

# EMPREGO DE FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS NA DETERMINAÇÃO DE CHUVAS INTENSAS: UM INSTRUMENTO ADICIONAL PARA O ENSINO DE HIDROLOGIA

Pedro Henrique Carneiro<sup>1</sup>; David Duarte Gandhi Martinz<sup>2</sup>;  
Ticiania Marinho de Carvalho Studart<sup>3</sup> & José Nilson Beserra Campos<sup>3</sup>

**Resumo** - O presente trabalho apresenta uma ferramenta computacional para o cálculo de chuvas intensas no Brasil, desenvolvido no Microsoft Excel, com interface em Delphi. O programa adota três dos métodos mais abordados nas disciplinas de Hidrologia nos cursos de Engenharia Civil: equações de chuva, o Método de Otto Pfafstetter e o Método das Isozonas. O objetivo principal é criar uma ferramenta de fácil manuseio e que auxilie o estudante a entender a relação intensidade  $\times$  duração  $\times$  frequência face a alterações nos parâmetros de entrada de cada método.

**Abstract** - The present paper shows a computational tool to calculate intense precipitation in Brazil. This software was developed in Microsoft Excel, with a Delphi interface. It includes three of the most common methodologies in this field, adopted in Hydrology courses in Civil Engineering: rainfall equations, Otto Pfafstetter Method and Isozones Method. The main objective is help the student to understand the intensity  $\times$  duration  $\times$  frequency relation by changing the input parameters of each method.

**Palavras-Chave** - precipitação intensa, chuvas intensas, ferramenta de ensino

## INTRODUÇÃO

O dimensionamento de estruturas hidráulicas — sistemas de drenagem, galerias pluviais e vertedores de barragens — requer a determinação da *cheia de projeto*, ou seja, a cheia máxima para qual a estrutura é projetada. A sua determinação baseia-se em uma série de registros anteriores de deflúvio naquela seção e, posteriormente, no ajustamento a uma distribuição de probabilidades conhecida e a determinação da vazão máxima para um dado período de retorno. A eficácia deste método, entretanto, depende, em grande parte, da estabilidade das características principais do regime

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Civil. Universidade Federal do Ceará. E-mail: pedro.carneiro@uol.com.br

<sup>2</sup> Mestrando em Recursos Hídricos. Universidade Federal do Ceará. E-mail: david@baydenet.com.br

<sup>3</sup> Professores do Departamento de Eng<sup>a</sup> Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará. Campus do Pici - Centro de Tecnologia - Bloco 713 - Fortaleza - Ceará - Brasil - CEP 60.451-970 - Fone: (085) 288.9623 - Fax: (085) 288.9627 - E-mail: nilson@ufc.br e ticiania@ufc.br

do curso d'água. A insuficiência de medição sistemática de defluxos na área em estudo impossibilita, muitas vezes, o emprego deste método.

Dada a maior facilidade de obtenção de séries de dados de precipitação de longa duração e à possibilidade de correlacionar chuvas e vazões, procura-se determinar a *chuva de projeto*, sendo assim de fundamental importância o estudo das *chuvas intensas*. As chuvas intensas são definidas como aquelas de maiores intensidades observadas para uma dada duração, sendo a duração crítica aquela que coincide com o tempo de concentração da bacia. A utilização prática desses dados requer que se estabeleça uma relação entre as grandezas características da precipitação, quais sejam, intensidade ( $i$ ), duração ( $t$ ) e frequência ( $f$ ). A frequência da ocorrência da *chuva de projeto* é traduzida pelo período de retorno ( $T_r$ ) adotado.

Muitos são os métodos disponíveis para a determinação das chuvas intensas. Equações de chuva, o Método de Otto Pfafstetter e o Método das Isozonas são três dos métodos mais abordados nas disciplinas de Hidrologia nos cursos de Engenharia Civil. Muitas vezes o aluno, no entanto, ao se envolver em demasia com os diversos parâmetros de entrada ou com os ábacos utilizados para a consecução do método, perde a sensibilidade de avaliação do que realmente interessa: o comportamento da chuva face a alterações em sua duração e em seu período de retorno. Sendo assim o presente trabalho descreve o programa *Pluvia*, cujo objetivo é automatizar os cálculos das chuvas intensas pelos três métodos citados e servir de ferramenta didática para o entendimento do processo.

