

MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE HIDRÓGRAFAS

JOSÉ RAIMUNDO DE SOUZA PASSOS
Engenheiro Florestal

Orientador: Prof. Dr. WALTER DE PAULA LIMA

*Dissertação apresentada à Escola Superior de
Agricultura "Luz de Queiroz", da Universidade
de São Paulo, para obtenção do título de Mestre
área de concentração: Ciências Florestais*

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Janeiro-1993

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCLQ/USP

P289m Passos, José Raimundo de Souza
Modelagem e simulação de hidrógrafas. Piracicaba,
1993.
166p.

Diss. (Mestre) - ESALQ
Bibliografia

1. Bacia hidrográfica 2. Hidrógrafa - Modelagem 3.
Hidrógrafa - Simulação 4. Hidrologia florestal I.
Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Pi-
racicaba

CDD 551.483

MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE HIDRÓGRAFAS

JOSÉ RAIMUNDO DE SOUZA PASSOS

Aprovada em: 19.03.1993

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Walter de Paula Lima	ESALQ/USP
Prof. Dr. Hilton Thadeu Zarate do Couto	ESALQ/USP
Prof. Dr. Paulo Rodolfo Leopoldo	UNESP/BOTUCATU



Prof. Dr. WALTER DE PAULA LIMA
Orientador

A GISELA,

SURGE UMA NOVA VIDA

AGRADECIMENTOS

O processo de elaboração de uma dissertação é único e gratificante. As etapas são muitas, os detalhes inúmeros, mas a sensação é de criação.

No início uma idéia. O "objeto" ainda não tinha uma forma definida, mas certamente sua construção seria trabalhosa.

Ao longo deste processo há de se destacar a participação de algumas pessoas, cujas contribuições foram importantes, compondo sem dúvida um "elenco" de primeira.

Já no período final da graduação na Universidade Federal de Viçosa, recebi todo o apoio e estímulo para a construção deste "objeto", através do Prof. Paulo S'antana e Castro, incentivando o estudo de formas das curvas de vazão de microbacias.

Porém foi no Departamento de Ciências Florestais ESALQ/USP, que a "construção" tomou forma. A liberdade de trabalho, criação de consciência e confiança mútua, foram as marcas do estilo de orientação do Prof. Walter de Paula Lima, que juntamente com o incentivo, profissionalismo e determinação do prof. Hilton Thadeu Zarate do Couto na co-orientação estatística, formaram um ótimo clima de trabalho. Aos dois o meu muito obrigado !

Após esta estrutura montada, faltava a matéria prima para trabalhar. É nesta etapa que surge o Instituto Florestal de São Paulo, que na pessoa do Eng. Florestal Waldir de Cicco, durante o período do "incrível" Plano Collor, demonstrou todo o interesse no projeto, contribuindo assim para a obtenção da "massa" de dados.

O trabalho foi iniciado e dois colaboradores merecem destaque no dia-a-dia de trabalho na ESALQ/USP. O primeiro Prof. João Baptista, com objetividade e constante troca de idéias, muito contribuiu durante as etapas

principais da construção. O segundo, o incansável Milton, que com seu conhecimento, paciência e sotaque piracicabano, ofereceu grande ajuda na computação nos instantes de dificuldade.

Um outro destaque deste "elenco" , no que se refere a tabulação dos dados, revisão do texto e auxílio nos momentos difíceis, está na figura da minha esposa Liliane Vaz; a ela o muito obrigado.

Com o passar do tempo a situação ficou mais difícil. Estava trabalhando também em outra "construção", a Bahia Sul Celulose (BSC) , mas dentro da Companhia Suzano de Papel e Celulose (CSPC). Neste instante, o apoio profissional e auxílio nos momentos mais importantes foi a marca dos Eng^{os} Florestais Luiz Cornachionni e Nelson Bastos.

Já nesta etapa contava com o apoio de uma equipe de SAS invejável da CSPC : Ewerton , Beth ,Francisco e Maeda, obrigado pela ajuda !

Finalmente já na BSC em Teixeira de Freitas,foi questão de tempo para o término. Agradeço á Bahia Sul Celulose, pelas oportunidades dadas para continuidade e conclusão deste trabalho.

SUMARIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	xi
RESUMO	xii
SUMMARY	xv
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Caracterização do Problema	2
1.2. Objetivos.....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Ciência e Hidrologia	5
2.2. Bacias Hidrográficas	7
2.3. A hidrógrafa	12
2.4. A geração de deflúvio e seus mecanismos.....	16
2.5. Modelos hidrológicos - Classificação e escolha	20
3. O SISTEMA JOHNSON DE DISTRIBUIÇÃO	28
3.1. Fundamentos do Sistema Johnson de Distribuição	29
3.2. Os Sistemas	30
3.2.1. Sistema SL	38
3.2.2. Sistema SB	40
3.3.3. Sistema SU	42
3.4. Aplicações	44
4. METODOLOGIA	45
4.1. Área experimental - O sistema	46
4.1.1. Localização	46
4.1.2. Relevo e características físicas	46
4.1.3. Solo	50
4.1.4. Vegetação	50
4.1.5. Clima	50
4.2. Fundamentos do método utilizado	53

	vi
4.2.1. Hipótese básica	53
4.2.2. Identificação e caracterização das chuvas - A entrada	53
4.2.3. Identificação e caracterização das hidrógrafas - A saída	57
4.2.4. Modelagem da hidrógrafa	58
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
5.1. Os dados de precipitação e vazão	64
5.1.1. As chuvas	64
5.1.2. As hidrógrafas	71
5.2. PASH - Programa de Ajuste e Simulação de Hidrógrafas	77
5.2.1. Módulo "J"	77
5.2.2. Módulo "A"	78
5.3. A Modelagem	84
5.3.1. MSHJ - Modelos de Simulação de Hidrógrafas com base no Sistema Johnson de Distribuição	84
5.3.2. MSHA - Modelos de Simulação de Hidró- grafas de Altura de lâmina d'água	86
5.4. A simulação - Validação dos modelos	91
6. CONCLUSÕES	117
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	119
APENDICE 1 - As chuvas	131
APENDICE 2 - As hidrógrafas	139
APENDICE 3 - Valores de "Ra"	148.
APENDICE 4 - Rotinas do PASH (linguagem SAS)	153

LISTA DE FIGURAS

página

Figura 1.	Entendimento, predição e controle	6
Figura 2.	Bacia hidrográfica e seus componentes	9
Figura 3.	Representação de uma bacia hidrográfica como um sistema	10
Figura 4.	Componentes da hidrógrafa	13
Figura 5.	Mecanismos de geração do runoff	21
Figura 6.	Classificação dos processos hidrológicos proposto por CHOW	22
Figura 7.	Esquema de classificação de modelos hidrológicos proposto por CLARK	24
Figura 8 .	Sistema de translação do Sistema Johnson de Distribuição	31
Figura 9.	Representação de algumas distribuições no plano formado pelos coeficientes de assimetria e curtose	35
Figura 10.	Algumas possíveis distribuições apresentadas pelo Sistema Johnson de Distribuição	37
Figura 11.	Mapa de Localização da Bacia Experimental de Cunha	47
Figura 12.	Mapa planoaltimétrico da Bacia experimental "D"	49
Figura 13.	Relação entre a precipitação e o escoamento mensal	51
Figura 14.	Variáveis utilizadas no modelo de simulação	56
Figura 15.	Representação da caracterização das hidrógrafas após ajuste pelo método dos percentis	57
Figura 16.	Representação da caracterização das hidrógrafas após ajuste pelo método das alturas de lâmina d'água	58

Figura 17. Teste do modelo proposto	61
Figura 18. Resumo da metodologia para MSHJ e MSHA	62
Figura 19. Distribuição de Frequência da alturas de lâmina d'água das chuvas atuais da Bacia Experimental "D", núcleo de Cunha S.P.....	65
Figura 20. Distribuições das chuvas de altura mínima da Bacia de Cunha S.P.	67
Figura 21. Distribuições das chuvas de altura modal da Bacia de Cunha S.P.	68
Figura 22. Distribuições das chuvas de altura média da Bacia de Cunha S.P.	69
Figura 23. Distribuições das chuvas de altura máxima da Bacia de Cunha S.P.	70
Figura 24. Distribuição de Frequência da alturas de lâmina d'água das vazões das hidrógrafas da Bacia Experimental "D", núcleo de Cunha S.P..	72
Figura 25. Distribuições das vazões mínimas das hidrógrafas na Bacia de Cunha S.P.	73
Figura 26. Distribuições das vazões modais das hidrógrafas na Bacia de Cunha S.P.	74
Figura 27. Distribuições das vazões médias das hidrógrafas na Bacia de Cunha S.P.	75
Figura 28. Distribuições das vazões máximas das hidrógrafas na Bacia de Cunha S.P.	76
Figura 29. Método de classificação de hidrógrafas - distância "Ra"	93
Figura 30. Simulações de hidrógrafas de classe 70 cm de vazão com $R_a=0.62$ e $R_a=0.91$ respectivamente	96
Figura 31. Simulações de hidrógrafas de classe 70 cm de vazão com $R_a=0.65$ e $R_a=0.71$ respectivamente	97

Figura 32. Simulações de hidrógrafas de classe 70 cm de vazão com $Ra=0.73$ e $Ra=0.53$ respectivamente	98
Figura 33. Simulações de hidrógrafas de classe 70 cm de vazão com $Ra=0.80$ e $Ra=1.72$ respectivamente	99
Figura 34. Simulações de hidrógrafas de classe 70 cm de vazão com $Ra=0.95$ e $Ra=1.04$ respectivamente	100
Figura 35. Simulações de hidrógrafas de classe 70 cm de vazão com $Ra=1.38$ e $Ra=1.61$ respectivamente	101
Figura 36. Simulações de hidrógrafas de classe 70 cm de vazão com $Ra=1.72$ e $Ra=1.44$ respectivamente	102
Figura 37. Simulações de hidrógrafas de classe 70 cm de vazão com $Ra=2.47$ respectivamente	103
Figura 38. Simulações de hidrógrafas de classe 140 cm de vazão com $Ra=1.34$ e $Ra=1.44$ respectivamente	104
Figura 39. Simulações de hidrógrafas de classe 140 cm de vazão com $Ra=1.51$ e $Ra=3.14$ respectivamente	105
Figura 40. Simulações de hidrógrafas de classe 140 cm de vazão com $Ra=2.01$ respectivamente	106
Figura 41. Simulações de hidrógrafas de classe 140 cm de vazão com $Ra=2.07$ e $Ra=1.62$ respectivamente	107
Figura 42. Simulações de hidrógrafas de classe 140 cm de vazão com $Ra=6.31$ respectivamente	108

Figura 43. Simulações de hidrógrafas de classe 210 cm de vazão com $Ra=2.60$ e $Ra=3.12$ respectivamente	109
Figura 44. Simulações de hidrógrafas de classe 210 cm de vazão com $Ra=3.45$ e $Ra=3.60$ respectivamente	110
Figura 45. Simulações de hidrógrafas de classe 210 cm de vazão com $Ra=2.24$ e $Ra=5.47$ respectivamente	111
Figura 46. Simulações de hidrógrafas de classe 280 cm de vazão com $Ra=4.23$ e $Ra=4.77$ respectivamente	112
Figura 47. Simulações de hidrógrafas de classe 280 cm de vazão com $Ra=4.718$ e $Ra=7.70$ respectivamente	113
Figura 48. Simulações de hidrógrafas de classe 280 cm de vazão com $Ra=8.50$ respectivamente	114
Figura 49. Simulações de hidrógrafas de classe 350 cm de vazão com $Ra=6.47$ e $Ra=6.98$ respectivamente	115
Figura 50. Simulações de hidrógrafas de classe 490 cm de vazão com $Ra=15.12$ respectivamente	116

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Alguns projetos e estudos de bacias hidrográficas	11
Tabela 2. Aplicações dos Sistemas de Translação	44
Tabela 3. Características físicas da Bacia Experimental "D"	48
Tabela 4. Precipitação, altura de lâmina d'água e vazão mensal, máxima e mínima da Bacia Experimental "D"	52
Tabela 5. Identificação dos eventos chuvosos	54
Tabela 6. Variáveis consideradas em cada evento chuvoso	54
Tabela 7. Estatísticas da distribuição das intensidades (mm/h) das chuvas atuais	65
Tabela 8. Estatísticas da distribuição das intensidades de vazão das hidrógrafas modeladas	72
Tabela 9. Momentos das variáveis da chuva - CHUVAR	80
Tabela 10. Quartis das variáveis da chuva - CHUVAR	81
Tabela 11. Quartis das variáveis da hidrógrafa - HIDVAR	83
Tabela 12. Momentos das variáveis da hidrógrafa - HIDVAR	83
Tabela 13. Distribuição de Freqüência do volume das hidrógrafas	94

MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE HIDRÓGRAFAS

Autor : JOSÉ RAIMUNDO DE SOUZA PASSOS

Orientador : Prof. Dr. WALTER DE PAULA LIMA

RESUMO

Este estudo apresenta dois métodos de modelagem e simulação de hidrógrafas em microbacias: MSHJ - Modelos de Simulação com base no Sistema Johnson de distribuição de probabilidade, e MSHA - Modelos de Simulação com base nas Alturas de lâmina d'água, a partir de padrões de precipitação.

Para tal foram isoladas 82 hidrógrafas acompanhadas das respectivas chuvas anteriores (máximo de seis), num período de 18 meses (ABR-DEZ/83), na Bacia Experimental "D" do Núcleo de Cunha, pertencente ao Instituto Florestal de São Paulo.

As variáveis consideradas em cada evento chuvoso foram : percentis (25,50,75 e 100%) da distribuição de volume de chuva no tempo, o volume da chuva, e as diferenças de tempo entre a chuva mais recente (chuva zero - ch0) e as cinco últimas chuvas.

As variáveis de localização das hidrógrafas, início e fim do escoamento (α e λ respectivamente), e o volume total escoado (V), foram correlacionadas com as características das chuvas.

Já as variáveis ligadas à forma da hidrógrafa diferiram segundo o método utilizado:

MSHJ : Tais modelos são caracterizados por correlacionarem os dois parâmetros (γ, δ) do Sistema Johnson de Distribuição de Probabilidade, com as variáveis das

chuvas.

MSHA : Tais modelos são caracterizados por correlacionarem as alturas de lâmina d'água, em intervalos de tempo de 20 minutos, com as variáveis das chuvas, simulação ponto a ponto da hidrógrafa.

Para a simulação foram utilizadas as próprias chuvas que alimentaram os modelos, possibilitando-se verificar a qualidade de ajuste para cada uma das 82 situações, dentro de cada método, como também comparar os dois modelos propostos.

Para comparar a qualidade de simulação das hidrógrafas, foi desenvolvido um método denominado discriminantes de ajustes "Ra". Este tem como base a média e o desvio padrão dos desvios absolutos das distribuições observada e esperada.

O início e fim das hidrógrafas (λ e ϵ) - parâmetros de localização, estão fortemente correlacionados somente com o volume e o padrão da chuva mais recente (ch_0).

O volume da hidrógrafa é influenciado pelas duas chuvas mais próximas, (ch_0 e ch_1), através das variáveis volume e diferença de tempo entre duas chuvas (tch_{01}).

O modelo **MSHJ** produziu hidrógrafas com formas totalmente diferentes das hidrógrafas observadas, sendo então considerado um modelo não adequado para o propósito. A baixa sensibilidade dos parâmetros de forma do Sistema Johnson de Distribuição de Probabilidade (δ e γ), foi a principal causa da qualidade das simulações.

O modelo **MSHA** produziu em sua maioria hidrógrafas com formas semelhantes às hidrógrafas observadas. Das 34 equações de simulação das alturas de

lâmina d'água, a variável volume da chuva mais próxima (volch0) foi a mais freqüente (87.5%), e o percentil 50 da chuva zero (p50ch0) com freqüência de 25%.

O método das distâncias "Ra" se mostrou adequado para a função de "medir" ajustamentos de hidrógrafas, sendo possível ser utilizado para classificar e selecionar ajustamentos de quaisquer outras variáveis.

HYDROGRAPH MODELLING AND SIMULATION

Author : JOSÉ RAIMUNDO DE SOUZA PASSOS
Adviser : Prof. Dr. WALTER DE PAULA LIMA

SUMMARY

This study presents two methods of modeling and simulation of catchments hydrographs: MSHJ : Hydrograph Simulation Model based on the Johnson's System of Probability Distributions, and MSHA : Hydrograph Simulation Model based on the streamflow stage from precipitation patterns.

The data base comprised 82 stormflow hydrographs and the respective antecedent precipitation data (maximum of six), for a 18 months period (April-December/83), from the experimental catchment "D", of the "Núcleo Cunha , Instituto Florestal de São Paulo".

For each rainfall event, the variables used were : percentiles (25,50,75 e 100) of the distribution of rain volume with time, rain volume and the time differences between the most recent rainfall (zero rainfall), and the last five rainfall events.

The hydrograph localization, beginning and end of storm runoff (ϵ and λ respectively) and total stormflow volume (V), were correlated with the precipitation patterns.

The variables associated with the shape of hydrograph, on the other hand, differed according to the method used:

MSHJ : Such models are characterized by correlating the two

Johnson's System of Probability Distributions parameters (γ, δ) , with the rainfall variables.

MSHA : Such models are characterized by correlating streamflow stage data, in 20 min time intervals, with the rainfall variables.

The simulation was carried out with the same precipitation, which were used in the modeling, thus permitting data a check in the fitness for each one of the 82 events, within each studied method, as well as comparing the two proposed methods.

The fitness of the hydrograph simulation was based on the development of a criterion called fitness discriminant "Ra". This is calculated based on the mean and the standard deviation of the absolute deviations of the expected and observed distributions.

The beginning and end of the expected hydrographs (λ, ϵ) , localizations parameters, are strongly correlated only with the volume and pattern of the most recent rainfall (CHO).

The hydrograph volume is influenced by the two most recent rains (CHO and CH1), through the variables volume and time difference between this two rainfall (TCHO1).

In general, the MSHJ model produce hydrographs with shape very different from the observed hydrographs. It is supposed that this was a result of the low sensibility of the shape parameters of the Johnson System (δ, γ) .

The MSHA model produce, in general, hydrographs with shape similar to the observed hydrographs. The variable volume of most recent rain (VOLCHO) was the most frequent (87.5%) within the 34 simulation equations, followed by the variable p50CHO (percentile 50 of the zero

rain (25.0%).

The fitness discriminant method (Ra) was found to be adequate for the measurements of the adjustment of the hydrographs. It is, therefore a method which is suitable for the classification and selection of adjustments of any other variables.

1. INTRODUÇÃO :

"O místico crê num deus desconhecido.

*"O pensador e o cientista crêm numa
ordem desconhecida.*

*"É difícil dizer qual deles sobrepuja
o outro em sua devoção não
racional.*

(L. L. WHYTE)

1.1. Caracterização do problema

1.2. Objetivos

1.1. Caracterização do problema

O manejo de bacias hidrográficas tem como objetivo a administração dos recursos naturais de uma dada bacia (sistema) de maneira racional, visando a produção de água em qualidade e quantidade, utilizando resultados experimentais da hidrologia florestal.

O conhecimento da hidrologia de determinada bacia é fundamental para que possamos entender a dinâmica da água no sistema e sua relação com variáveis ligadas a fatores climáticos, silviculturais e fisiográficos. Variáveis estas cujas complexas interações são refletidas na produção de água de uma dada bacia hidrográfica, quantificada através da variação da vazão no tempo - hidrógrafa.

O mecanismo de geração da hidrógrafa, após determinada chuva numa bacia hidrográfica, vem já há alguns anos sendo foco de estudos. Apesar da existência de teorias numa tentativa de explicação deste mecanismo, só recentemente após o advento da informática e juntamente com métodos físicos e estatísticos, é que foi possível uma melhor compreensão do fenômeno, direcionando-se então os estudos no sentido de utilização de modelos de simulação.

Entende-se por modelo a representação de um sistema através de alguma forma que não a original - sendo um sistema um grupo de objetos ou fatos unidos por alguma forma de interação ou interdependência, executando funções específicas.

Deste modo, estudos que visam o entendimento do mecanismo de geração da hidrógrafa, devem ser uma das prioridades em ecossistemas tropicais e subtropicais, principalmente em regiões com estação seca definida, período no qual a produção de água está estritamente dependente do período chuvoso anterior, quando da "recarga"

da bacia, através do mecanismo da precipitação e conseqüente infiltração da água no solo.

