba por não desabonar totalmente esses modelos, dada a facilidade de seu uso.

f) Modelos que não necessitam de calibração, como os hidrológicos Muskingum-Cunge e Muskingum Modificado, são preferíveis pois não se corre o risco de utilizar eventos não representativos na etapa de calibração, além de não necessitarem dessa tediosa etapa.

g) As redes neurais, comparativamente aos outros modelos, foram as que apresentaram maiores erros médios, da ordem de 8%. Entretanto, considerando que se trata de uma técnica puramente matemática, onde não se leva em conta a teoria intrínseca do problema, os resultados podem ser considerados animadores. O uso de redes neurais e o seu sucesso está associado ao conjunto de eventos utilizados na calibração. Quanto maior esse conjunto e mais heterogêneos esses eventos, melhor serão os resultados obtidos. Nesse trabalho, utilizando apenas quatro eventos de enchente para calibração e sendo apenas uma enchente de grande magnitude, as redes não conseguiram competir com os modelos tradicionais de propagação. Acredita-se que o uso de um número maior de eventos de calibração e o aperfeiçoamento dos detalhes do método podem reduzir este erro ao mesmo nível dos modelos hidrológicos.

8.2 RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES

As principais recomendações e sugestões para a continuidade dessa dissertação são:

a) Nos locais onde se necessita utilizar técnicas de propagação investir, prioritariamente na estimativa das vazões incrementais aos trechos, seja por métodos tradicionais como a instalação de estações fluviométricas, com campanhas de medição de vazão e definição de curva chave, seja por modelos de transformação chuva-vazão.

b) Utilizar nas aplicações práticas de engenharia preferencialmente modelos hidrodinâmicos. O uso de modelos hidrológicos deverá ficar restrito aos casos em que não existam dados adequados para a aplicação dos modelos hidrodinâmicos (geometria da calha, características hidráulicas de controles intermediários) e a sua obtenção seja impossibilitada

por restrições financeiras ou de cronograma. Neste caso deverá haver preferência pelos modelos que não necessitam de calibração de cheias observadas (Muskingum-Cunge e Muskingum Modificado).

c) Quando as declividades são elevadas, isto é, da ordem de 1% ou maiores, o modelo da onda cinemática pode ser utilizado sem problemas.

d) Complementar os resultados obtidos nessa dissertação com a aplicação dos métodos de Muskingum não-linear e Muskingum-Cunge não-linear.

e) Comparar os modelos analisados nessa dissertação em trechos com pequenas contribuições incrementais ($\leq 5\%$ da vazão afluente).

f) Dar continuidade à avaliação do desempenho de redes neurais utilizando outras geometrias e processos de ativação, e estimando os pesos iniciais das conexões através de algoritmos genéticos. Diferentes algoritmos de aprendizado devem ser investigados para uso na propagação de vazões e seus resultados comparados aos aqui obtidos. Modelos para otimização da geometria a ser adotada em cada estudo também devem ser pesquisados.

g) Comparar os resultados obtidos nessa dissertação com os obtidos com outros tipos de redes neurais, que não as *Perceptron* Multicamadas utilizadas neste trabalho.

APÊNDICE 1

DADOS E RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

EVENTO : 1982

t (h)	Q Flu	Q Incr	Q UV	DB	MK	MK - C	MK - M	RN
0	465,40	550,00	775,00	1020,00	1020,00	1020,00	945,39	900,45
6	473,15	548,98	826,79	1020,00	1018,21	1016,81	947,51	908,01
12	480,89	558,31	878,59	1023,33	1017,89	1013,71	949,75	928,80
18	488,64	576,22	930,38	1030,00	1021,57	1014,19	964,66	960,00
24	496,38	601,27	982,18	1043,33	1030,61	1020,12	979,53	998,89
30	508,82	634,38	1021,39	1063,33	1045,03	1030,45	991,80	1050,02
36	521,26	650,62	1060,60	1090,00	1069,24	1055,74	1004,13	1080,24
42	533,70	652,84	1099,81	1110,00	1095,79	1085,86	1018,55	1095,16
48	546,14	643,42	1139,02	1123,33	1120,07	1114,62	1033,63	1098,22
54	557,02	623,91	1149,98	1130,00	1139,55	1139,00	1064,28	1089,21
60	567,91	600,71	1160,93	1130,00	1151,73	1154,68	1094,98	1075,79
66	578,79	574,46	1171,89	1123,33	1157,54	1162,98	1126,64	1058,22
72	589,68	545,67	1182,85	1110,00	1157,84	1165,01	1157,14	1036,98
78	597,46	514,41	1174,64	1096,67	1153,66	1162,71	1169,56	1009,07
84	605,23	485,17	1166,42	1080,00	1144,11	1153,64	1180,94	983,87
90	613,01	457,62	1158,21	1060,00	1131,19	1140,46	1178,68	961,76
96	620,78	431,48	1150,00	1046,67	1116,32	1124,96	1175,17	942,81
102	624,68	406,28	1136,19	1033,33	1100,73	1109,42	1157,28	922,36
108	628,57	384,20	1122,37	1020,00	1083,35	1091,34	1139,73	906,66
114	632,47	364,71	1108,56	1000,00	1065,54	1072,51	1125,66	894,72
120	636,36	347,37	1094,74	983,33	1048,15	1054,05	1110,41	885,71
126	647,28	329,55	1088,16	970,00	1031,30	1035,28	1084,48	885,56
132	658,20	336,25	1081,58	970,00	1015,15	1013,29	1058,87	902,74
138	669,12	363,31	1075,00	983,33	1006,48	997,37	1035,91	935,08
144	680,04	407,29	1068,42	1010,00	1009,04	992,67	1014,77	983,87
150	693,30	467,47	1101,31	1050,00	1024,24	1000,42	1006,98	1055,62
156	706,56	517,44	1134,21	1100,00	1056,02	1030,26	1000,20	1120,92
162	719,82	558,95	1167,10	1160,00	1096,98	1072,22	1000,20	1177,35
168	733,08	593,42	1200,00	1206,67	1142,24	1119,87	1005,60	1224,87
174	747,13	622,94	1216,37	1250,00	1188,51	1168,67	1044,20	1266,13
180	761,18	638,46	1232,75	1290,00	1235,18	1219,77	1086,19	1292,18
186	775,23	642,33	1249,12	1316,67	1278,18	1267,72	1147,44	1306,49
192	789,28	636,53	1265,49	1340,00	1315,18	1309,50	1207,33	1311,27
198	808,12	620,14	1289,22	1360,00	1344,88	1343,00	1260,05	1308,92
204	826,96	623,20	1312,96	1373,33	1365,64	1362,07	1310,03	1325,36
210	845,80	642,42	1336,69	1393,33	1385,40	1377,55	1346,66	1356,96
216	864,64	675,07	1360,43	1420,00	1409,01	1396,00	1380,19	1399,84
222	887,73	720,48	1409,57	1466,67	1438,78	1419,51	1399,59	1453,93
228	910,82	758,68	1458,71	1513,33	1479,60	1458,21	1418,81	1498,68
234	933,91	790,89	1507,86	1560,00	1526,44	1505,18	1437,31	1536,64
240	957,00	818,12	1557,00	1613,33	1575,97	1555,96	1459,35	1569,84
246	974,85	842,30	1589,42	1663,33	1626,39	1608,87	1495,61	1596,44
252	992,70	852,15	1621,84	1710,00	1675,70	1662,50	1535,67	1615,01
258	1010,55	850,11	1654,25	1743,33	1720,13	1711,76	1589,84	1627,59
264	1028,40	838,19	1686,67	1766,67	1757,63	1753,89	1644,82	1635,02
270	1066,20	817,78	1700,87	1780,00	1785,67	1782,25	1702,66	1654,13
276	1104,00	793,51	1715,07	1786,67	1811,14	1808,45	1754,29	1673,16
282	1141,80	766,04	1729,27	1786,67	1833,65	1831,79	1785,35	1693,56
288	1179,60	735,91	1743,47	1780,00	1853,08	1852,04	1810,50	1716,26
306	1273,56	641,79	1752,33	1790,00	1890,60	1892,36	1835,06	1774,29
312	1304,88	612,56	1755,28	1803,33	1897,12	1898,55	1846,92	1796,42
318	1324,89	583,95	1753,36	1813,33	1903,31	1906,45	1863,05	1803,38

EVENTO : 1982

t (h)	Q Flu	Q Incr	Q UV	DB	MK	MK - C	MK - M	RN
324	1344,90	557,56	1751,44	1820,00	1905,32	1908,89	1878,16	1810,92
330	1364,91	533,00	1749,52	1820,00	1904,92	1908,25	1890,52	1818,67
336	1384,92	509,96	1747,60	1823,33	1903,27	1906,04	1899,80	1826,38
342	1404,93	487,58	1751,32	1830,00	1901,19	1903,41	1901,20	1833,39
348	1424,94	472,58	1755,05	1830,00	1898,44	1898,84	1902,20	1845,07
354	1444,95	463,74	1758,77	1833,33	1897,29	1895,40	1902,20	1860,89
360	1464,96	459,99	1762,50	1840,00	1899,05	1894,86	1902,20	1880,35
366	1488,45	459,78	1785,94	1853,33	1904,16	1897,34	1902,20	1906,24
372	1511,94	470,14	1809,38	1873,33	1913,33	1903,04	1902,20	1940,95
378	1535,43	489,27	1832,81	1900,00	1928,45	1914,62	1902,20	1983,33
384	1558,92	515,69	1856,25	1933,33	1950,42	1933,33	1902,20	2032,24
390	1578,93	549,94	1875,52	1973,33	1979,59	1960,01	1902,20	2084,27
396	1598,94	571,07	1894,79	2020,00	2016,60	1998,39	1902,20	2124,78
402	1618,95	581,30	1914,06	2060,00	2055,61	2040,55	1902,20	2155,69
408	1638,96	582,48	1933,33	2096,67	2092,98	2081,68	1914,01	2178,50
414	1650,27	575,63	1951,54	2130,00	2127,34	2121,53	1948,59	2184,60
420	1661,58	567,82	1969,74	2150,00	2153,69	2151,24	1985,97	2189,68
426	1672,89	559,22	1987,95	2166,67	2173,93	2173,47	2028,53	2193,91
432	1684,20	549,97	2006,16	2180,00	2189,49	2190,13	2069,57	2197,40
438	1685,07	540,06	2020,20	2186,67	2202,30	2205,54	2107,91	2189,18
444	1685,94	530,77	2034,23	2193,33	2209,15	2213,60	2142,07	2181,48
450	1686,81	522,00	2048,27	2200,00	2211,84	2216,67	2169,15	2174,23
456	1687,68	513,66	2062,31	2200,00	2211,62	2216,40	2190,14	2167,33
462	1685,94	505,10	2080,52	2200,00	2209,68	2214,79	2201,24	2157,47
468	1684,20	502,66	2098,72	2200,00	2204,98	2208,96	2208,33	2153,35
474	1682,46	505,31	2116,93	2193,33	2200,01	2202,21	2209,19	2154,04
480	1680,72	512,18	2135,14	2193,33	2196,29	2196,57	2209,70	2158,68
486	1676,37	523,24	2138,43	2200,00	2194,83	2193,66	2209,70	2164,45
492	1672,02	530,23	2141,72	2206,67	2195,91	2194,68	2208,50	2166,37
498	1667,67	533,83	2145,01	2210,00	2197,68	2197,11	2205,59	2165,12
504	1663,32	534,61	2148,30	2210,00	2199,00	2199,38	2203,90	2161,25
510	1657,23	533,25	2151,52	2210,00	2199,32	2200,99	2203,90	2153,57
516	1651,14	528,00	2154,75	2206,67	2197,85	2201,00	2203,90	2142,31
522	1645,05	519,51	2157,97	2200,00	2193,97	2198,56	2203,90	2128,06
528	1638,96	508,34	2161,19	2186,67	2187,42	2193,29	2203,90	2111,33
534	1634,61	494,65	2160,32	2173,33	2178,04	2184,70	2203,90	2094,07
540	1630,26	481,98	2159,44	2160,00	2166,24	2173,06	2203,90	2077,71
546	1625,91	470,15	2158,57	2146,67	2152,96	2159,61	2203,90	2062,10
552	1621,56	459,02	2157,69	2130,00	2138,83	2145,17	2198,68	2047,13
558	1617,21	447,73	2151,38	2110,00	2124,36	2130,47	2187,37	2031,99
564	1612,86	444,49	2145,07	2096,67	2108,91	2113,29	2173,53	2024,45
570	1608,51	447,93	2138,77	2086,67	2095,05	2097,10	2156,85	2023,20
576	1604,16	456,93	2132,46	2080,00	2084,24	2083,88	2140,45	2027,11
582	1599,81	471,82	2128,24	2080,00	2077,13	2074,30	2124,37	2036,39
588	1595,46	477,40	2124,02	2080,00	2075,54	2073,18	2111,14	2036,96
594	1591,11	475,25	2119,79	2080,00	2075,34	2074,86	2100,83	2030,40
600	1586,76	466,68	2115,57	2073,33	2073,96	2075,90	2091,82	2017,95
606	1582,41	452,16	2110,05	2066,67	2069,95	2074,45	2084,08	2000,01
612	1578,06	439,50	2104,52	2060,00	2061,76	2067,38	2079,25	1983,78
618	1573,71	428,37	2099,00	2040,00	2051,07	2056,97	2077,19	1968,97
624	1569,36	418,53	2093,47	2023,33	2038,98	2044,72	2073,42	1955,37
630	1564,14	409,57	2093,66	2010,00	2026,32	2031,90	2068,09	1941,72