## O PROGRAMA PLUVIA

O programa *Pluvia* foi elaborado em três módulos — um para cada método. Todos os cálculos são efetuados no Microsoft Excel, sendo que há uma interface desenvolvida em Borland Delphi que interage com o primeiro apresentando os dados. A intenção da criação desta interface é tornar o programa mais amigável e simples de ser manuseado, não impedindo o usuário, se assim o desejar, de usar a planilha no Excel. A Figura 1 mostra a tela de apresentação do programa.



Figura 1. Tela inicial do programa *Pluvia*

## Módulo I - Método de Otto Pfafstetter

O trabalho mais significativo no estudo de chuvas intensas no Brasil é, sem dúvida, o de PFAFSTETTER (1982) [1], que analisou registros pluviográficos de 98 postos espalhados pelo território brasileiro, em épocas variadas. Após a análise desses gráficos, o autor observou que as precipitações seguiam o padrão de (1).

$$p = \left( T_r^{\alpha + \frac{\beta}{T_r^\gamma}} \right) [at + b \log(1 + ct)] \quad (1)$$

Onde  $p$  é a precipitação (em mm), o primeiro termo, denominado *fator de probabilidade* ( $K$ ), é função do período de retorno ( $T_r$ ) e o segundo termo é função do município e corresponde à precipitação para o período de retorno de 1 ano. O parâmetro  $\alpha$  é função da duração da chuva ( $t$ ) em h (Tabela 1);  $\beta$  é função de  $t$  e do município;  $\gamma$  é constante e igual a 0,25; e finalmente,  $a$ ,  $b$  e  $c$  variáveis em função do município. A Tabela 2 mostra relação entre os índices  $\beta$ ,  $a$ ,  $b$  e  $c$  dos municípios estudados por PFAFSTETTER (1982) [1] no estado do Ceará.

Tabela 1. Relação entre  $t$  e  $\alpha$  (PFAFSTETTER, 1982) [1]

$t$ (min)	$t$ (h)	$\alpha$
5	0,083	0,108
15	0,25	0,122
30	0,5	0,138
60	1	0,156
120	2	0,166
240	4	0,174
480	8	0,176
840	14	0,174
1.440	24	0,170
2.880	48	0,166
4.320	72	0,160
5.760	96	0,156
8.640	144	0,152

Tabela 2. Relação entre os índices  $\beta$ ,  $a$ ,  $b$  e  $c$  de alguns municípios do Ceará

Município	$\beta$				$a$	$b$	$c$
	$t = 5$ min	$t = 15$ min	$t = 30$ min	$t = 60$ min			
Fortaleza	0,04	0,04	0,08	0,08	0,2	36	20
Guaramiranga	-0,04	0,04	0,08	0,08	0,5	22	20
Quixeramobim	-0,08	0,04	0,08	0,12	0,2	17	60

O Módulo I do programa *Pluvia* tem como dados de entrada o município, o período de retorno (em anos), a duração da chuva (em mm). O programa *Pluvia* faz a busca pelos coeficientes  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $a$ ,  $b$  e  $c$ , associados aos dados de entrada, de tal sorte que a precipitação ( $p_{Pfaf}$ ) é obtida pela simples

resolução de (1). Pela simples alteração do período de retorno e duração da chuva, o aluno pode verificar a sensibilidade do valor da chuva e dos parâmetros da equação aos dados de entrada. Caso o município solicitado não esteja entre os 98 estudados por Pfafstetter, uma mensagem é mostrada. A Figura 2 mostra a tela do Módulo I do programa.

