

Propagação de Enchentes em Reservatórios - Método Direto

Valter Hernandez

Faculdade de Engenharia Civil - UNICAMP

hernandez@fec.unicamp.br

Recebido: 20/06/06 - Revisado: 28/11/06 - Aceito: 12/04/07

RESUMO

Este artigo propõe um método de cálculo para a propagação de uma enchente em um reservatório, como alternativa ao método clássico de Puls. O método proposto é mais simples que o de Puls, inclusive em termos didáticos, e suficientemente preciso. Ele se aproveita das facilidades computacionais hoje existentes, que, de uma maneira geral, podem permitir a substituição de metodologias tradicionais.

Palavras-chave: propagação de enchentes, reservatórios, método de Puls, método direto.

INTRODUÇÃO

O problema da propagação de enchentes em reservatórios, ou seja, dada uma enchente afluente a um reservatório, obter a correspondente enchente efluente, é uma questão rotineira, que surge com muita frequência em projetos e pesquisas em recursos hídricos.

Pela interdependência entre o volume armazenado e a vazão efluente, a solução clássica tradicional, derivada de concepções estabelecidas quando não haviam recursos computacionais, se baseia em curvas auxiliares, que se prestam bem a métodos gráficos.

A forma amplamente difundida na bibliografia deve-se ao trabalho de L.G.Puls (Puls, 1928, 1947), divulgado posteriormente de forma mais ampla como método de Puls modificado (Butler, 1957).

Na bibliografia posterior ele ora é citado como método de Puls, ora como Puls modificado, ou mesmo sem nome algum. No item a seguir é analisada a diferença entre estas duas formas.

Chow et al. (1988) descreve o método, com solução gráfica ou por interpolação tabular. Apresenta vários tipos de descarregador, como vertedor livre, com comportas, tulipa e bueiro submerso. Tucci (1993) estudando o escoamento em reservatório em regime não-permanente, pondera que o escoamento em reservatórios se caracteriza por linha de água horizontal, grande profundidade e baixa velocidade, de modo que os termos dinâmicos

do escoamento podem ser desprezados, e, nessas condições, pode ser aplicado o método de Puls, que é descrito para vertedores e descarregadores de fundo. Caso a linha de água não possa ser considerada horizontal, a metodologia não poderá ser aplicada, devendo-se recorrer a outros métodos como modelos hidrodinâmicos.

Tucci e Genz (1995) aplicam o método no estudo do controle do impacto da urbanização através de bacias de detenção. McCuen (1998) faz uma longa análise do problema de propagação de enchentes em reservatórios (flood routing) considerando diferentes tipos de órgãos de descarga do reservatório e apresenta as duas formas do método: Puls e Puls modificado. Tomaz (2002), apresenta o método de Puls modificado e sua aplicação para um caso combinado de vertedor e orifício no dimensionamento do reservatório de detenção (piscinão) do Pacaembu em São Paulo. Canholi (2005) estudando o controle de inundações urbanas, apresenta o método de Puls e considera diferentes estruturas de saída de bacias de detenção, com exemplos de aplicação.

Porto (1989) apresenta um método gráfico simplificado para o estudo de atenuação de picos em bacias de detenção. É interessante observar que esse é o único trabalho sobre o assunto até hoje apresentado na revista da ABRH.

O que se verifica é que para solução do problema de propagação de enchentes em reservatórios, a bibliografia mais difundida apresenta unicamente esse método, com pequenas variações na forma de aplicação.

Quanto ao intervalo de tempo de discretização da aplicação do método, Δt , Chow et al. (1988) recomenda que seja o mesmo do hidrograma afluente. McCuen (1998) pondera que ao se tomar valores médios da vazão afluente em cada intervalo, está sendo admitida a linearidade nesse intervalo. Assim, o Δt deve ser suficientemente pequeno para que essa hipótese não seja violada, particularmente na região do pico.