EVENTO : 1982

t (h)	Q Flu	Q Incr	Q UV	DB	MK	MK - C	MK - M	RN
636	1558,92	403,38	2093,85	2003,33	2013,03	2017,92	2061,24	1930,66
642	1553,70	399,50	2094,04	1993,33	2000,06	2004,06	2053,04	1921,75
648	1548,48	397,53	2094,23	1980,00	1987,98	1991,08	2040,40	1914,61
654	1538,04	397,27	2085,02	1973,33	1977,50	1980,76	2024,02	1903,68
660	1527,60	397,06	2075,80	1966,67	1966,96	1970,32	2013,39	1892,76
666	1517,16	396,89	2066,59	1960,00	1956,39	1959,80	2007,41	1881,83
672	1506,72	396,74	2057,37	1953,33	1945,80	1949,25	1997,50	1870,87
678	1495,41	396,99	2044,53	1943,33	1935,26	1938,82	1984,53	1859,29
684	1484,10	393,52	2031,69	1930,00	1924,87	1929,22	1972,60	1844,42
690	1472,79	386,97	2018,85	1916,67	1913,55	1918,94	1961,45	1826,91
696	1461,48	377,86	2006,01	1903,33	1900,67	1907,13	1954,22	1807,27
702	1450,17	366,46	1986,18	1890,00	1885,93	1893,42	1949,80	1785,83
708	1438,86	354,97	1966,34	1870,00	1869,05	1877,08	1935,42	1764,49
714	1427,55	343,41	1946,51	1846,67	1850,58	1858,87	1914,21	1743,27
720	1416,24	331,79	1926,67	1820,00	1830,92	1839,31	1898,25	1722,21
726	1402,32	320,05	1904,38	1800,00	1810,60	1819,50	1885,74	1698,57
732	1388,40	308,89	1882,08	1780,00	1788,78	1797,81	1869,34	1675,63
738	1374,48	298,21	1859,79	1760,00	1766,05	1775,00	1850,50	1653,28
744	1360,56	287,93	1837,50	1733,33	1742,78	1751,55	1828,49	1631,44
750	1347,51	277,87	1816,20	1710,00	1719,17	1727,58	1804,57	1610,86
756	1334,46	269,23	1794,89	1690,00	1695,58	1703,48	1774,67	1591,46
762	1321,41	261,79	1773,59	1663,33	1672,41	1679,76	1741,30	1573,03
768	1308,36	255,34	1752,29	1640,00	1649,88	1656,71	1712,10	1555,35
774	1297,92	249,81	1727,80	1620,00	1627,88	1633,75	1685,22	1541,03
780	1287,48	243,86	1703,32	1600,00	1607,55	1612,95	1658,80	1526,50
786	1277,04	237,55	1678,83	1580,00	1588,31	1593,55	1632,61	1511,82
792	1266,60	230,94	1654,34	1560,00	1569,77	1575,01	1609,27	1497,05
798	1244,85	224,05	1625,39	1546,67	1552,57	1560,07	1587,36	1470,46
804	1223,10	217,30	1596,43	1530,00	1532,27	1541,07	1574,08	1443,94
810	1201,35	210,66	1567,48	1510,00	1509,74	1519,25	1564,98	1417,48
816	1179,60	204,12	1538,53	1490,00	1485,62	1495,47	1549,81	1391,06
822	1157,10	197,60	1515,14	1470,00	1460,43	1470,56	1531,82	1363,87
828	1134,60	191,70	1491,75	1450,00	1434,16	1444,28	1511,70	1336,97
834	1112,10	186,31	1468,36	1423,33	1407,27	1417,24	1490,65	1310,30
840	1089,60	181,36	1444,97	1393,33	1380,07	1389,82	1457,96	1283,84
846	1067,50	176,78	1417,04	1360,00	1352,75	1362,19	1420,38	1258,00
852	1045,40	172,25	1389,12	1333,33	1325,59	1334,82	1383,04	1232,24
858	1023,30	167,76	1361,19	1306,67	1298,57	1307,66	1345,80	1206,59
864	1001,20	163,31	1333,27	1280,00	1271,67	1280,65	1316,24	1181,07
870	981,98	158,83	1307,93	1253,33	1244,63	1253,00	1289,60	1158,79
876	962,75	154,87	1282,59	1226,67	1218,45	1226,37	1260,94	1136,80
882	943,53	151,34	1257,26	1200,00	1193,04	1200,64	1231,55	1115,10
888	924,30	148,17	1231,92	1173,33	1168,33	1175,68	1204,80	1093,64
894	909,38	145,22	1202,01	1150,00	1143,87	1150,24	1178,97	1076,93
900	894,47	143,25	1172,10	1130,00	1121,11	1126,75	1152,57	1060,63
906	879,55	142,10	1142,20	1103,33	1099,88	1104,98	1125,99	1044,66
912	864,64	141,63	1112,29	1083,33	1079,98	1084,70	1103,05	1028,99
918	850,51	141,85	1092,68	1070,00	1061,19	1065,45	1081,24	1014,40
924	836,38	141,30	1073,08	1050,00	1043,77	1047,99	1065,42	999,62
930	822,25	140,12	1053,47	1033,33	1027,15	1031,51	1051,35	984,67
936	808,12	138,41	1033,87	1020,00	1010,93	1015,53	1032,75	969,59
942	799,50	135,50	1033,55	1000,00	994,46	998,40	1012,90	959,81

EVENTO : 1982

t (h)	Q Flu	Q Incr	Q UV	DB	MK	MK - C	MK - M	RN
948	790,88	140,01	1033,24	983,33	978,72	980,90	992,84	952,36
954	782,26	150,70	1032,92	970,00	965,63	965,64	972,72	946,91
960	773,64	166,50	1032,60	970,00	956,22	954,07	961,59	943,33
966	763,50	187,17	1030,13	973,33	951,02	947,10	952,67	940,23
972	753,36	205,20	1027,65	980,00	950,28	945,99	944,71	936,61
978	743,22	221,05	1025,18	993,33	952,06	948,13	936,97	932,49

Q Flu - Vazão em Fluvópolis

Q Incr - Vazão Incremental

Q UV - Vazão em União da Vitória

DB - DAMBRK

MK - Método de Muskingum

MK-C - Método de Muskingum - Cunge

MK-M - Método de Muskingum Modificado

RN - Redes Neurais

EVENTO : 1983

t (h)	Q Flu	Q Incr	Q UV	DB	MK	MK - C	MK - M	RN
0	1267,47	273,66	1503,27	1540,00	1540,00	1540,00	1543,70	1523,95
6	1259,64	272,72	1492,96	1540,00	1541,02	1542,39	1543,25	1514,92
12	1251,81	271,52	1493,68	1543,33	1539,41	1541,54	1542,80	1505,71
18	1243,98	289,28	1494,41	1550,00	1534,26	1533,81	1542,80	1507,86
24	1236,15	322,79	1495,13	1563,33	1531,91	1527,63	1543,28	1519,47
30	1228,32	369,39	1495,85	1580,00	1536,07	1527,81	1569,51	1539,25
36	1223,97	429,82	1513,59	1600,00	1548,18	1535,37	1595,72	1572,31
42	1219,62	469,06	1531,33	1640,00	1573,90	1562,27	1620,97	1592,21
48	1215,27	490,70	1549,08	1670,00	1603,52	1595,67	1646,27	1600,80
54	1210,92	497,73	1566,82	1690,00	1630,99	1627,72	1672,81	1599,92
60	1206,57	491,94	1568,21	1696,67	1652,80	1654,08	1697,92	1590,74
66	1202,22	483,11	1569,60	1696,67	1666,22	1670,34	1694,10	1579,63
72	1197,87	471,78	1570,99	1690,00	1672,66	1678,46	1690,50	1566,97
78	1193,52	458,36	1572,38	1683,33	1673,29	1680,02	1690,50	1553,05
84	1189,17	442,88	1564,80	1670,00	1669,11	1676,33	1689,95	1537,93
90	1184,82	429,32	1557,22	1650,00	1660,54	1667,41	1681,51	1524,14
96	1180,47	417,36	1549,64	1630,00	1649,33	1655,45	1671,93	1511,45
102	1176,12	406,73	1542,06	1613,33	1636,62	1641,89	1648,31	1499,68
108	1171,77	396,77	1533,11	1600,00	1623,25	1627,76	1625,37	1488,41
114	1167,42	392,10	1524,15	1586,67	1609,19	1612,33	1609,70	1480,39
120	1163,07	391,84	1515,20	1576,67	1596,14	1597,76	1594,78	1475,02
126	1158,72	395,23	1506,25	1570,00	1585,08	1585,29	1587,04	1471,84
132	1156,98	402,31	1497,31	1570,00	1576,23	1574,75	1579,53	1473,99
138	1155,24	405,28	1488,38	1570,00	1571,55	1569,88	1574,01	1473,68
144	1153,50	404,83	1479,44	1570,00	1568,75	1567,62	1568,93	1471,33
150	1151,76	401,55	1470,50	1563,33	1566,34	1566,05	1567,37	1467,28
156	1150,02	395,80	1458,92	1556,67	1563,43	1564,03	1565,43	1461,77
162	1148,28	389,28	1447,34	1550,00	1559,34	1560,57	1560,76	1455,84
168	1146,54	382,11	1435,77	1543,33	1554,17	1555,84	1555,85	1449,56
174	1144,80	374,41	1424,19	1536,67	1548,04	1550,00	1549,37	1443,01
180	1150,89	366,23	1418,32	1530,00	1540,42	1541,37	1541,94	1445,49
186	1156,98	358,04	1412,44	1516,67	1534,29	1534,68	1528,68	1447,97
192	1163,07	349,84	1406,57	1506,67	1529,25	1529,35	1516,11	1450,44
198	1169,16	341,63	1400,70	1500,00	1525,01	1524,97	1507,52	1452,89
204	1176,99	333,37	1394,12	1500,00	1521,20	1520,87	1500,30	1457,31
210	1184,82	325,52	1387,55	1496,67	1518,27	1517,76	1500,30	1461,93
216	1192,65	318,01	1380,97	1490,00	1516,10	1515,49	1500,30	1466,67
222	1200,48	310,77	1374,39	1490,00	1514,58	1513,92	1500,30	1471,50
228	1206,57	303,64	1373,70	1490,00	1513,77	1513,37	1500,30	1474,33
234	1212,66	298,05	1373,01	1490,00	1512,77	1512,32	1500,30	1478,00
240	1218,75	293,73	1372,32	1496,67	1512,07	1511,43	1500,30	1482,35
246	1224,84	290,48	1371,63	1500,00	1511,95	1511,07	1500,30	1487,27
252	1230,06	288,31	1374,31	1500,00	1512,61	1511,62	1500,30	1491,82
258	1235,28	284,85	1376,99	1500,00	1514,03	1513,20	1500,30	1495,57
264	1240,50	280,33	1379,68	1503,33	1515,62	1515,09	1500,30	1498,64
270	1245,72	274,91	1382,36	1510,00	1517,04	1516,84	1500,30	1501,12
276	1250,94	268,66	1383,70	1510,00	1518,10	1518,20	1500,30	1503,05
282	1256,16	262,81	1385,04	1510,00	1518,55	1518,77	1500,30	1505,15
288	1261,38	257,28	1386,38	1510,00	1518,69	1518,90	1500,30	1507,39
294	1266,60	252,03	1387,72	1510,00	1518,69	1518,83	1500,30	1509,74
300	1274,43	245,15	1398,17	1510,00	1518,59	1518,55	1500,30	1513,76
306	1282,26	257,36	1408,62	1510,00	1517,24	1514,16	1500,30	1529,52

EVENTO : 1983

t (h)	Q Flu	Q Incr	Q UV	DB	MK	MK - C	MK - M	RN
312	1290,09	285,44	1419,07	1530,00	1520,37	1513,28	1500,30	1555,75
318	1297,92	326,68	1429,52	1560,00	1531,30	1520,21	1500,30	1591,61
324	1316,19	369,45	1497,14	1600,00	1551,57	1536,82	1517,10	1641,68
330	1334,46	516,98	1564,76	1693,33	1574,36	1542,03	1583,43	1768,92
336	1352,73	751,53	1632,38	1826,67	1628,75	1574,40	1668,61	1949,95
342	1371,00	1058,32	1700,00	2000,00	1730,91	1655,15	1807,00	2130,26
348	1397,97	1425,30	1907,69	2260,00	1887,73	1792,12	1964,59	2253,70
354	1424,94	1840,41	2115,39	2566,67	2104,73	1993,95	2173,64	2507,62
360	1451,91	2295,50	2323,08	2920,00	2379,33	2257,59	2401,02	2978,19
366	1478,88	2783,78	2530,77	3300,00	2707,30	2578,15	2675,16	3288,20
372	1521,51	3320,50	2711,71	3703,33	3080,69	2941,37	2972,52	3694,31
378	1564,14	3667,88	2892,66	4130,00	3525,10	3413,04	3326,75	4175,40
384	1606,77	3858,01	3073,61	4470,00	3967,56	3897,40	3711,96	4523,97
390	1649,40	3917,54	3254,55	4750,00	4363,93	4337,84	4169,50	4707,33
396	1776,44	3862,30	3500,00	4970,00	4683,25	4685,18	4546,74	4963,56
402	1903,48	3781,25	3745,46	5090,00	4937,76	4956,93	4745,27	5123,86
408	2030,52	3678,79	3990,91	5193,33	5137,65	5166,81	4885,21	5218,87
414	2157,56	3558,54	4236,36	5280,00	5291,60	5325,96	4899,68	5268,24
420	2251,72	3421,95	4270,45	5340,00	5409,77	5451,51	4950,14	5284,58
426	2345,88	3289,00	4304,55	5373,33	5484,24	5526,43	5074,21	5292,04
432	2440,04	3159,09	4338,64	5380,00	5527,85	5566,95	5156,30	5295,35
438	2534,20	3031,70	4372,73	5386,67	5549,81	5584,28	5156,30	5297,14
444	2618,90	2906,05	4383,43	5383,33	5557,48	5588,44	5156,30	5298,29
450	2703,60	2785,67	4394,13	5370,00	5551,58	5578,00	5156,30	5299,91
456	2788,30	2669,66	4404,82	5350,00	5537,28	5559,05	5156,30	5301,10
462	2873,00	2557,28	4415,52	5333,33	5518,09	5535,59	5156,30	5300,23
468	2907,25	2448,18	4435,38	5320,00	5500,42	5521,95	5156,30	5295,30
474	2941,50	2339,01	4455,24	5286,67	5467,31	5490,18	5156,30	5286,45
480	2975,75	2229,79	4475,09	5243,33	5422,90	5445,64	5147,67	5270,98
486	3010,00	2120,53	4494,95	5190,00	5370,24	5392,10	5124,65	5244,01
492	3045,00	2010,16	4519,37	5136,67	5311,56	5332,27	5077,68	5197,34
498	3080,00	1910,72	4543,79	5076,67	5247,49	5265,28	4992,42	5131,87
504	3115,00	1820,38	4568,21	5010,00	5182,58	5196,91	4914,39	5052,88
510	3150,00	1737,57	4592,63	4950,00	5119,65	5130,64	4847,51	4970,70
516	3190,00	1661,72	4610,53	4893,33	5059,83	5067,03	4807,60	4896,12
522	3230,00	1584,08	4628,42	4840,00	5006,64	5012,06	4807,60	4825,93
528	3270,00	1504,93	4646,32	4806,67	4957,77	4962,58	4784,13	4763,50
534	3310,00	1424,55	4664,21	4770,00	4911,63	4916,45	4727,34	4709,86
540	3350,00	1341,47	4689,42	4730,00	4867,26	4872,66	4679,67	4663,47
546	3390,00	1274,49	4714,63	4683,33	4821,94	4825,30	4644,49	4636,23
552	3430,00	1220,90	4739,84	4650,00	4780,49	4780,84	4621,01	4622,64
558	3470,00	1178,42	4765,05	4630,00	4745,66	4742,92	4612,92	4618,70
564	3500,00	1146,11	4793,04	4616,67	4719,57	4715,46	4608,40	4616,86
570	3530,00	1111,84	4821,03	4606,67	4700,06	4695,92	4608,40	4615,12
576	3560,00	1075,92	4849,01	4600,00	4684,81	4681,28	4608,40	4613,74
582	3590,00	1038,65	4877,00	4593,33	4672,18	4669,55	4608,40	4612,92
588	3580,00	1000,14	4902,65	4586,67	4664,35	4668,81	4596,22	4591,30
594	3570,00	961,70	4928,30	4580,00	4645,52	4653,90	4569,74	4569,05
600	3560,00	923,32	4953,95	4560,00	4618,68	4629,04	4531,94	4546,12
606	3550,00	884,98	4979,60	4533,33	4586,02	4597,20	4481,38	4522,50
612	3530,00	846,46	4975,70	4500,00	4549,94	4562,86	4427,41	4490,35
618	3510,00	810,20	4971,80	4453,33	4507,61	4520,83	4369,72	4457,37