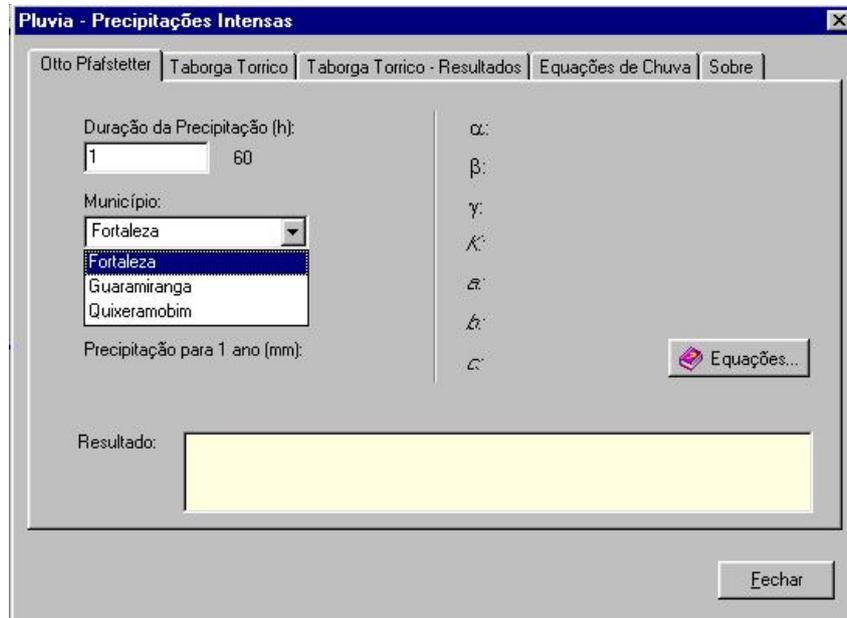


Figura 2. Tela do Módulo I do programa *Pluvia*

O programa gera ainda os gráficos mostrados nas figuras 3 e 4.

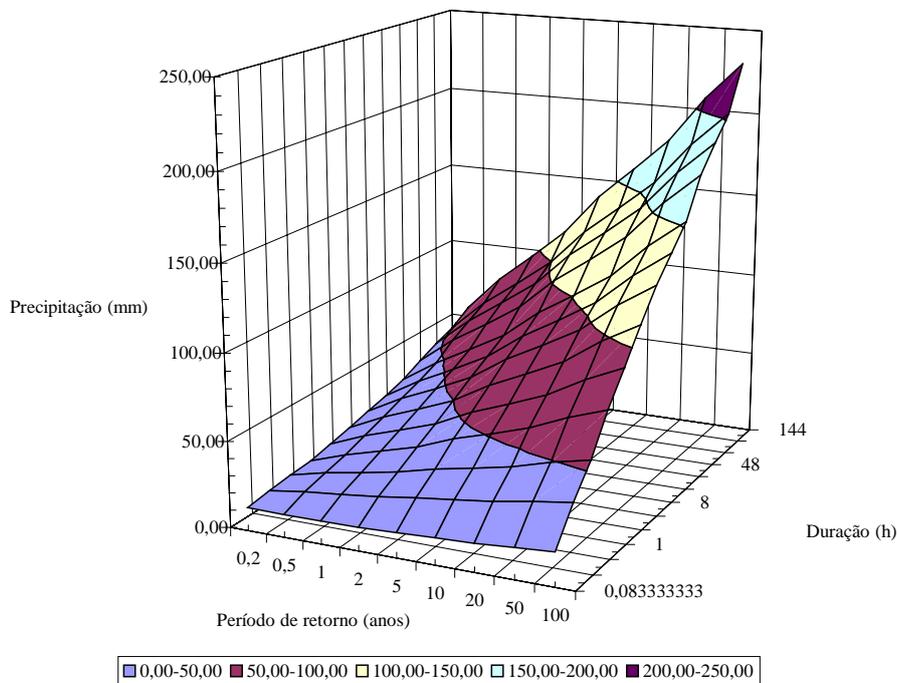


Figura 3. Gráfico da superfície gerada pelos dados de período de retorno, precipitação e duração para um município escolhido, obtido pelo método de Pfafstetter