Assim, esta forma de solução ainda subsiste, e, embora também possa ser programada em computador, é desnecessariamente complicada. O objetivo deste trabalho é a apresentação de um método, que pode ser chamado de método direto, de mais simples concepção utilização e de fácil entendimento, inclusive em termos didáticos. Ambos foram aplicados a um conjunto de dados reais relativos à barragem e reservatório do Médio Capivari (projeto original), no rio Capivari-Monos, bacia litorânea no Estado de São Paulo. A enchente utilizada foi a que ocorreu em janeiro de 1973. Os dados estão apresentados no item relativo à aplicação do método.

Embora o problema analisado e a aplicação feita se refiram ao caso de um vertedor livre de soleira espessa, os métodos apresentados podem ser utilizados para outros tipos de descarregadores.

COLOCAÇÃO DO PROBLEMA

Considere-se inicialmente como órgão de descarga um vertedor livre, de determinado tipo e dimensões, de modo que sua capacidade de descarga dependa apenas do nível do reservatório.

Considerando um intervalo de tempo Δt , as variáveis envolvidas são:

- $QA(t)$, $QA(t+\Delta t)$: Vazões afluentes, respectivamente, no início e fim do intervalo Δt ;
- $QE(t)$, $QE(t+\Delta t)$: Vazões efluentes, respectivamente, no início e fim do intervalo Δt ;
- $VR(t)$, $VR(t+\Delta t)$: Volumes armazenados no reservatório, respectivamente, no início e fim do intervalo Δt .

Ao estudar cada intervalo, são conhecidas: $QA(t)$, $QA(t+\Delta t)$, $QE(t)$ e $VR(t)$. Devem ser deter-

minadas: $QE(t+\Delta t)$ e $VR(t+\Delta t)$. Assim, são necessárias duas equações.

A primeira é a equação da conservação da massa, ou da continuidade. Ela pode ser colocada da seguinte forma:

$$QA(t) - QE(t) = VR(t) / \Delta t \quad (1)$$

Adotando um Δt suficientemente pequeno de modo que ao longo dele possam ser considerados comportamentos lineares das variáveis, ou seja, possam ser tomados valores médios no intervalo, pode-se escrever:

$$[QA(t) + QA(t+\Delta t)]/2 - [QE(t) + QE(t+\Delta t)]/2 = [VR(t+\Delta t) - VR(t)]/\Delta t \quad (2)$$

A segunda equação é a relação entre o volume armazenado no reservatório em certo instante e a correspondente descarga dele efluente. O volume do reservatório depende do seu nível. Admitindo que a vazão efluente também dependa apenas desse nível, a relação entre estas duas variáveis derivará de como VR e QE se relacionam com o nível d'água, surgindo daí a relação entre elas.

A relação entre VR e a cota do nível do reservatório, H , chamada de curva cota-volume, pode ser expressa da seguinte forma:

$$VR = a.(H - H_f)^b \quad (3)$$

a , b : coeficientes que caracterizam a topografia da região do reservatório

H_f : cota do fundo do reservatório

Os coeficientes a e b são determinados através de um ajuste matemático ao conjunto de pontos (H, VR) obtidos com o levantamento topográfico. Assim, a precisão do ajuste fica condicionada à precisão do levantamento.

Admitindo que a vazão efluente seja função apenas do nível do reservatório, a curva de descarga do vertedor livre retangular pode ser expressa da seguinte forma:

$$QE = C. L. (H - H_c)^{1.5} \quad H_c \leq H \quad (4)$$

C : coeficiente próprio do vertedor, admitido constante

L : largura do vertedor

H_c : Cota da soleira do vertedor

Para outros casos, como vertedor tulipa, vertedor com comportas, descarregadores de fundo, basta alterar devidamente a expressão (4), mas mantendo a variável H.