No Brasil os ecossistemas de floresta tropical e subtropical vêm sendo degradados já há vários anos. Dentro deste contexto, a Mata Atlântica é atualmente reflexo deste processo de degradação ao longo da costa brasileira. Atualmente, após a criação do Laboratório de Hidrologia Florestal no Parque Estadual da Serra do Mar no Estado de São Paulo, e juntamente com a cooperação de órgãos de pesquisa e outras entidades, está sendo possível melhor compreender este complexo e importante ecossistema.

1.2. Objetivos

Este trabalho tem com objetivo a elaboração de um modelo para simulação de hidrógrafas numa dada bacia hidrográfica.

Para atingir esta meta, as seguintes etapas foram necessárias :

- a) obtenção de dados de distribuição de vazão no tempo e as respectivas distribuições de chuvas, ocorridas num período máximo de até seis dias após o evento da hidrógrafa;
- b) caracterização das distribuições de precipitação através de determinadas estatísticas;
- c) ajuste das hidrógrafas utilizando-se o Sistema de Johnson de Distribuição de Probabilidade;
- d) elaboração de dois tipos de modelos de regressão múltipla :
 - 1) correlação entre os parâmetros da etapa c) com a etapa b);
 - 2) correlação entre as alturas de vazão obtidas em a), com os parâmetros da etapa b);
- e) validação dos modelos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

"Toda ciência seria supérflua se a aparência, a forma das coisas fosse totalmente idêntica a sua natureza".

(Karl Marx).

As considerações relativas a este capítulo são importantes, na medida em que é possível se ter inicialmente uma visão do conteúdo científico relacionado ao tema e posteriormente, após o capítulo referente ao método utilizado, obter um posicionamento do escopo deste trabalho em relação ao conteúdo científico anteriormente citado. A estrutura da revisão obedeceu a seguinte seqüência:

- 2.1. Ciência e hidrologia
- 2.2. Bacias hidrográficas
- 2.3. A hidrógrafa
- 2.4. A geração do deflúvio e seus mecanismos
- 2.5. Modelos hidrológicos - classificação e escolha

2.1. Ciência e Hidrologia

De forma organizada a ciência busca a ordem e o conhecimento das coisas, busca algo invisível, um mecanismo desconhecido que não se pode atingir. Diante desse contexto os fatos se apresentam para o cientista como algo de concreto e palpável, e juntamente com o uso da imaginação, permitem lançar hipóteses a respeito do funcionamento do mecanismo, obtendo-se então os modelos ou também denominado de construções de imaginação por ALVES (1986).

Atualmente a hidrologia vem sendo questionada com relação a sua atuação como ciência ou como tecnologia (KLEMES, 1983; DOOGE, 1986; KLEMES, 1986; KLEMES, 1988). A questão de escala e conceitualização em hidrologia é enfocada como fator determinante no avanço ou não do processo científico (KLEMES, 1983).

DOOGE (1986) diferencia de modo esquemático a atuação do pesquisador científico e do engenheiro representado na Figura 1.

O cientista trabalha na porção superior do diagrama, incluindo a observação e o entendimento; já o engenheiro abrange o ramo inferior, incluindo a predição e o controle. Observa-se que o pesquisador científico tem como meta o entendimento, a compreensão do mecanismo, através da utilização de fatos e modelos, enquanto o engenheiro usa as observações para chegar as predições e aos controles, e posteriormente retornar com informações ao pesquisador científico sobre o funcionamento dos modelos propostos.

DOOGE (1986) acredita que a hidrologia necessita hoje de uma revolução científica similar à ocorrida na Física no século XVII, relacionada à Lei de Gravitação Universal de Newton. Evidentemente uma revolução científica não é um fenômeno isolado que pode ser

determinado com exatidão; existe todo um contexto histórico envolvido (KUHN, 1975).

É fato que a hidrologia interage com várias outras áreas do conhecimento científico tais como Geologia, Engenharia Civil e Ciências Florestais, fazendo com que seja utilizada por profissionais dessas áreas no sentido de solução de seus problemas específicos, atuando assim muito mais como tecnologia do que como ciência, (KLEMES, 1986; KLEMES, 1988).

O HOMEM E SEU MEIO AMBIENTE

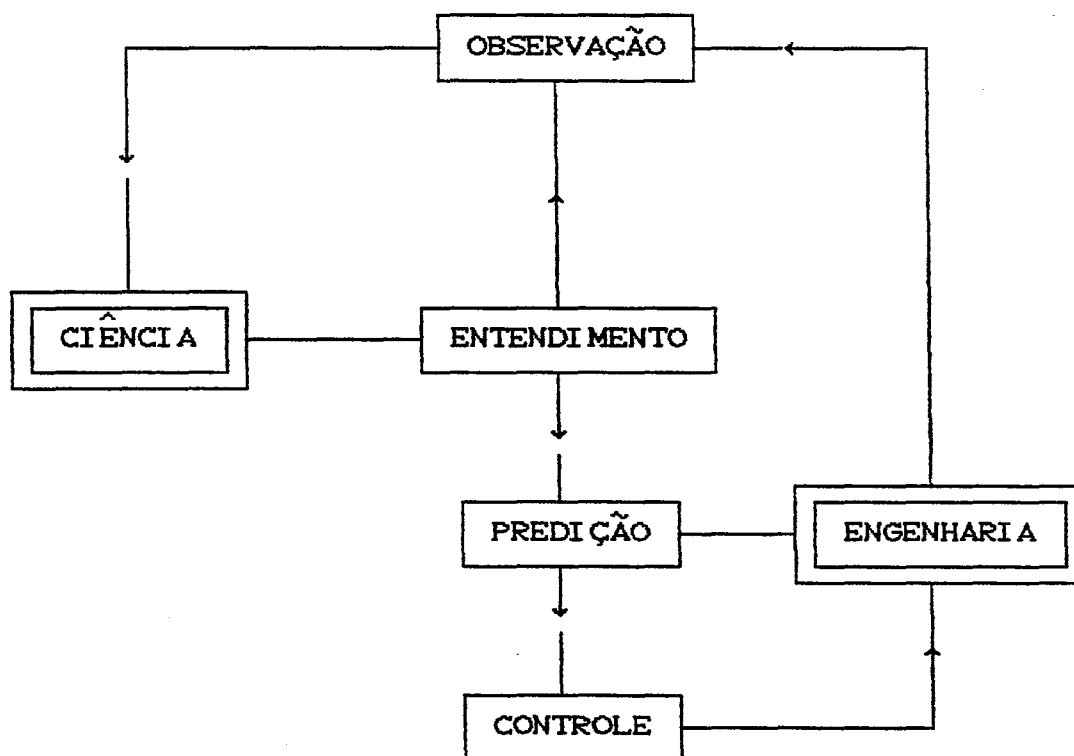


Figura 1 - Entendimento, previsão e controle (DOOGE, 1986).

Por outro lado, é louvável a afirmação de DOOGE (1986), pelo fato de considerar a hidrologia como ciência da água.

Os modelos atualmente utilizados em hidrologia, principalmente aqueles relacionados à simulação das hidrógrafas para estudos relacionados às cheias, vêm sendo responsabilizados por contribuírem para que a hidrologia atue muito mais como tecnologia do que como ciência. Existem também inúmeras críticas feitas com relação a parametrização excessiva e pouco conteúdo com fundamentos hidrológicos (DOOGE, 1986; KLEMES, 1986; KLEMES, 1988).

2.2. Bacias hidrográficas

Para que se possa elaborar modelos em hidrologia florestal se torna necessário inicialmente conhecer as relações entre a floresta e a água. Foi então definido um universo de estudo, uma unidade hidrológica, denominada bacia hidrográfica, (LEE, 1980). LIMA (1986) define bacia hidrográfica como: "toda área que proporciona o escoamento superficial para o canal principal e seus tributários".

Uma bacia é alimentada pela precipitação (P) em forma de chuva ou neve, e pela energia radiante (ER), a responsável pelo funcionamento do ciclo hidrológico. Esta bacia hidrográfica responde então com a produção de água através do deflúvio (Q), com a evapotranspiração (ET) e com a variação de água no solo (ΔS).

O principal objetivo da hidrologia é resolver a equação de balanço hídrico (DOOGE, 1986):

$$P - ET - Q - \Delta S = 0$$

(1)

A vazão (Q), também denominada deflúvio ou escoamento total, tem como componentes: precipitação sobre

os canais (P_c), escoamento superficial (Q_s), escoamento subsuperficial (Q_{ss}), escoamento (ou fluxo) base (Q_b), (equação 2). Os elementos da equação (1) estão representados Figura 2.

$$Q_t = P_c + Q_s + Q_{ss} + Q_b \quad (2)$$

As microbacias hidrográficas se apresentam como áreas de estudo mais apropriadas, como unidades estruturais para estudo do ecossistema.

Sob o ponto de vista hidrológico o que caracteriza uma microbacia é o fato de o componente escoamento superficial (Q_s) atuar como fator dominante na geração do deflúvio em relação ao armazenamento sobre a rede de canais. Deste modo uma microbacia hidrográfica é muito sensível a chuvas de alta intensidade (curta duração), como também a fatores ligados ao uso da terra.

Pode-se então definir uma microbacia hidrográfica como sendo aquela cuja área é tão pequena, que a sensibilidade às chuvas de alta intensidade e às diferenças de uso do solo, não é suprimida pelas características da rede de drenagem; de acordo com tal definição, a área de uma microbacia pode variar de pouco menos de 1 ha até cerca de 40 ha, podendo mesmo, em alguns casos, atingir a 100 ha ou mais (CHOW, 1964).

Assim, para microbacias o valor de P_c é aproximadamente zero em relação a Q_s ; assim somando-se os componentes Q_s e Q_{ss} obtém-se o escoamento direto ou Q_d , equação (3).

$$Q_t = Q_d + Q_b \quad (3)$$

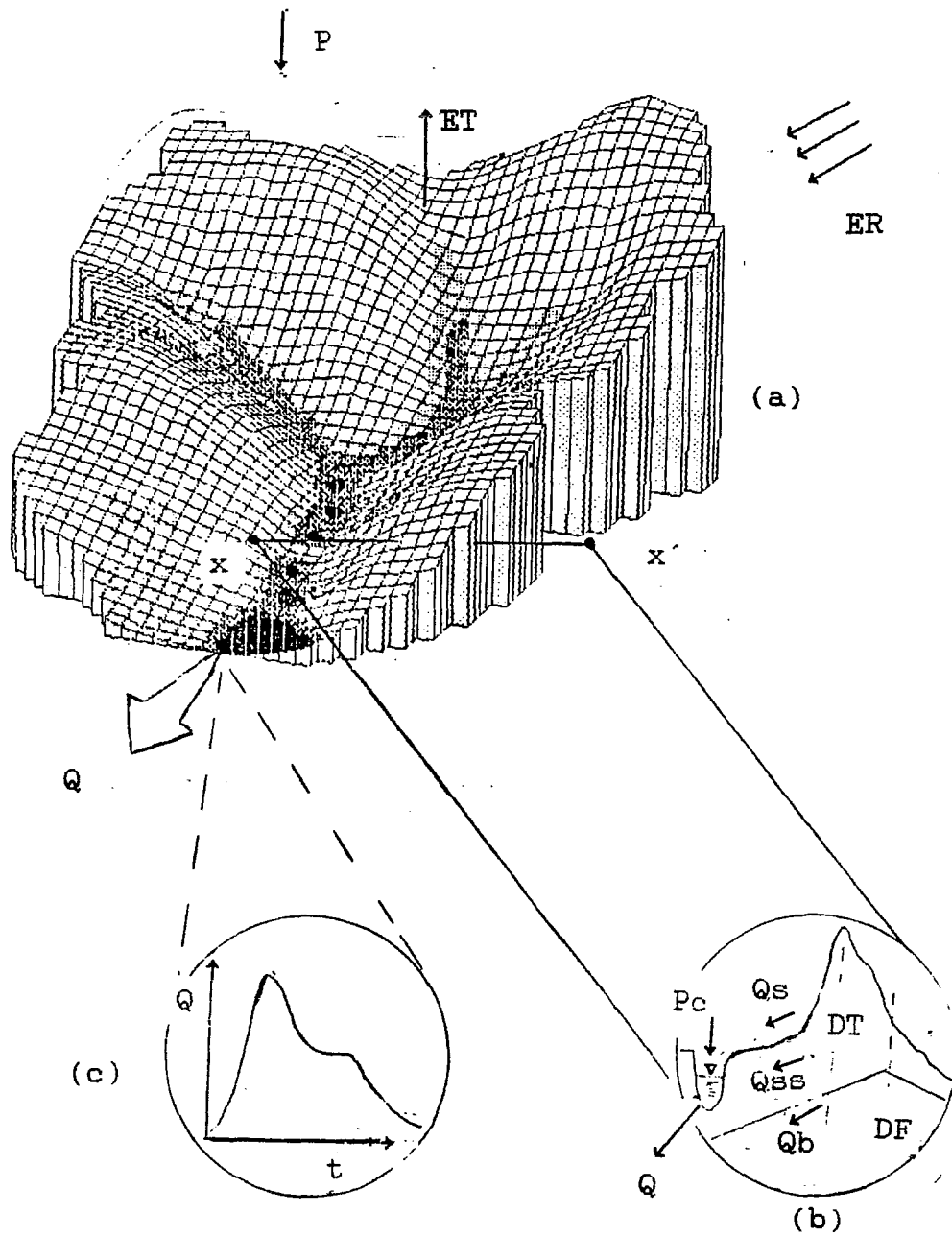


FIGURA 2 - Bacia Hidrográfica e o seus componentes.

- (a) Visão em perspectiva de uma bacia XX' = secção; os elementos P, ET, ER e Q
- (b) Vista lateral com divisores topográficos e freáticos (DT e DF); os componentes da vazão P_c , Q_s , Q_{BS} e Q_b ;
- (c) Hidrógrafa (deflúvio x tempo).

Uma microbacia pode ser considerada como um sistema que é alimentado por variáveis de entrada, respondendo com variáveis de saída, (Figura 3). A administração dos recursos de entrada é refletida na saída, dando a uma microbacia um caráter funcional, com sensibilidade a modificações dos níveis de estímulos na entrada.

O manejo de bacias hidrográficas tem interesse na saída ou resposta do sistema relacionado a produção de água, tanto sob o ponto de vista quantitativo como qualitativo.

RODDA (1985) faz um apanhado histórico dos estudos relacionados a microbacias hidrográficas resumido na Tabela 1. Observamos que tais estudos já eram conduzidos desde o século XVII.

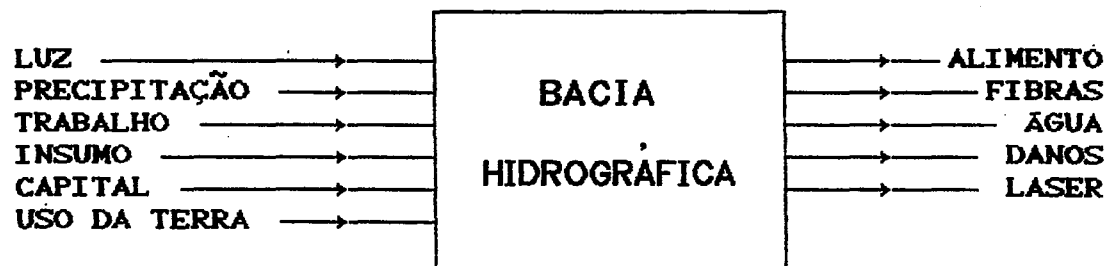


Figura 3 - Representação de uma bacia hidrográfica como um sistema, mostrando as entradas ou estímulos e as saídas ou respostas.

No Brasil os estudos ligados a Hidrologia Florestal e a Manejo de Bacias Hidrográficas estão ligados a alguns órgãos tais como: Instituto Florestal de São Paulo, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, CENA, EMBRAPA Universidades : ESALQ/USP, UNESP, UFV e UFRJ. Destacam-se os trabalhos : (CICCO, 1985), (FRANKEN & LEOPOLDO, 1984), (LEOPOLDO, 1982).

Tabela 1- Alguns projetos e estudos de bacias hidrográficas segundo RODDA(1985).

ANO	PAÍS	BACIA	AREA (km ²)	OBJETIVO
1674	França	Aignayle le Duc	121.5	(1)
1686	França	Here/Marriotte	60.4	(1)
1867	Chekslovákia	-	-	-
1890	Suíça	Sperbelgraben	0.6	(2)
1908	Japão	Ota	-	-
1910	E. U. A.	Wagon Wheel Gap	0.8	(3)
1930	U. R. S. S.	Valaday	-	-
1930	E. U. A.	San Grabriel Mountanis	-	(4)
1932	E. U. A.	Shackham Brook	8.0	(5)
1934	E. U. A.	Coweeta	16.0	(3)
1948	Alemanha	Winteral	0.8	-
1950	África	Kimakia	-	(3)
1950	Reino Unido	-	-	-
1953	França	Alance	3.0	(7)
1957	África	Sambret	7.0	(3)
1957	África	Lagan	5.5	(3)
1968	Canadá	Blue Springs Creek	44.0	(9)
1970	Nova Zelândia	-	-	(9)
1982	Brasil- UNESP/INPA/CENA		1.3	(2)

- OBJETIVOS:
- (1) medição de deflúvio
 - (2) medição de deflúvio, precipitação, ET e balanço hídrico.
 - (3) balanço hídrico efeito de vegetação.
 - (4) efeito do fogo.
 - (5) práticas agrícolas e poluição do ar.
 - (6) métodos de predição de deflúvio e qualidade da água.
 - (7) relação chuva-deflúvio.
 - (8) predição de deflúvio.
 - (9) conceito de área variável.

2.3 A Hidrógrafa

Reescrevendo a equação (1) do balanço hídrico e levando em conta que :

a) $\Delta S \rightarrow 0$, quando se leva em consideração longos períodos de tempo (CHEWLETT, 1982).

b) a evapotranspiração (ET) tem como componentes :

* Evaporação de superfícies líquidas e do solo (E_o);

* Transpiração (T);

* Interceptação pelas copas (I_c);

* Interceptação pelo piso florestal (I_p);

Deste modo pode-se escrever :

$$Q = P + (T + I_c + I_p + E_o) \quad (4)$$

A expressão acima nos mostra que a vazão (Q) é resultado de interações das entidades que a compõem. Desta forma, o estudo das variações de (Q) no tempo pressupõe o conhecimento e a modelagem de seus componentes, principalmente P, I_c e E_o (BERNDTSSON & NIEMCZYNOWICZ, 1988; BEVEN, 1979; BRUIJNZEEL & WIERSUM, 1987; CALDER et alii, 1986; CLARKE, 1986/87; FRANKEN et alii, 1982; GASH, 1979; HAAN & JOHNSON, 1989; ISTOK & BOERSMA, 1989; JACKSON, 1975; LAINE, 1969; LEONARD, 1967; LIMA, 1987; LLOYD et alii, 1988; OSBORN, 1984; RUTTER, et alii 1971/72).

A Hidrógrafa como sendo o resultado da distribuição da vazão no tempo, está representada na Figura

4, juntamente com os seus componentes e a distribuição da precipitação que deu origem ao escoamento.

Não existe uma expressão ou função matemática que relacione o deflúvio com o tempo, isto é, $Q_t = f(t)$. A distribuição de Q_t no tempo assume várias formas, sendo resultado de complexas interações.

Deve-se destacar que o padrão de precipitação tem responsabilidade exclusivamente sobre o ramo de ascensão do hidrograma, enquanto que as características físicas da microbacia hidrográfica influenciam o ramo de recessão do hidrograma, (LIMA, 1986).