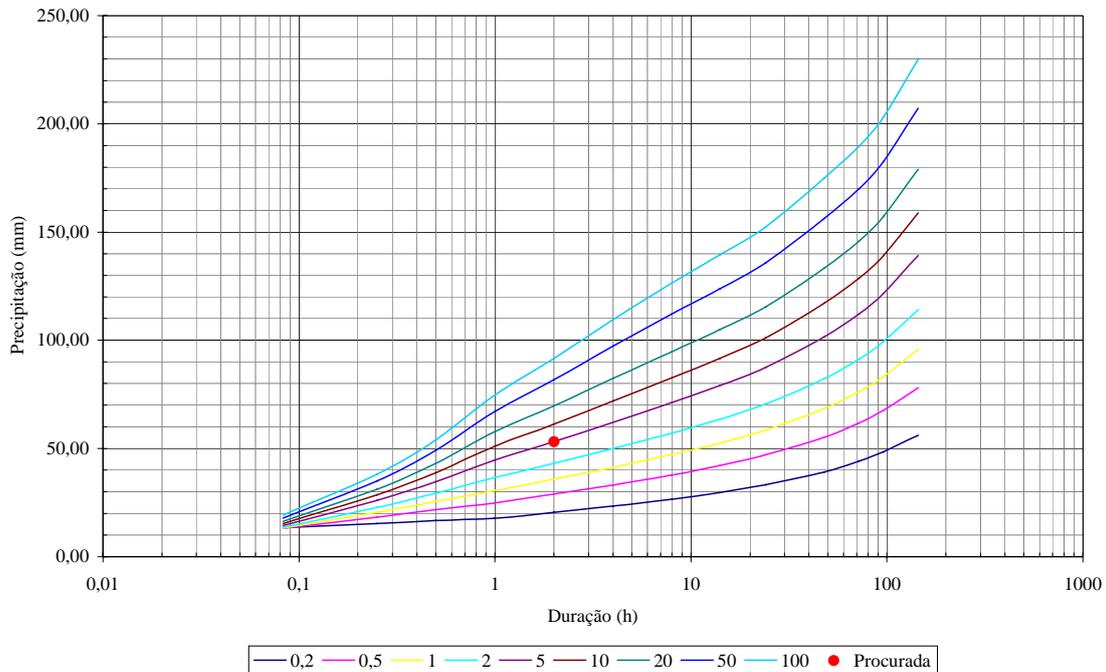


Figura 4. Gráfico duração × precipitação para vários períodos de retorno, obtido pelo método de Pfafstetter

## Módulo II - Método das Isozonas

Como alternativa ao método clássico dos pluviogramas, tem-se o Método das Isozonas (TORRICO, 1974) [2]. Este método utiliza dados de chuvas diárias e, através de um processo de desagregação, transforma para cada período de retorno, a chuva de 1 dia de duração, em chuvas de duração variando de 6 minutos a 24 horas. O método tem por base o uso de "Isozonas", determinadas por TORRICO (1974) [2], nas quais as relações entre as alturas de chuva de 1 hora e 24 horas e 6 minutos e 24 horas são constantes para um dado período de retorno.

A metodologia empregada obedece à seqüência descrita a seguir:

1. Selecionar o posto pluviométrico.
2. Selecionar, para cada ano, o valor da precipitação máxima diária e formar a série de máximos anuais.
3. Ajustar a série de máximos anuais a uma ou mais distribuições de probabilidade e executar, para cada uma delas, o teste do qui-quadrado ( $\chi^2$ ) para verificar a qualidade do ajustamento.
4. Selecionar uma distribuição de probabilidades e estimar, para os períodos de retorno desejados, a chuva intensa de um dia de duração.
5. Transformar a chuva de um dia em chuva de 24 horas de duração através de (2).

$$p_{24\text{ h}} = R_{24\text{ h}} p_{1\text{ dia}} = 1,095 p_{1\text{ dia}} \quad (2)$$

6. Localizar a isozona do posto estudado e extrair da tabela os valores das relações entre a chuva de 24 horas e as chuvas de 1 hora e de 6 minutos, para os períodos de retorno em estudo.