MÉTODO DE PULS

Os termos da equação 2 podem ser rearranjados de modo que os termos com variáveis a determinar fiquem no lado esquerdo:

$$VR(t+\Delta t) + QE(t+\Delta t) \cdot \Delta t / 2 = [QA(t) + QA(t+\Delta t)] \cdot \Delta t / 2 + [VR(t) - [QE(t) \cdot \Delta t / 2]] \quad (5)$$

No método de Puls (Puls, 1928; Butler, 1957), esse termo é tabelado antes do processamento da propagação da enchente, como um termo auxiliar, TA, chamado de função volume-vazão efluente. De modo genérico, ele é definido como:

$$TA = [VR + QE \cdot \Delta t / 2] \quad (6)$$

Dados os coeficientes das expressões 3 e 4, é estabelecido um conjunto de valores de VR, que cubra toda a gama de valores de VR necessários. Para cada VR, com a equação 3, determina-se o respectivo nível H. Com H, na equação 4, obtém-se QE. Com VR e QE calcula-se TA pela equação 6, tabelando-se então a função $VR = F(TA)$. Pode ser usada uma equação que se ajuste aos valores da tabela, mas é necessário cuidado, utilizando diferentes equações para representar a relação, pois embora o ajuste de modo geral possa ser bom, diferenças, principalmente na parte baixa, podem levar a grandes imprecisões e mesmo valores de vazão efluente negativos, dada a diferença de grandeza entre o volume e as vazões.

Para efetuar a propagação da enchente, devem ser estabelecidos: Δt , H, VR e QE iniciais, conhecer os coeficientes das expressões 3 e 4, e a tabela do hidrograma afluente, discretizado em intervalos iguais a Δt .

Com estes elementos, e considerando uma cota inicial $H = H_c$, a cada intervalo de tempo entre t e $t+\Delta t$, é seguido o procedimento:

- Determina-se $[QA(t) + QA(t+\Delta t) \cdot \Delta t] / 2$
- Determina-se $[VR(t) - [QE(t) \cdot \Delta t / 2]]$

- Com a) e b) e a equação 5 determina-se $TA = [VR(t+\Delta t) + QE(t+\Delta t) \cdot \Delta t] / 2$
- Com o valor calculado em c), e usando a tabela da função F, obtém-se $VR(t+\Delta t)$
- Usando os valores calculados em c) e d), obtém-se $QE(t+\Delta t)$

O processo segue repetidamente até o fim da tabela do hidrograma afluente.

Cabe observar que os cálculos podem ser feitos de duas formas: utilizando um balanço de volumes, como feito aqui, ou utilizando um balanço de vazões, bastando para isso dividir todos os termos da equação (5) por Δt . Esta diferença originou as duas formas de referência ao método: de Puls ou Puls modificado, a primeira quando se utiliza volumes e a segunda quando as equações são expressas em termos de vazão. Como a diferença é irrelevante, adotou-se neste trabalho apenas o nome de método de Puls.

MÉTODO DIRETO

Na aplicação da equação da continuidade, equação 2, tomam-se valores médios no intervalo Δt , ou seja, admite-se uma variação linear de QA e de QE ao longo desse intervalo. Assim sendo, como as funções não são lineares, a precisão do método fica condicionada à grandeza do intervalo Δt adotado. Para uma boa precisão ele deverá ser pequeno. Por outro lado, a necessidade do uso de uma função auxiliar prende-se ao fato que VR e QE variam simultaneamente, de modo que se procura um valor representativo de VR para determinar o correspondente QE.

Considerando as facilidades computacionais que se tem à disposição, torna-se desnecessário o uso de uma função auxiliar como no método de Puls, descrito. Pode-se utilizar um Δt tão pequeno quanto se queira, de modo que a cota no início de cada intervalo possa ser considerada como representativa de todo o intervalo. Assim, pode ser adotado o VR do início do intervalo para calcular diretamente QE. A vazão afluente pode ser tomada como a média no intervalo, dado que se admite conhecido todo o hidrograma afluente.