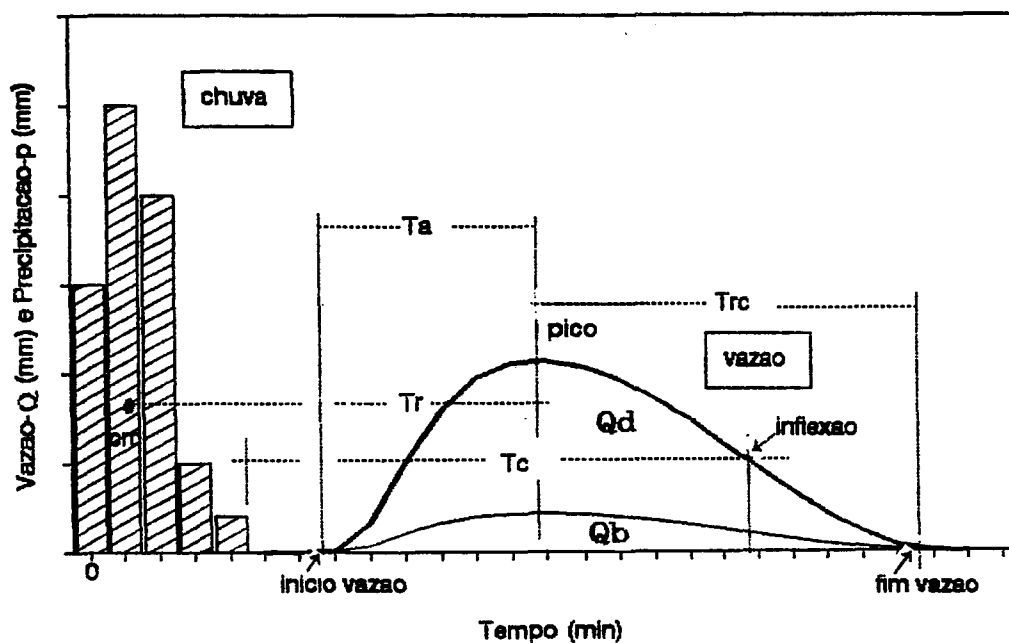


Figura 4 - Componentes da hidrógrafa. T_r =tempo de resposta; T_c =tempo de concentração; T_{rc} =tempo de recessão; Q_d =escoamento direto; Q_b =escoamento de base; T_a =tempo de ascensão.

Muitos estudos têm sido conduzidos no sentido de verificar o efeito do uso da terra e seu reflexo nas hidrógrafas em bacias hidrográficas.

Observações realizadas em pequenas bacias mostram que fatores como urbanização, construção de terraços e estradas agrícolas, corte da floresta e uso de fogo, têm como consequência o aumento do pico da hidrógrafa; enquanto os efeitos de solo e geologia da bacia estão relacionados à curva de recessão da hidrógrafa (BEVEN & WOOD, 1983; PILGRIM et alii, 1982; ROBISON, 1986).

BEVEN & WOOD (1983), em estudos da natureza dinâmica de áreas de contribuição de vazão, através de uma metodologia de fácil uso, demonstram que a predição de vazão e frequência de cheias pode ser muito sensível a suposições a respeito da natureza de áreas de contribuição de vazão.

OGUNKOYA et alii (1984), estudando respostas de hidrógrafas em microbacias de Floresta Tropical Equatorial Chuvosa na Nigéria, correlacionaram parâmetros de hidrógrafas, precipitação e características fisiográficas. Durante o período de um ano foram encontradas baixas vazões e os coeficientes do escoamento anual variaram de 1 a 40% da chuva anual. Embora não tenha sido encontrada correspondência entre a distribuição temporal da hidrógrafa de qualquer bacia hidrográfica e a distribuição da chuva, os parâmetros do escoamento se apresentaram altamente influenciados pela natureza geomorfológica da bacia hidrográfica em estudo.

WOOD et alii (1988) acreditam que para melhor entendimento dos fatores que afetam a hidrógrafa é necessário considerar áreas elementares de contribuição de cada bacia - ou seja, áreas "elementares" ($30m^2$), na qual se possam representar inúmeras variáveis relacionadas ao solo, evapotranspiração, escoamento, topografia, dentre

outras - como estrutura base para a modelagem em bacias hidrográficas.

WHEATER et alii (1982), estudando efeitos da chuva e características de bacias, em particular parâmetros relacionados à umidade do solo, na forma da hidrográfa unitária instantânea (HIU) e 55 eventos em oito bacias no Reino Unido, encontraram grande variação da resposta da HUI às mudanças dos padrões da chuva, sendo bastante influenciada pela condição de déficit de umidade antecedente .

HEWLETT & BOSCH (1984/85), trabalhando com 1546 chuvas com precipitação inferior a 20mm em oito pequenas bacias de 25 a 254ha na África do Sul, testaram através de regressão múltipla, possíveis efeitos em hidrógrafas. Foram utilizadas como variáveis: precipitação incidente, intensidades máximas de precipitação durante o evento chuvoso a 30 e 60 min, duração da chuva, e até 3 chuvas antecedentes (diárias) e uma variável binária representando a estação do ano. Ficou demonstrado que a intensidade de chuva das oito bacias consideradas na média, contribuiu para explicar 5% da variação do deflúvio e aproximadamente 20% das variações dos picos nas hidrógrafas.

ISTOK & BOERSMA (1986) estudaram efeitos de chuvas de baixa intensidade (<15mm/h) e a ocorrência de hidrógrafas em cinco microbacias (0.46-285 ha). As chuvas de 12, 48, 120 horas precedentes a cada hidrógrafa, sob o ponto de vista quantitativo, não causaram escoamento em 44% a 93% dos eventos observados. O estudo mostra também que a magnitude da chuva durante 12 e 120 horas precedentes, foram mais significativas na determinação de ocorrência da hidrógrafa do que na magnitude de chuvas de intensidade média ou máxima; e que para climas caracterizados por baixa intensidade de precipitação, as chuvas antecedentes são

mais importantes no controle da ocorrência e quantidade do deflúvio do que a intensidade da chuva mais recente considerada.

Com relação ao efeito de padrões de precipitação no escoamento superficial, destaca-se o trabalho desenvolvido por WOOLHISER & GOODRICH (1988).

2.4. A Geração de deflúvio e seus mecanismos

CHOW (1964) e WISLER & BRATHER (1964) dividem os fatores que afetam a geração do deflúvio em dois grandes grupos: aqueles relacionados ao clima (principalmente a precipitação), e aqueles relacionados às características físicas de uma dada bacia hidrográfica. CHOW (1964) considera os fatores climáticos como: tipo de precipitação; intensidade, duração e distribuição da chuva sobre a bacia; deslocamento e direção da chuva; precipitação antecedente e umidade do solo, e outras condições climáticas. Já as características físicas consideradas são: utilização da terra, tipo de solo, área, forma, altitude, declividade, orientação, tipo de drenagem efetiva, extensão da drenagem indereta, drenagem artificial.

WISLER & BRATHER (1964), adverte do perigo para quem tentar encontrar uma equação que explique as variações de vazão, podendo incorrer em erros que podem variar de 100% a 1000%, dependendo do número de variáveis incluídas no modelo. É lógico que o ideal seria encontrar uma equação que englobasse todas as variáveis. No entanto, mesmo que esta fosse encontrada, provavelmente seria complexa sob o ponto de vista matemático, e com soluções aproximadas utilizando-se de equações diferenciais, certamente não lineares, ou até mesmo sem solução, mesmo com toda ferramenta computacional existente.

Para o estudo da vazão, duas linhas podem

ser seguidas:

- 1) relaciona-se simplesmente através de uma equação de regressão a precipitação e o escoamento total em termos absolutos.
- 2) estudos que levam em consideração a distribuição da vazão (as vezes da precipitação) no tempo - hidrógrafa.

No que diz respeito a primeira linha, os estudos indicam baixa correlação entre a precipitação e a vazão anual, devido ao grande número de variáveis envolvidas no processo; entretanto quando se aumenta o número de variáveis explanatórias, tais como frequência do evento chuvoso, condições de umidade antecedente e outras, a correlação aumenta (CHOW 1964).

As condições de umidade antecedente, por exemplo, não podem ser determinadas diretamente, mas sim através de índices, como por exemplo o índice de precipitação antecedente (IPAA), definido por Buttler¹, citado por CHOW (1964).

Dentro dessa linha de obtenção do deflúvio, existem modelos que têm como base equações de regressão linear simples, como o modelo apresentado por ULLAH & BABU (1970), que trabalharam com efeito de condições antecedentes à hidrógrafa, e MELANEM & LAUKKANOM (1980), abordando aspectos relacionados à hidrologia urbana.

DRIVER & TROUTMAN (1989), em estudos de manejo e planejamento urbano nos Estados Unidos, elaboraram um modelo de regressão múltipla tendo como entrada variáveis físicas, climáticas e de uso da terra, e como variável dependente o volume da hidrógrafa total.

¹ Butler, S.S. *Engineering hydrology*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1957, p. 227-229.

Outros estudos utilizam modelos de auto-regressão com modelos ARMA e modelos ARIMA, (CLARKE, 1984; HINO & HASEBE, 1981; WEEKS & BOUGHTON, 1987) FEDORA & BESCHTA (1989) demonstram a importância do efeito da precipitação anterior através da utilização do IPA no

deflúvio em um modelo de simulação em bacias hidrográficas no estado de Oregon, Estados Unidos.

Várias são as expressões que buscam estimar o deflúvio produzido: a) fórmulas empíricas ou b) fórmulas cinemáticas (que levam em conta o movimento da água) (LENCASTRE & FRANCO, 1984). Tais expressões têm sua importância em áreas como a Hidráulica, Engenharia Civil e Irrigação. No entanto, tais expressões não dão uma idéia da dinâmica do deflúvio, além do fato de terem pouca flexibilidade no tocante à utilização em locais diferentes daqueles nos quais foram concebidas.

E finalmente os estudos que enfocam a segunda linha utilizam métodos como o de área-tempo, considerado como extensão do método racional e o da hidrógrafa unitária (SHAW, 1983; ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 1983).

Para elucidar o fenômeno de geração de deflúvio, houve então a necessidade de um maior conhecimento do fluxo de água no solo, através de estudos que incluam os componentes do escoamento total: Q_s , Q_{ss} e Q_b , (CANDO et alii 1983; HARR, 1977; HEWLETT, 1961; LUXMORE, 1983; MARQUES FILHO, 1982; O'LOUGHLIN, 1986; PESCHKE & KUTILEK, 1982; SLOAN & MOORE, 1984).

HEWLETT & HIBBERT (1967), estudando hidrógrafas de bacias hidrográficas experimentais de áreas montanhosas florestadas, conceberam o conceito de "área variável de influência". Segundo este conceito, nem o

escoamento direto nem o fluxo de base é produzido uniformemente sobre a bacia, mas o deflúvio está sob influência de uma área de origem dinâmica a qual sofre expansões e contrações, daí a denominação de área variável de influência. A geração de deflúvio nestas condições pode ocorrer por duas vias (LIMA, 1986):

- a) escoamento superficial: normalmente existe um retardamento desde a chegada da chuva até o início deste processo, que é decorrente do tempo gasto para o preenchimento do armazenamento das depressões do terreno e da interceptação, em geral da ordem de 10 minutos (O'LOUGHLIN, 1981).
- b) escoamento sub-superficial: o retardamento é maior, em função de que depende, também, do tempo gasto para a percolação da água no solo até a camada saturada, onde começa a haver a movimentação lateral que define o interfluxo. Portanto é, também função da profundidade do solo e de sua condutividade hidráulica, sendo em geral, da ordem de 5h.

Vários autores reforçam a importância de estudos a nível de campo para elucidar o fenômeno de geração de deflúvio e posterior utilização em modelagem de hidrógrafas (BONELL et alii, 1984; DUNNE, 1983; KIRBY, 1980; PEARCE et alii, 1986; SKLASH et alii, 1986; TSUKAMOTO & OHTA, 1988).

Os mecanismos de geração de deflúvio são descritos por DUNNE (1983), PILGRIM (1983) e RUPRECHT & SCHOFIELD (1989), (ver Figura 5):

- a) escoamento superficial de Horton (produção de Q_s) é gerado quando a intensidade de infiltração da chuva excede a capacidade de infiltração do solo. Este processo ocorre mais frequentemente em regiões áridas e semi-áridas, onde a densidade de vegetação é baixa, e com baixas taxas de infiltração; e em áreas perturbadas,

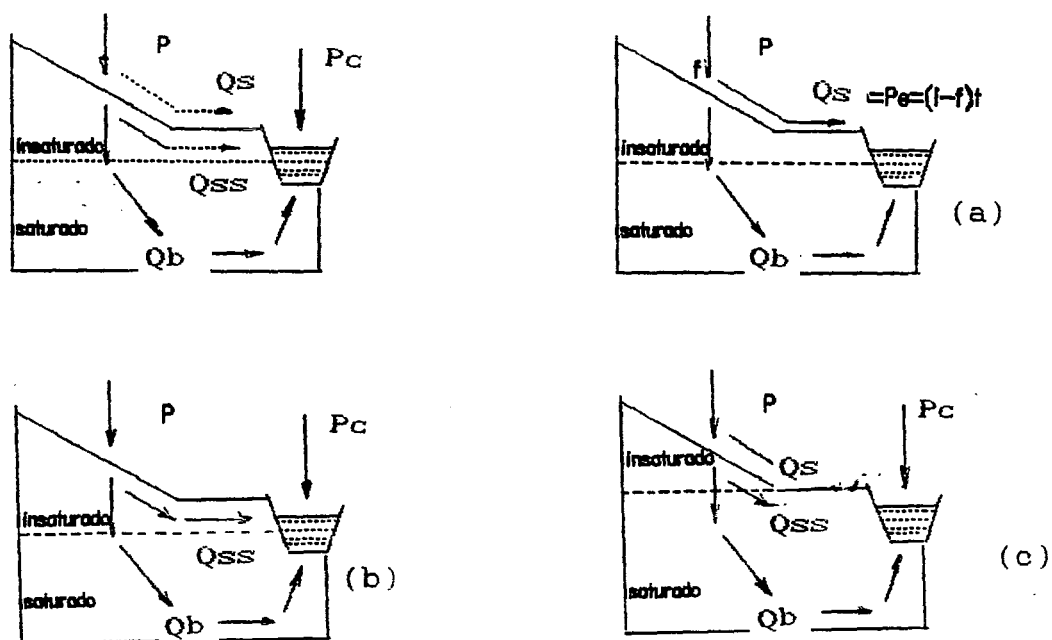
como campos cultivadas, estradas rurais e áreas pavimentadas;

- b) o escoamento subsuperficial (Q_{ss}), contribui significativamente para o escoamento total, onde a condutividade hidráulica do solo é elevada devido a textura grosseira do solo e às aberturas no solo feitas pela sistema radicular da vegetação. O Q_{ss} pode atingir os cursos d'água através das nascentes perenes, ou pode ser dividido lateralmente por alguma camada com uma condutividade hidráulica menor do que a intensidade da chuva; zonas com topografia côncava tendem a contribuir mais para a produção de Q_{ss} do que outras áreas.
- c) escoamento superficial (Q_s), que ocorre por saturação das camadas superficiais do solo, devido a elevação do nível do lençol freático, ou por percolação lateral ou vertical acima de um impedimento horizontal no solo.

Estas hipótese são representadas na Figura 5.

2.5 Modelos hidrológicos - Classificação e escolha

CHOW (1964) define modelos hidrológicos como "formulações matemáticas para simular fenômenos hidrológicos naturais, considerados como processos (qualquer fenômeno que experimenta mudanças relacionadas ao tempo...)". Desta forma, todo fenômeno hidrológico que varia com o tempo é denominado processo hidrológico. Em forma de esquema, a classificação de processos hidrológicos é dada na Figura 6.



P. = precipitação direta Pe = precipitação efetiva
 Qs = fluxo superficial Qss = fluxo subsuperficial
 Qb = fluxo base i = intensidade da chuva
 f = capacidade de infiltração de água no solo
 t = tempo

Figura 5 - Mecanismos de geração do deflúvio. WARD, (1984a)

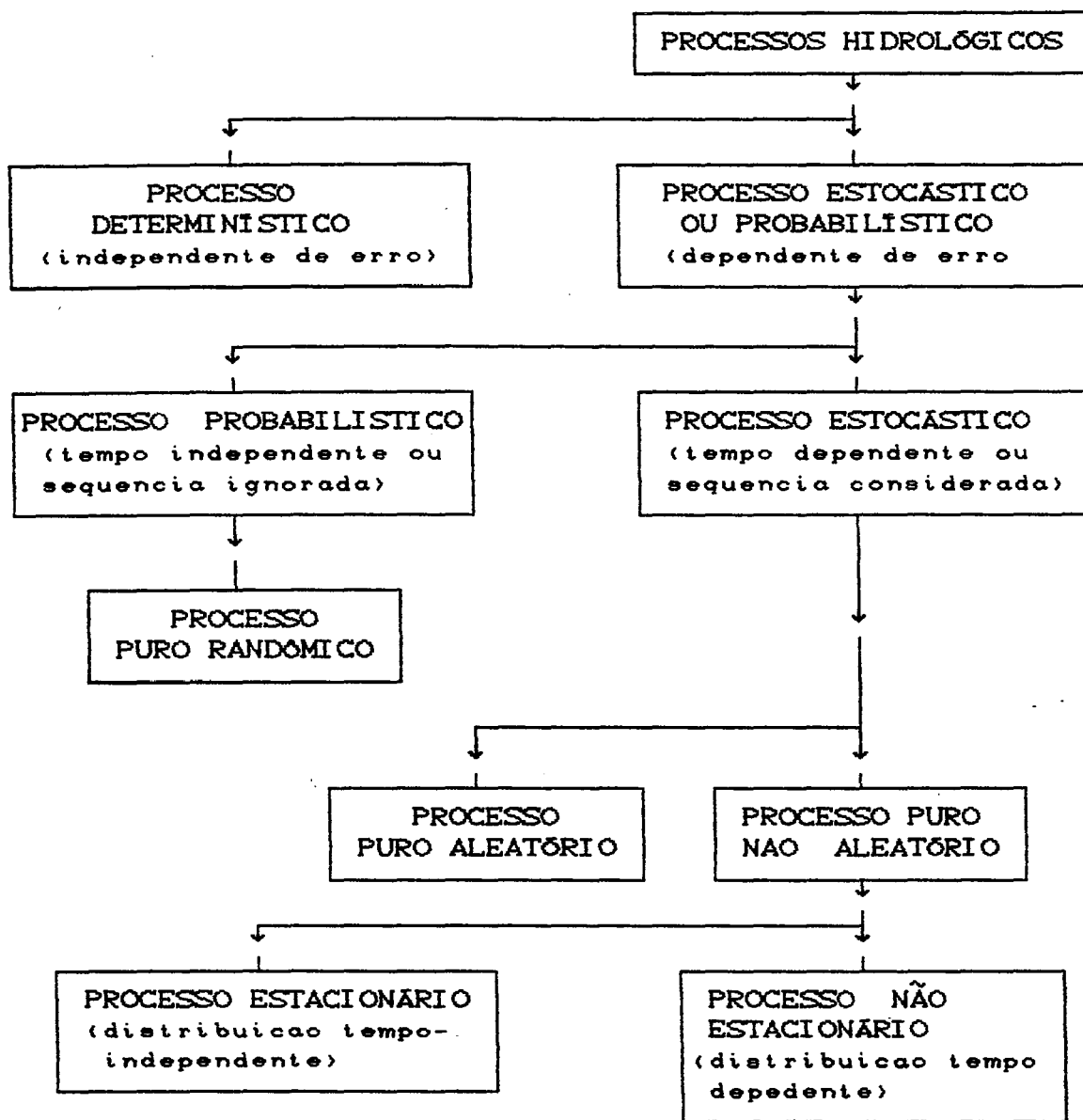


Figura 6 - Classificação dos processos hidrológicos segundo CHOW (1964), adaptado.

CLARKE (1984) propõe um sistema de classificação similar ao de CHOW (1964), esquematizado na Figura 7.

Cada compartimento é definido :

(i) ESTOCÁSTICO - Tanto $x(t)$ (variáveis de entrada) quanto $y(t)$ (variáveis de saída) e e_t (erro) têm distribuição de probabilidade, (Hidrógrafa Unitária).

(ii) DETERMINÍSTICO - Todas as variáveis são livres com relação a variação aleatória; não têm distribuição de probabilidade, (modelos: Equação de Laplace para aquíferos, hidrógrafa unitária instantânea estimada via séries harmônicas).

(iii) CONCEITUAL - A função que correlaciona as variáveis é elaborada levando-se em conta processos físicos.

(iv) SISTEMA TEÓRICO-LINEAR (LST) - Ocorre sistema de superposição, isto é :

$$\begin{array}{|l} x_1(t) \longrightarrow y_1(t) \\ x_2(t) \longrightarrow y_2(t) \end{array} \quad \rightarrow \quad \begin{array}{|l} x_1(t) + x_2(t) = \\ = y_1(t) + y_2(t) \end{array} \quad (5)$$

(v) SISTEMA REGRESSÃO LINEAR (LRS) : Se existir linearidade na relação entre os parâmetros estimados.

(vi) " LUMPED " : Não leva em conta a distribuição espacial das variáveis de entrada $x(t)$.

(vii) DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE : Algumas variáveis de entrada têm distribuição de probabilidade assumida.

(viii) GEOMETRICAMENTE DISTRIBUÍDO : Expressa a variabilidade em termos da rede de pontos (na bacia), relacionando suas distâncias.