7. Calcular a chuva de 6 minutos de duração, através da multiplicação pelo fator  $R_{6 \text{ min}}$ .

$$p_{6 \text{ min}} = R_{6 \text{ min}} p_{24 \text{ h}} \quad (3)$$

8. Calcular a chuva de 1 hora de duração, através da multiplicação pelo fator  $R_{1 \text{ h}}$ .

$$p_{1 \text{ h}} = R_{1 \text{ h}} p_{24 \text{ h}} \quad (4)$$

9. Conversão da chuva pontual em chuva espacial para toda a região por (5).

$$p_A = p_0 \left( 1 - W \log \left( \frac{A}{A_0} \right) \right) \quad (5)$$

Onde:  $W$  = parâmetro regional;  $p_A$  = precipitação sobre toda a área;  $p_0$  = chuva pontual;  $A$  = área em estudo e  $A_0 = 25 \text{ km}^2$  (área base para chuva pontual).

10. Colocar em gráficos em papel probabilístico próprio, os valores  $p_{24 \text{ h}}$  e  $p_{1 \text{ h}}$ , e  $p_{24 \text{ h}}$  e  $p_{6 \text{ min}}$  e ligá-los através de uma reta para obtenção de chuvas de durações intermediárias.

O programa *Pluvia* efetua os passos 5 a 10 do Método das Isozonas. Os dados de entrada deste módulo são  $p_{1 \text{ dia}}$  e período de retorno desejado (Figura 5). Ao clicar no botão "Mapa" o aluno pode definir, pelas coordenadas geográficas, em que isozona seu município está inserido (Figura 6).

The screenshot shows the 'Pluvia - Precipitações Intensas' software window. It has a menu bar with 'Otto Pfafstetter', 'Taborga Torrico', 'Taborga Torrico - Resultados', 'Equações de Chuva', and 'Sobre'. The main area is divided into two sections: 'Chuva Pontual' and 'Chuva Espacial'. In the 'Chuva Pontual' section, there are input fields for 'Precipitação Máxima de 1 dia (mm)' (159,2), 'Período de Retorno (anos)' (1000 anos), 'Coeficiente de Chuvas 1h/24h (R)' (0,427), 'Município' (Umarizeira), 'Latitude' (-6 7), and 'Longitude' (-45 32). Below these are calculated values: 'Precipitação de 24h (mm): 175,12' and 'Precipitação de 1h (mm): 77,05'. A 'Mapa' button is also present. The 'Chuva Espacial' section has input fields for 'W' (0,22), 'A0 (Km2)' (25), and 'A (Km2)' (397,8). Below these are calculated values: 'Precipitação Espacial de 24h (mm): 128,82' and 'Precipitação Espacial de 1h (mm): 56,68'. A 'Fechar' button is at the bottom right.