Desta forma, o cálculo fica simples e direto, sem necessidade de funções auxiliares, e de mais fácil entendimento, inclusive para fins didáticos. É o que se pode chamar de método direto.

Uma vez discretizado o hidrograma afluente em intervalos Δt , e partindo de valores iniciais de VR e de QE, a cada intervalo os passos serão:

- Com VR(t) é determinado o nível H;
- Com H, na equação 4, determina-se QE
- Com QA e QE, é feito o balanço:

$$VR(t+\Delta t) = VR(t) + (QA - QE) \cdot \Delta t \quad (7)$$

Repetem-se os passos até o fim do hidrograma afluente.

ANÁLISE COMPARATIVA

Partindo de uma condição inicial igual para os dois métodos, pode-se fazer a análise pela comparação dos resultados do método de Puls aplicado em um intervalo de tempo T e do método direto, aplicado em um intervalo de tempo Δt , submúltiplo de T, de modo que:

$$m = T/\Delta t \quad (8)$$

A figura 1 ilustra a os intervalos de tempo considerados.

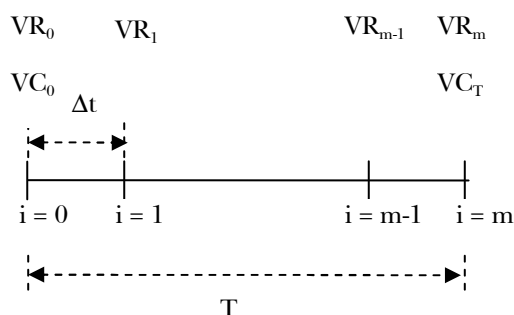


Figura 1 - Esquema da relação entre os intervalos de tempo

Considerando o método de Puls como a referência, pode-se procurar a diferença em relação a ele decorrente da aplicação do método direto. Assim, a diferença será dado por:

$$\varepsilon = VR_m - VC_T \quad (9)$$

onde:

VR_m: Volume no reservatório ao final do intervalo m, obtido pelo método direto

VC_T: Volume no reservatório ao final do intervalo m, obtido pelo método de Puls

As relações estabelecidas nas equações 3 e 4, podem ser colocadas utilizando a soleira do vertedor como referência para o nível do reservatório, NA:

$$VC = q \cdot NA^r \quad (10)$$

$$QE = u \cdot NA^v \quad (11)$$

onde q, r, u, e v são constantes próprias da topografia do reservatório e das características do vertedor.

Compondo-se as expressões 10 e 11, chega-se a:

$$QE = K \cdot VC^p \quad (12)$$

onde: $p = v/r$ e $K = u/q^p$

Aplicando a equação 5 para o intervalo T, e usando a equação 12, com QA constante, obtém-se:

$$VC_T + K \cdot (VC_T^p/2) \cdot T = QA \cdot T + VC_0 - K \cdot (VC_0^p/2) \cdot T \quad (13)$$

VC₀^p: conforme figura 1.

Para $m = 1$, isto é, $\Delta t = T$, aplicando a equação 7, obtém-se:

$$VR_m - VR_0 = QA \cdot T - KVR_0^p \cdot T \quad (14)$$

VR₀^p: conforme figura 1.

Fazendo a diferença entre as expressões 14 e 13, considerando que $VR_0 = VC_0$ e simplificando, chega-se à diferença:

$$\varepsilon = KT [(VC_0^p + VC_T^p)/2 - VR_0^p] \quad (15)$$

Para $m = 2$, $\Delta t = T/2$. Neste caso, chega-se a:

$$\varepsilon = KT [(VC_0^p + VC_T^p)/2 - (VR_0^p + VR_1^p)/2] \quad (16)$$

Para $m = 3$, $\Delta t = T/3$. Neste caso, chega-se a:

$$\varepsilon = KT [(VC_0^p + VC_T^p)/2 - (VR_0^p + VR_1^p + VR_2^p)/3] \quad (17)$$