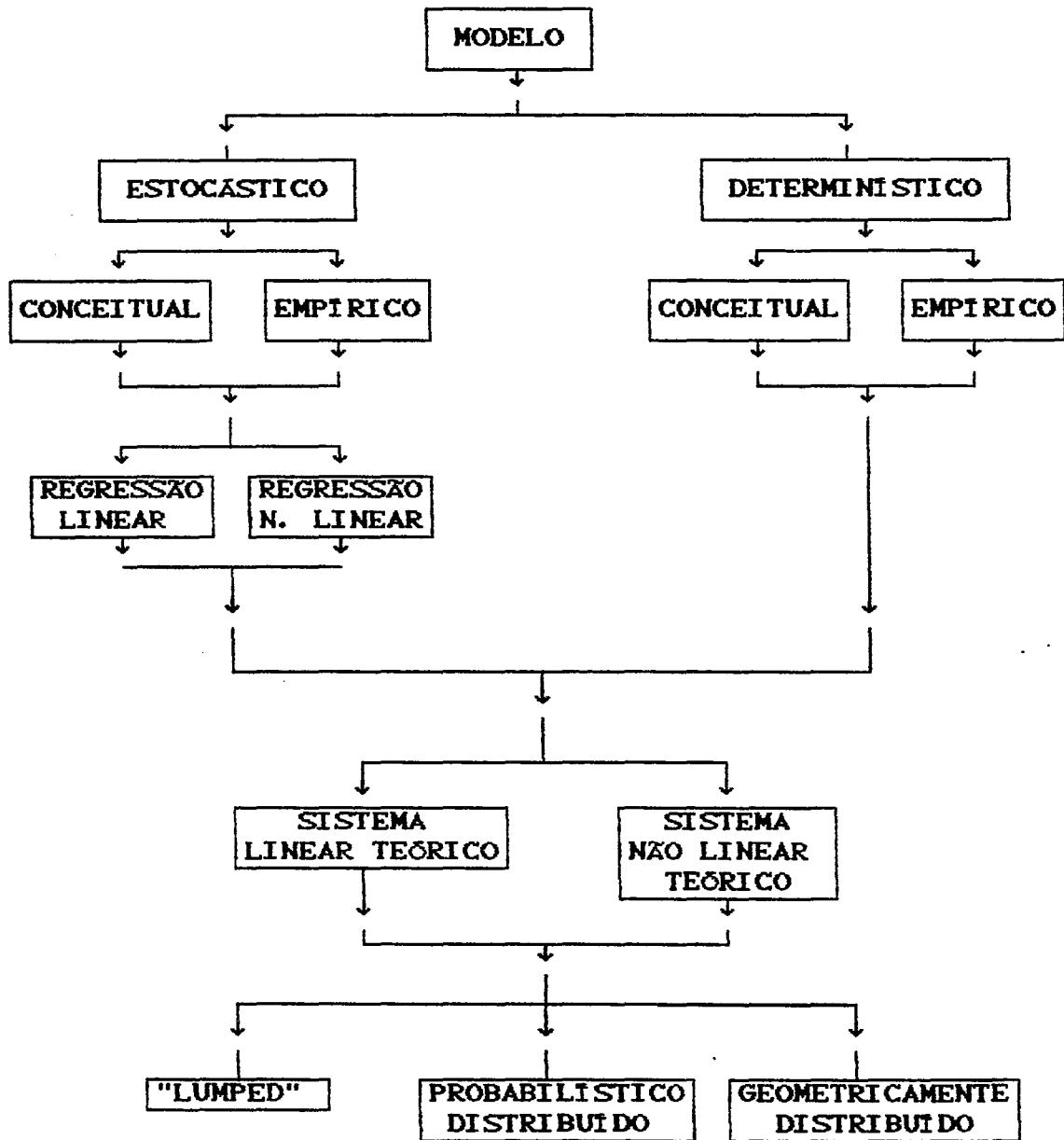


Figura 7- Esquema de classificação de modelos hidrológicos proposto por CLARKE (1984).

WOOLHISER & BRAKENSIEK (1982) e Ozga-Zielinska¹ apresentam critérios de classificação diferentes do apresentado por CLARK (1984).

Nesta última etapa, após a abordagem de classificação de modelos hidrológicos, serão enfocados alguns aspectos ligados à escolha do modelo.

WOOLHISER & BRAKENSIEK (1982) apresentam alguns passos que podem ser seguidos na escolha de modelos hidrológicos :

- 1) Definir explicitamente o problema e especificar a informação requerida para alcançar os objetivos,
- 2) identificar os modelos disponíveis,
- 3) especificar os critérios e limites que serão usados e definir os valores para cada modelo disponível,
- 4) estimar custos por itens para cada modelo,
- 5) avaliar os modelos candidatos e fazer a seleção.

WOOD & O'CONNELL (1985) propõem a distinção entre três tipos de modelos : modelos distribuídos fisicamente, modelos conceitual "Lumped" e "caixa preta", também comentado em ANDERSON & BURT (1985).

a) Distribuídos com base física : (ABBOTT et alii, 1986a; ABBOTT et alii, 1986b; BARTEM & BROOKS, 1985; BATHURST, 1986a; BATHURST, 1986b; BORAH, 1989; HAGER, 1984). São utilizadas equações de massa , energia e momentos para descrever o movimento da água sobre a superfície da terra e através de regiões saturadas e insaturadas. O sistema resultante de equações diferenciais tem que ser resolvido numericamente em todos os pontos na grade de representação do sistema bacia hidrográfica (WOOD & O'CONNELL, 1985).

¹

OZGA-ZIELINSKA, MARIA Structure and operator functions of mathematical models of hydrology systems. *J. Hydrology*, 3(1/2): 1-20, 1976.

Em defesa dos modelos distribuídos, BEVEN (1985) comenta que estes requerem grande investimento sob o ponto de vista da informática e programação, preparação de dados, e experimentação de campo.

BEVEN & O'CONNELL ²citado por BEVEN (1985) identifica quatro grandes áreas que oferecem grande potencial para a aplicação dos modelos distribuídos: previsão de efeitos de uso da terra; previsão de efeitos da localização espacial das variáveis de entrada e saída; previsão do movimento de poluentes e sedimentos; e previsão de resposta hidrológica não monitoradas onde os dados estão disponíveis para os modelos "lumped".

Com modelos de base física é possível extrapolar resultados para outros locais em outros períodos de tempo (BEVEN, 1985), tendo como elo a estimativa dos parâmetros (WILLIAMS & YEH, 1983). No entanto atualmente alguns pesquisadores questionam a sua aplicação devido a complexidade das equações, sendo possível que se perca os limites do processo e suas aplicações práticas (FERREIRA & SMITH, 1988).

As questões de limitação dos modelos com base física são firmemente questionadas por BEVEN (1989). Este aborda considerações relacionadas à realidade heterogênea da bacia hidrográfica e dimensionalidade dos parâmetros na calibração; HAAN (1988) comenta a respeito da incerteza dos parâmetros, questões de escala quando da transferência por modelos, e sugere que os modelos com base física atuais sejam utilizados como conceituais "lumped".

Diante de tantas mudanças nas idéias relacionadas à modelagem hidrológicas, os modelos estocásticos têm papel relevante para o futuro, (FREEZE, 1980; TAKASAO & TAKARA, 1988; TODINI, 1988).

²

BEVEN & O'CONNELL On the role of distributed models in hydrology. Institute of hydrology, Report 81, Wallingford, UK, 1982.

b) Modelos "Lumped" : BLACKIE & EELES (1985) acreditam que a fase terrestre do ciclo hidrológico é um processo determinístico, que é obrigação dos hidrólogos procurar entendê-los e quantificá-los.

O conceito de modelo "lumped" tende a ser considerado somente para pequenas bacias com vegetação, geologia e solos homogêneos, mas a experiência tem mostrado que estes podem ser aplicados a uma ampla faixa de tamanhos de bacia com cobertura de vegetação, geologia e solos. Elevados padrões assimétricos de chuva também podem ser tolerados, estabelecidos que estes modelos são razoavelmente estáveis. O fator chave para o sucesso de modelos "lumped" é a estabilidade do sistema bacia hidrográfica, estabilidade espacial, tipo de vegetação e cobertura e características do solo. Estes fatores e outros fatores determinam a faixa de uso dos modelos "lumped".

Destacam-se os modelos desenvolvidos por BERGSTRÖM (1980), BLIDARU et alii (1980), BOYD & BUFILL (1989), DEVILLEZ & LAUDELOUT (1986), DISKIN et alii (1973), FERSI (1980), HAAN (1972), HOLECEK (1988), KUUSISTO (1980), LUNDQUIST (1980), MENDEL (1980), WARD (1984a), WARD (1984b), e os estocásticos CALDER (1986a), HIGGINS (1981) ROGERSON (1976).

c) Modelos "black box" : Segundo WOOD & O'CONNELL (1985) estes modelos têm como objetivo identificar as relações entre a chuva ("entrada") e o deflúvio ("saida") sem tentar descrever nenhum mecanismo pelo qual esta transformação é feita.

Este caminho é freqüentemente referido aos sistemas aproximados como altamente dependente de técnicas relacionadas a sistemas teóricos, como por exemplo a hidrografia unitária.

3. O SISTEMA JOHNSON DE DISTRIBUIÇÃO

*" A ciência nos oferece cópia
do real. Ela nos dá apenas
modelos hipotéticos e
provisórios da mesma".*

(R. ALVES)

A inclusão deste capítulo se faz necessário na medida em que a aplicação do Sistema Johnson de Distribuição em estudos de hidrologia, como utilizado nesta dissertação é pouco conhecido, fornecendo o embasamento teórico necessário para a modelagem.

No entanto, como poderá ser visto na seqüência, é um sistema de grande flexibilidade com relação às formas das distribuições que podem ser obtidas, como também é de fácil manuseio no tocante a estimativa dos parâmetros.

A seqüência apresentada tem a seguinte estrutura:

3.1. Fundamentos do Sistema Johnson de Distribuição

3.2. Os Sistemas

3.3.1. Sistema S_L

3.3.2. Sistema S_B

3.3.3. Sistema S_U

3.3. Aplicações

3.1. Fundamentos do Sistema Johnson de Distribuição

A distribuição Normal assume posição de destaque dentro da estatística e inúmeras variáveis encontradas na natureza assumem distribuição similar à Normal.

No entanto outras variáveis, como a distribuição da vazão no tempo, apresentam distribuição diferente da Normal. Pode-se então trabalhar com ditribuições como : Gama, Exponencial, Weibull, Gausiana Inversa, Pareto, Cauchi, Logística, Laplace, Lognormal, Beta, Uniforme, F, t, χ^2 , dentre outras, (JOHNSON & KOTZ, 1970).

Além das distribuições anteriores citadas, existem sistemas de distribuição que têm o poder de cobrir uma grande variedade de formas. Dos sistemas de distribuição existentes, destaca-se o proposto por JOHNSON (1949). O sistema de curvas de frequência é gerado por métodos de translação.

A idéia básica consiste em, a partir de uma variável normal reduzida (z), obter uma transformação linear do tipo :

$$z = \gamma + \delta \cdot f\left(\frac{x-\varepsilon}{\lambda}\right) \quad (6)$$

Onde os parâmetros δ e γ são responsáveis pela forma, λ é uma fator de escala e ε um parâmetro de localização. A idéia pode ser também representada graficamente como na Figura 8.

O objetivo é obter a distribuição de x ou y, onde a função f seja preferencialmente de forma simples e com determinado número de parâmetros. Pode-se também escrever:

$$y = \frac{(x-\varepsilon)}{\lambda} \quad (7)$$

$$z = \gamma + \delta \cdot f(y) \quad (8)$$

$$P(y) = \delta \cdot f'(y) \cdot p(z) \quad \left| \quad z = \gamma + \delta \cdot f(y) \right. \quad (9)$$

$$P(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \delta \cdot f'(y) \cdot \exp\left(-(\gamma + \delta \cdot f(y))^2 / 2\right) \quad (10)$$

O sistema de curvas de frequência depende da escolha da função, cujas propriedades por conveniência prática são as seguintes (JOHNSON, 1949) :

- 1) Ser uma função monótona de y.
- 2) Ser de fácil manuseio, preferencialmente com a existência de tabelas para cálculos.
- 3) Contradomínio pertencente ao intervalo $(-\infty, \infty)$.
- 4) O resultado do sistema de distribuição de y (e conseqüentemente de x) incluirá muitas distribuições, se não todos, dos tipos encontrados nos dados coletados.

3.2. Os Sistemas

Três sistemas ou famílias podem ser obtidos da expressão (1), fazendo-se variar a função f :

$$\text{Se } f(x) = \text{Log}(y) \quad \rightarrow \quad S_L$$

$$\text{Se } f(x) = \text{Log}(y/(1-y)) \quad \rightarrow \quad S_B$$

$$\text{Se } f(x) = \text{Log}(y + \sqrt{y^2 + 1}) \quad \rightarrow \quad S_U$$

Antes de serem comentados aspectos relativos a cada um dos sistemas de distribuição, é conveniente compararmos graficamente a flexibilidade do sistema proposto por JOHNSON (1949), em relação a outras

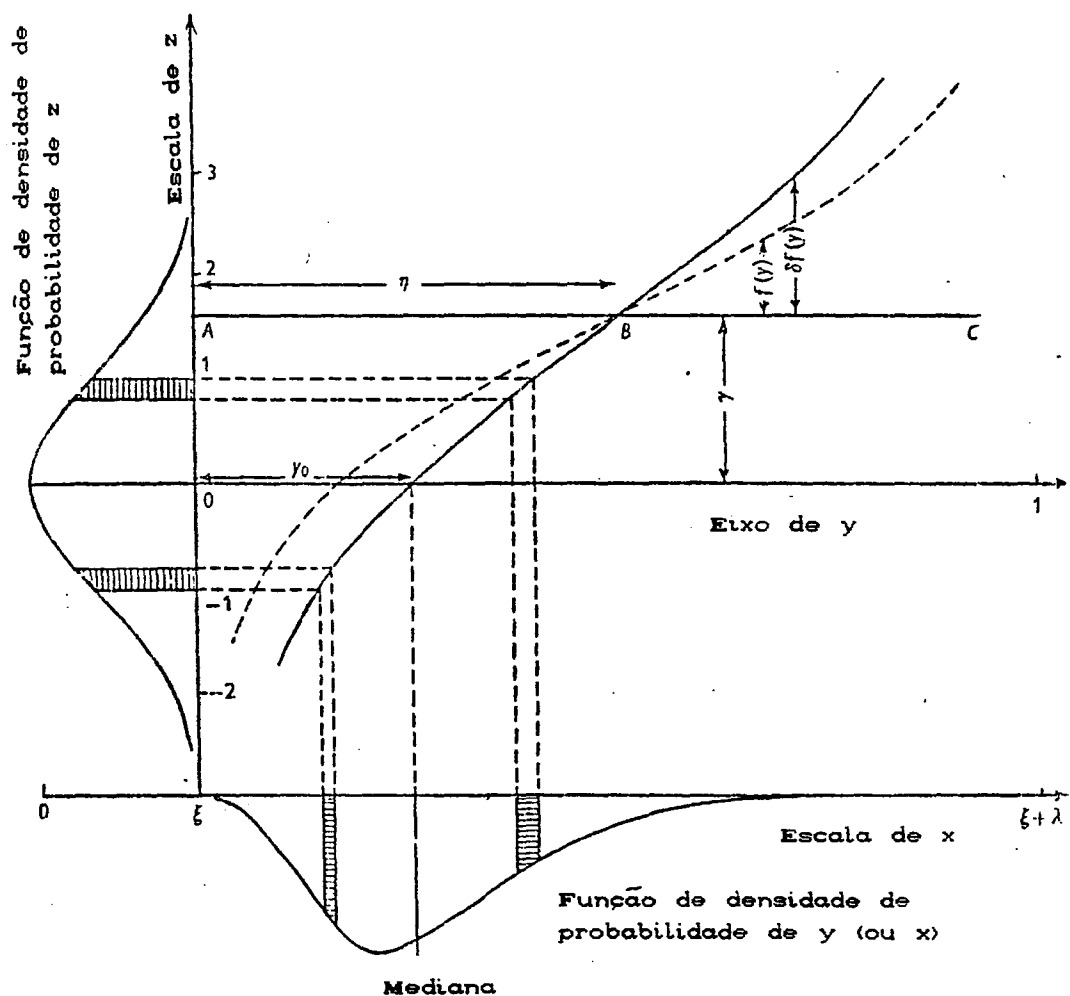


Figura 8 - Sistema de translação do Sistema Johnson. (JOHNSON, 1949).

distribuições conhecidas. Define-se os 3^o e 4^o momentos estandardizados em relação à média (respectivamente coeficiente de assimetria e curtose) β_1 e β_2 (estimadores populacionais) e b_1 e b_2 (estimadores amostrais), (SHAPIRO & GROSS, 1981):

$$\sqrt{\beta_1} = \frac{E[(X-\mu)^3]}{\{E[(X-\mu)^2]\}^{3/2}} \quad (11)$$

$$\sqrt{\hat{\beta}_1} = \sqrt{b_1} = \frac{m_3}{m_2^{3/2}} \quad (12)$$

onde : m_2 e m_3 são respectivamente :

$$m_2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n} \quad (13)$$

$$m_3 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{n} \quad (14)$$

e β_2 :

$$\sqrt{\beta_2} = \frac{E[(x-\mu)^4]}{\{E[(X-\mu)^2]\}^2} \quad (15)$$

$$\sqrt{\hat{\beta}_2} = \sqrt{b_2} = \frac{m_4}{m_2^2} \quad (16)$$

Pode-se plotar β_1 e β_2 num sistema de eixos cartesianos (Figura 9.), sendo possível então localizar alguma distribuição padrão previamente estudada. Por exemplo, a distribuição Normal tem $\beta_1 = 0$ e $\beta_2 = 3$, coordenadas (0,3), sendo representada por um ponto. Analogamente, a distribuição exponencial é representada pelas coordenadas (4,9). Todas as distribuições que não têm parâmetros de forma são representadas por um único ponto. Nestes casos não se tem uma relação entre β_1 e β_2 e seus respectivos parâmetros, sempre resultando em simples pontos no sistema de eixos. Distribuições com um único parâmetro de forma estão situadas sobre uma linha reta no plano cartesiano, (BOWMAN & SHENTON, 1949). Por exemplo a distribuição Gama tem a seguinte relação entre β_1 e β_2 :

$$\beta_2 = 3.(1 + \beta_1 / 2) \quad (17)$$

Já as distribuições que têm dois parâmetros de forma cobrem uma região no plano, uma dimensão superior (bidimensional), é o caso da família Beta, situada entre as

retas :

$$\beta_2 = 3.(1 + \beta_2 / 2) \quad (18)$$

$$\beta_2 = 1 + \beta_2 \quad (19)$$

No caso do sistema Johnson de Distribuição, este cobre todo o plano, exceto a região impossível, englobando assim uma grande variedade de formas de distribuições, (Figura 10).

O método de ajuste (percentis, momentos e máxima verossimilhança) difere para cada uma das três famílias. No entanto é necessário quando de posse dos dados, decidir qual das três subfamílias selecionar (SHAPIRO E GROSS, 1981). SLIFKER & SHAPIRO (1980), apresentam um procedimento que vem auxiliar a escolha do sistema e conseqüentemente na estimativa dos parâmetros :

1) Escolher um valor de $z > 0$, onde z é a variável normal reduzida. A escolha é feita levando-se em conta dois aspectos: o número de observações e (para subsequente uso) os pontos nos quais os percentis serão iguallados. No procedimento de estimativa a igualdade ocorre nos percentis correspondendo a $-3z, -z, z, 3z$. Entretanto z será escolhido de forma que o ajuste cubra as áreas de interesse para um conjunto de dados de tamanho moderado, para $n < 1000$, um valor de z menor que 1 seria selecionado. A escolha de um $z > 1$ dificulta a estimativa dos pontos de percentagem $\pm 3z$, isto é, pontos além dos percentis 0,0014 e 0,9986. Valores de z próximos a 0.5 são recomendados para amostras de tamanho moderado. Por exemplo a escolha de $z = 0.524$, que produz $3z = 1.572$, significa utilizar os pontos 5.8%, 30%, 70% e 94% .