Figura 5. Tela do Módulo II do programa *Pluvia*

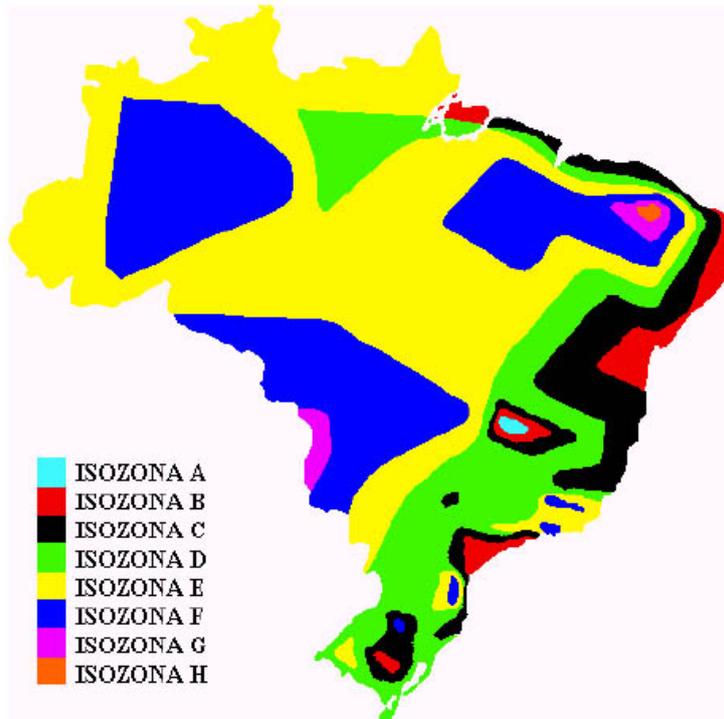


Figura 6. Mapa de isozonas de igual relação (SIMÕES, 2000) [3]

Com a isozona e o período de retorno definidos, o programa *Pluvia* define os fatores  $R_{6 \text{ min}}$  e  $R_{1 \text{ h}}$ , constantes na Tabela 3, a qual identifica zonas de igual relação 1 h / 24 h e 6 min / 24 h.

Tabela 3. Correções para as isozonas de igual relação (TORRICO, 1974)[2]

$T_r$	1 h / 24 h										6 min / 24 h	
	5	10	15	20	25	30	50	100	1.000	10.000	5-50	100
A	36,2	35,8	35,6	35,5	35,4	35,3	35,0	34,7	33,6	32,5	7,0	6,3
B	38,1	37,8	37,5	37,4	37,3	37,2	36,9	36,6	35,4	34,3	8,4	7,5
C	40,1	39,7	39,5	39,3	39,2	39,1	38,8	38,4	37,2	36,0	9,8	8,8
D	42,0	41,6	41,4	41,2	41,1	41,0	40,7	40,3	39,0	37,8	11,2	10,0
E	44,0	43,6	43,3	43,2	43,0	42,9	42,6	42,2	40,9	39,6	12,6	11,2
F	46,0	45,5	45,3	45,1	44,9	44,8	44,5	44,1	42,7	41,3	13,9	12,4
G	47,9	47,4	47,2	47,0	46,8	46,7	46,4	45,9	44,5	43,1	15,4	13,7
H	49,9	49,4	49,1	48,9	48,6	48,6	48,3	47,8	46,3	44,8	16,7	14,9

O Módulo II tem ainda como dados de entrada características da bacia, tais como máximo desnível ao longo do curso d'água ( $H$ ) e comprimento do rio principal ( $L$ ) essenciais ao cálculo do tempo de concentração da bacia ( $t_c$ ) pela Fórmula de Kirpich, publicada no "California Culverts Practice" (6), e o parâmetro regional  $W$  e área da bacia ( $\text{km}^2$ ) para a transformação da chuva pontual em espacial descrita no passo 9 da metodologia.

$$t_c = 57 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (6)$$

Ao se clicar no botão "Gráfico" é mostrada a curva IDF (intensidade × duração × frequência) do posto e as chuvas correspondentes ao tempo de concentração da bacia para o período de retorno selecionado (Figura 7).