EVENTO : 1983

t (h)	Q Flu	Q Incr	Q UV	DB	MK	MK - C	MK - M	RN
624	3490,00	775,81	4967,90	4406,67	4461,37	4474,14	4313,92	4423,48
630	3470,00	742,98	4964,00	4360,00	4412,80	4424,81	4260,09	4388,67
636	3440,00	711,38	4944,50	4313,33	4363,79	4376,49	4207,69	4342,47
642	3410,00	681,57	4925,00	4266,67	4311,23	4323,82	4156,74	4294,48
648	3380,00	653,26	4905,50	4220,00	4256,59	4268,68	4102,22	4244,87
654	3350,00	626,19	4886,00	4166,67	4200,86	4212,32	4044,23	4193,85
660	3310,00	600,02	4854,80	4113,33	4145,50	4157,87	3982,45	4128,69
666	3270,00	576,06	4823,60	4060,00	4087,04	4099,44	3917,13	4062,62
672	3230,00	553,94	4792,40	4000,00	4026,95	4038,93	3886,10	3996,18
678	3190,00	533,35	4761,20	3940,00	3966,18	3977,59	3886,10	3929,88
684	3150,00	514,02	4722,22	3880,00	3905,36	3916,18	3886,10	3864,18
690	3110,00	495,78	4683,23	3820,00	3844,86	3855,13	3886,10	3799,48
696	3070,00	478,46	4644,25	3763,33	3784,89	3794,69	3886,10	3736,06
702	3030,00	461,90	4605,26	3710,00	3725,58	3735,00	3886,10	3674,09
708	2981,13	445,88	4562,91	3650,00	3667,68	3678,19	3880,51	3602,09
714	2932,25	431,19	4520,56	3593,33	3607,79	3618,68	3870,41	3532,40
720	2883,38	417,58	4478,21	3540,00	3546,82	3557,71	3830,30	3464,72
726	2834,50	404,88	4435,86	3480,00	3485,36	3496,08	3766,94	3398,63
732	2805,63	392,90	4381,83	3420,00	3422,19	3429,60	3707,83	3357,78
738	2776,75	381,91	4327,81	3360,00	3364,98	3370,49	3651,90	3317,55
744	2747,88	371,72	4273,78	3300,00	3312,38	3316,89	3557,56	3277,76
750	2719,00	362,22	4219,75	3246,67	3263,39	3267,43	3435,60	3238,23
756	2690,13	352,37	4174,46	3200,00	3217,29	3221,34	3371,30	3198,36
762	2661,25	352,22	4129,17	3166,67	3172,41	3175,16	3346,80	3163,42
768	2632,38	360,13	4083,87	3133,33	3131,15	3132,17	3315,29	3132,90
774	2603,50	374,74	4038,58	3100,00	3094,84	3094,14	3279,11	3106,34
780	2582,32	394,44	4023,27	3080,00	3063,44	3060,14	3259,18	3092,32
786	2561,15	423,43	4007,97	3066,67	3039,38	3033,60	3249,63	3084,22
792	2539,97	460,13	3992,66	3060,00	3023,31	3015,44	3225,08	3081,43
798	2518,80	503,23	3977,35	3060,00	3015,26	3005,75	3191,34	3083,60
804	2498,59	552,01	3979,54	3070,00	3014,77	3003,87	3178,80	3091,88
810	2478,38	601,47	3981,73	3090,00	3022,08	3010,86	3178,80	3102,48
816	2458,16	651,48	3983,91	3110,00	3035,28	3024,31	3178,80	3115,70
822	2437,95	701,97	3986,10	3130,00	3052,92	3042,49	3178,80	3131,92
828	2410,04	753,43	3966,68	3150,00	3074,53	3065,83	3189,02	3143,86
834	2382,13	799,21	3947,27	3183,33	3097,12	3090,57	3204,79	3154,42
840	2354,21	840,27	3927,85	3206,67	3118,81	3114,38	3218,22	3163,74
846	2326,30	877,42	3908,43	3220,00	3138,52	3135,95	3230,43	3171,98
852	2304,16	912,86	3889,10	3233,33	3155,06	3152,91	3234,50	3186,82
858	2282,03	929,83	3869,77	3240,00	3172,22	3173,12	3234,50	3183,04
864	2259,89	931,46	3850,45	3240,00	3184,60	3189,41	3234,50	3162,36
870	2237,75	920,35	3831,12	3226,67	3189,12	3197,78	3234,50	3127,38
876	2218,64	897,40	3791,10	3206,67	3184,15	3195,89	3234,50	3082,77
882	2199,52	878,35	3751,07	3180,00	3168,83	3181,18	3234,50	3042,94
888	2180,41	862,52	3711,05	3153,33	3147,08	3158,77	3234,50	3006,87
894	2161,30	849,38	3671,02	3126,67	3121,55	3132,01	3234,50	2973,80
900	2130,45	838,83	3617,10	3100,00	3094,94	3105,77	3234,50	2931,38
906	2099,59	826,39	3563,18	3066,67	3064,49	3075,49	3234,50	2887,13
912	2068,73	812,37	3509,26	3030,00	3030,69	3041,72	3208,73	2841,41
918	2037,88	797,05	3455,34	2990,00	2994,01	3004,96	3172,60	2794,57
924	2017,31	779,95	3403,84	2950,00	2954,07	2963,41	3133,47	2756,83
930	1996,74	768,95	3352,34	2906,67	2914,25	2921,59	3093,21	2725,04

EVENTO : 1983

t (h)	Q Flu	Q Incr	Q UV	DB	MK	MK - C	MK - M	RN
936	1976,17	763,01	3300,84	2860,00	2876,25	2881,61	3049,46	2698,07
942	1955,60	761,29	3249,34	2826,67	2841,01	2844,64	3004,43	2675,06
948	1943,45	763,75	3214,18	2796,67	2808,25	2809,06	2962,35	2664,75
954	1931,29	762,13	3179,03	2770,00	2782,06	2782,11	2921,30	2650,56
960	1919,14	757,14	3143,87	2750,00	2759,49	2759,85	2884,57	2633,21
966	1906,98	749,33	3108,72	2730,00	2738,62	2739,78	2849,27	2613,22
972	1900,44	739,38	3067,69	2710,00	2717,71	2718,91	2812,73	2597,13
978	1893,89	725,49	3026,66	2683,33	2698,32	2700,27	2775,79	2577,45
984	1887,35	708,32	2985,64	2660,00	2678,90	2681,87	2745,98	2554,84
990	1880,80	688,43	2944,61	2640,00	2658,55	2662,53	2718,29	2529,84
996	1865,84	666,03	2898,10	2613,33	2637,44	2643,65	2690,54	2493,84
1002	1850,88	644,26	2851,59	2586,67	2611,89	2619,14	2662,78	2458,43
1008	1835,92	623,03	2805,09	2560,00	2583,27	2590,89	2639,27	2423,47
1014	1820,96	602,23	2758,58	2526,67	2552,57	2560,19	2616,91	2388,83
1020	1795,47	581,74	2712,15	2493,33	2521,33	2530,38	2587,11	2343,34
1026	1769,98	562,11	2665,72	2460,00	2486,04	2495,58	2555,43	2298,53
1032	1744,49	543,18	2619,29	2420,00	2448,03	2457,56	2529,44	2254,27
1038	1719,00	524,85	2572,86	2380,00	2408,24	2417,50	2504,81	2210,50
1044	1701,60	506,96	2543,22	2340,00	2366,67	2374,33	2462,67	2175,52
1050	1684,20	489,92	2513,59	2300,00	2326,73	2333,29	2416,59	2141,30

Q Flu - Vazão em Fluvópolis

Q Incr - Vazão Incremental

Q UV - Vazão em União da Vitória

DB - DAMBRK

MK - Método de Muskingum

MK-C - Método de Muskingum - Cunge

MK-M - Método de Muskingum Modificado

RN - Redes Neurais

EVENTO : 1987

t (h)	Q Flu	Q Incr	Q UV	DB	MK	MK - C	MK - M	RN
0	134,60	27,01	149,98	160,00	160,00	160,00	162,20	241,79
6	134,00	26,67	149,25	160,00	160,51	160,74	162,14	241,52
12	133,40	26,39	148,53	160,00	160,63	160,95	162,09	241,25
18	132,80	26,16	147,80	160,00	160,47	160,82	162,09	240,98
24	132,20	25,96	144,95	160,00	160,12	160,47	162,06	240,71
30	131,60	25,80	142,10	160,00	159,66	159,97	160,88	240,44
36	131,00	25,67	139,25	160,00	159,10	159,38	159,70	240,17
42	130,40	25,56	136,40	160,00	158,50	158,75	158,46	239,90
48	129,80	25,46	138,52	160,00	157,87	158,09	157,30	239,63
54	129,20	25,49	140,65	160,00	157,21	157,38	157,30	239,36
60	128,60	25,65	142,77	160,00	156,57	156,68	157,26	239,08
66	128,00	25,90	144,90	160,00	155,97	156,03	156,75	238,80
72	134,60	24,38	168,47	160,00	155,00	154,04	156,29	241,91
78	141,20	41,67	192,05	160,00	154,14	149,19	156,29	244,37
84	147,80	74,56	215,62	170,00	158,70	148,92	157,89	247,37
90	154,40	120,42	239,20	190,00	171,65	157,29	173,67	253,31
96	197,98	178,00	320,52	230,00	191,33	166,10	192,22	285,99
102	241,55	234,75	401,85	280,00	233,10	203,20	231,79	333,82
108	285,13	290,80	483,18	340,00	290,75	259,68	277,71	400,92
114	328,70	346,28	564,50	440,00	359,80	329,43	365,47	489,26
120	402,50	403,26	635,53	553,33	434,38	399,64	455,93	635,89
126	476,29	439,64	706,55	680,00	525,82	493,73	562,17	773,29
132	550,09	458,92	777,58	800,00	623,71	597,25	672,85	889,39
138	623,89	463,98	848,60	906,67	721,45	701,38	806,87	980,71
144	651,19	456,95	873,45	1000,00	818,84	813,41	931,87	1002,35
150	678,49	443,17	898,30	1053,33	895,93	899,35	1014,37	1016,35
156	705,78	423,78	923,15	1090,00	956,30	964,79	1085,34	1025,14
162	733,08	399,75	948,00	1110,00	1002,86	1013,98	1107,16	1031,09
168	747,13	371,17	951,15	1110,00	1039,17	1053,95	1124,33	1022,49
174	761,18	346,18	954,30	1106,67	1061,44	1076,40	1123,53	1018,82
180	775,23	324,15	957,45	1100,00	1074,50	1087,93	1120,74	1018,77
186	789,28	304,59	960,60	1093,33	1081,67	1092,87	1110,87	1021,39
192	801,84	286,95	963,75	1086,67	1085,38	1094,53	1102,82	1024,45
198	814,40	272,30	966,90	1080,00	1086,47	1093,34	1100,75	1029,68
204	826,96	260,13	970,05	1080,00	1086,50	1091,22	1099,16	1036,56
210	839,52	250,02	973,20	1080,00	1086,46	1089,31	1099,01	1044,69
216	854,43	241,82	982,40	1080,00	1086,75	1087,60	1098,90	1056,33
222	869,35	233,13	991,60	1086,67	1088,81	1088,57	1098,90	1067,95
228	884,26	224,05	1000,80	1093,33	1092,03	1091,25	1098,90	1079,62
234	899,18	214,64	1010,00	1100,00	1095,99	1094,97	1098,90	1091,38
240	923,83	202,30	1030,75	1106,67	1099,81	1097,42	1098,90	1112,52
246	948,49	216,78	1051,50	1126,67	1103,75	1095,74	1098,90	1144,52
252	973,15	253,54	1072,25	1160,00	1115,40	1100,54	1103,36	1186,65
258	997,80	308,80	1093,00	1220,00	1139,00	1117,62	1117,92	1239,72
264	1026,72	381,52	1146,00	1286,67	1176,05	1148,01	1159,49	1311,05
270	1055,64	445,79	1199,00	1360,00	1231,25	1202,30	1257,99	1382,25
276	1084,56	503,04	1252,00	1440,00	1297,29	1270,27	1356,88	1451,94
282	1113,48	554,48	1305,00	1523,33	1369,23	1345,31	1456,53	1519,37
288	1133,49	602,82	1345,53	1610,00	1444,43	1425,16	1542,42	1575,17
294	1153,50	629,38	1386,05	1670,00	1519,54	1507,31	1602,78	1616,25
300	1173,51	637,87	1426,58	1720,00	1588,40	1583,45	1660,98	1645,50
306	1193,52	631,34	1467,10	1760,00	1647,57	1649,11	1715,44	1665,46

EVENTO : 1987

t (h)	Q Flu	Q Incr	Q UV	DB	MK	MK - C	MK - M	RN
312	1203,09	611,84	1479,06	1780,00	1696,29	1705,14	1756,33	1664,56
318	1212,66	587,04	1491,01	1790,00	1729,59	1742,54	1775,11	1660,37
324	1222,23	557,85	1502,97	1790,00	1750,13	1765,12	1781,31	1653,39
330	1231,80	525,00	1514,93	1776,67	1760,11	1775,86	1768,11	1644,00
336	1233,54	487,17	1518,70	1760,00	1762,14	1779,66	1759,64	1621,39
342	1235,28	466,68	1522,46	1740,00	1752,47	1766,74	1758,03	1610,15
348	1237,02	460,59	1526,23	1726,67	1739,17	1748,21	1748,93	1608,33
354	1238,76	466,46	1530,00	1720,00	1727,32	1730,82	1729,64	1614,34
360	1244,85	482,15	1546,28	1720,00	1719,58	1717,25	1718,80	1632,27
366	1250,94	507,21	1562,55	1726,67	1719,06	1711,93	1718,80	1656,52
372	1257,03	540,05	1578,83	1746,67	1726,47	1715,62	1729,24	1686,07
378	1263,12	579,35	1595,11	1780,00	1741,87	1728,30	1752,37	1719,92
384	1271,82	624,95	1631,21	1820,00	1764,66	1748,55	1781,70	1761,11
390	1280,52	665,53	1667,32	1863,33	1796,37	1780,48	1818,12	1798,65
396	1289,22	701,95	1703,42	1910,00	1833,16	1818,79	1852,80	1833,10
402	1297,92	734,92	1739,52	1950,00	1872,49	1860,08	1885,59	1864,98
408	1313,58	764,82	1781,42	1993,33	1912,13	1900,45	1919,95	1904,09
414	1329,24	794,25	1823,32	2040,00	1953,41	1942,53	1955,89	1942,84
420	1344,90	823,28	1865,21	2080,00	1995,76	1985,62	1996,29	1981,33
426	1360,56	851,98	1907,11	2123,33	2038,76	2029,29	2040,97	2019,70
432	1381,44	881,16	1935,54	2170,00	2081,67	2071,66	2082,86	2066,20
438	1402,32	902,46	1963,97	2210,00	2127,15	2118,45	2122,20	2109,05
444	1423,20	917,20	1992,40	2250,00	2172,27	2165,59	2160,02	2148,98
450	1444,08	926,50	2020,83	2290,00	2215,26	2210,67	2196,55	2186,40
456	1468,44	932,74	2026,63	2323,33	2254,76	2251,12	2225,58	2227,75
462	1492,80	920,37	2032,43	2350,00	2293,36	2293,52	2248,60	2257,20
468	1517,16	892,54	2038,23	2370,00	2326,02	2330,79	2270,89	2274,51
474	1541,52	851,88	2044,03	2376,67	2349,96	2359,10	2292,64	2279,70
480	1564,14	799,67	2048,45	2373,33	2364,10	2377,38	2301,70	2270,38
486	1586,76	747,53	2052,86	2360,00	2366,41	2381,11	2301,70	2257,76
492	1609,38	695,46	2057,28	2340,00	2360,12	2374,71	2300,07	2242,24
498	1632,00	643,44	2061,70	2316,67	2347,56	2361,30	2297,35	2224,06
504	1653,75	590,82	2060,04	2290,00	2330,57	2343,42	2280,88	2201,90
510	1675,50	544,80	2058,37	2270,00	2309,30	2319,84	2255,74	2183,47
516	1697,25	504,28	2056,71	2246,67	2286,77	2294,59	2233,21	2168,46
522	1719,00	468,31	2055,04	2220,00	2264,88	2270,10	2212,22	2156,56
528	1734,66	436,14	2055,04	2200,00	2245,26	2249,34	2196,17	2141,25
534	1750,32	407,12	2055,04	2183,33	2226,22	2229,03	2182,87	2128,50
540	1765,98	380,72	2055,04	2170,00	2208,50	2210,14	2168,47	2118,01
546	1781,64	356,50	2055,04	2156,67	2192,49	2193,14	2153,51	2109,51
552	1788,67	333,99	2056,41	2143,33	2179,06	2180,55	2138,92	2093,68
558	1795,69	314,03	2057,79	2130,00	2164,86	2166,40	2124,51	2080,36
564	1802,72	296,18	2059,16	2123,33	2150,84	2152,06	2114,12	2069,19
570	1809,74	280,09	2060,54	2113,33	2137,54	2138,32	2105,57	2059,81
576	1809,74	265,37	2065,04	2100,00	2125,84	2127,50	2098,84	2044,56
582	1809,74	252,83	2069,54	2086,67	2113,14	2114,92	2092,89	2031,58
588	1809,74	242,11	2074,03	2076,67	2100,34	2101,86	2086,63	2020,52
594	1809,74	232,89	2078,53	2070,00	2087,98	2089,12	2080,23	2011,03
600	1802,71	225,02	2078,53	2056,67	2076,93	2078,96	2074,42	1995,76
606	1795,69	217,24	2078,53	2040,00	2064,84	2067,33	2068,83	1980,69
612	1788,66	209,53	2078,53	2020,00	2052,00	2054,72	2055,14	1965,79
618	1781,64	201,89	2078,53	2006,67	2038,65	2041,44	2038,68	1951,08