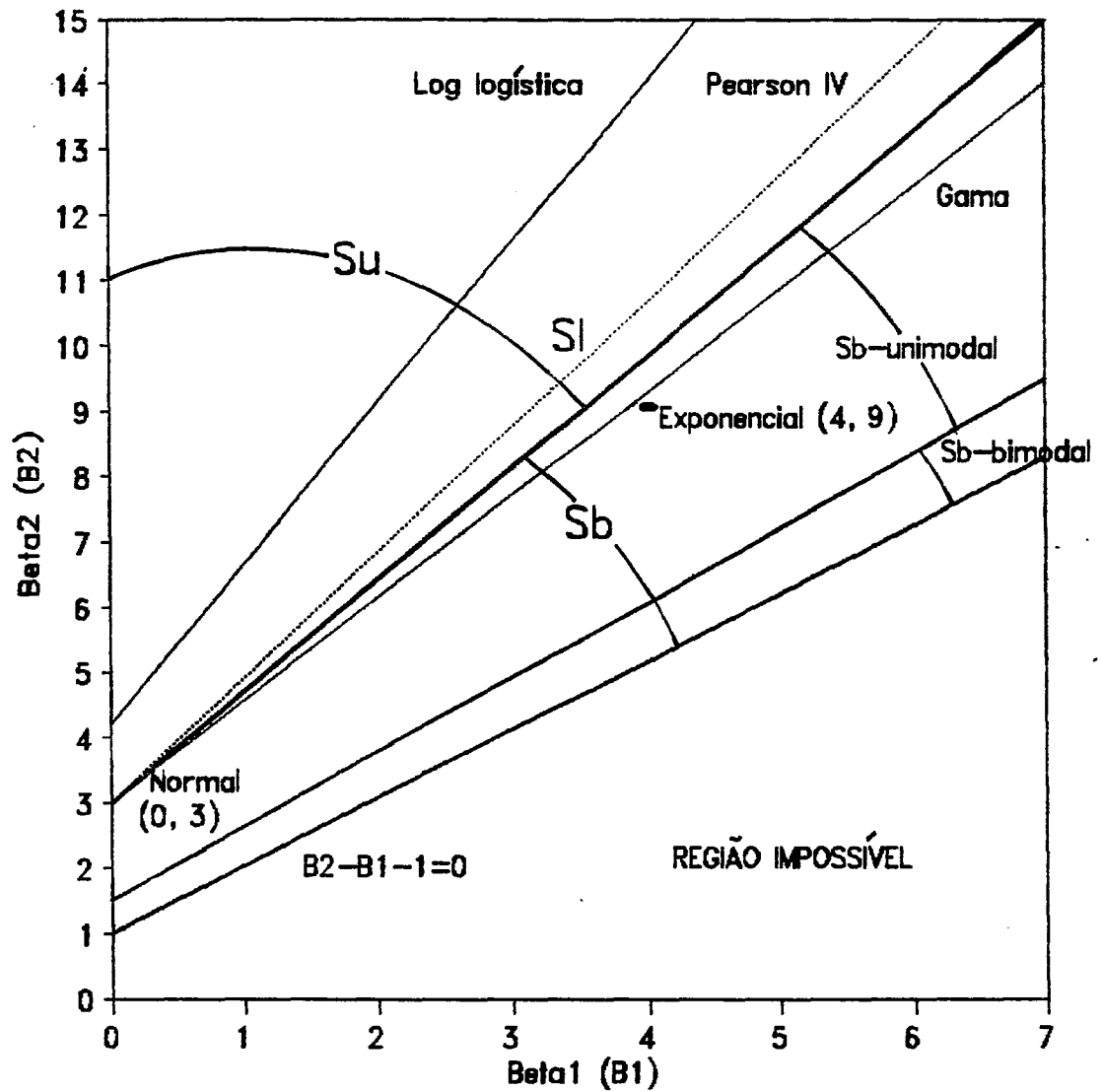


Figura 9 - Representação de algumas distribuições no plano formado pelos coeficientes de assimetria e curtose (β_1 e β_2), (JOHNSON, 1949).

2) Uma vez escolhido z , determinar a partir da tabela da Normal os valores de $F(3z)$, $F(z)$, $F(-z)$, $F(-3z)$.

3) Obter dos dados de x os percentis correspondentes à ^{-}z e $^{+}3z$, resolvendo para i a equação :

$$\frac{i}{n} = F(k) \quad (20)$$

onde $k = \pm 3z$ e $\pm z$ e n é o tamanho da amostra. Assim, x_k é igual a observação de i^{th} ordem correspondendo ao valor de k .

Se i não for inteiro, interpolação é utilizada.

4) Computar os seguintes valores :

$$\begin{aligned} m &= x_{3z} - x_z \\ n &= x_{-z} - x_{3z} \\ p &= x_z - x_{3z} \end{aligned} \quad (21)$$

5) Para a razão discriminante $(m \cdot n)/p^2$:

$$\begin{aligned} (m \cdot n)/p^2 = 1 & \text{ utilizar sistema } S_L \\ (m \cdot n)/p^2 > 1 & \text{ utilizar sistema } S_U \\ (m \cdot n)/p^2 < 1 & \text{ utilizar sistema } S_B \end{aligned} \quad (22)$$

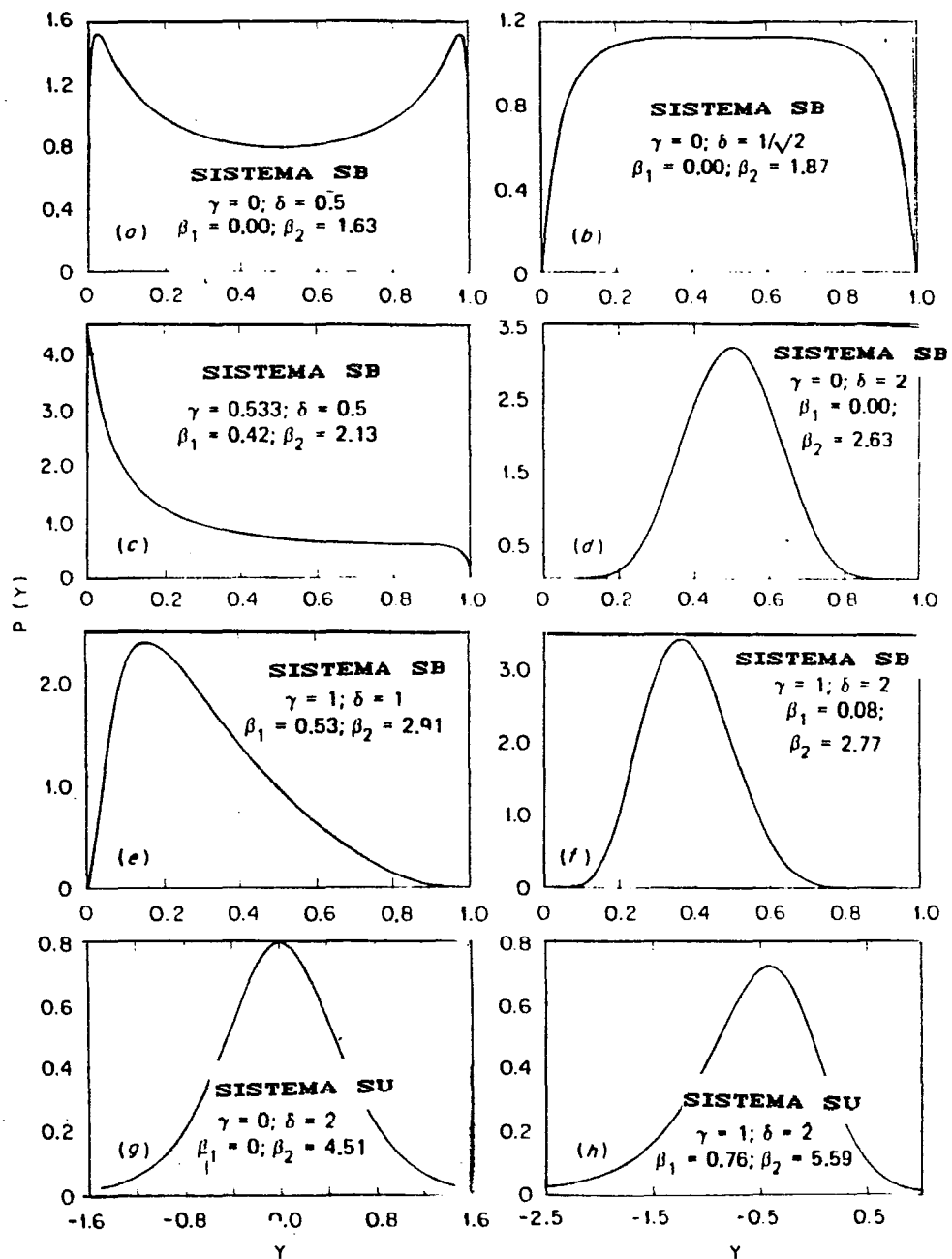


Figura 10 - Algumas possíveis distribuições apresentadas pelo Sistema Johnson de Distribuição (BOWMAN & SHENTON, 1983).

3.2.1. Sistema S_L

Neste sistema têm-se (JOHNSON, 1949) :

$$f(x) = \text{Log}\left(\frac{x - \varepsilon}{\lambda}\right) \quad \rightarrow$$

$$z = \gamma + \delta \cdot \text{Log}(y) \quad (23)$$

$$P(y) = \frac{\delta}{\sqrt{2\pi \cdot y}} \cdot \exp\left(-\frac{(y + \delta \cdot \text{Log}(y))^2}{2}\right) \quad (24)$$

com $y > 0$.

Os três métodos principais de estimativa apresentados em 3.2. são discutidos por ELDERTON (1969), JOHNSON (1949), ORD (1972), SHAPIRO & GROSS (1981).

De (23) :

$$z = \gamma + \text{Log}\left(\frac{x - \varepsilon}{\lambda}\right) \quad \rightarrow$$

$$\rightarrow z = \gamma - \delta \cdot \text{Log}(\lambda) + \delta \cdot \text{Log}(x - \varepsilon)$$

Cujos parâmetros são $\delta = \sigma^{-1}$, ε , $\alpha = \gamma - \delta \cdot \log(\lambda)$

a) Momentos : Fazendo $w = \exp(\delta^2/2)$, $\rho = \exp(-\alpha/\delta)$ \rightarrow

$$\begin{aligned} \mu'_1 &= wp + a \\ \mu_2 &= (wp)^2 (w^2 - 1) \\ \beta_1 &= (w^2 - 1) \cdot (w^2 + 2)^2 \\ \beta_2 &= w^8 + 2 \cdot w^6 + 3 \cdot w^4 - 3 \end{aligned}$$

Fazendo $t = (w^2 - 1)$ a expressão para β_1 produz :

$$t^3 + 3 \cdot t - \sqrt{\beta_1} = 0$$

$$\begin{aligned} \rho &= \sqrt{(\mu_2/t^2)(t^2 + 1)} \\ \varepsilon &= \mu'_1 - \sqrt{\mu_2/t} \end{aligned}$$

Quando ε é conhecido, somente os dois primeiros momentos são necessários. Estes estimadores são totalmente eficientes com $\sigma^2 = 0$, mas com $\sigma^2 = 0.4$ a eficiência cai para 50% (ORD, 1972).

b) Máxima verossimilhança : Os estimadores $\hat{\alpha}$ e $\hat{\sigma}$ são soluções das equações :

$$n\hat{\lambda} = \sum (u_i)$$

$$n \cdot (\hat{\lambda} + \hat{\sigma}) = \sum (u_i)^2$$

(25)

onde $u_i = \ln(x_i - \varepsilon)$ $i = 1, 2, \dots, x$. Se ε é desconhecido deve-se adicionar a equação :

$$(\hat{\sigma}^2 + \alpha) \cdot \sum (x_i - \hat{\varepsilon})^{-1} = - \sum u_i (x_i - \hat{\varepsilon})^{-1} \quad (26)$$

c) Percentis : (SHAPIRO & GROSS, 1981)

$$\hat{\varepsilon} = \frac{(x_p \cdot x_{1-p} - x_{0.50}^2)}{(x_p + x_{1-p} - 2 \cdot x_{0.50})}$$

$$\hat{\lambda} = \frac{z_{1-p}}{\ln((x_{1-p} - \hat{\varepsilon}) / (x_{0.5} - \hat{\varepsilon}))}$$

onde x_p é o ponto de p-ésima percentagem, z_p é o p-ésimo percentil da variável da distribuição Normal padrão.

Segundo ORD (1972) quando ε é conhecido os pares de percentis (27,73) produz 65 a 81% de eficiência assintótica para λ , enquanto o par (7,93) produz uma eficiência inferior a 65%.

3.2.2. O Sistema S_B

Os momentos são bastante complicados para serem estimados algebricamente, como fica evidenciado em JOHNSON (1949) e DRAPER (1952).

Se ambos os pontos são conhecidos (ε e $\lambda + \varepsilon$) e os dados estão por extenso, a estimativa de máxima verossimilhança produz (JOHNSON, 1949; PHIEN & JIVAJIRAJAH, 1984b) :

$$\hat{\gamma} = \frac{-f}{S_f}$$

e

$$\hat{\delta} = \frac{1}{S_f}$$

sendo :

$$\bar{f} = n^{-1} \cdot \sum_{i=1}^n (f_i) \quad (27)$$

$$S_f^2 = n^{-1} \cdot \sum_{i=1}^n (f_i - \bar{f})^2 \quad (28)$$

$$f_i = \text{Log} \left(\frac{x - \varepsilon}{\varepsilon + \lambda + x_i} \right) \quad (29)$$

No entanto para os dados distribuídos em classe, existe a necessidade de correção, procedimento de difícil manipulação (JOHNSON,1949). Neste caso o mais indicado é o método dos percentis, indicado por SHAPIRO & GROSS (1981) :

$$\hat{\delta} = \frac{z}{\text{Cosh}^{-1} \left(\sqrt{(1+p/n) \cdot (1+p/m)/2} \right)} \quad (30)$$

$$\hat{\gamma} = \hat{\delta} \cdot \text{Sinh}^{-1} \left[\frac{(p/n - p/m) \cdot \sqrt{(1+p/m)(1+p/n) - 4}}{2 \cdot (p^2/(m \cdot n) - 1)} \right] \quad (31)$$

$$\hat{\epsilon} = \frac{x_z + x_{-z}}{2} - \frac{\hat{\lambda}}{2} + \frac{p \cdot (p/m - p/n)}{2 \cdot (p^2/(m \cdot n) - 1)} \quad (32)$$

3.2.3. O Sistema S_U

Sejam as variáveis definidas como :

$$w = \exp(-\delta^2/2) \quad (33)$$

$$\rho = -(\gamma/\delta) \quad (34)$$

Assim os momentos são :

$$\mu'_1 = -w \cdot \text{Sinh}(\rho) \quad (35)$$

$$\mu_2 = (w^2 - 1) \cdot (w^2 \cdot \text{Cosh}(2\rho) + 1) / 2 \quad (36)$$

$$\mu_3 = -w \cdot (w^2 - 1) \cdot (w^2 \cdot (w^2 + 2) \cdot \text{Sinh}(3\rho) + \text{Sinh}(\rho)) / 4 \quad (37)$$

$$\mu_4 = (w^2 - 1)^2 \cdot (w^4 \cdot (w^8 + 2 \cdot w^6 + 3 \cdot w^4 - 3) \cdot \text{Cosh}(4\rho)) / 8 \quad (38)$$

Para facilitar a solução para ρ e δ em termos de β_1 e β_2 , um ábaco desenvolvido por JOHNSON (1949), e posteriormente estudos desenvolvidos por LESLIE (1959) e JOHNSON (1965), fornecem γ e δ para β_1 e β_2 . O método da máxima verossimilhança é de difícil manipulação, (CORD 1972; PHIEN & HIRA 1983), sendo o método dos percentis mais facilmente utilizável (SHAPIRO & GROSS, 1981):

$$\hat{\delta} = \frac{2 \cdot z}{\text{Cosh}^{-1} \left[\frac{(m/p) + (n/p)}{2} \right]} \quad (39)$$

$$\hat{\gamma} = \hat{\delta} \cdot \text{Sinh}^{-1} \left[\frac{n/p - m/p}{2 \cdot \sqrt{(m \cdot n / p^2) - 1}} \right] \quad (40)$$

$$\hat{\lambda} = \frac{2p \sqrt{(m - n/p^2) - 1}}{\left[\frac{m/p + n/p - 2}{2} \right] \cdot \sqrt{(m/p + n/p + 2)}} \quad (41)$$

$$\hat{\epsilon} = \frac{x_z + x_{-z}}{2} + \frac{p(n/p - m/p)}{2 \cdot (m/p + n/p - 2)} \quad (42)$$

Se $m < n$, γ é positivo ; de outro modo negativo.

3.3. Aplicações

HILL et alii (1976) apresentam um algoritmo para ajuste dos três subsistemas (S_B , S_L , S_U) em linguagem Fortran. Para o subsistema S_B os autores utilizaram a aproximação de Goodwin's para integrais de faixa infinita dupla, utilizando integrandos: $g(x) = f(x) \cdot \exp(-x^2)$, sugerido por DRAPER (1952).

Na Tabela 2 estão resumidas algumas aplicações dos sistemas de translação de Johnson e Pearson.

Tabela 2 - Aplicações dos sistemas de translação.

Autor	Variável	Distribuição
JOHNSON (1949)	graus de nebulosidade	S_B , Pearson I
JOHNSON (1949)	idade de mães até o parto	S_B , Pearson I
JOHNSON (1949)	comprimento de grãos	S_U , Pearson IV
MAGE (1980)	concentração de CO_2	S_B
SLIFKER & SHAPIRO (1980)	resistência elétrica	S_B
McMAHON & SRIKANTHAN (1981)	análise de frequência de cheias	Log pearson III
SHAPIRO & GROSS (1981)	corrente elétrica	S_B
SRIKANTHAN & McMAHON (1981)	pico anual de cheias	Log pearson III
PHIEN & CHOW (1983)	dados de vazão anual	S_B
PHIEN & JIVAJIRAJAH (1984a) PHIEN &	dados de vazão anual	S_B

4. METODOLOGIA

"Métodos contém sempre uma metafísica; Inconscientemente, eles revelam conclusões que freqüentemente afirmam ainda não conhecer".

(A. Camus)

4.1. Área experimental - O Sistema

4.1.1. - Localização

4.1.2. - Relevo e características físicas

4.1.3. - Solos

4.1.4. - Vegetação

4.1.5. - Clima

4.2. - Fundamentos do método utilizado

4.2.1. - Hipótese básica

4.2.2. - Identificação e caracterização das chuvas - A Entrada

4.2.3. - Identificação e caracterização das Hidrógrafas - A Saída

4.2.4. - A Modelagem - MSHJ e MSHA

4.1. Área experimental - O Sistema

4.1.1. - Localização

A área em estudo (bacia experimental "D") está localizada no Parque Estadual da Serra do Mar - Núcleo de Cunha, situado entre os paralelos $23^{\circ}13'28''$ e $23^{\circ}16'10''$ de latitude Sul e os meridianos $45^{\circ}02'53''$ e $45^{\circ}05'15''$ de longitude W Gr., apresentando uma área aproximada de 2.854,00 ha no planalto do Paraitinga, correspondendo a uma parte do alto médio vale do Paraibuna (FURIAN & PFEIFER, 1986), (Figura 11).

4.1.2. - Relevo e características físicas (Figura 12).

A região é montanhosa e está localizada no Planalto Atlântico (FURIAN & PFEIFER, 1986). A bacia hidrográfica experimental "D" ocupa uma área de 56,04 ha, (CICCO et alii, 1985). Na Tabela 3 estão resumidas várias características físicas da bacia experimental "D" (CICCO et alii, 1985; CICCO et alii, 1987).