De uma forma genérica:

$$\varepsilon = KT[(VC_0^p + VC_T^p)/2 - (\sum_{j=0}^{m-1} VR_j^p)/m] \quad (18)$$

Observar que no termo entre colchetes, o que se apresenta é uma diferença entre duas médias: a primeira entre os estados extremos, 0 e T, obtidos pelo método de Puls, e a segunda referente ao conjunto de estados, até o estado m-1, obtidos pelo método direto. Como seria de se esperar, verifica-se que, na medida em que m cresce, a diferença ε tende a zero.

Desta forma, basta escolher um valor de Δt suficientemente pequeno para que se tenha com o método direto um resultado com uma precisão adequada, ou seja, igual àquela que se teria com o uso do método de Puls.

Na aplicação do método de Puls, o T é determinado pela análise do hidrograma afluente, tomando um intervalo de modo que ao longo dele se possa considerar uma variação linear da vazão afluente. Obedecido este critério, basta subdividir este intervalo T, convenientemente, em intervalos Δt , e aplicar o método direto. Caso se deseje uma melhor noção da precisão, pode ser feita uma análise de sensibilidade reduzindo ainda mais o Δt adotado e verificando a variação dos resultados.

coeficientes das equações 3 e 4 os valores do projeto Capivari:

$$a = 0,013$$

$$C = 1,7$$

$$H_c = 738,50m$$

$$H \text{ na chegada da enchente} = 738,50m$$

Tabela 1 - Hidrograma da enchente afluente

tempo (h)	vazão (m³/s)	tempo (h)	vazão (m³/s)
0	6,00	36	84,7
2	7,70	38	77,6
4	11,30	40	71,2
6	20,20	42	65,2
8	37,90	44	61,6
10	63,00	46	48,6
12	94,80	48	56,3
14	101,40	50	39,5
16	115,00	52	33,2
18	140,30	54	27,9
20	156	56	23,7
22	130	58	19,6
24	125	60	16,2
26	119,9	62	13,6
28	117	64	11,8
30	110,8	66	10,9
32	107,3	68	9,5
34	94,8	70	9

APLICAÇÃO

Inicialmente, utilizando-se os dados abaixo relacionados, relativos ao aproveitamento no rio Capivari (coeficientes e tabela 1), foi feita uma análise do comportamento da diferença conforme se varia o intervalo de tempo Δt . A figura 2 apresenta os resultados obtidos. Fica clara a diminuição de ε conforme se reduz Δt , ou seja, se aumenta m, de acordo com o previsto na equação 18.

A seguir, tomando a mesma enchente afluente apresentada na tabela 1, os dois métodos em análise foram aplicados para vários casos combinando diferentes grandezas do volume do reservatório e da capacidade do vertedor. Isto foi feito variando o expoente b da equação da relação cota-volume do reservatório, a cota de fundo do reservatório, H_f e a largura L do vertedor, conforme se apresenta na tabela 2. Em todos os casos, considerou-se, para os

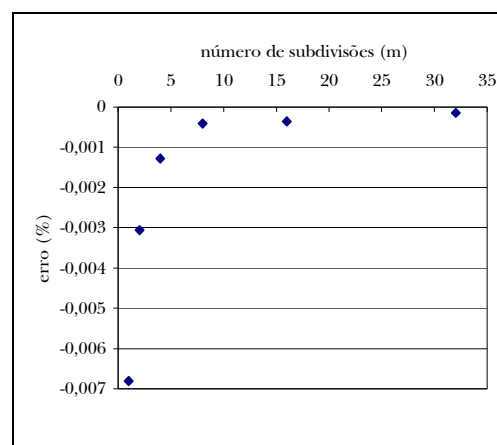


Figura 2 - Variação da diferença com m

Os casos A, B e C correspondem a um reservatório de maiores dimensões, enquanto que os

casos D, E e F consideram um reservatório menor, cujas características estão indicadas na tabela 2. Em cada caso foram analisados os seguintes intervalos de tempo Δt : 2h, 1h, 30min, 15min e 5min.