EVENTO : 1987

t (h)	Q Flu	Q Incr	Q UV	DB	MK	MK - C	MK - M	RN
624	1767,72	194,25	2074,12	1993,33	2025,50	2029,58	2032,68	1929,74
630	1753,80	187,29	2069,72	1980,00	2010,02	2014,59	2030,01	1909,36
636	1739,88	180,90	2065,31	1960,00	1993,04	1997,66	2012,26	1889,83
642	1725,96	174,98	2060,90	1940,00	1975,12	1979,58	1990,09	1871,04
648	1708,56	169,46	2050,68	1920,00	1956,93	1961,78	1975,51	1849,71
654	1691,16	164,27	2040,45	1900,00	1937,43	1942,34	1962,97	1829,06
660	1673,76	159,35	2030,23	1880,00	1917,08	1921,87	1943,10	1809,00
666	1656,36	154,66	2020,00	1860,00	1896,18	1900,78	1921,44	1789,48
672	1637,22	150,15	2011,67	1833,33	1875,08	1879,80	1899,54	1768,94
678	1618,08	145,83	2003,34	1810,00	1853,28	1857,95	1877,59	1748,90
684	1598,94	141,65	1995,00	1790,00	1831,01	1835,58	1859,36	1729,28
690	1579,80	137,60	1986,67	1763,33	1808,46	1812,89	1841,88	1710,05
696	1552,83	133,65	1966,42	1736,67	1786,35	1792,10	1822,61	1684,77
702	1525,86	129,82	1946,17	1710,00	1761,86	1768,20	1803,01	1659,90
708	1498,89	126,08	1925,91	1676,67	1735,65	1742,18	1756,80	1635,33
714	1471,92	122,42	1905,66	1646,67	1708,22	1714,71	1706,33	1610,97
720	1447,56	118,73	1882,51	1620,00	1679,72	1685,60	1668,99	1588,75
726	1423,20	115,96	1859,37	1600,00	1651,26	1656,57	1633,50	1567,16
732	1398,84	113,92	1836,22	1576,67	1623,10	1627,92	1619,15	1545,94
738	1374,48	112,52	1813,07	1550,00	1595,37	1599,78	1607,42	1524,93
744	1337,94	111,68	1780,78	1510,00	1569,11	1575,45	1572,61	1493,61
750	1301,40	110,71	1748,50	1473,33	1539,86	1547,20	1535,38	1461,35
756	1264,86	109,62	1716,21	1440,00	1508,38	1516,16	1489,99	1428,05
762	1228,32	108,44	1683,92	1406,67	1475,25	1483,15	1443,90	1393,66
768	1195,34	107,21	1650,44	1370,00	1440,59	1447,77	1415,63	1361,65
774	1162,36	105,64	1616,96	1330,00	1406,09	1412,84	1388,60	1328,70
780	1129,38	103,77	1583,48	1296,67	1371,59	1378,10	1329,97	1294,90
786	1096,40	101,67	1550,00	1263,33	1337,02	1343,39	1269,61	1260,41
792	1064,10	99,33	1514,03	1230,00	1302,27	1308,45	1244,54	1226,09
798	1031,80	97,14	1478,05	1196,67	1267,55	1273,56	1220,81	1191,51
804	999,50	95,07	1442,08	1163,33	1232,87	1238,76	1176,88	1156,81
810	967,20	93,09	1406,10	1130,00	1198,27	1204,07	1132,50	1122,10
816	929,79	91,20	1361,67	1090,00	1164,17	1170,84	1106,60	1082,15
822	892,37	89,38	1317,24	1050,00	1128,65	1135,74	1080,83	1042,47
828	854,96	87,61	1272,80	1010,00	1092,13	1099,38	1028,79	1003,16
834	817,54	85,89	1228,37	970,00	1054,88	1062,14	976,92	964,19
840	798,77	84,21	1181,05	933,33	1015,60	1019,36	937,80	944,53
846	779,99	82,57	1133,73	900,00	981,42	983,36	898,41	924,91
852	761,22	80,95	1086,41	880,00	950,95	952,08	882,96	905,33
858	742,44	79,35	1039,09	860,00	923,20	924,11	866,66	885,72
864	715,14	77,77	997,78	840,00	898,13	900,70	847,70	857,30
870	687,84	76,21	956,47	813,33	872,03	875,63	828,86	828,65
876	660,54	74,66	915,16	786,67	845,19	849,40	791,22	799,62
882	633,24	73,12	873,85	760,00	817,80	822,37	754,74	770,09
888	613,02	71,56	838,72	733,33	789,45	792,92	734,47	747,74
894	592,80	70,27	803,59	706,67	762,85	765,72	713,00	725,05
900	572,58	69,20	768,46	680,00	737,61	740,20	684,35	701,95
906	552,36	68,31	733,33	660,00	713,42	715,91	656,32	678,39
912	536,81	67,59	719,79	640,00	689,67	691,30	640,47	659,93
918	521,26	66,75	706,25	620,00	667,95	669,26	623,41	641,17
924	505,71	65,79	692,71	606,67	647,69	648,96	605,51	622,12
930	490,16	64,75	679,17	590,00	628,44	629,84	587,71	602,81

EVENTO : 1987

t (h)	Q Flu	Q Incr	Q UV	DB	MK	MK - C	MK - M	RN
936	474,06	63,62	635,51	570,00	609,96	611,66	572,99	582,59
942	457,96	62,50	591,86	556,67	591,82	593,76	557,91	562,16

Q Flu - Vazão em Fluvioópolis

Q Incr - Vazão Incremental

Q UV - Vazão em União da Vitória

DB - DAMBRK

MK - Método de Muskingum

MK-C - Método de Muskingum - Cunge

MK-M - Método de Muskingum Modificado

RN - Redes Neurais

EVENTO : 1990

t (h)	Q Flu	Q Incr	Q UV	DB	MK	MK - C	MK - M	RN
0	748,68	115,90	848,95	870,00	870,00	870,00	873,93	901,71
6	770,52	115,54	873,20	870,00	866,79	862,64	873,93	924,08
12	785,42	114,98	896,10	873,33	870,84	865,95	873,93	939,22
18	800,31	114,73	919,00	880,00	877,64	872,52	873,93	954,43
24	815,21	114,76	941,90	886,67	886,54	881,47	873,95	969,74
30	830,10	115,00	964,80	893,33	897,05	892,18	875,00	985,13
36	846,58	114,89	999,10	900,00	908,71	903,91	876,54	1002,10
42	863,07	120,42	1033,40	920,00	921,18	915,54	894,07	1020,80
48	879,56	130,63	1067,70	943,33	935,86	929,09	911,72	1041,06
54	896,04	144,73	1102,00	970,00	953,47	945,60	931,93	1062,76
60	913,83	162,75	1125,00	996,67	974,16	964,99	953,12	1087,50
66	931,62	176,45	1148,00	1023,33	999,29	990,52	992,85	1111,15
72	949,41	186,55	1171,00	1050,00	1026,43	1018,82	1030,99	1133,81
78	967,20	193,67	1194,00	1076,67	1054,01	1047,78	1044,16	1155,58
84	981,65	198,26	1204,00	1103,33	1081,35	1077,08	1058,87	1172,94
90	996,10	201,43	1214,00	1130,00	1106,56	1103,63	1094,09	1189,86
96	1010,55	203,43	1224,00	1150,00	1129,81	1127,79	1127,75	1206,40
102	1025,00	204,45	1234,00	1166,67	1151,31	1149,86	1143,43	1222,61
108	1037,75	204,66	1256,75	1180,00	1171,37	1170,59	1159,66	1236,68
114	1050,50	204,27	1279,50	1200,00	1189,57	1189,13	1181,42	1250,53
120	1063,25	203,39	1302,25	1213,33	1206,23	1205,91	1202,54	1264,17
126	1076,00	202,09	1325,00	1220,00	1221,63	1221,32	1217,91	1277,63
132	1099,29	200,62	1340,50	1226,67	1235,12	1232,77	1231,60	1302,54
138	1122,58	197,14	1356,00	1240,00	1251,02	1247,90	1231,60	1326,40
144	1145,87	192,00	1371,50	1260,00	1268,12	1264,89	1232,03	1349,22
150	1169,16	185,48	1387,00	1280,00	1285,61	1282,60	1235,60	1370,97
156	1185,69	177,68	1392,70	1296,67	1303,56	1302,17	1242,54	1384,55
162	1202,22	170,30	1398,40	1310,00	1318,98	1318,33	1272,09	1397,97
168	1218,75	163,27	1404,10	1323,33	1332,68	1332,27	1298,54	1411,18
174	1235,28	156,53	1409,80	1336,67	1345,22	1344,78	1305,98	1424,14
180	1250,94	149,94	1414,60	1350,00	1357,08	1356,66	1314,58	1435,93
186	1266,60	144,47	1419,40	1356,67	1368,09	1367,38	1329,81	1447,95
192	1282,26	139,93	1424,20	1366,67	1378,80	1377,70	1343,84	1460,12
198	1297,92	136,15	1429,00	1380,00	1389,57	1388,06	1351,58	1472,40
204	1324,02	132,97	1438,53	1393,33	1399,74	1395,94	1360,78	1494,01
210	1350,12	130,78	1448,05	1406,67	1413,27	1408,13	1377,17	1515,55
216	1376,22	129,41	1457,58	1420,00	1429,54	1423,67	1390,60	1537,05
222	1402,32	128,73	1467,10	1440,00	1448,05	1441,81	1390,60	1558,54
228	1423,20	125,25	1501,49	1463,33	1469,07	1464,29	1397,65	1573,45
234	1444,08	156,39	1535,89	1490,00	1486,31	1476,03	1434,73	1612,78
240	1464,96	216,28	1570,28	1550,00	1510,61	1492,37	1474,81	1676,54
246	1485,84	300,05	1604,68	1620,00	1548,24	1521,93	1526,86	1765,33
252	1504,98	407,44	1657,42	1700,00	1602,21	1568,48	1587,57	1878,50
258	1524,12	492,74	1710,16	1806,67	1677,58	1645,21	1680,48	1973,96
264	1543,26	559,70	1762,89	1900,00	1762,30	1735,23	1769,39	2052,86
270	1562,40	611,41	1815,63	1980,00	1848,63	1828,11	1844,21	2118,18
276	1576,32	651,69	1844,35	2053,33	1932,12	1918,73	1916,29	2167,64
282	1590,24	669,06	1873,06	2116,67	2009,55	2004,37	1979,25	2198,15
288	1604,16	667,40	1901,78	2170,00	2076,06	2078,56	2038,11	2212,86
294	1618,08	649,94	1930,49	2190,00	2129,18	2138,13	2084,09	2214,00
300	1628,52	617,56	1949,97	2203,33	2168,49	2183,42	2122,70	2197,87
306	1638,96	592,56	1969,45	2210,00	2190,64	2206,33	2139,38	2187,43

EVENTO : 1990

t (h)	Q Flu	Q Incr	Q UV	DB	MK	MK - C	MK - M	RN
312	1649,40	573,69	1988,93	2203,33	2202,37	2216,22	2154,07	2181,92
318	1659,84	559,91	2008,41	2200,00	2208,24	2219,20	2163,11	2180,67
324	1661,58	550,67	2025,57	2200,00	2211,96	2221,36	2170,34	2174,12
330	1663,32	541,86	2042,73	2200,00	2212,61	2220,47	2172,70	2167,91
336	1665,06	533,40	2059,89	2200,00	2211,15	2217,61	2176,10	2161,97
342	1666,80	525,24	2077,05	2200,00	2208,24	2213,50	2182,13	2156,26
348	1665,06	517,78	2084,85	2193,33	2204,61	2209,43	2185,87	2147,51
354	1663,32	505,90	2092,64	2186,67	2199,83	2204,97	2184,06	2134,62
360	1661,58	490,33	2100,44	2180,00	2192,96	2198,71	2181,38	2118,19
366	1659,84	471,72	2108,23	2166,67	2183,51	2189,90	2176,65	2098,77
372	1652,88	450,26	2103,19	2150,00	2171,78	2179,73	2170,30	2071,12
378	1645,92	429,76	2098,14	2130,00	2155,45	2163,76	2160,35	2044,30
384	1638,96	410,06	2093,10	2103,33	2136,05	2144,09	2147,54	2018,22
390	1632,00	391,01	2088,06	2080,00	2114,64	2122,12	2128,69	1992,78
396	1622,43	372,46	2076,81	2060,00	2092,16	2099,49	2108,68	1965,29
402	1612,86	354,83	2065,57	2033,33	2068,07	2074,94	2086,32	1938,82
408	1603,29	337,97	2054,32	2006,67	2043,09	2049,38	2064,34	1913,28
414	1593,72	321,75	2043,07	1980,00	2017,66	2023,39	2043,08	1888,57
420	1580,67	305,98	2033,00	1953,33	1992,38	1998,27	2020,91	1861,22
426	1567,62	291,37	2022,93	1926,67	1966,04	1971,71	1997,04	1835,29
432	1554,57	277,72	2012,85	1900,00	1939,27	1944,56	1974,58	1810,59
438	1541,52	264,87	2002,78	1880,00	1912,46	1917,34	1954,64	1786,95
444	1525,86	252,64	1981,44	1856,67	1886,05	1891,05	1929,90	1761,81
450	1510,20	241,37	1960,10	1830,00	1859,17	1864,01	1897,09	1737,86
456	1494,54	230,87	1938,77	1803,33	1832,21	1836,81	1872,12	1714,90
462	1478,88	221,03	1917,43	1780,00	1805,41	1809,74	1859,86	1692,79
468	1461,48	211,73	1894,21	1760,00	1779,06	1783,47	1838,21	1669,84
474	1444,08	202,88	1870,98	1733,33	1752,58	1756,95	1801,98	1647,51
480	1426,68	194,40	1847,76	1706,67	1726,13	1730,42	1768,47	1625,69
486	1409,28	186,24	1824,53	1680,00	1699,81	1704,00	1739,02	1604,30
492	1386,66	178,26	1799,85	1653,33	1674,11	1679,18	1707,76	1578,58
498	1364,04	171,19	1775,17	1626,67	1647,00	1652,36	1673,89	1553,57
504	1341,42	164,86	1750,50	1600,00	1619,14	1624,47	1647,07	1529,07
510	1318,80	159,16	1725,82	1573,33	1590,94	1596,09	1629,94	1504,91
516	1293,57	153,97	1699,37	1546,67	1562,87	1568,29	1603,41	1478,53
522	1268,34	149,21	1672,91	1520,00	1534,13	1539,58	1564,52	1452,16
528	1243,11	144,81	1646,46	1493,33	1505,02	1510,38	1536,30	1425,72
534	1217,88	140,70	1620,00	1466,67	1475,75	1480,98	1521,57	1399,14
540	1189,21	136,89	1590,00	1440,00	1446,72	1452,43	1495,46	1368,97
546	1160,54	132,82	1560,00	1406,67	1416,77	1422,75	1455,51	1338,29
552	1131,87	128,54	1530,00	1376,67	1386,09	1392,20	1424,60	1307,17
558	1103,20	124,08	1500,00	1350,00	1354,81	1360,97	1404,25	1275,70
564	1076,00	119,41	1464,25	1316,67	1322,93	1328,83	1368,54	1245,49
570	1048,80	115,31	1428,50	1283,33	1291,00	1296,62	1315,63	1215,38
576	1021,60	111,68	1392,75	1250,00	1259,20	1264,56	1275,98	1185,37
582	994,40	108,43	1357,00	1216,67	1227,64	1232,77	1250,60	1155,48
588	965,10	105,51	1321,25	1186,67	1196,52	1201,86	1218,73	1123,52
594	935,80	102,86	1285,50	1160,00	1165,08	1170,48	1180,13	1091,78
600	906,50	100,44	1249,75	1126,67	1133,48	1138,86	1148,47	1060,30
606	877,20	98,20	1214,00	1093,33	1101,84	1107,17	1123,70	1029,09
612	851,31	96,13	1172,50	1060,00	1069,93	1074,57	1090,64	1001,69
618	825,42	94,09	1131,00	1026,67	1039,09	1043,37	1049,69	974,46