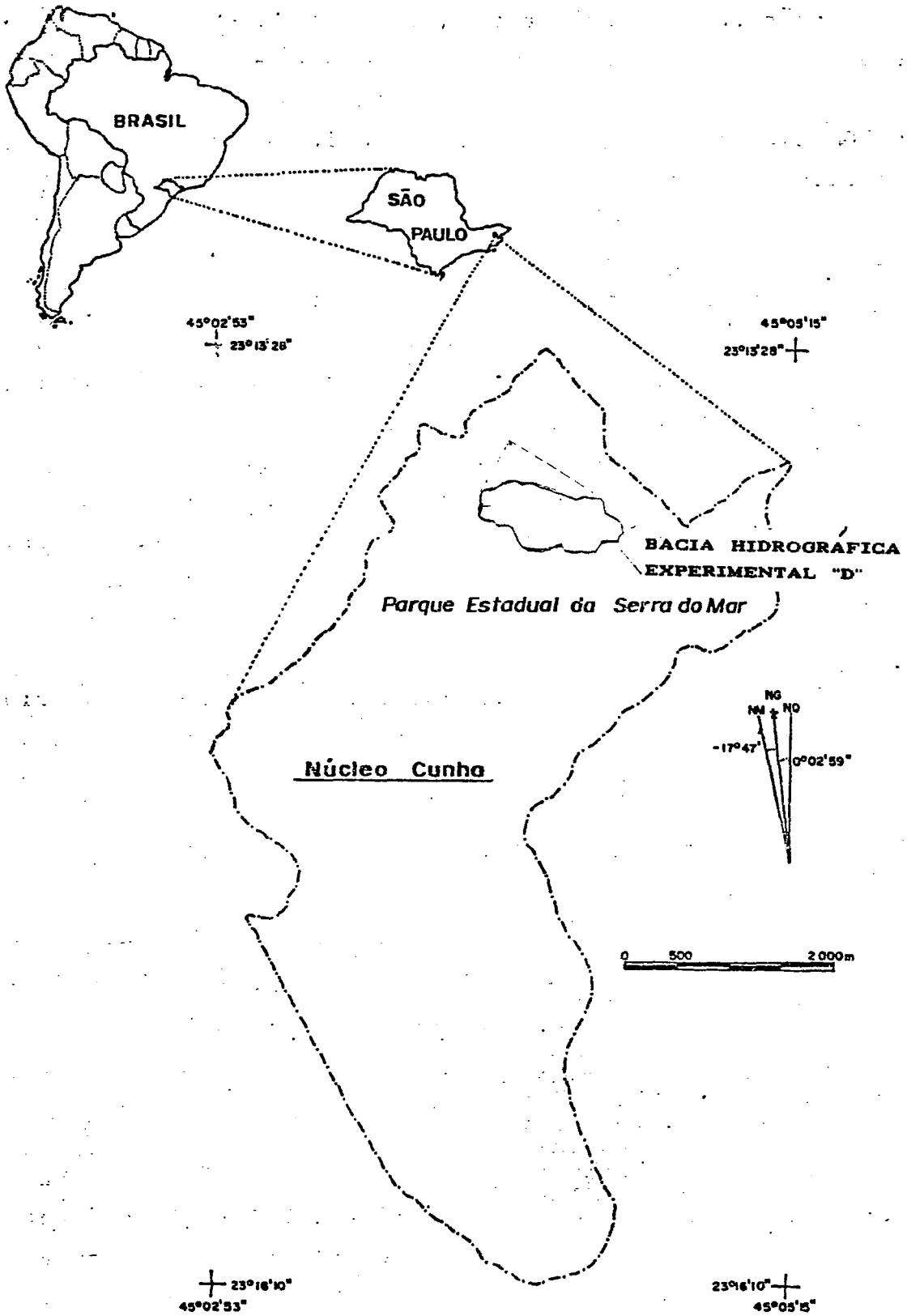


Figura 11 - Mapa de localização da área experimental.

Tabela 3. Características físicas da Bacia Experimental "D"
(CICCO et alii, 1985).

-
- 1 - Área=56,04 ha
 - 2 - Elevação máxima e mínima=1.222,0 e 1.048,0 m
 - 3 - Altitude média=1.125,10 m
 - 4 - Declividade média=25°10'
 - 5 - Comprimento de rio principal=1.260,0 m
 - 6 - Altura relativa=174,0 m
 - 7 - Razão de declividade=0,138 =7°52'
 - 8 - Largura média da bacia=444,76 m
 - 9 - Fator de forma=0,353
 - 10 - Razão de forma=2,83
 - 11 - Razão de alongamento=0,67
 - 12 - Perímetro da bacia=3.340,0 m
 - 13 - Comprimento total dos rios=1.550,0 m
 - 14 - Densidade de drenagem=2,77 km/km²
 - 15 - Ordem da bacia=2^a ordem
-

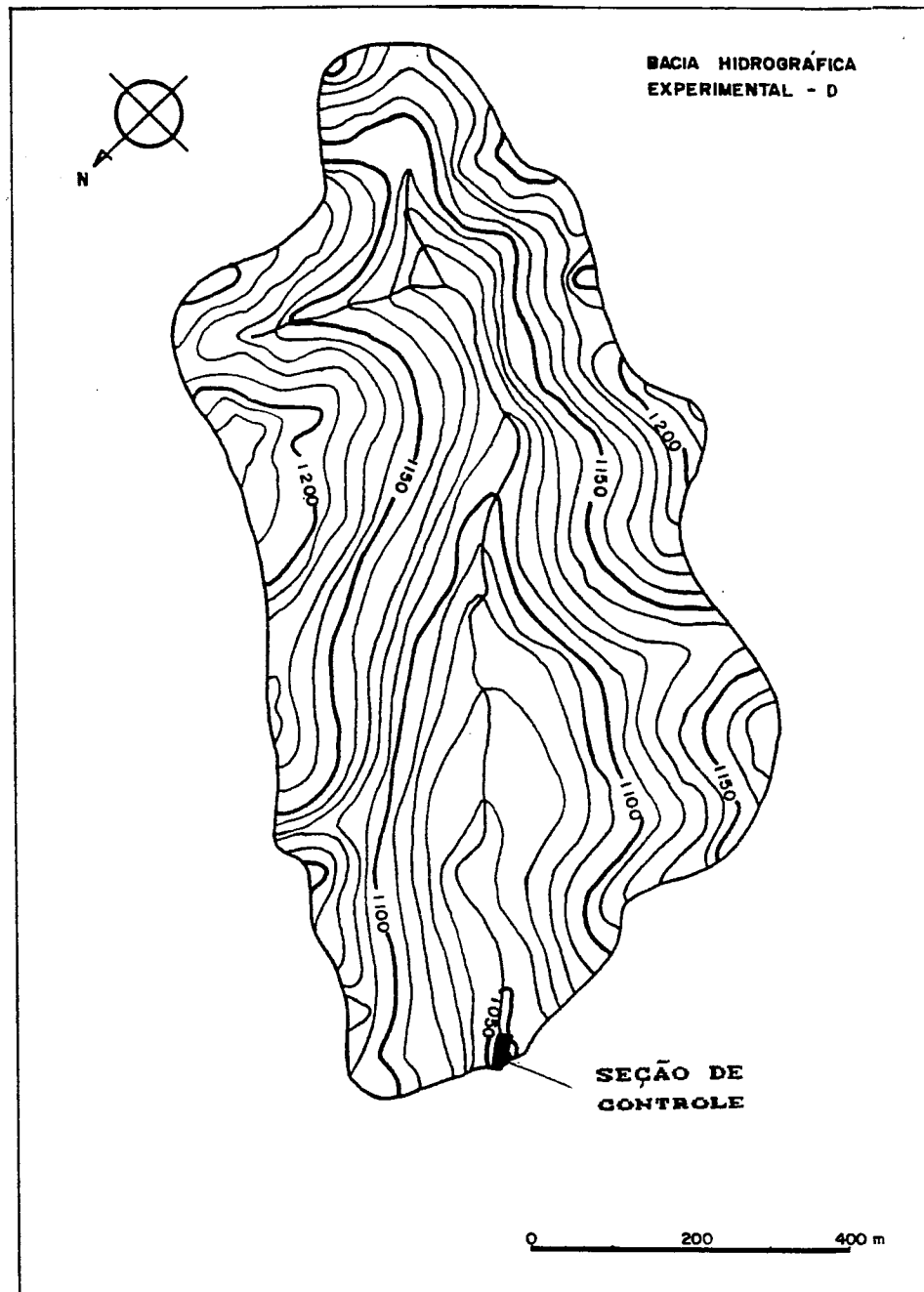


Figura 12 - Mapa planoaltimétrico da Bacia experimental "D" do Núcleo de Cunha S.P. (CICCO et alii, 1987).

4.1.3. Solo

A unidade taxonômica é caracterizada como latossolo vermelho amarelo fase rasa (Lvr), proveniente de rochas duras e de difícil decomposição, com os gnaisses, magmatitos e granitos. Em consequência este tipo de solo é quimicamente pobre, ácido, relativamente raso, com textura grosseira e estrutura fraca, isto é, os grânulos formam uma massa fraca homogênea com muita fraca coerência que, aliados a elevada porosidade, condiciona-lhe boa permeabilidade (FURIAN & PFEIFER, 1986).

4.1.4. Vegetação

A vegetação primitiva da Floresta Latifoliada perenifólia - Mata Atlântica apresenta uma grande diversidade a nível de família, LEITÃO FILHO (1982). A área atual encontra-se sob mata secundária, com aproximadamente 25 anos de regeneração (CICCO et alii, 1986/88).

4.1.5. Clima

Segundo a classificação de Köppen, a região apresenta clima Cwa, clima mesotérmico de inverno seco com temperaturas inferiores a 18° no inverno e superiores a 22° no verão, (FURIAN & PFEIFER, 1986).

A temperatura e umidade relativa média são respectivamente 16,5° e 79,3 %, conforme dados observados no posto meteorológico do núcleo. A precipitação média anual é de aproximadamente 2.000 mm, com o ciclo de período chuvoso compreendido entre outubro e abril e o período seco abrange os meses de maio a setembro, (CICCO et alii, 1986/88). A Figura 13 apresenta os dados de precipitação e escoamento (média mensal) no período de maio de 1982 a julho de 1983, e na Tabela 4 os dados de altura de lâmina d'água, (CICCO et alii, 1987).

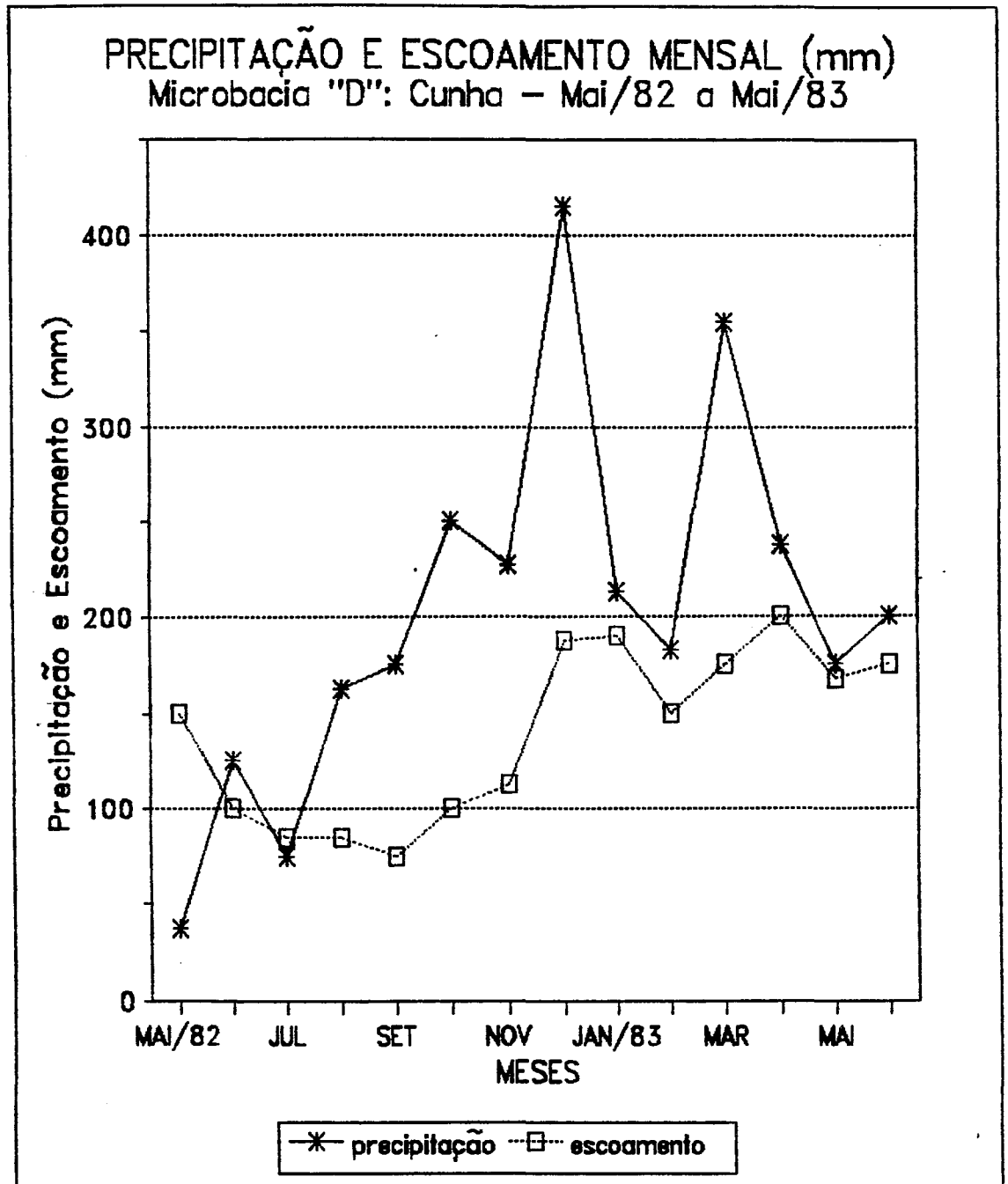


Figura 13 - Relação entre a precipitação e o escoamento mensal. (CICCO et alii, 1987).

Tabela 4 - Precipitação, altura de lâmina d'água e vazão mensal máxima e mínima da Bacia Hidrográfica "D", (CICCO et alii, 1987).

Mês	Precipitação (mm)	mínima *		máxima	
		Altura da lâmina d'água	vazão (l/s)	Altura da lâmina d'água (cm)	vazão (l/s)
Mai /82	33,5	3,5	24,47	5,0	44,84
Jun	123,5	3,0	18,83	11,5	184,50
Jul	65,0	2,5	13,82	6,0	61,11
Ago	122,5	2,0	9,46	12,5	212,56
Set	128,0	2,0	9,46	13,0	227,21
Out	228,5	2,0	9,46	13,4	239,21
Nov	209,5	2,7	15,75	26,5	761,57
Dez	350,5	3,7	26,89	25,0	689,81
Jan /83	194,5	4,0	20,70	8,5	110,42
Fev	167,5	3,7	26,89	14,2	263,96
Mar	331,0	3,6	25,67	39,0	1.467,96
Abr	212,5	4,1	32,01	24,5	666,55
máxima	350,5	4,1	32,01	39,0	1.467,96
mínima	33,5	2,0	9,46	5,0	61,11

* a vazão mínima é definida como a mínima instantânea para cada registro e não com vazão mínima diária.

4.2. Fundamentos do método utilizado

4.2.1. Hipótese Básica

O método utilizado tem como pressuposição básica que dentre os fatores do meio que afetam a hidrógrafa, a precipitação tem papel fundamental. Deste modo as chuvas antecedentes, juntamente com suas características (intensidade, duração e distribuição no tempo), são variáveis que podem afetar a distribuição da vazão no tempo - hidrógrafa, através de modificação por exemplo do início do escoamento, do tempo de pico da hidrógrafa, e do volume de água produzido pela bacia hidrográfica experimental.

4.2.2. Identificação e caracterização das chuvas - A entrada

Para o estudo de cada hidrógrafa foram isoladas até 6 (seis) eventos chuvosos compreendidos dentro de um período máximo de 6 (seis) dias anteriores ao início do escoamento, identificados na Tabela 5 .

Para cada hidrógrafa identificada, a chuva zero (CH0), a mais próxima do início do escoamento, foi considerada como a responsável pela produção da hidrógrafa, acompanhadas das chuvas anteriores (CH1, CH2, CH3, CH4 e CH5).

A separação entre cada evento chuvoso foi feita considerando-se um período de tempo de pelo menos 6 horas. A distribuição de cada evento chuvoso no tempo foi feita em intervalos de tempo de 20 minutos, e para cada chuva determinou-se 6 (seis) variáveis, resumidas na TABELA 6.

TABELA 5 - Identificação dos eventos chuvosos

Evento chuvoso	Identificação	Denominação
0	CH0	Atual
1	CH1	1 ^ª anterior
2	CH2	2 ^ª anterior
3	CH3	3 ^ª anterior
4	CH4	4 ^ª anterior
5	CH5	5 ^ª anterior

TABELA 6 - Variáveis consideradas em cada evento chuvoso

Variável	Definição
ALTCH _i	Altura da chuva "i", (mm)
P25CH _i *	Percentil ** 0.25 da chuva "i", (min)
P50CH _i	Percentil 0.50 da chuva "i", (min)
P75CH _i	Percentil 0.75 da chuva "i", (min)
P100CH _i	Percentil 1.00 da chuva "i", (min)
TCH0 _i	Diferença de tempo entre a chuva "0" e a chuva "i".

* i = 0, 1, 2, 3, 4, 5.

** Percentil "k" : tempo no qual se tem (100.k) % da altura de chuva ALTCH_i

ALTCH_i: Variável obtida somando-se o número de pulsos registrados na carta do pluviógrafo multiplicado pela constante (0,5), para a conversão em mm.

PkCH_i : Variável obtida após elaboração da distribuição acumulada das alturas de chuva, também denominada

separatriz de ordem "k" (S_k).

$$S_k = Li + C. \frac{(nk - F_{ant})}{f_{sk}} \quad (43)$$

Onde :

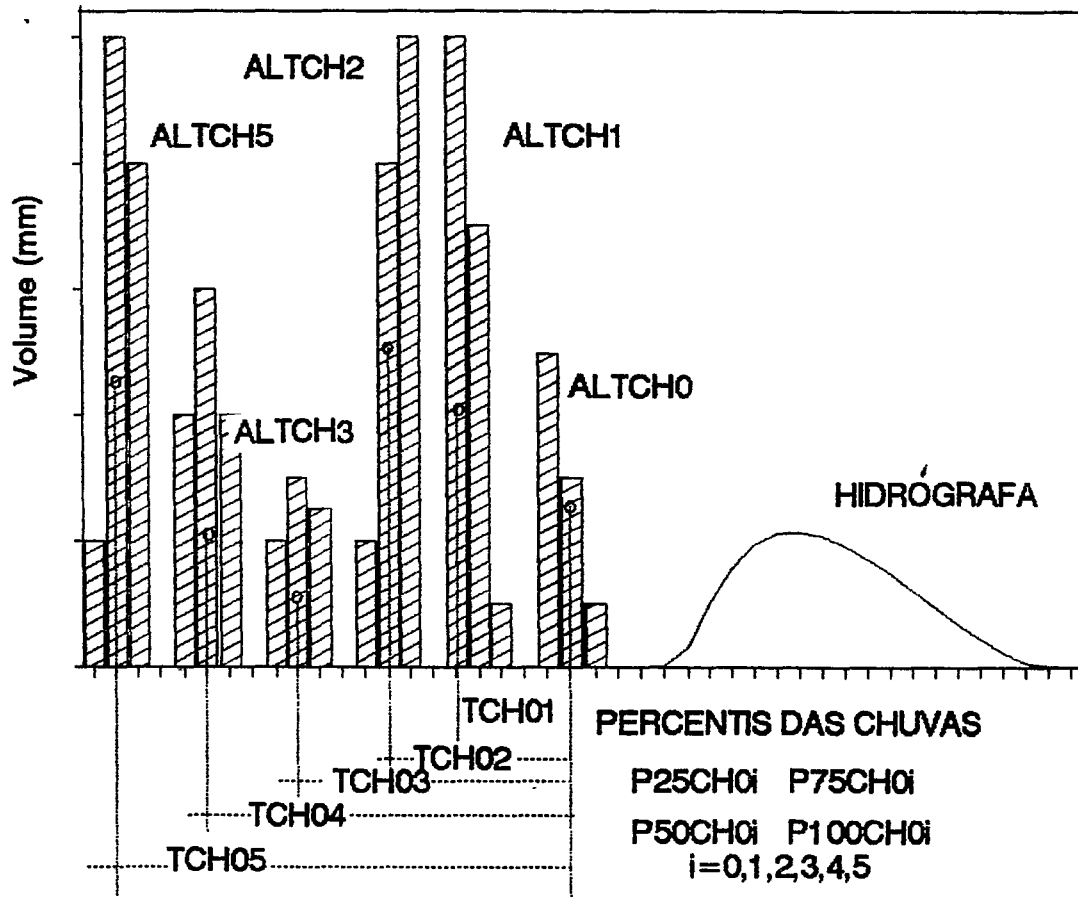
- Li = Limite inferior da classe "q" que contém a separatriz.
- C = Amplitude do intervalo da classe que contém a separatriz.
- k = ordem da separatriz (no caso k = 0,25; 0,50; 0,75 e 1,00).
- F_{ant} = Frequência acumulada "abaixo" da classe anterior à separatriz.
- f_{sk} = Frequência simples observada da classe que contém a separatriz.
- n = Número total de observações.