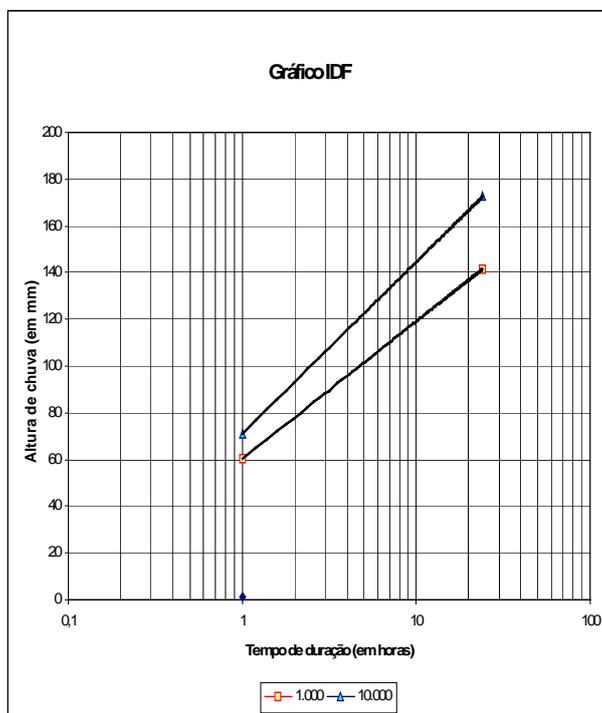


Figura 7. Curva IDF

### Módulo III - Equações de Chuva

O terceiro Módulo adapta a precipitação de importantes cidades (geralmente capitais) a equações do formato semelhante a (7).

$$i = \frac{kT_r^m}{(t + t_0)^n} \tag{7}$$

Onde  $k$ ,  $m$ ,  $t_0$  e  $n$  são parâmetros a determinar, que variam com as séries pluviográficas de cada município, sendo a intensidade ( $i$ ) função ainda do período de retorno ( $T_r$ ) e da duração da chuva ( $t$ ). A Tabela 4 relaciona os parâmetros de alguns municípios brasileiros.

Tabela 4. Relação dos índices  $k$ ,  $m$ ,  $t_0$  e  $n$  de alguns municípios STUDART (2002)[4] e VILLELA, (1975)[5]

Município	$k$	$m$	$t_0$	$n$
Curitiba	1.239,000	0,150	20	0,740
Fortaleza	506,990	0,180	8	0,610
Rio de Janeiro	99,154	0,217	26	1,150
São Paulo	3.462,700	0,172	22	1,025

A Figura 8 apresenta a entrada e saída de dados do Módulo III.

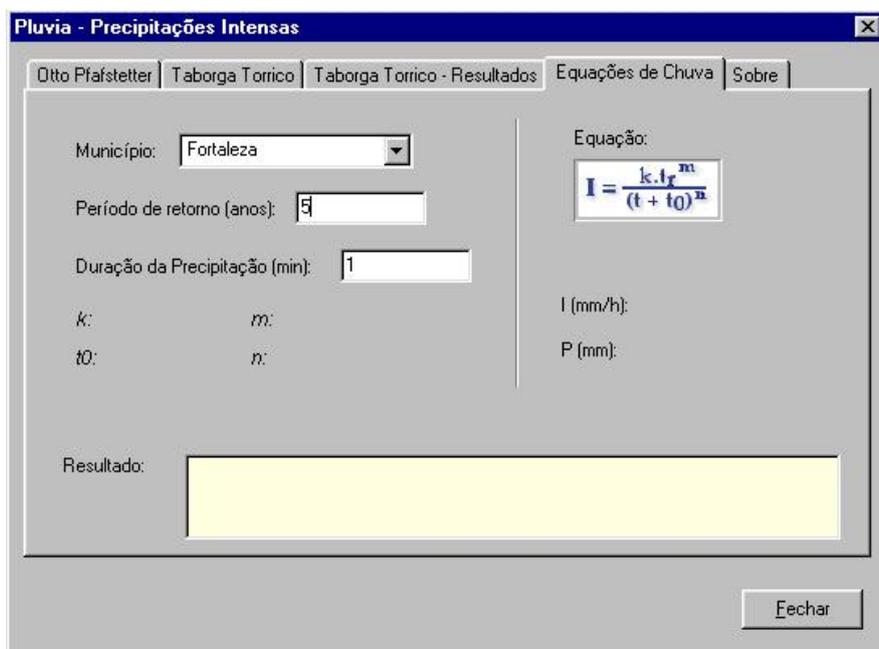


Figura 8. Tela do Módulo III do programa *Pluvia*

A Figura 9 apresenta de forma simplificada as interações do programa *Pluvia*.