EVENTO : 1990

t (h)	Q Flu	Q Incr	Q UV	DB	MK	MK - C	MK - M	RN
624	799,53	92,07	1089,50	996,67	1009,04	1013,16	1017,41	947,36
630	773,64	90,08	1048,00	970,00	979,56	983,64	993,08	920,35
636	747,90	88,10	1010,45	936,67	950,50	954,58	963,58	893,49
642	722,16	86,29	972,90	906,67	921,79	925,88	929,52	866,57
648	696,42	84,63	935,35	880,00	893,38	897,49	901,43	839,50
654	670,68	83,10	897,80	853,33	865,23	869,36	878,34	812,15
660	645,76	81,63	863,50	826,67	837,25	841,26	849,07	785,25
666	620,85	80,57	829,20	800,00	809,66	813,57	814,81	757,93
672	595,93	79,85	794,90	773,33	782,49	786,32	789,25	730,03
678	571,02	79,41	760,60	750,00	755,70	759,47	770,43	701,45
684	541,56	79,09	730,50	730,00	729,66	734,26	744,56	666,63
690	512,11	80,05	700,40	703,33	702,51	707,32	713,44	630,73
696	482,65	82,07	670,30	676,67	674,91	679,63	690,19	593,66
702	453,20	84,96	640,20	650,00	647,28	651,78	672,57	555,56
708	429,20	88,12	623,90	630,00	619,48	622,80	646,87	523,97
714	405,20	96,50	607,60	610,00	593,14	594,91	615,64	492,02
720	381,20	109,22	591,30	590,00	569,34	569,59	594,38	460,18
726	357,20	125,53	575,00	570,00	548,63	547,58	579,69	429,43
732	352,93	145,18	563,00	556,67	529,57	523,79	563,61	424,80
738	348,65	163,76	551,00	550,00	519,91	512,19	546,65	421,24
744	344,38	181,45	539,00	543,33	516,80	508,69	537,02	418,75
750	340,10	198,39	527,00	540,00	518,21	510,53	531,83	417,27
756	356,18	215,24	528,70	540,00	521,02	510,27	531,23	441,22
762	372,25	226,34	530,40	553,33	532,44	521,63	533,27	464,90
768	388,33	232,66	532,10	563,33	548,50	539,05	541,41	487,95
774	404,40	235,03	533,80	570,00	566,60	559,04	552,92	510,23
780	418,13	233,45	549,35	583,33	585,30	580,23	569,83	528,34
786	431,85	235,70	564,90	600,00	601,92	597,66	589,60	548,14
792	445,58	241,14	580,45	620,00	618,10	613,80	610,39	569,40
798	459,30	249,21	596,00	640,00	634,88	630,16	631,69	592,00
804	470,13	260,35	601,55	660,00	653,00	648,12	653,66	612,26
810	480,95	264,52	607,10	680,00	672,72	669,16	675,95	629,51
816	491,78	262,90	612,65	700,00	691,64	689,89	694,17	643,97
822	502,60	256,48	618,20	713,33	708,32	708,41	710,50	656,14
828	507,27	245,79	619,13	720,00	722,53	725,40	719,88	657,99
834	511,93	234,66	620,05	726,67	731,30	735,52	726,19	660,02
840	516,59	223,16	620,97	730,00	735,99	740,70	727,47	662,26
846	521,26	211,36	621,90	730,00	737,58	742,31	726,63	664,76
852	522,82	199,17	620,98	723,33	737,10	742,19	725,39	663,25
858	524,37	188,15	620,05	716,67	733,79	738,57	724,00	662,39
864	525,93	178,09	619,13	710,00	728,73	732,92	718,62	662,02
870	527,48	168,84	618,20	703,33	722,67	726,18	711,73	662,01
876	525,93	160,26	614,50	696,67	716,37	719,80	703,62	658,21
882	524,37	152,22	610,80	690,00	708,99	712,14	695,07	654,66
888	522,82	144,65	607,10	683,33	700,98	703,77	687,20	651,35
894	521,26	137,47	603,40	676,67	692,63	695,06	679,57	648,20
900	519,71	130,51	597,18	670,00	684,16	686,29	671,45	645,20
906	518,15	124,73	590,95	656,67	675,58	677,28	663,17	642,44
912	516,60	119,92	584,73	646,67	667,26	668,52	655,97	639,86
918	515,04	115,94	578,50	640,00	659,40	660,27	649,11	637,42
924	513,49	112,70	574,13	640,00	652,11	652,65	641,53	635,09
930	511,93	109,25	569,75	636,67	645,51	645,94	633,75	632,75

EVENTO : 1990

t (h)	Q Flu	Q Incr	Q UV	DB	MK	MK - C	MK - M	RN
936	510,38	105,61	565,38	630,00	639,35	639,80	629,21	630,44
942	508,82	101,82	561,00	623,33	633,47	633,99	625,58	628,13
948	507,27	97,83	557,60	616,67	627,75	628,37	619,57	625,84
954	505,71	94,52	554,20	610,00	622,02	622,59	612,93	623,63
960	504,16	91,77	550,80	603,33	616,48	616,94	609,01	621,48
966	502,60	89,48	547,40	600,00	611,24	611,58	605,76	619,37
972	497,94	87,51	545,70	600,00	606,60	607,42	601,08	613,35
978	493,27	86,63	544,00	593,33	601,33	602,22	596,07	607,37

Q Flu - Vazão em Fluviópolis

Q Incr - Vazão Incremental

Q UV - Vazão em União da Vitória

DB - DAMBRK

MK - Método de Muskingum

MK-C - Método de Muskingum - Cunge

MK-M - Método de Muskingum Modificado

RN - Redes Neurais

EVENTO : 1992

t (h)	Q Flu	Q Incr	Q UV	DB	MK	MK - C	MK - M	RN
0	618,45	453,07	911,29	1070,00	1070,00	1070,00	1073,80	984,08
6	627,00	438,67	897,97	1070,00	1070,89	1072,05	1071,34	978,50
12	633,24	421,40	888,41	1063,33	1070,37	1073,19	1068,75	967,86
18	639,48	404,55	878,84	1050,00	1066,98	1070,64	1055,57	958,60
24	645,72	388,04	869,28	1036,67	1061,61	1065,62	1042,49	950,64
30	651,96	371,82	859,71	1026,67	1054,89	1058,99	1033,64	943,90
36	664,44	353,18	909,78	1020,00	1046,98	1050,33	1025,01	943,65
42	676,92	361,80	959,85	1020,00	1037,34	1034,95	1022,45	965,12
48	689,40	393,07	1009,93	1033,33	1034,16	1024,10	1020,33	1005,65
54	701,88	443,14	1060,00	1060,00	1042,15	1024,16	1027,73	1066,56
60	744,14	500,98	1148,22	1126,67	1061,83	1032,32	1039,46	1168,32
66	786,40	651,58	1236,44	1223,33	1095,73	1042,15	1123,50	1362,31
72	828,66	879,20	1324,66	1350,00	1166,35	1084,71	1212,27	1545,61
78	870,92	1170,80	1412,88	1550,00	1285,63	1176,58	1365,46	1634,20
84	962,01	1526,28	1654,30	1796,67	1453,77	1308,75	1526,14	1787,04
90	1053,10	1816,58	1895,72	2090,00	1702,45	1551,11	1772,82	2019,08
96	1144,19	2052,76	2137,15	2383,33	1991,38	1849,12	2014,84	2271,72
102	1235,28	2243,98	2378,57	2656,67	2294,32	2168,01	2210,53	2520,22
108	1342,29	2403,16	2571,71	2910,00	2592,99	2480,55	2406,94	2819,51
114	1449,30	2477,45	2764,84	3150,00	2889,77	2802,67	2609,61	3152,47
120	1556,31	2481,23	2957,98	3350,00	3161,05	3102,69	2805,44	3544,12
126	1663,32	2426,46	3151,11	3510,00	3393,70	3363,10	2947,87	3600,00
132	1770,05	2319,64	3224,17	3616,67	3581,84	3576,64	3084,08	3800,00
138	1876,78	2207,11	3297,23	3693,33	3719,57	3728,98	3176,72	3900,00
144	1983,51	2089,83	3370,28	3740,00	3818,89	3836,14	3263,53	3950,00
150	2090,24	1968,62	3443,34	3780,00	3888,83	3909,80	3313,47	3960,00
156	2167,54	1843,38	3457,84	3800,00	3938,67	3966,70	3362,10	4000,00
162	2244,85	1723,05	3472,34	3800,00	3961,69	3991,45	3403,24	4000,00
168	2322,15	1606,80	3486,84	3793,33	3966,52	3995,17	3440,46	3980,00
174	2399,45	1493,93	3501,34	3783,33	3959,25	3985,43	3457,05	3950,00
180	2421,59	1383,17	3499,84	3770,00	3948,64	3982,60	3472,21	3900,00
186	2443,72	1281,90	3498,34	3736,67	3916,17	3951,97	3480,41	3800,00
192	2465,86	1188,51	3496,84	3703,33	3870,44	3904,93	3491,29	3804,69
198	2488,00	1101,66	3495,34	3670,00	3817,29	3848,99	3514,16	3698,56
204	2526,50	1019,86	3498,45	3616,67	3759,28	3784,63	3530,66	3630,18
210	2565,00	946,55	3501,55	3563,33	3704,56	3724,13	3520,60	3584,72
216	2603,50	880,29	3504,66	3510,00	3654,64	3669,25	3504,26	3556,38
222	2642,00	819,88	3507,76	3470,00	3610,24	3620,75	3463,57	3540,95
228	2690,13	764,10	3519,10	3433,33	3570,77	3576,16	3429,84	3545,67
234	2738,25	714,84	3530,43	3400,00	3539,36	3540,64	3421,24	3560,36
240	2786,38	671,01	3541,77	3393,33	3515,70	3513,74	3411,68	3582,78
246	2834,50	631,68	3553,11	3386,67	3499,23	3494,78	3398,91	3611,32
252	2878,38	596,05	3574,93	3380,00	3489,63	3484,12	3389,20	3639,85
258	2922,25	563,95	3596,74	3380,00	3484,56	3478,06	3389,20	3672,60
264	2966,13	534,77	3618,56	3386,67	3483,81	3476,43	3389,20	3700,00
270	3010,00	508,03	3640,38	3400,00	3487,04	3478,94	3389,20	3720,00
276	3035,00	483,24	3661,48	3420,00	3495,40	3490,37	3389,20	3750,00
282	3060,00	460,86	3682,57	3436,67	3501,36	3497,84	3389,20	3755,00
288	3085,00	440,48	3703,67	3450,00	3506,26	3503,34	3389,20	3780,00
294	3110,00	421,76	3724,77	3463,33	3510,94	3508,13	3389,20	3800,00
300	3100,00	404,45	3742,36	3473,33	3518,78	3522,54	3389,20	3810,06
306	3090,00	387,92	3759,96	3480,00	3517,06	3524,47	3389,20	3789,48

EVENTO : 1992

t (h)	Q Flu	Q Incr	Q UV	DB	MK	MK - C	MK - M	RN
312	3080,00	372,05	3777,55	3480,00	3508,58	3517,86	3389,20	3769,39
318	3070,00	356,71	3795,14	3473,33	3495,36	3505,45	3389,20	3749,71
324	3060,00	341,71	3798,48	3460,00	3478,83	3489,15	3389,20	3730,34
330	3050,00	328,19	3801,83	3440,00	3459,89	3469,88	3389,20	3711,74
336	3040,00	315,90	3805,17	3420,00	3439,62	3449,03	3381,70	3693,78
342	3030,00	304,63	3808,51	3400,00	3418,72	3427,48	3358,26	3676,35
348	3010,00	293,60	3804,17	3380,00	3398,51	3408,68	3337,40	3646,58
354	2990,00	289,45	3799,82	3363,33	3374,81	3384,40	3321,70	3619,91
360	2970,00	291,01	3795,48	3350,00	3350,54	3358,60	3307,24	3595,84
366	2950,00	297,32	3791,13	3336,67	3327,45	3333,67	3295,13	3574,00
372	2911,50	308,31	3781,77	3323,33	3308,02	3315,81	3287,30	3531,99
378	2873,00	314,93	3772,42	3310,00	3286,77	3296,32	3287,30	3488,68
384	2834,50	317,92	3763,06	3283,33	3262,93	3274,17	3287,30	3444,19
390	2796,00	317,89	3753,71	3253,33	3236,19	3248,93	3287,30	3398,60
396	2767,13	315,35	3724,30	3220,00	3205,68	3217,83	3287,30	3363,28
402	2738,25	310,75	3694,88	3186,67	3175,10	3187,21	3287,30	3326,87
408	2709,38	304,43	3665,47	3153,33	3143,87	3156,22	3285,19	3289,42
414	2680,50	296,68	3636,05	3120,00	3111,69	3124,38	3279,76	3250,88
420	2628,53	287,67	3600,87	3086,67	3080,28	3097,79	3276,50	3183,13
426	2576,55	278,47	3565,70	3046,67	3040,89	3061,15	3276,50	3113,76
432	2524,58	269,12	3530,52	3000,00	2995,63	3017,34	3265,75	3042,56
438	2472,60	259,63	3495,34	2946,67	2946,04	2968,43	3239,65	2969,35
444	2434,10	250,00	3454,42	2890,00	2892,15	2912,18	3194,54	2911,94
450	2395,60	240,65	3413,50	2830,00	2839,80	2858,24	3123,54	2853,52
456	2357,10	231,54	3372,58	2783,33	2788,65	2806,02	3064,38	2794,18
462	2318,60	222,62	3331,66	2736,67	2738,44	2755,11	3020,73	2734,03
468	2277,41	213,79	3283,08	2690,00	2689,19	2705,93	2967,61	2669,47
474	2236,21	205,80	3234,50	2636,67	2639,67	2656,28	2902,68	2605,14
480	2195,02	198,50	3185,91	2586,67	2590,18	2606,57	2847,23	2541,30
486	2153,82	191,77	3137,33	2540,00	2540,91	2557,07	2803,08	2478,20
492	2110,81	185,50	3081,66	2486,67	2492,12	2508,39	2747,05	2413,70
498	2067,80	179,95	3025,99	2436,67	2443,14	2459,35	2677,54	2350,92
504	2024,79	175,02	2970,32	2390,00	2394,22	2410,27	2622,06	2290,14
510	1981,78	170,59	2914,65	2343,33	2345,52	2361,40	2581,78	2231,51
516	1937,83	166,61	2862,93	2296,67	2297,20	2313,08	2533,51	2174,08
522	1893,89	162,65	2811,22	2250,00	2248,99	2264,86	2476,98	2118,78
528	1849,94	158,69	2759,50	2196,67	2200,86	2216,74	2425,58	2065,63
534	1806,00	154,75	2707,79	2146,67	2152,79	2168,68	2379,25	2014,69
540	1759,02	150,78	2655,84	2100,00	2105,02	2121,50	2324,94	1962,82
546	1712,04	147,17	2603,88	2053,33	2056,36	2073,12	2263,08	1913,55
552	1665,06	143,88	2551,93	2006,67	2007,15	2024,01	2214,06	1866,55
558	1618,08	140,84	2499,97	1960,00	1957,64	1974,48	2176,64	1821,41
564	1571,97	138,02	2443,21	1906,67	1907,90	1924,51	2123,02	1778,44
570	1525,86	135,37	2386,45	1853,33	1858,36	1874,80	2055,43	1736,37
576	1479,75	132,86	2329,68	1800,00	1809,02	1825,34	2000,82	1694,70
582	1433,64	130,48	2272,92	1753,33	1759,87	1776,08	1956,92	1652,95
588	1384,05	128,24	2213,24	1703,33	1711,17	1727,96	1893,52	1607,56
594	1334,46	125,76	2153,55	1650,00	1661,64	1678,82	1814,81	1560,78
600	1284,87	123,10	2093,87	1603,33	1611,44	1628,87	1749,42	1512,28
606	1235,28	120,29	2034,18	1553,33	1560,70	1578,28	1693,99	1461,88
612	1186,96	117,32	1972,94	1500,00	1509,41	1526,86	1622,20	1410,85
618	1138,64	114,55	1911,70	1446,67	1458,12	1475,42	1538,71	1358,25