Tabela 2 - Coeficientes para cada caso estudado

Caso	b	H_f (m)	L (m)
A	2,6	700,00	20
B	2,6	700,00	50
C	2,6	700,00	200
D	2,0	720,00	20
E	2,0	720,00	50
F	2,0	720,00	200

As tabelas 3 a 8 apresentam os resultados obtidos.

Como referência para a análise de resultados foram tomadas as variáveis: $Q_{Em\acute{a}x}$ e $H_{m\acute{a}x}$, que são os valores máximos de vazão efluente e nível de água, respectivamente, atingidos no correspondente processamento.

Tabela 3 - Resultados dos processamentos com largura de vertedor = 20m - Caso A

Intervalo de tempo Δt	Caso A (reservatório maior)			
	$Q_{Em\acute{a}x}$ (m ³ /s)		$H_{m\acute{a}x}$ (m)	
	Puls	Direto	Puls	Direto
2h	34,12	34,60	739,50	739,51
1h	34,12	34,36	739,50	739,51
30min	34,12	34,24	739,50	739,50
15min	34,12	34,18	739,50	739,50
5min	34,12	34,14	739,50	739,50

Tabela 4 - Resultados dos processamentos com largura de vertedor = 50m - Caso B

Intervalo de tempo Δt	Caso B (reservatório maior)			
	$Q_{Em\acute{a}x}$ (m ³ /s)		$H_{m\acute{a}x}$ (m)	
	Puls	Direto	Puls	Direto
2h	58,96	60,22	739,28	739,29
1h	58,95	59,58	739,28	739,29
30min	58,97	59,27	739,28	739,29
15min	58,97	59,12	739,28	739,29
5min	58,97	59,02	739,28	739,28

Tabela 5 - Resultados dos processamentos com largura de vertedor = 200m - caso C

Intervalo de tempo Δt	Caso C (reservatório maior)			
	$Q_{Em\acute{a}x}$ (m ³ /s)		$H_{m\acute{a}x}$ (m)	
	Puls	Direto	Puls	Direto
2h	101,28	104,74	738,95	738,96
1h	101,52	103,09	738,95	738,95
30min	101,50	102,29	738,95	738,95
15min	101,50	101,89	738,95	738,95
5min	101,50	101,63	738,95	738,95

Tabela 6 - Resultados dos processamentos com largura de vertedor = 20m - caso D

Intervalo de tempo Δt	Caso D (reservatório menor)			
	$Q_{Em\acute{a}x}$ (m ³ /s)		$H_{m\acute{a}x}$ (m)	
	Puls	Direto	Puls	Direto
2h	141,76	149,58	741,09	741,18
1h	143,32	146,95	741,11	741,15
30min	143,06	144,91	741,11	741,13
15min	143,00	143,94	741,11	741,12
5min	142,98	143,30	741,11	741,11

Tabela 7 - Resultados dos processamentos com largura de vertedor = 50m - caso E

Intervalo de tempo Δt	Caso E (reservatório menor)			
	$Q_{Em\acute{a}x}$ (m ³ /s)		$H_{m\acute{a}x}$ (m)	
	Puls	Direto	Puls	Direto
2h	148,59	155,02	739,95	739,99
1h	149,07	152,56	739,95	739,98
30min	150,01	151,64	739,96	739,97
15min	149,88	150,72	739,96	739,97
5min	149,85	150,14	739,96	739,96