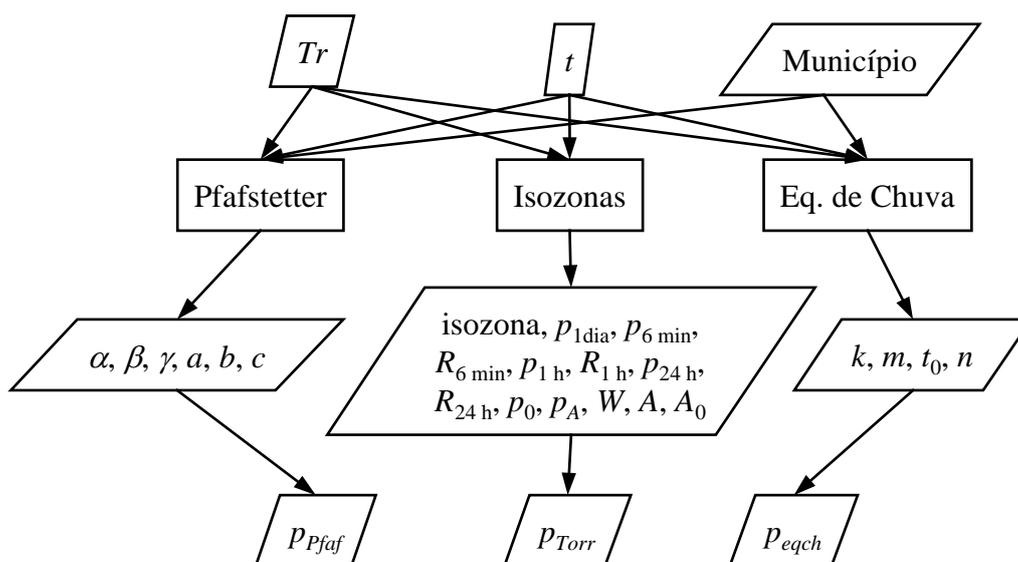


Figura 9. Fluxograma do cálculo das precipitações intensas pelos três métodos

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O programa *Pluvia* apresentado neste trabalho tem como principal objetivo facilitar a aprendizagem do aluno de Hidrologia. A forma explícita em que os cálculos são feitos e apresentados (tanto gráfica quanto numericamente), bem como a apresentação de conceitos e limites para os dados, ratifica a condição didática do programa. O fato de reunir três métodos distintos para alguns municípios expõe a praticidade do programa, uma vez que possibilita ao usuário, a comparação dos

resultados. Ademais, a facilidade com que se podem alterar os parâmetros de entrada auxilia, e muito, na compreensão da relação intensidade  $\times$  duração  $\times$  frequência das chuvas.

O programa se encontra em aperfeiçoamento pelo Grupo de Recursos Hídricos da Universidade Federal do Ceará e a etapa seguinte será agregar ao Módulo II - Método das Isozonas, o cálculo das precipitações máximas com o uso de diversas distribuições de probabilidades.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Pfafstetter, Otto. **Chuvas Intensas no Brasil: Relação entre Precipitação, Duração e Frequência de Chuvas Registradas com Pluviógrafos em 98 Postos Meteorológicos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Obras de Saneamento, 1982. 426 p.
- [2] Torrico, José Jaime Taborga. **Práticas Hidrológicas**. Rio de Janeiro: Transcon, 1974. 119 p.
- [3] Simões, Fábio Férrer. **Atualização do Modelo de Dimensionamento de Drenagem Superficial de Aeroportos**. 2000. 51 p. Trabalho de Graduação - Divisão de Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos. Disponível em: <<http://www.infra.ita.br/~flavio/pub/flavio/artigos/orientacoes/tgFerrer2000.pdf>>. Acesso em: 01 fev. 2002.
- [4] Villela, Swami Marcondes; Mattos, Arthur. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975. 245 p.
- [5] Studart, Ticiania Marinho de Carvalho. **Hidrologia: Notas de Aula**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2002. Disponível em: <<http://www.deha.ufc.br/ticiania/hidrologia/apostila>>. Acesso em: 16 jul. 2002.