EVENTO : 1992

t (h)	Q Flu	Q Incr	Q UV	DB	MK	MK - C	MK - M	RN
624	1090,32	111,95	1850,46	1396,67	1406,86	1424,04	1479,16	1304,37
630	1042,00	109,48	1789,22	1350,00	1355,68	1372,75	1435,89	1249,59
636	1010,22	107,13	1722,80	1296,67	1303,26	1317,06	1367,29	1213,07
642	978,44	104,90	1656,38	1243,33	1255,77	1267,68	1282,14	1176,58
648	946,66	102,78	1589,97	1190,00	1211,92	1222,78	1218,30	1140,23
654	914,88	100,74	1523,55	1156,67	1170,75	1181,09	1167,70	1104,12
660	858,51	98,77	1440,53	1123,33	1133,55	1148,41	1140,30	1041,22
666	802,14	96,86	1357,52	1090,00	1090,64	1108,18	1126,62	979,15
672	745,77	95,00	1274,50	1043,33	1043,56	1062,63	1090,57	917,39
678	689,40	93,18	1191,48	990,00	993,47	1013,34	1041,94	854,91
684	639,59	91,37	1110,18	930,00	940,66	959,64	973,69	798,02
690	589,78	89,87	1028,87	876,67	888,14	906,47	894,95	738,69
696	539,97	88,62	947,57	826,67	835,93	853,78	845,40	676,19
702	490,16	87,58	866,26	780,00	784,02	801,50	810,68	610,42
708	464,15	86,72	804,25	733,33	730,45	743,10	761,25	575,05
714	438,13	86,00	742,23	683,33	684,08	693,92	704,76	539,32
720	412,11	85,40	680,22	630,00	643,01	651,31	647,98	503,61
726	386,10	84,91	618,20	590,00	605,83	613,36	591,06	468,42
732	375,31	84,53	583,60	556,67	570,30	574,58	556,44	454,12
738	364,52	83,94	549,00	530,00	541,37	543,98	531,51	440,06
744	353,74	83,17	514,40	503,33	517,19	519,07	506,45	426,29
750	342,95	82,26	479,80	480,00	496,44	498,13	481,34	412,82
756	337,29	81,23	470,05	460,00	477,73	478,53	462,39	405,95
762	331,63	80,10	460,30	446,67	462,28	462,75	445,84	399,18
768	325,96	78,89	450,55	436,67	449,18	449,64	437,18	392,52
774	320,30	77,61	440,80	430,00	437,76	438,38	431,40	385,98
780	318,95	76,24	432,50	423,33	427,21	427,23	422,25	384,55
786	317,60	75,11	424,20	416,67	418,76	418,49	411,93	383,10
792	316,25	74,17	415,90	410,00	411,90	411,54	404,54	381,64
798	314,90	73,38	407,60	403,33	406,27	405,92	398,11	380,17
804	311,52	72,76	400,70	396,67	401,73	401,83	395,49	376,37
810	308,15	71,97	393,80	390,00	397,35	397,81	394,04	372,64
816	304,77	71,04	386,90	390,00	393,04	393,79	391,40	368,95
822	301,40	69,99	380,00	386,67	388,75	389,71	388,40	365,33
828	302,75	68,40	395,20	380,00	384,07	384,40	385,82	367,01
834	304,10	71,28	410,40	380,00	380,24	379,35	383,34	368,18
840	305,45	77,88	425,60	380,00	378,28	376,01	382,50	368,98
846	306,80	87,57	440,80	380,00	378,75	375,14	382,08	369,62
852	358,86	93,29	540,06	393,33	378,29	365,00	388,51	431,95
858	410,92	167,62	639,32	426,67	388,00	356,07	396,52	503,66
864	462,98	298,95	738,57	480,00	424,63	371,33	455,10	628,29

Q Flu - Vazão em Fluvópolis

Q Incr - Vazão Incremental

Q UV - Vazão em União da Vitória

DB - DAMBRK

MK - Método de Muskingum

MK-C - Método de Muskingum - Cunge

MK-M - Método de Muskingum Modificado

RN - Redes Neurais

EVENTO : 1993

t (h)	Q Flu	Q Incr	Q UV	DB	MK	MK - C	MK - M	RN
0	226,10	32,74	233,00	260,00	260,00	260,00	258,83	297,58
6	227,43	33,38	234,55	260,00	259,53	259,16	259,01	298,59
12	228,75	34,27	236,10	260,00	259,69	259,14	259,19	299,56
18	230,07	35,38	237,65	260,00	260,40	259,76	259,21	300,51
24	231,40	36,66	239,20	260,00	261,55	260,89	259,27	301,46
30	232,72	38,12	239,20	260,00	263,08	262,44	261,49	302,38
36	234,05	39,34	239,20	260,00	264,97	264,43	263,66	303,35
42	235,37	40,34	239,20	266,67	267,06	266,65	264,77	304,35
48	236,70	41,18	239,20	270,00	269,22	268,94	265,91	305,38
54	236,70	41,90	239,98	270,00	271,50	271,54	267,84	305,29
60	236,70	42,31	240,75	270,00	273,39	273,63	269,76	305,24
66	236,70	42,47	241,53	270,00	274,89	275,27	271,65	305,22
72	236,70	42,42	242,30	270,00	276,05	276,49	273,53	305,22
78	238,02	41,84	247,73	276,67	276,82	277,13	275,45	306,43
84	239,35	44,74	253,15	280,00	277,30	276,95	277,34	307,22
90	240,67	50,54	258,58	280,00	278,56	277,44	278,90	307,70
96	242,00	58,74	264,00	286,67	281,21	279,41	280,84	308,02
102	247,40	69,43	271,20	293,33	285,18	282,14	287,11	311,80
108	252,80	76,67	278,40	300,00	292,71	289,85	293,55	316,07
114	258,20	81,03	285,60	306,67	301,85	299,79	301,74	320,68
120	263,60	83,00	292,80	313,33	311,36	310,25	309,57	325,55
126	279,88	81,27	337,90	320,00	319,70	318,02	314,21	341,50
132	296,15	95,46	383,00	326,67	328,44	324,03	319,46	357,47
138	312,42	122,86	428,10	343,33	341,97	334,44	329,64	374,64
144	328,70	161,25	473,20	370,00	362,76	352,51	342,29	395,62
150	365,18	210,68	530,70	410,00	390,17	374,39	373,07	450,27
156	401,66	248,05	588,20	456,67	434,37	419,07	406,08	512,55
162	438,13	275,39	645,70	510,00	487,39	475,24	454,07	577,84
168	474,61	294,41	703,20	556,67	544,01	535,79	501,48	642,49
174	516,61	303,60	763,64	606,67	600,67	595,82	545,26	710,11
180	558,60	336,73	824,08	660,00	653,92	647,31	593,01	793,90
186	600,60	389,74	884,53	733,33	711,46	701,32	663,18	896,22
192	642,60	459,27	944,97	823,33	777,79	764,06	736,42	1019,02
198	679,27	544,47	1044,71	930,00	855,50	839,45	825,70	1154,80
204	715,94	621,13	1144,45	1036,67	945,83	931,34	920,45	1273,03
210	752,61	690,69	1244,19	1146,67	1042,96	1031,61	1041,85	1370,40
216	789,28	754,36	1343,93	1260,00	1143,02	1135,16	1161,16	1449,53
222	814,40	815,89	1389,80	1353,33	1244,27	1241,03	1270,96	1506,57
228	839,52	845,41	1435,68	1440,00	1344,17	1348,68	1376,54	1541,32
234	864,64	848,33	1481,55	1520,00	1434,00	1446,31	1464,13	1563,16
240	889,76	829,17	1527,43	1560,00	1508,91	1527,68	1539,56	1573,92
246	912,52	790,35	1538,54	1586,67	1566,97	1590,97	1566,37	1568,76
252	935,28	749,64	1549,65	1600,00	1605,16	1630,07	1588,72	1557,21
258	958,04	707,34	1560,76	1593,33	1628,30	1651,84	1594,50	1540,91
264	980,80	663,74	1571,87	1583,33	1640,01	1661,09	1596,26	1522,59
270	1008,00	617,43	1583,17	1570,00	1642,78	1660,58	1583,90	1507,90
276	1035,20	586,66	1594,47	1556,67	1638,38	1650,53	1573,89	1510,02
282	1062,40	568,82	1605,76	1550,00	1633,16	1639,36	1571,68	1525,50
288	1089,60	561,70	1617,06	1550,00	1631,01	1631,97	1570,00	1551,19
294	1117,32	565,10	1623,96	1563,33	1633,97	1630,43	1570,00	1586,55
300	1145,04	559,55	1630,85	1580,00	1645,27	1641,21	1570,00	1616,98
306	1172,76	546,57	1637,74	1600,00	1660,10	1657,32	1570,00	1643,70

EVENTO : 1993

t (h)	Q Flu	Q Incr	Q UV	DB	MK	MK - C	MK - M	RN
312	1200,48	527,42	1644,64	1613,33	1675,42	1674,50	1570,00	1667,34
318	1231,80	502,78	1644,73	1623,33	1689,06	1689,47	1570,00	1692,63
324	1263,12	477,68	1644,82	1630,00	1700,86	1701,97	1570,64	1717,36
330	1294,44	452,21	1644,90	1630,00	1711,18	1712,61	1573,00	1740,76
336	1325,76	426,43	1644,99	1633,33	1720,32	1721,84	1576,47	1762,20
342	1362,30	397,84	1673,83	1640,00	1728,29	1729,34	1582,75	1785,62
348	1398,84	394,88	1702,67	1660,00	1734,17	1730,77	1596,61	1826,78
354	1435,38	413,20	1731,50	1686,67	1745,82	1737,03	1628,87	1884,72
360	1471,92	449,19	1760,34	1720,00	1767,71	1754,10	1660,78	1958,29
366	1504,98	502,83	1803,59	1780,00	1802,14	1784,97	1691,89	2044,11
372	1538,04	538,44	1846,84	1843,33	1852,16	1837,54	1732,55	2114,44
378	1571,10	559,06	1890,08	1910,00	1908,43	1898,74	1794,31	2171,41
384	1604,16	567,24	1933,33	1963,33	1965,02	1960,62	1847,63	2216,85
390	1628,52	564,78	1958,54	2013,33	2019,02	2020,77	1883,16	2242,22
396	1652,88	556,88	1983,76	2060,00	2064,79	2070,37	1921,85	2262,12
402	1677,24	544,45	2008,97	2086,67	2103,00	2110,77	1966,93	2277,28
408	1701,60	528,27	2034,18	2110,00	2134,42	2143,23	2005,13	2288,39
414	1721,61	506,00	2061,46	2130,00	2160,40	2170,69	2030,11	2288,47
420	1741,62	511,41	2088,75	2150,00	2176,50	2182,21	2055,17	2315,27
426	1761,63	539,83	2116,04	2180,00	2193,26	2192,47	2080,40	2364,28
432	1781,64	587,34	2143,32	2220,00	2217,03	2209,96	2112,26	2430,96
438	1797,08	652,18	2181,97	2273,33	2251,59	2239,90	2155,82	2508,04
444	1812,52	715,30	2220,63	2336,67	2298,64	2285,89	2203,45	2583,24
450	1827,96	777,00	2259,28	2410,00	2354,33	2342,34	2257,92	2658,09
456	1843,40	837,51	2297,93	2483,33	2415,91	2405,50	2316,44	2734,03
462	1854,62	898,67	2356,43	2556,67	2481,66	2473,50	2381,51	2809,35
468	1865,84	942,31	2414,94	2630,00	2550,63	2547,10	2447,79	2869,32
474	1877,06	971,38	2473,44	2683,33	2616,96	2618,41	2515,93	2914,97
480	1888,28	988,37	2531,94	2733,33	2677,24	2683,02	2576,82	2947,53
486	1895,76	996,14	2559,65	2780,00	2729,89	2739,46	2626,92	2965,23
492	1903,24	987,10	2587,36	2806,67	2773,81	2787,18	2671,75	2962,78
498	1910,72	964,10	2615,07	2820,00	2806,56	2822,97	2709,04	2943,94
504	1918,20	929,51	2642,78	2820,00	2827,21	2845,64	2736,09	2912,54
510	1923,81	884,55	2641,00	2813,33	2835,94	2855,82	2749,10	2869,34
516	1929,42	839,04	2639,22	2796,67	2831,72	2850,74	2747,50	2827,77
522	1935,03	793,08	2637,43	2770,00	2817,89	2834,96	2726,64	2787,70
528	1940,64	746,73	2635,65	2736,67	2796,93	2811,65	2715,00	2748,92
534	1946,25	699,60	2623,16	2703,33	2770,69	2783,11	2715,00	2710,68
540	1951,86	657,08	2610,68	2670,00	2739,94	2749,42	2704,92	2677,53
546	1957,47	618,40	2598,20	2636,67	2707,22	2713,81	2682,61	2648,27
552	1963,08	582,90	2585,71	2603,33	2674,14	2678,21	2656,31	2622,01
558	1966,82	549,95	2570,48	2570,00	2641,87	2644,22	2625,35	2595,95
564	1970,56	520,26	2555,25	2543,33	2610,16	2610,93	2595,18	2572,68
570	1974,30	493,29	2540,01	2516,67	2579,79	2579,25	2565,89	2551,70
576	1978,04	468,58	2524,78	2490,00	2551,17	2549,65	2538,69	2532,60
582	1975,23	445,74	2511,48	2463,33	2524,99	2523,87	2513,77	2507,56
588	1972,43	424,46	2498,18	2440,00	2498,83	2497,75	2489,78	2483,69
594	1969,63	404,47	2484,87	2420,00	2473,13	2471,94	2466,77	2460,78
600	1966,82	385,55	2471,57	2400,00	2448,12	2446,82	2446,53	2438,63
606	1959,34	367,65	2457,23	2380,00	2424,30	2423,64	2429,04	2411,81
612	1951,86	349,22	2442,90	2360,00	2400,10	2399,90	2410,47	2384,18
618	1944,38	330,33	2428,56	2340,00	2375,48	2375,60	2390,87	2355,82