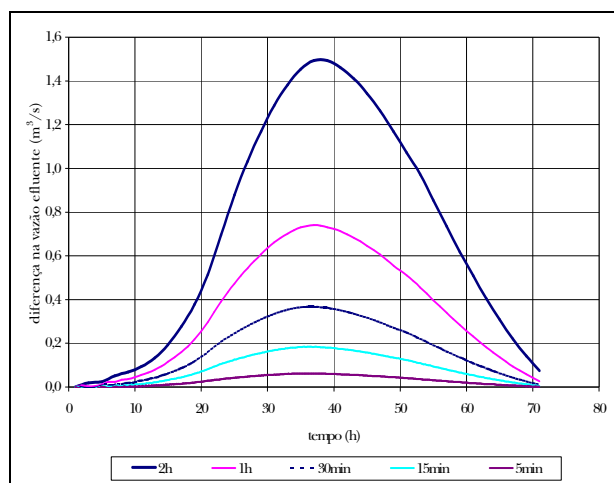
Os resultados mostram que, em todos os casos, há uma convergência dos resultados do método direto para aqueles do método Puls. As diferenças entre os dois métodos são tanto menores quanto maior o reservatório e quanto menor o vertedor, ou seja, elas são tanto menores quanto maior o grau de amortecimento da enchente. Nos casos analisados, o amortecimento do pico foi da ordem de 78% para L = 20m, de 62% para L = 50m e de 35% para L = 200m, para o reservatório de maiores dimensões, e, respectivamente, 8%, 4% e 1,3% para o reservatório menor.

Tabela 8 - Resultados dos processamentos com largura de vertedor = 200m - caso F

Intervalo de tempo Δt	Caso F (reservatório menor)			
	QE _{máx} (m ³ /s)		H _{máx} (m)	
	Puls	Direto	Puls	Direto
2h	154,20	—*	739,09	—
1h	153,17	—	739,09	—
30min	153,21	155,19	739,09	739,09
15min	153,82	154,33	739,09	739,09
5min	153,83	154,09	739,09	739,09

(*): Resultados desprezados em vista da relação entre as grandezas do intervalo de tempo, do volume do reservatório e do vertedor.

A figura 3 mostra o comportamento da diferença do volume de água no reservatório entre os dois métodos, ao longo do processamento do caso B, tomado como exemplo.

**Figura 3 - Comportamento das diferenças entre os dois métodos****Tabela 9 - Máximas diferenças na vazão máxima efluente entre os dois métodos**

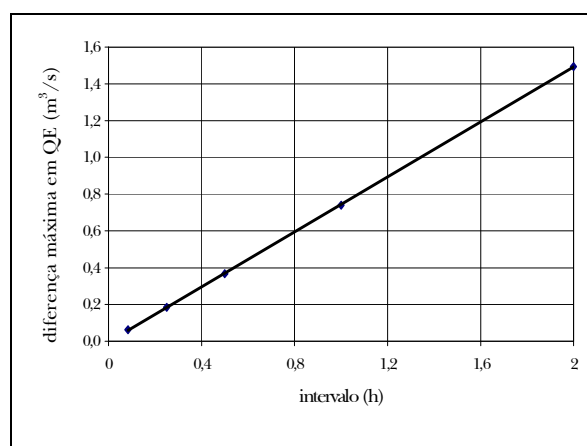
intervalo		diferença máxima em QE	
(h)	fração de 2h	(m ³ /s)	(%)
2h	2	1,493	2,827
1h	1	0,740	1,369
30min	0,5	0,369	0,682
15min	0,25	0,184	0,341
5min	0,833	0,062	0,120

Nas tabelas anteriores, as comparações foram feitas para o pico da enchente. Para analisar todo o hidrograma, para o mesmo caso B, a tabela 9 mostra o comportamento da maior diferença na vazão efluente, ao longo de cada processamento.

A figura 4 mostra o comportamento das diferenças em vazão efluente, conforme o intervalo de tempo. Fica claro que há uma redução praticamente linear dessas diferenças conforme decresce o intervalo de tempo. O mesmo ocorre quando se considera a redução em termos percentuais.