TCHOi : Variável determinada computando-se a diferença de tempo das chuvas anteriores em relação à chuva atual CHO (chuva zero), através dos respectivos centro de massa, determinado através da expressão (44).

$$T_{cm} = \frac{\sum_{i=1}^n (T_i)}{\sum_{j=1}^n (ALT_j)} \quad (44)$$

- Onde :
- T_{cm} = Tempo do centro de massa (minutos).
- T_j = Centro de classe do intervalo j.
- ALT_j = altura de chuva j relativo à classe de tempo j.

A Figura 14 resume as variáveis definidas até o momento.



$ALTCH_i$ = Altura da chuva "i", (mm)

$P25CH_i^*$ = Percentil ** 0.25 da chuva "i", (min)

$P50CH_i$ = Percentil 0.50 da chuva "i", (min)

$P75CH_i$ = Percentil 0.75 da chuva "i", (min)

$P100CH_i$ = Percentil 1.00 da chuva "i", (min)

TCH_{0i} = Diferença de tempo entre a chuva "0" e a chuva "i".

* $i = 0,1,2,3,4,5$.

Figura 14 - Variáveis utilizadas no modelo de simulação.

4.2.3. Identificação e caracterização das variáveis das Hidrógrafas - A saída

Ao todo 82 hidrógrafas foram obtidas junto ao Instituto Florestal de São Paulo, abrangendo o período de 24/4/82 a 20/12/83, formando assim a massa de dados que reflete o comportamento e sensibilidade da microbacia de Cunha aos estímulos produzidos pelas condições anteriores de chuva (4.2.2.).

Os dados de vazão (ALTVAZ ou HD) caracterizados pela altura de lâmina d'água (cm), distribuídos no tempo em intervalos de 20 min., foram tratados de duas formas diferentes :

1) Numa primeira etapa, cada hidrógrafa foi ajustada pelo Sistema Johnson de Distribuição, utilizando-se o método dos percentis , segundo a metodologia apresentada por SLIFKER & SHAPIRO (1980). Deste modo as hidrógrafas ficam sendo então representadas pelos parâmetros de forma estimados : $\hat{\delta}$ e $\hat{\gamma}$, e os parâmetros de localização e escala $\hat{\lambda}$ e $\hat{\varepsilon}$, foram determinados para cada hidrógrafa. Posteriormente estes parâmetros serão correlacionadas com as características das chuvas anteriores de cada um dos eventos (hidrógrafas), Figura 15.

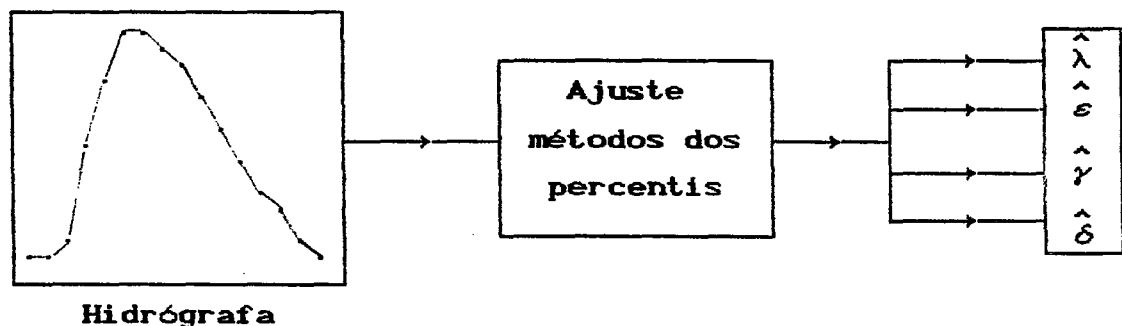


Figura 15 - Representação da caracterização das hidrógrafas após ajuste pelo método dos percentis.

2) Nesta etapa cada hidrógrafa foi caracterizada pelos próprios dados de altura de lâmina d'água no tempo (ALTVAZ ou H_i). Desta forma cada hidrógrafa foi modelada ponto a ponto, correlacionando-se alturas de lâmina d'água em intervalos constantes de tempo (20,40,...) com os parâmetros das chuvas anteriores, diferentemente da etapa anterior, onde a hidrógrafa foi representada por quatro parâmetros estimados do Sistema Johnson de Distribuição, Figura 16.

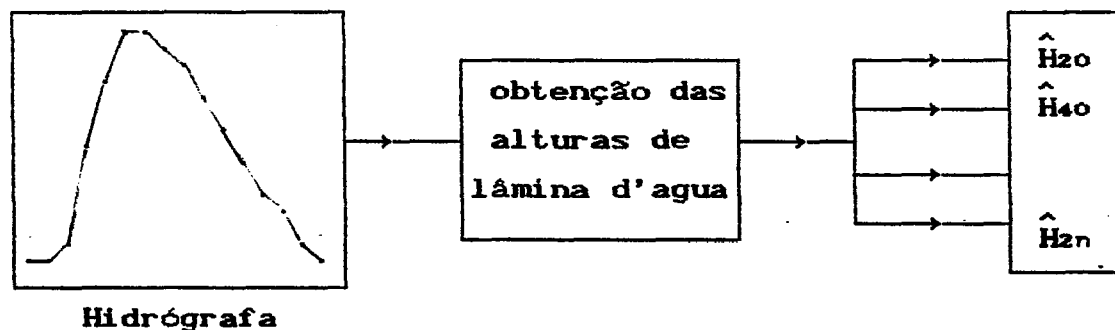


Figura 16 - Representação da caracterização das hidrógrafas após ajuste pelo método dos percentis.

4.2.4. A Modelagem da Hidrógrafa - MSHJ e MSHA

A Modelagem das hidrógrafas foi feita utilizando-se dois caminhos, em concordância com as etapas do item anterior 4.2.3. :

1) Modelos de regressão que correlacionam os parâmetros (de forma) estimados das hidrógrafas, obtidos através do Sistema Johnson de Distribuição - método dos percentis, com as características das chuvas (4.2.2.). Estes modelos de regressão foram denominados de "MSHJ", para caracterizar a utilização do Sistema Johnson de

Distribuição. Assim poderemos estimar os dois parâmetros do Sistema Johnson de Distribuição, ajustando dados de vazão a partir de variáveis de entrada, facilmente mensuráveis ou simuladas, caracterizando assim a modelagem do sistema.

2) Modelos de regressão cujas variáveis dependentes são as alturas de chuva correspondente a cada intervalo de tempo, e as variáveis independentes, as características das chuvas (4.2.2.). Estes modelos foram denominados de "MSHA", caracterizando simulação pontual dos dados de altura de vazão.

Foram também determinados modelos de regressão cujas variáveis dependentes são o início e fim do escoamento, e as variáveis independentes as características das chuvas.

A seguir estão representados os modelos de regressão utilizados em ambos os métodos, diferindo apenas nas variáveis dependentes utilizadas.

$$\phi_k = \text{MVAR} \cdot \theta + u_k$$

(45)

Onde :

$$k = H_1, H_2, H_3, \dots, H_n \quad (\text{MSHJ})$$

$$k = \lambda, \varepsilon, \gamma, \delta \quad (\text{MSHA})$$

$$\phi = \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ \vdots \\ k_n \end{bmatrix} \quad \theta_k = \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_n \end{bmatrix} \quad u_k = \begin{bmatrix} u_0 \\ u_1 \\ \vdots \\ u_n \end{bmatrix}$$

$$\text{MVAR} = \begin{bmatrix} 1 & \text{ALTCH}_0 & \text{P25CH}_0 & \text{P50CH}_0 & \text{P75CH}_0 & \dots & \text{TCH05}_0 \\ 1 & \text{ALTCH}_1 & \text{P25CH}_1 & \text{P50CH}_1 & \text{P75CH}_1 & \dots & \text{TCH05}_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & \text{ALTCH}_n & \text{P25CH}_n & \text{P50CH}_n & \text{P75CH}_n & \dots & \text{TCH05}_n \end{bmatrix}$$

Após a estimativa do vetor de parâmetros θ_k pelo método dos percentis obtém-se:

$$\hat{\phi}_k = f(\text{ALTCH}_0, \dots, \text{ALTCH}_5, \text{P25CH}_0, \dots, \text{P100CH}_5, \dots, \text{TCH05})$$

(46)

Na Figura 17 está esquematizado o procedimento de teste do MSHJ e MSHA, enquanto na Figura 18 tem-se um resumo da metodologia apresentada para os modelos MSHJ e MSHA.

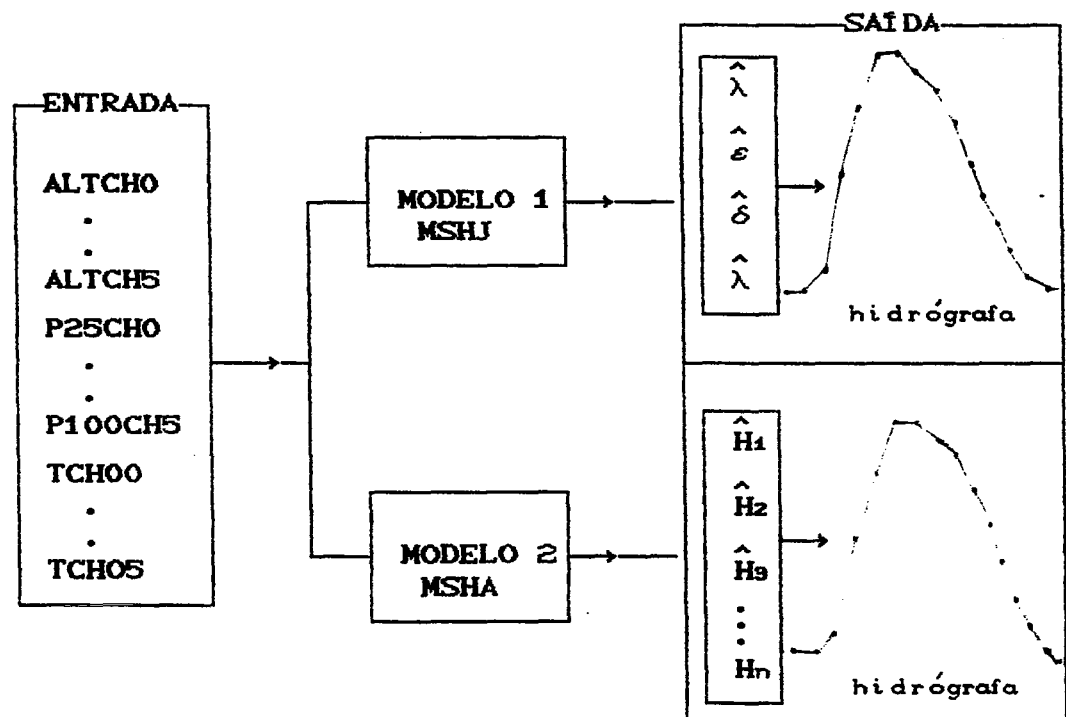


Figura 17 - Teste do modelo do modelo proposto.

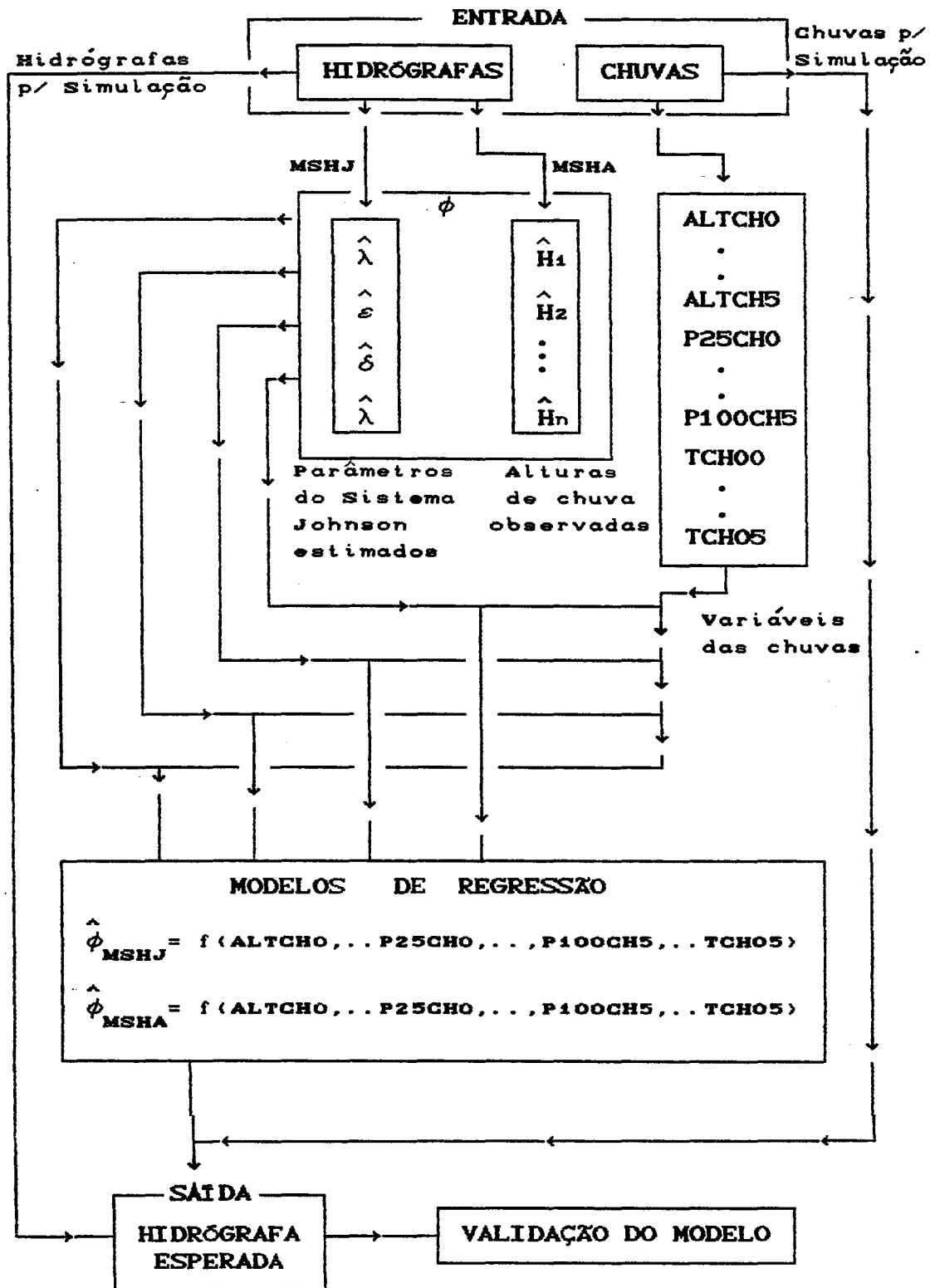


Figura 18 - Resumo da metodologia para MSHJ e MSHA

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

"O método científico pressupõe a imutabilidade dos processos naturais ou do princípio da uniformidade da natureza."

(K. POPPER)

5.1. Os dados de precipitação e vazão

5.1.1. As chuvas

5.1.2. As hidrógrafas

5.2. Programa de Ajuste e Simulação de Hidrógrafas - PASH

5.2.1. Módulo "J"

5.2.2. Módulo "A"

5.3. A Modelagem

5.3.1. MSHJ - Modelos de Simulação de Hidrógrafa com base Sistema Johnson de Distribuição

5.3.2. MSHA - Modelos de Simulação de Hidrógrafas com base alturas de altura de lâmina d'agua

5.4 A Simulação - Validação dos modelos

5.1. Os dados de precipitação e vazão

A caracterização dos eventos chuvosos e das hidrógrafas obtidas foi feita de modo gráfico, com o objetivo de apresentar, de forma resumida, as inúmeras informações dos eventos existentes. Além do aspecto descritivo, a caracterização desses dados, por outro lado, visa dar uma visão parcial, das várias formas de distribuição existentes.

5.1.1. As Chuvas

As estatísticas referentes a Distribuição de Frequência das intensidades de chuva estão no Tabela 7. Foram selecionadas duas chuvas para cada uma das estatísticas média, moda e extremos (máximos e mínimos).

Observa-se a tendência para forte assimetria positiva na Distribuição de Frequência representada na Figura 19 com 74.4% das chuvas com ocorrência na primeira classe de intensidade. Esta característica inicial do comportamento das variáveis que estimulam o Sistema Bacia Hidrográfica, além de caracterizar o ecossistema sob o ponto de vista hídrico, é de fundamental importância para as análises subseqüentes de modelagem e simulação.

Tabela 7 - Estatística da Distribuição das intensidades de chuva (mm/h) das chuvas atuais CH01.

ESTATÍSTICAS	VALOR	NÚMERO DA CHUVA
Observações	82	-
Média	5,58	CH13 e CH18
Desvio Padrão	3,61	-
Coef. Variação	64,69 %	-
Moda	4,25	CH02
	4,32	CH04
Mínimo	0,78	CH32
	0,90	CH33
Máximo	14,50	CH09 e CH67

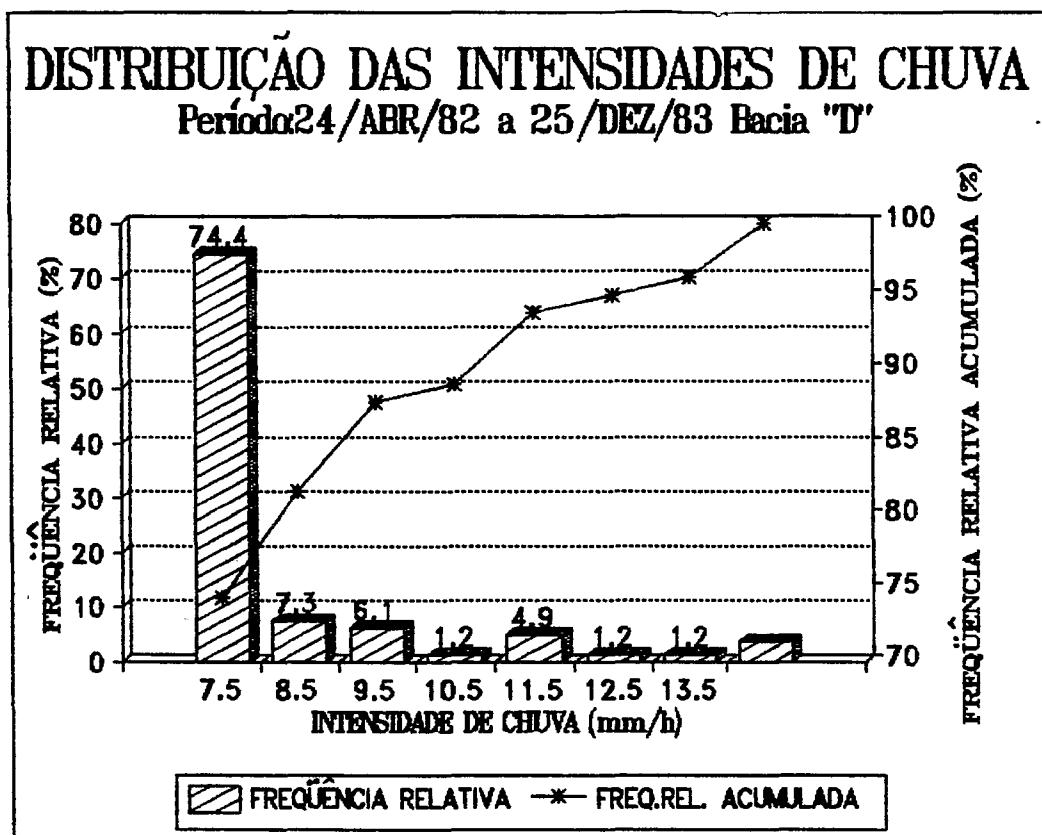


Figura 19 - Distribuição de Frequência das alturas de lâmina d'água das chuvas atuais da bacia experimental "D", núcleo de Cunha S.P.

Na seqüência, os pares de chuvas das estatísticas referidas anteriormente são representados graficamente.

As chuvas de intensidade mínima (Figura 20), têm como característica tendência a uniformidade na distribuição de freqüência dos valores de precipitação no tempo (min). O oposto é encontrado nas distribuições das intensidades de chuva modais (mais freqüentes) e médias, Figuras 21 e 22. Estas se caracterizam por apresentarem descontinuidade ao longo do tempo, picos de alta intensidade e longa duração.