EVENTO : 1993

t (h)	Q Flu	Q Incr	Q UV	DB	MK	MK - C	MK - M	RN
624	1936,90	311,08	2414,22	2316,67	2350,41	2350,74	2372,19	2326,87
630	1923,81	291,34	2398,33	2290,00	2325,39	2326,78	2354,35	2290,65
636	1910,72	273,09	2382,45	2270,00	2298,14	2299,70	2333,62	2255,95
642	1897,63	256,07	2366,56	2246,67	2269,68	2271,01	2310,33	2222,60
648	1884,54	240,08	2350,67	2220,00	2240,69	2241,62	2289,73	2190,47
654	1867,71	224,66	2334,19	2193,33	2211,93	2213,10	2271,39	2154,93
660	1850,88	212,77	2317,72	2166,67	2181,95	2182,56	2248,49	2123,50
666	1834,05	203,83	2301,24	2140,00	2152,07	2151,87	2221,91	2095,58
672	1817,22	197,34	2284,76	2113,33	2123,10	2122,12	2199,83	2070,60
678	1797,02	193,02	2267,19	2090,00	2095,75	2094,66	2181,23	2044,70
684	1776,81	188,81	2249,61	2070,00	2069,16	2068,08	2156,62	2019,34
690	1756,61	184,70	2232,04	2050,00	2043,15	2042,15	2127,52	1994,54
696	1736,40	180,66	2214,46	2026,67	2017,59	2016,71	2105,20	1970,25
702	1713,78	176,65	2194,31	2000,00	1992,58	1992,21	2087,71	1944,06
708	1691,16	173,01	2174,16	1973,33	1967,10	1966,96	2062,50	1918,74
714	1668,54	169,69	2154,01	1950,00	1941,38	1941,32	2032,00	1894,19
720	1645,92	166,62	2133,86	1930,00	1915,59	1915,53	2009,08	1870,28
726	1619,82	163,77	2108,81	1903,33	1890,08	1890,56	1991,14	1843,81
732	1593,72	161,10	2083,76	1876,67	1863,63	1864,31	1967,00	1817,90
738	1567,62	158,58	2058,71	1850,00	1836,55	1837,24	1938,96	1792,45
744	1541,52	156,18	2033,66	1830,00	1809,03	1809,66	1917,72	1767,35
750	1515,42	153,85	2006,91	1806,67	1781,25	1781,78	1900,58	1742,48
756	1489,32	151,91	1980,16	1780,00	1753,26	1753,63	1874,66	1718,00
762	1463,22	150,31	1953,42	1746,67	1725,23	1725,43	1843,66	1693,78
768	1437,12	148,97	1926,67	1716,67	1697,26	1697,33	1815,89	1669,63
774	1405,80	147,71	1897,95	1690,00	1669,86	1670,67	1789,91	1640,62
780	1374,48	148,21	1869,22	1663,33	1640,91	1641,75	1746,82	1612,37
786	1343,16	150,16	1840,50	1636,67	1611,34	1611,89	1694,66	1584,37
792	1311,84	153,33	1811,78	1610,00	1581,73	1581,89	1665,23	1556,25
798	1278,78	157,56	1775,73	1583,33	1552,56	1552,62	1647,34	1525,97
804	1245,72	162,01	1739,69	1560,00	1523,47	1523,44	1619,34	1494,58
810	1212,66	166,65	1703,64	1540,00	1494,49	1494,39	1586,42	1462,06
816	1179,60	171,45	1667,60	1506,67	1465,65	1465,50	1561,82	1428,46
822	1146,90	176,68	1631,85	1476,67	1436,91	1436,61	1541,06	1394,44
828	1114,20	178,85	1596,10	1450,00	1408,75	1408,90	1505,85	1358,25
834	1081,50	178,47	1560,35	1416,67	1380,16	1380,94	1464,24	1320,50
840	1048,80	175,98	1524,60	1383,33	1350,53	1351,89	1429,99	1281,73
846	1019,25	171,54	1484,20	1350,00	1319,30	1320,65	1398,83	1245,91
852	989,69	167,55	1443,80	1316,67	1287,29	1288,45	1351,90	1210,46
858	960,14	163,94	1403,40	1283,33	1254,83	1255,73	1298,64	1175,43
864	930,58	160,63	1363,00	1250,00	1222,16	1222,81	1263,98	1140,81
870	906,25	157,30	1319,75	1210,00	1189,01	1188,64	1236,44	1112,37
876	881,91	157,01	1276,50	1176,67	1157,10	1155,76	1197,52	1085,19
882	857,58	159,26	1233,25	1150,00	1126,95	1124,82	1154,45	1059,10
888	833,24	163,61	1190,00	1123,33	1098,81	1096,13	1129,99	1033,89
894	815,22	170,07	1150,22	1096,67	1072,19	1068,10	1111,95	1016,47
900	797,20	174,20	1110,44	1070,00	1049,83	1045,75	1087,93	998,26
906	779,18	176,37	1070,66	1050,00	1029,92	1026,50	1061,95	979,32
912	761,16	176,92	1030,88	1030,00	1011,23	1008,70	1039,15	959,71
918	740,10	176,13	999,11	1010,00	993,23	992,06	1017,34	936,12
924	719,04	174,23	967,34	990,00	974,28	974,07	999,12	911,88
930	697,98	171,43	935,57	970,00	954,32	954,76	981,95	887,02

EVENTO : 1993

t (h)	Q Flu	Q Incr	Q UV	DB	MK	MK - C	MK - M	RN
936	676,92	167,87	903,80	950,00	933,37	934,22	959,69	861,53
942	664,44	163,41	880,22	923,33	910,80	910,55	936,02	845,49
948	651,96	161,24	856,64	900,00	889,57	888,41	911,84	830,04
954	639,48	160,98	833,05	880,00	869,96	868,14	887,53	814,97
960	627,00	162,32	809,47	860,00	852,08	849,82	864,68	800,14
966	622,33	164,96	810,64	840,00	835,28	831,52	842,19	795,13
972	617,67	168,73	811,82	820,00	822,38	818,00	824,54	790,42
978	613,00	173,44	812,99	813,33	812,66	808,18	808,01	785,94

Q Flu - Vazão em Fluvioópolis

Q Incr - Vazão Incremental

Q UV - Vazão em União da Vitória

DB - DAMBRK

MK - Método de Muskingum

MK-C - Método de Muskingum - Cunge

MK-M - Método de Muskingum Modificado

RN - Redes Neurais

EVENTO : 1995

t (h)	Q Flu	Q Incr	Q UV	DB	MK	MK - C	MK - M	RN
0	317,60	295,36	506,60	600,00	600,00	600,00	604,36	435,03
6	331,77	294,99	518,50	600,00	602,38	600,68	604,36	450,37
12	345,95	298,35	530,40	603,33	607,55	604,53	604,38	469,11
18	360,12	304,80	542,30	610,00	615,81	611,89	606,21	490,85
24	374,30	313,82	554,20	616,67	627,20	622,74	608,08	515,42
30	393,26	325,40	573,90	623,33	641,19	635,64	612,03	549,35
36	412,22	334,36	593,60	630,00	659,86	654,66	616,18	582,48
42	431,19	341,13	613,30	643,33	681,21	676,97	626,44	614,69
48	450,15	346,08	633,00	660,00	703,90	700,79	637,12	645,93
54	459,38	349,93	642,00	680,00	727,79	727,26	657,57	662,58
60	468,60	348,47	651,00	700,00	749,20	750,86	678,01	674,55
66	477,83	342,60	660,00	716,67	767,27	770,61	698,39	682,81
72	487,05	333,06	669,00	730,00	781,66	786,16	718,33	688,34
78	490,94	320,34	665,40	743,33	792,77	798,84	731,38	684,23
84	494,83	306,55	661,80	750,00	798,57	805,10	744,23	680,17
90	498,71	291,87	658,20	750,00	800,21	806,56	754,34	676,44
96	502,60	276,46	654,60	750,00	798,54	804,39	763,47	673,29
102	504,16	260,33	652,80	746,67	794,46	800,05	761,26	667,36
108	505,71	244,77	651,00	740,00	787,49	792,40	758,29	662,66
114	507,27	229,68	649,20	733,33	778,59	782,66	747,68	659,03
120	508,82	214,98	647,40	723,33	768,40	771,65	737,15	656,26
126	514,26	199,55	661,35	710,00	757,16	759,21	727,36	659,56
132	519,71	195,12	675,30	703,33	745,36	744,86	718,10	666,18
138	525,15	199,83	689,25	703,33	736,28	733,08	713,07	675,25
144	530,59	212,12	703,20	710,00	731,79	726,27	709,07	686,73
150	545,36	231,39	727,40	723,33	731,98	723,13	712,67	714,58
156	560,13	249,05	751,60	736,67	741,45	731,93	717,90	742,78
162	574,91	265,39	775,80	750,00	757,23	748,38	734,09	771,13
168	589,68	280,62	800,00	770,00	777,25	769,66	750,61	799,43
174	603,69	295,43	816,25	790,00	800,06	793,93	769,20	826,85
180	617,70	304,41	832,50	810,00	824,97	821,03	787,84	850,82
186	631,71	308,53	848,75	830,00	849,75	848,03	806,75	871,45
192	645,72	308,63	865,00	846,67	873,07	873,25	825,42	889,11
198	666,00	303,03	892,33	860,00	893,84	894,88	842,81	910,41
204	686,28	318,62	919,67	886,67	911,26	909,22	862,02	944,56
210	706,56	351,82	947,00	920,00	932,23	925,98	890,11	991,27
216	726,84	399,64	974,34	960,00	960,80	950,60	920,76	1052,08
222	750,13	462,49	1009,69	1013,33	998,60	984,36	963,09	1134,33
228	773,42	506,07	1045,04	1070,00	1051,02	1039,05	1010,01	1200,29
234	796,71	533,66	1080,38	1130,00	1108,64	1101,39	1076,56	1249,23
240	820,00	547,95	1115,73	1176,67	1165,52	1163,40	1138,16	1283,45
246	852,50	550,04	1143,88	1216,67	1217,43	1218,55	1179,95	1312,40
252	885,00	554,90	1172,03	1250,00	1264,43	1266,64	1219,14	1344,18
258	917,50	562,07	1200,17	1283,33	1308,64	1310,84	1248,64	1378,53
264	950,00	571,16	1228,32	1316,67	1351,46	1353,16	1280,38	1415,26
270	987,50	580,94	1288,65	1350,00	1393,49	1393,88	1319,98	1458,19
276	1025,00	601,19	1348,98	1390,00	1436,09	1434,10	1359,25	1511,18
282	1062,50	630,16	1409,30	1433,33	1482,08	1477,66	1397,44	1572,12
288	1100,00	666,35	1469,63	1480,00	1533,02	1526,58	1438,06	1639,26
294	1140,78	710,77	1508,67	1540,00	1589,17	1580,40	1486,30	1716,34
300	1181,56	737,49	1547,70	1600,00	1654,61	1648,26	1535,43	1782,60
306	1222,34	749,50	1586,74	1660,00	1721,80	1719,57	1587,18	1842,13

EVENTO : 1995

t (h)	Q Flu	Q Incr	Q UV	DB	MK	MK - C	MK - M	RN
312	1263,12	749,29	1625,77	1713,33	1786,09	1788,09	1638,06	1897,20
318	1317,93	738,92	1645,89	1760,00	1843,65	1846,99	1686,45	1968,71
324	1372,74	720,29	1666,02	1800,00	1898,34	1903,40	1733,44	2036,31
330	1427,55	694,79	1686,14	1833,33	1948,58	1955,19	1776,66	2097,07
336	1482,36	663,59	1706,26	1856,67	1993,63	2001,38	1810,57	2148,62
342	1528,47	624,87	1729,89	1870,00	2034,20	2044,49	1820,77	2176,79
348	1574,58	610,57	1753,51	1883,33	2063,82	2070,59	1828,00	2220,77
354	1620,69	616,54	1777,14	1910,00	2092,39	2093,55	1828,00	2280,03
360	1666,80	639,35	1800,77	1950,00	2125,95	2121,48	1837,22	2353,10
366	1691,16	679,47	1828,91	2016,67	2169,42	2163,21	1867,77	2416,72
372	1715,52	697,51	1857,05	2083,33	2220,37	2217,35	1905,68	2460,43
378	1739,88	697,23	1885,19	2150,00	2270,48	2272,29	1959,85	2487,29
384	1764,24	681,72	1913,33	2203,33	2314,80	2321,33	2014,53	2499,80
390	1776,55	652,24	1938,80	2243,33	2351,64	2364,20	2070,25	2485,96
396	1788,86	625,85	1964,28	2270,00	2373,63	2387,67	2122,52	2474,75
402	1801,17	602,03	1989,75	2283,33	2385,67	2398,85	2167,79	2465,74
408	1813,48	580,34	2015,22	2293,33	2391,17	2402,48	2200,48	2458,57
414	1828,44	560,11	2039,00	2300,00	2392,31	2401,06	2208,93	2455,49
420	1843,40	544,44	2062,78	2313,33	2391,35	2397,35	2223,41	2456,69
426	1858,36	532,55	2086,56	2320,00	2390,15	2393,65	2249,04	2461,49
432	1873,32	523,79	2110,34	2320,00	2389,86	2391,30	2267,56	2469,33
438	1882,67	517,01	2136,16	2326,67	2391,61	2392,48	2273,54	2473,01
444	1892,02	518,82	2161,97	2333,33	2392,88	2392,01	2280,01	2484,94
450	1901,37	527,76	2187,79	2340,00	2396,25	2393,43	2287,29	2503,64
456	1910,72	542,62	2213,60	2360,00	2403,18	2398,65	2298,19	2527,85
462	1914,46	564,04	2234,87	2383,33	2414,69	2409,54	2314,92	2551,94
468	1918,20	572,92	2256,15	2410,00	2430,92	2427,90	2333,31	2564,24
474	1921,94	571,40	2277,42	2423,33	2447,01	2447,00	2354,26	2566,88
480	1925,68	561,24	2298,69	2436,67	2460,05	2462,94	2373,97	2561,50
486	1922,88	543,45	2308,01	2450,00	2468,98	2475,38	2391,80	2541,88
492	1920,07	524,29	2317,32	2443,33	2470,05	2477,89	2404,93	2520,80
498	1917,27	504,00	2326,64	2436,67	2464,98	2473,07	2411,31	2498,47
504	1914,46	482,78	2335,95	2430,00	2455,11	2462,80	2414,36	2474,99
510	1907,92	460,56	2337,65	2416,67	2441,80	2449,41	2412,86	2446,09
516	1901,37	439,79	2339,35	2400,00	2424,20	2430,89	2408,64	2418,27
522	1894,83	420,20	2341,04	2380,00	2403,88	2409,36	2400,85	2391,33
528	1888,28	401,61	2342,74	2360,00	2381,90	2386,15	2390,20	2365,13
534	1873,32	383,76	2334,77	2340,00	2359,69	2364,20	2375,93	2330,02
540	1858,36	367,28	2326,81	2320,00	2334,51	2338,55	2360,84	2296,20
546	1843,40	351,93	2318,84	2300,00	2307,54	2310,83	2344,76	2263,50
552	1828,44	337,52	2310,88	2280,00	2279,60	2282,07	2329,74	2231,79
558	1817,61	323,88	2299,71	2260,00	2250,87	2251,94	2315,97	2205,47
564	1806,78	310,92	2288,54	2233,33	2223,24	2223,40	2300,12	2179,92
570	1795,95	298,51	2277,38	2206,67	2196,60	2196,21	2281,93	2155,03
576	1785,12	286,57	2266,21	2180,00	2170,84	2170,12	2261,34	2130,75
582	1772,07	274,95	2249,92	2153,33	2146,04	2145,53	2238,18	2104,60
588	1759,02	264,34	2233,62	2130,00	2121,20	2120,67	2213,87	2079,72
594	1745,97	254,57	2217,33	2110,00	2096,61	2095,98	2188,40	2055,94
600	1732,92	245,50	2201,03	2083,33	2072,44	2071,70	2162,24	2033,13
606	1715,52	237,03	2187,43	2060,00	2049,12	2048,99	2135,40	2006,80
612	1698,12	228,75	2173,82	2040,00	2025,10	2025,26	2109,60	1981,03
618	1680,72	220,61	2160,21	2020,00	2000,63	2000,89	2084,77	1955,76