Assim, para aplicação do método, basta, como no método de Puls, verificar o intervalo de tempo aceitável para se admitir linearidade em cada intervalo do hidrograma afluente, especialmente na região do pico. Conforme análises feitas, tomando um intervalo cerca de 10 vezes menor do que este, o método direto poderá ser aplicado, decorrendo diferenças menores do que 1% em relação ao método de Puls.

Como seria de se esperar, análises feitas utilizando como vazão afluente no intervalo, não a média, mas o valor no início do intervalo, mostraram resultados semelhantes àqueles das análises descritas quando se reduz a duração do intervalo de tempo.

**Figura 4 - Redução da diferença máxima em QE**

CONCLUSÕES

A propagação de enchentes em reservatórios é um problema rotineiro, e a solução apresentada na literatura já há muito tempo, utiliza curvas auxiliares para contornar o fato de haver uma de-

pendência entre a vazão efluente e o volume armazenado no reservatório.

Estas curvas se originaram quando era necessária a utilização de métodos gráficos, haja vista as limitações computacionais da época. Entretanto, atualmente, essas limitações praticamente não existem, de modo que podem ser usados métodos mais simples e de fácil entendimento, inclusive para fins didáticos. Observar que em ambos os métodos é necessário igualmente o ajuste de uma curva aos dados de levantamento da curva cota-volume.

A aplicação feita, a um caso prático, com dados reais, mostrou que, na medida em que se reduz o intervalo de tempo de discretização do processamento, a diferença entre os resultados com aplicação da metodologia tradicional, ou clássica, e aqueles obtidos com o método aqui chamado de direto, se reduz a valores insignificantes, de modo que este último método pode ser usado em substituição ao método de Puls.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece aos revisores pela atenta análise e valiosas sugestões apresentadas.

REFERÊNCIAS

- BUTLER, S.S. (1957). *Engineering Hydrology*, Prentice-Hall, N.J.
- CANHOLI, A.P. (2005). *Drenagem urbana e controle de enchentes*. Oficina de Textos. São Paulo.
- CHOW, V.T., MAIDMENT, D.R., MAYS, L.W. (1988). *Applied Hydrology*. McGraw-Hill, Singapore.
- McCUEN, R.H. (1998). *Hydrologic analysis and design*. 2.ed. New Jersey: Prentice Hall.
- PORTO, R.M. (1989). *Atenuação de vazões de pico em bacias de retenção*. Revista Brasileira de Engenharia - Caderno de Recursos Hídricos. Vol7. No 2
- PULS, L.G. (1928). *Flood Regulation of the Tennessee River*. House Document, N. 185, 70th Congress, 1st Session, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 1928, pt.2, appendix B.
- PULS, L.G. (1947). *Bureau of Reclamation Manual, Vol.IV, Water Studies*, Section 6.10. U.S. Department of the Interior, Denver.
- TOMAZ, P. (2002). *Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais*. Navegar, São Paulo.
- TUCCI, C.E.M. (1993). *Escoamento em rios e reservatórios*, in: Tucci, C.E.M (org). *Hidrologia ciência e aplicação*. cap. 12. Ed. da Universidade. ABRH. Porto Alegre.
- TUCCI, C.E.M. ; GENZ, F. (1995). *Controle do impacto da urbanização*, in: Tucci, C.E.M., Porto, R.L.L., BARROS, M.T. (orgs). *Drenagem Urbana*. cap. 7. Ed. da Universidade. ABRH. Porto Alegre.

Flood Routing In Reservoirs – Direct Method

ABSTRACT

This paper proposes a new reservoir flood routing method as an alternative to the classic Puls method. The proposed methodology is simpler than the Puls method and sufficiently precise. It uses the currently available computational facilities, which, in general, allow the substitution of traditional methodologies.

Key-words: flood routing, reservoirs, Puls method, direct method.