EVENTO : 1995

t (h)	Q Flu	Q Incr	Q UV	DB	MK	MK - C	MK - M	RN
624	1663,32	212,61	2146,61	2000,00	1975,85	1976,13	2063,88	1930,99
630	1642,44	204,61	2126,00	1980,00	1951,18	1952,00	2046,60	1903,30
636	1621,56	197,65	2105,38	1960,00	1925,30	1926,15	2027,86	1877,06
642	1600,68	191,56	2084,77	1936,67	1898,81	1899,47	2007,84	1852,03
648	1579,80	186,19	2064,15	1910,00	1872,14	1872,53	1984,64	1828,00
654	1549,35	181,45	2036,44	1890,00	1846,30	1847,97	1958,76	1796,18
660	1518,90	176,89	2008,74	1866,67	1817,92	1820,06	1937,94	1764,85
666	1488,45	172,50	1981,03	1840,00	1787,74	1789,91	1921,21	1733,87
672	1458,00	168,24	1953,33	1820,00	1756,29	1758,27	1902,10	1703,07
678	1430,16	164,08	1923,77	1796,67	1723,73	1725,02	1881,14	1674,68
684	1402,32	160,02	1894,22	1770,00	1691,32	1692,13	1860,47	1646,26
690	1374,48	156,03	1864,66	1736,67	1659,04	1659,53	1840,02	1617,71
696	1346,64	152,11	1835,10	1703,33	1626,88	1627,16	1809,13	1588,93
702	1324,02	148,20	1803,51	1670,00	1594,40	1593,71	1770,79	1564,87
708	1301,40	144,65	1771,91	1636,67	1563,50	1562,32	1723,33	1540,81
714	1278,78	141,40	1740,32	1603,33	1533,85	1532,48	1669,61	1516,68
720	1256,16	138,39	1708,72	1570,00	1505,21	1503,81	1629,38	1492,40
726	1240,50	135,34	1680,19	1543,33	1476,82	1474,41	1598,02	1474,92
732	1224,84	134,96	1651,67	1516,67	1450,83	1447,68	1564,97	1458,67
738	1209,18	136,81	1623,14	1490,00	1427,35	1423,74	1530,85	1443,32
744	1193,52	140,50	1594,61	1463,33	1406,33	1402,49	1498,27	1428,59
750	1169,24	144,72	1566,90	1440,00	1388,41	1386,09	1466,61	1404,48
756	1144,96	160,48	1539,19	1420,00	1368,98	1365,75	1448,48	1384,89
762	1120,68	185,81	1511,48	1420,00	1351,72	1346,77	1438,17	1368,76
768	1096,40	219,09	1483,77	1426,67	1338,77	1332,08	1434,50	1355,60
774	1070,90	259,51	1479,52	1440,00	1331,27	1323,31	1434,50	1344,28
780	1045,40	300,07	1475,26	1453,33	1329,81	1321,87	1448,98	1333,83
786	1019,90	340,76	1471,01	1470,00	1332,81	1325,52	1471,14	1325,17
792	994,40	381,54	1466,75	1490,00	1339,10	1332,73	1480,10	1319,25
798	977,66	424,14	1450,87	1503,33	1346,96	1339,89	1482,36	1327,85
804	960,92	449,14	1435,00	1513,33	1361,11	1357,11	1483,10	1327,34
810	944,18	459,52	1419,12	1520,00	1374,86	1375,10	1483,10	1317,63
816	927,44	457,76	1403,24	1500,00	1384,15	1388,46	1483,10	1299,30
822	916,45	445,32	1377,26	1480,00	1386,34	1393,12	1483,10	1278,70
828	905,46	430,65	1351,27	1460,00	1381,78	1389,60	1483,10	1256,50
834	894,47	414,15	1325,29	1426,67	1371,66	1379,65	1483,10	1233,12
840	883,48	396,11	1299,30	1393,33	1356,98	1364,62	1471,47	1208,88
846	877,99	376,51	1277,55	1360,00	1338,10	1344,29	1454,94	1189,63
852	872,49	358,89	1255,80	1333,33	1317,38	1322,01	1402,13	1172,21
858	867,00	342,93	1234,05	1303,33	1295,87	1299,06	1334,74	1156,29
864	861,50	328,35	1212,30	1270,00	1274,27	1276,24	1286,98	1141,57
870	852,87	314,90	1195,92	1243,33	1253,25	1254,76	1246,73	1124,45
876	844,23	302,43	1179,53	1220,00	1231,86	1232,86	1222,00	1108,11
882	835,60	290,76	1163,15	1200,00	1210,48	1211,01	1202,90	1092,41
888	826,96	279,77	1146,76	1180,00	1189,33	1189,47	1182,50	1077,24
894	826,17	269,40	1130,15	1160,00	1167,91	1166,48	1161,64	1071,04
900	825,39	258,88	1113,55	1140,00	1149,28	1147,20	1146,73	1064,96
906	824,60	248,25	1096,94	1120,00	1132,63	1130,42	1133,77	1059,00
912	823,82	237,52	1080,34	1103,33	1117,41	1115,33	1116,93	1053,18
918	824,61	226,27	1067,45	1090,00	1103,10	1101,10	1098,89	1049,03
924	825,39	219,46	1054,57	1070,00	1089,48	1086,96	1074,51	1046,95
930	826,18	216,35	1041,68	1056,67	1077,60	1074,45	1048,28	1046,49

EVENTO : 1995

t (h)	Q Flu	Q Incr	Q UV	DB	MK	MK - C	MK - M	RN
936	826,96	216,30	1028,79	1050,00	1068,07	1064,36	1042,56	1047,32
942	826,17	218,65	1046,67	1043,33	1061,23	1057,43	1042,51	1047,45
948	825,39	224,60	1064,56	1043,33	1056,38	1052,26	1044,57	1049,16
954	824,60	233,53	1082,44	1050,00	1053,99	1049,58	1047,19	1052,23
960	823,82	244,94	1100,33	1056,67	1054,25	1049,66	1053,92	1056,60
966	819,11	259,05	1100,18	1066,67	1057,41	1053,32	1061,66	1058,23
972	814,40	268,43	1100,03	1080,00	1062,64	1059,90	1075,48	1057,80
978	809,69	273,90	1099,87	1093,33	1068,03	1066,84	1090,71	1055,51

Q Flu - Vazão em Fluviópolis

Q Incr - Vazão Incremental

Q UV - Vazão em União da Vitória

DB - DAMBRK

MK - Método de Muskingum

MK-C - Método de Muskingum - Cunge

MK-M - Método de Muskingum Modificado

RN - Redes Neurais

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 ABBOTT, Michel B. Method of characteristics. In : MAHMOOD, K.; YEVJEVICH, V. (Ed). Unsteady flow in open channels. Fort Collins : Water Resources Publ., v.1, cap.3, 1975.
- 2 BALLINI, Rosangela et al. Modelos de redes neurais e Box-Jenkins para previsão de vazões médias mensais. IN: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS (12.: 1997: Vitória) Anais - CD. ABRH, 1997.
- 3 BOSS. User's Manual Boss DAMBRK . Boss International, 1994.
- 4 CAMPOLO, Marina; ANDREUSSI, Paolo; SOLDATI, Alfredo. River flood forecasting with a neural network model. Water Resources Research. Vol. 35, No. 4, p. 1191-1197, 1999.
- 5 CEHPAR, Centro de Hidráulica e Hidrologia Prof. Parigot de Souza. Projeto HG-79 - Análise do escoamento em regime não-permanente no rio Iguaçu entre Fluvópolis e Foz do Areia. Relatório Técnico nº 5. Curitiba, 1996.
- 6 CHAUDHRY, M. Hanif. Open-channel flow. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 483 p, 1993.
- 7 CHOW, V. T. Open channel hydraulics. New York: McGraw Hill. 1959.
- 8 CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. Applied Hydrology. McGraw-Hill, 1988.
- 9 CUNGE, J. A. On the subject of a flood propagation computation method (Muskingum method). Journal of Hydraulics Research, IAHR, vol. 7, n. 2, p. 205-230, 1969.
- 10 FABIANI, André Luiz Tonso. Contribuição ao estudo das ondas geradas pela ruptura de barragens. Curitiba: UFPR, CEHPAR. Dissertação de mestrado. 132 p, 1995.

- 11 FAHLMAN, S. E.; LEBIERE, C. The cascade correlation learning architecture. Advances in neural engineering processing systems 2. D. S. Touretsky. Ed. Morgan Kaufmann Publishers, Inc., San Mateo, Calif., p. 524-532, 1990.
- 12 FELDMAN, J. Neural representation of conceptual knowledge. University of Rochester Department of Computer Science. Technical Report. TR-189. 1985.
- 13 FILL, H. D.; ZSCHOERPER, D. J. Um método não linear de propagação de cheias em canais naturais de alta declividade. IN: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS (4.: 1981: Fortaleza) Anais. ABRH, p. 288-300, 1981.
- 14 FLOOD, Ian.; KARTMAN, Nabil. Neural networks in civil engineering I : Principles and understanding. Journal of Computing in Civil Engineering. ASCE. Vol. 8. No. 2. p. 130-147, 1994.
- 15 FREAD, D. L. The NWS DAMBRK model: theoretical background / user documentation. NWS, NOAA Silver Spring, Maryland. 1988.
- 16 FREAD, D. L. Flow Routing. In: MAIDMENT, D. R. (Ed). Handbook of Hydrology. McGraw-Hill, cap.10, 1993.
- 17 FRENCH, Mark N.; KRAJEWSKI, Witold F.; CUYKENDALL, Robert R. Rainfall forecasting in space and time using a neural network. Journal of Hydrology. vol. 137, p.1-31, 1992.
- 18 GALVÃO, C. de O. et al. Sistemas inteligentes – Aplicações a recursos hídricos e ciências ambientais. ABRH, 1999.
- 19 GILL, M.A. Flood routing by the Muskingum method – Reply. Journal of Hydrology. vol. 41, p.169-170, 1979.
- 20 HALL, M. J.; MINNS, A. W. Regional flood frequency analysis using artificial neural networks. IN : HYDROINFORMATICS 98. Ed. A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield, vol. 2, p. 759-764, 1998.
- 21 HEBB, D. Organization of behavior. New York : John Wiley & Sons. 1949.

- 22 HENDERSON, F. M. Open-channel flow. New York: McMillan, 1966.
- 23 HOPFIELD, J. Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. Proceedings of the National Academy of Sciences. 79, p.2554-2588, 1982.
- 24 HSU, Kuo-lin; GUPTA, Hoshin Vijai; SOROOSHIAN, Soroosh. Artificial neural network modeling of the rainfall-runoff process. Water Resources Research. Vol. 31, No. 10, p. 2517-2530, 1995.
- 25 JICA. The master study on the utilization of water resources in Parana State. Sectoral Report. Vol. H, Flood Control. 1995
- 26 JAIN, S. K.; DAS, A.; SRIVASTAVA, D. K. Application of ANN for reservoir inflow prediction and operation. Journal of Water Resources Planning and Management. ASCE, vol. 125, No. 5, p. 263-271, 1999.
- 27 KARUNANITHI, N. et al. Neural networks for river flow prediction. Journal of Computing in Civil Engineering. Vol. 8, No. 2, p. 201-220, 1994.
- 28 KAVISKI, Eloy. Escoamento não-permanente em canais. Curso de pós-graduação em engenharia hidráulica, UFPR, CEHPAR. Notas de aula. Paginação irregular. 1995.
- 29 KILLINGTVEIT, A. ; SAELTHUN, N. R. Hydrology. Norwegian Institute of Technology, 1995.
- 30 KOHONEN, T. Correlation associative memory. IEEE Transactions on Computers. C-21, p. 353-359, 1972.
- 31 LINSLEY, R. K. Jr.; KOEHLER, M. A.; PAULHUS, J. L. H. Hydrology for engineers. New York: McGraw-Hill, 1975.
- 32 MAIER, Holger R.; DANDY, Graeme C. The use of artificial neural networks for the prediction of water quality parameters. Water Resources Research. Vol. 32, No. 4, p. 1013-1022, 1996.

- 33 MCCULLOCH, W.; PITTS, W. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. Bulletin of Mathematical Biophysics. 7, p. 115-133, 1943.
- 34 MEEHAN, P. J. Flood routing by the Muskingum method – Comments. Journal of Hydrology. vol. 41, p.167-168, 1979.
- 35 MILDER-KAYSER ENGENHARIA. Cheias em União da Vitória: Usina hidrelétrica Foz do Areia, rio Iguazu, Paraná, Brasil. Memorando de projeto n. 10, 1975.
- 36 MILDER-KAYSER ENGENHARIA. Influência do reservatório de Foz do Areia sobre cheias em União da Vitória: Usina hidrelétrica Foz do Areia, rio Iguazu, Paraná, Brasil. Suplemento ao Memorando de projeto n. 10, 1976.
- 37 MINE, Miriam R. M. Método determinístico para minimizar o conflito entre gerar energia e controlar cheias. Porto Alegre: UFRGS/IPH. Tese (Doutorado), 1998.
- 38 MINSKI, M.; PAPERT, S. Perceptrons. Cambridge : MIT Press. 1969.
- 39 MOHAN, S. Parameter estimation of nonlinear Muskingum models using genetic algorithm. Journal of Hydraulic Engineering. ASCE, vol. 123, No. 2, p. 137-142, 1997.
- 40 NERC. Natural Environment Research Council. Flood studies report. Vol. 3: Flood routing, London, England, 1975.
- 41 PONCE, V. M.; YEVJEVICH V. Muskingum-Cunge method with variable parameters. Journal of the Hydraulics Division, ASCE, vol. 104, p. 1663-1667, 1978.
- 42 PONCE, Victor M. Engineering hydrology. New Jersey: Prentice Hall, 1989.
- 43 PONCE, V. M.; Li R. M.; SIMONS, D. B. Applicability of kinematic and diffusion models. Journal of the Hydraulics Division, ASCE, vol. 104, p. 353-360, 1978.
- 44 RAUDKIVI, Arved J. Hydrology: an advanced introduction to hydrological processes and modelling. New York: Pergamon, 1979.

- 45 ROBERSON, J. A.; CASSIDY, J. J.; CHAUDHRY, M. H. Hydraulic Engineering. Boston: Houghton Mifflin Company, 1988.
- 46 ROSENBLATT, F. The perceptron: a perceiving and recognizing automation. Project PARA. Cornell Aeronautical Laboratory Report. 85-460-1. 1957.
- 47 RUMELHART, D.; MCCLELLAND, J. Parallel distributed processing: explorations in the microstructure of cognition. Vols. 1 and 2. Cambridge : Bradford Books : MIT Press. 1986.
- 48 RUSSEL, S.A practical device to simulate the working of nervous discharges. Journal of Animal Behavior. N. 3, 1913
- 49 SEJNOWSKI, T. On global properties of neuronal interaction. Biological Cybernetics. 22, p. 85-95, 1976.
- 50 SUGAI, M. R.von B. Influência do reservatório de Foz do Areia sobre níveis de enchentes em União da Vitória. Curitiba: COPEL, 1980.
- 51 SUGAI, M. R. von B., MASSUCI, L. A., BUSETI, D. C., SANTOS, A. F. . Influência do reservatório de Foz do Areia sobre níveis de enchentes em União da Vitória.: revisão e atualização. Curitiba: COPEL, 1980
- 52 THIRUMALAI AH, K.; DEO, M. C. River stage forecasting using artificial neural networks. Journal of Hydrologic Engineering. ASCE, vol. 3, No. 1, p. 26-32, 1998.
- 53 TOKAR, Sezin; JOHNSON, Peggy A.; Rainfall-runoff modeling using artificial neural networks. Journal of Hydrologic Engineering. ASCE, vol. 4, No. 3, p. 232-239, 1999.
- 54 TUCCI, Carlos E. M. Hidrologia - Ciência e aplicação. Porto Alegre: UFRGS, 1993a.
- 55 TUCCI, Carlos E. M. Avaliação do efeito de Foz do Areais sobre as enchentes em União da Vitória/Porto Vitória: CORPRERI, 1993b.
- 56 TUCCI, C. E. M., VILLANUEVA, A. O. N. Controle de enchentes das cidades de União da Vitória e Porto União. CORPRERI, 1997

- 57 TUCCI, Carlos E. M. Modelos hidrológicos. Porto Alegre: UFRGS, 1998.
- 58 TUNG, Yeou-Koung. River flood routing by nonlinear Muskingum method. Journal of Hydraulic Engineering. ASCE, vol. 111, No. 12, p. 1447-1460, 1985.
- 59 VIESSMAN, W. Jr.; et al.. Introduction to hydrology. New York: IEP, 1977.
- 60 WASSERMAN, P. D. Advanced methods in neural computing. Van Nostrand Reinhold, New York, N. Y., 1993.
- 61 WERBOS, P. Beyond regression: new tools for prediction and analysis in the behavioral sciences. Ph.D. Dissertation. Harvard University. 1974.
- 62 WIDROW, B.; HOFF, M. Adaptive switching circuits. 1960 Wescon Convention Record: Part 4. p. 96-104, 1960.
- 63 WOOLHISER, M. H.; LIGGETT, J. A. Unsteady one-dimensional flow over a plane: the rising hydrograph. Water Resources Research. Vol. 3, No. 3, p. 753-771, 1967.