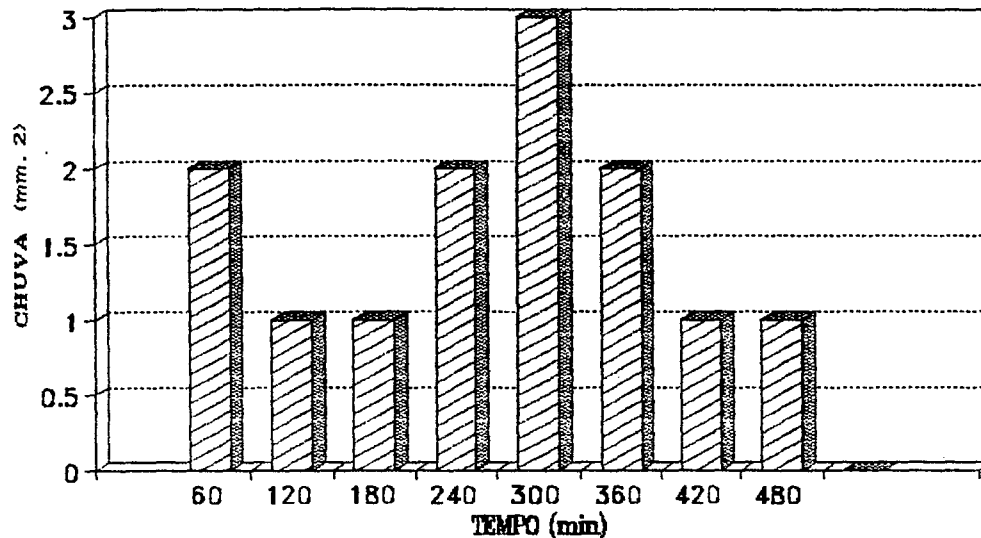
As chuvas de intensidade máxima se caracterizam por curto período de duração e a tendência para intervalos de pico de chuva, como representado nas chuvas 67 e 9 (Figura 23).

Os dados de campo que possibilitaram a geração destas encontram-se no APÊNDICE 1.

Cabe ressaltar que somente as chuvas atuais estão sendo apresentadas, tanto nas distribuições anteriores, como nos dados em APÊNDICE. Evidentemente as situações em que as chuvas anteriores não são as chuvas que provocaram as vazões escolhidas, normalmente por serem de baixa intensidade, só ocorrem em número de 10 (dez), perfazendo um total de 12,2% das chuvas atuais totais (CHOI), em número de 82.

CHUVA DE INTENSIDADE MÍNIMA (0.78 mm/h)

Data : 20/mar/83 Hora:14h50' Chuva 32



CHUVA DE INTENSIDADE MÍNIMA (0.9 mm/h)

Data : 22/mar/83 Hora:15h30' Chuva 33

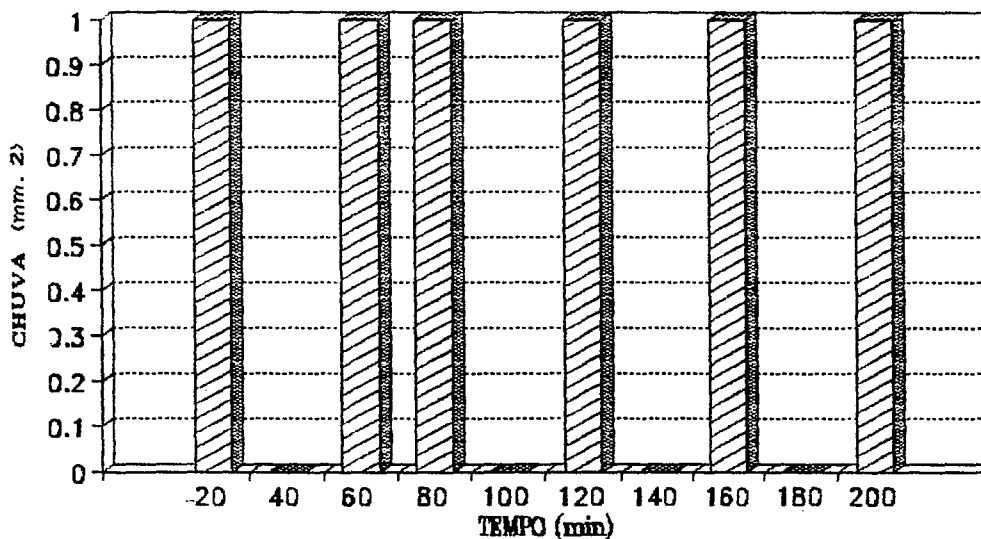
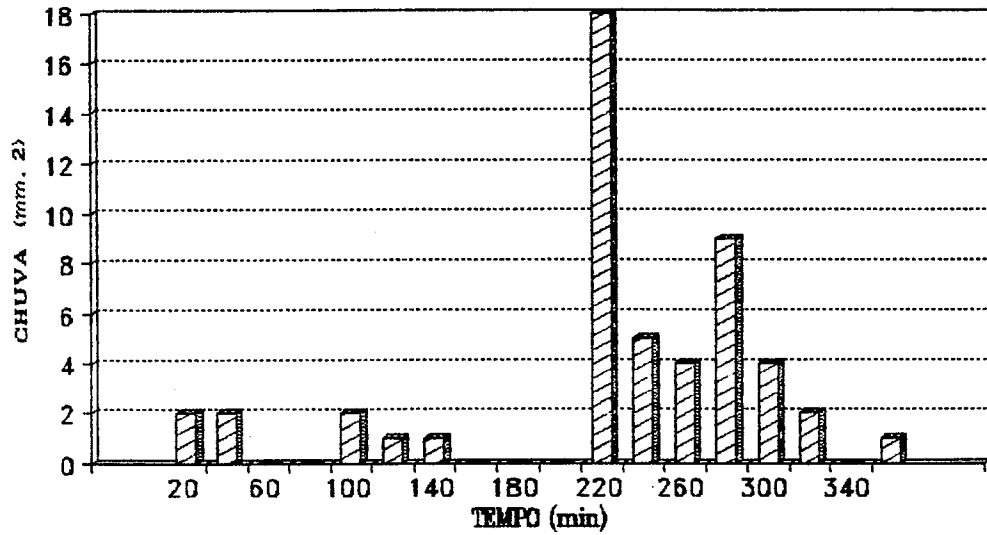


Figura 20 - Distribuições das chuvas de altura mínima da Bacia de Cunha S.P. Bacia de Cunha S.P.

CHUVA DE INTENSIDADE MODAL (4.25 mm/h)
 Data : 22/JUN/82 Hora:7h20' Chuva 2



CHUVA DE INTENSIDADE MODAL (4.32 mm/h)
 Data : 25/JUN/82 Hora:0h20' Chuva 4

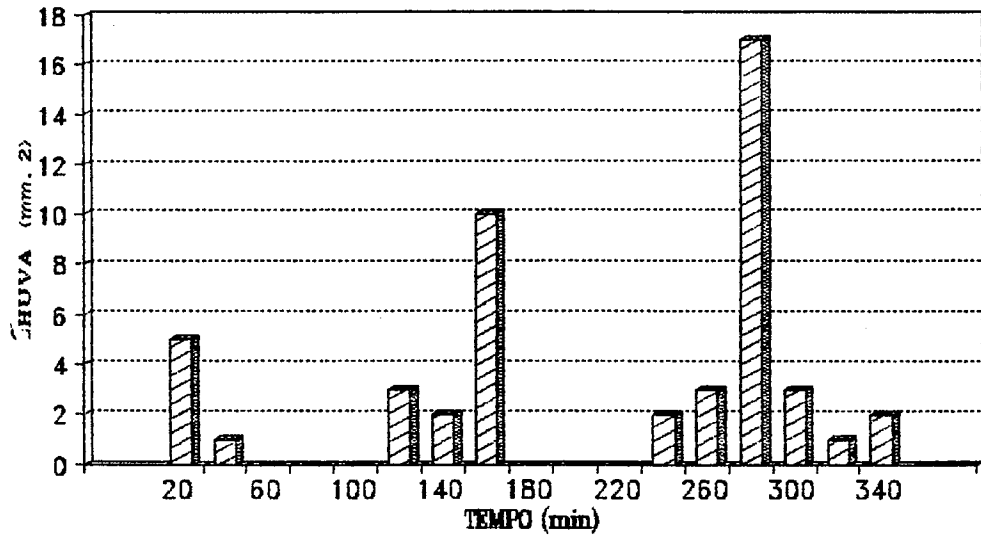


Figura 21 - Distribuições das chuvas de altura modal da Bacia de Cunha S.P.

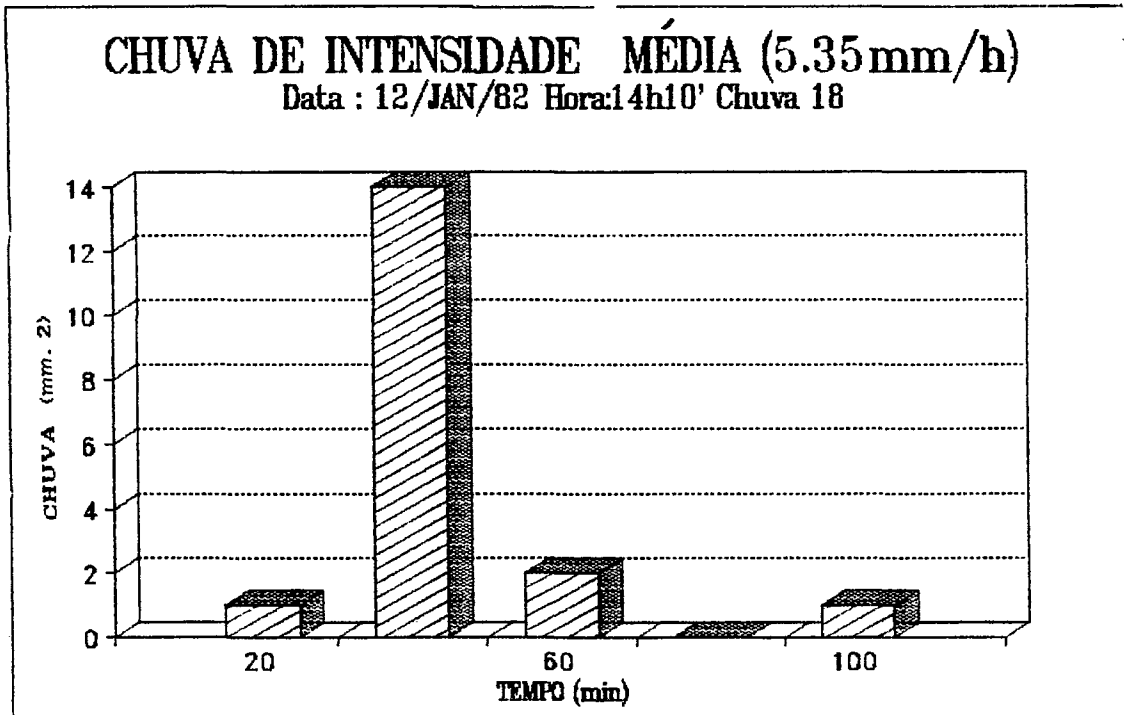
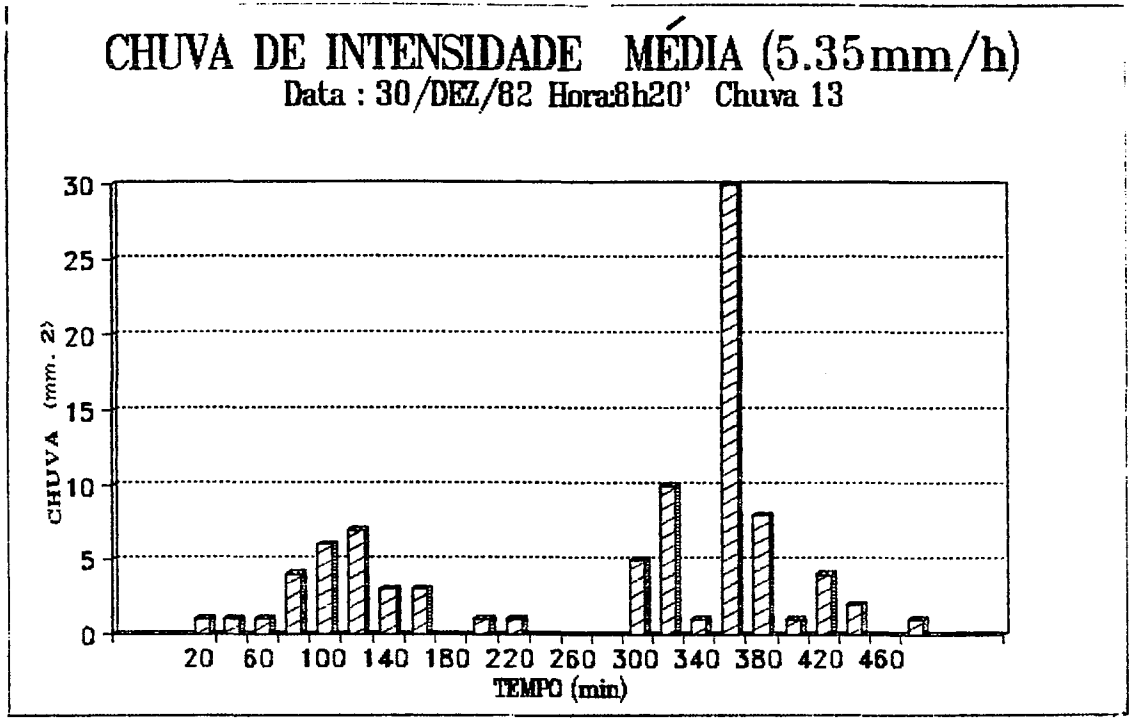


Figura 22 - Distribuições das chuvas de altura média da Bacia de Cunha S.P.

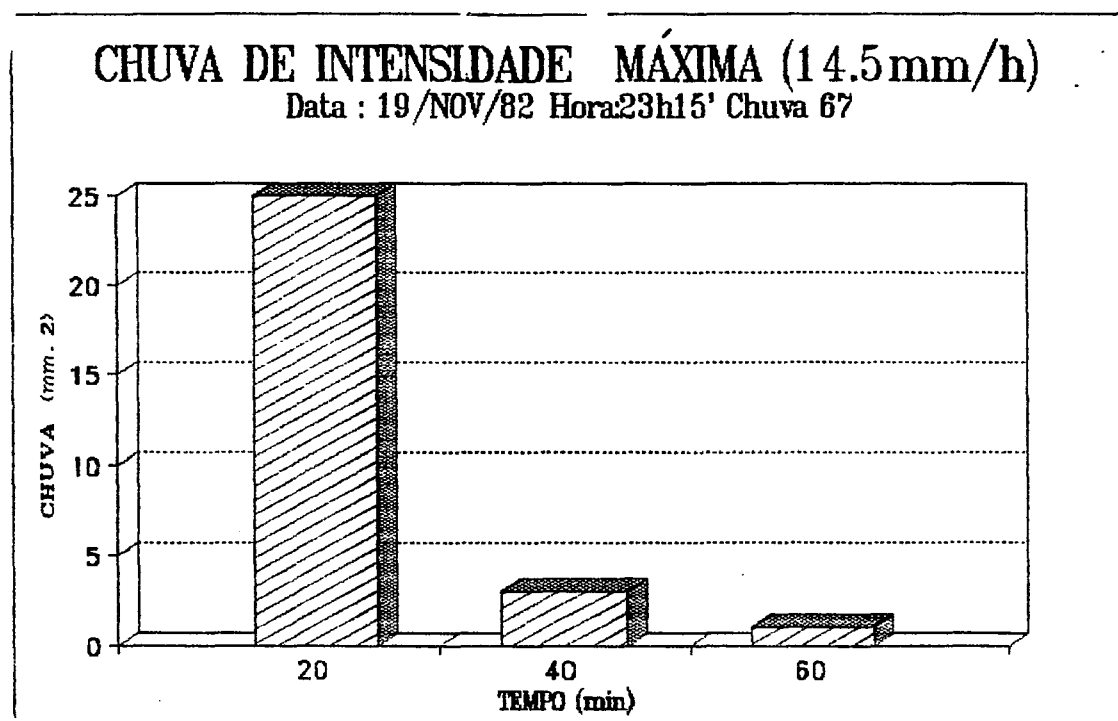
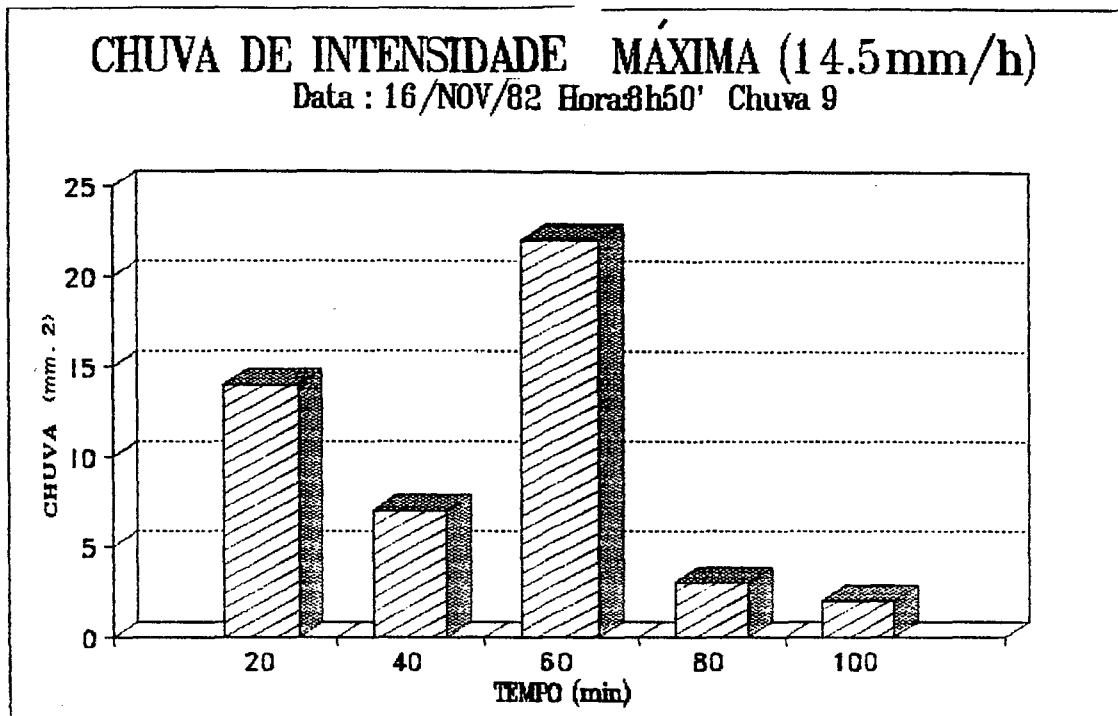


Figura 23 - Distribuições das chuvas de altura máxima da Bacia de Cunha S.P.

5.1.2. As Hidrógrafas

As estatísticas referentes a Distribuição de Frequência das vazões das hidrógrafas estão no Tabela 8. Da mesma forma foram selecionadas duas hidrógrafas para cada uma das estatísticas média, modal e extremos (máximos e mínimos).

A distribuição das vazões mantém assimetria positiva com menor intensidade, em relação à distribuição das intensidades de chuva, podendo-se atingir os 70% dos dados (Frequência Acumulada) na quarta classe de vazão, já que para as intensidades de chuva apresentava-se na primeira classe (Figura 24).

Esta diferença de padrão de distribuição com 39% para a primeira classe e 30% para a segunda, pode indicar a importância das chuvas anteriores mais próximas a chuva atual na composição das hidrógrafas.

As hidrógrafas de vazão mínima, (Figura 25), apresentam padrão bastante característico, observando-se intervalos de tempo com vazão constante. Estas hidrógrafas são resultantes de chuvas de baixa intensidades e uniformidade característica, assemelhando-se a hidrogramas de bacias impermeáveis quando também estimuladas por chuva similares, (LIMA 1986).

Tanto as hidrógrafas de vazão modal, média e máxima (Figuras 26 a 28) apresentam padrões de assimetria positiva, evidentemente existindo exceções.

Tabela 8 - Estatística da Distribuição das intensidades de vazão (cm/h) das hidrógrafas modeladas.

ESTATÍSTICAS	VALOR	NÚMERO DA CHUVA
Observações	82	-
Média	5,9	CH06 e CH55
Desvio Padrão	4,7	-
Coef. Variação	79,2 %	-
Moda	2,6	CH02 e CH05
Mínimo	1,4	CH32 e CH46
Máximo	18,1	CH38
	18,2	CH59

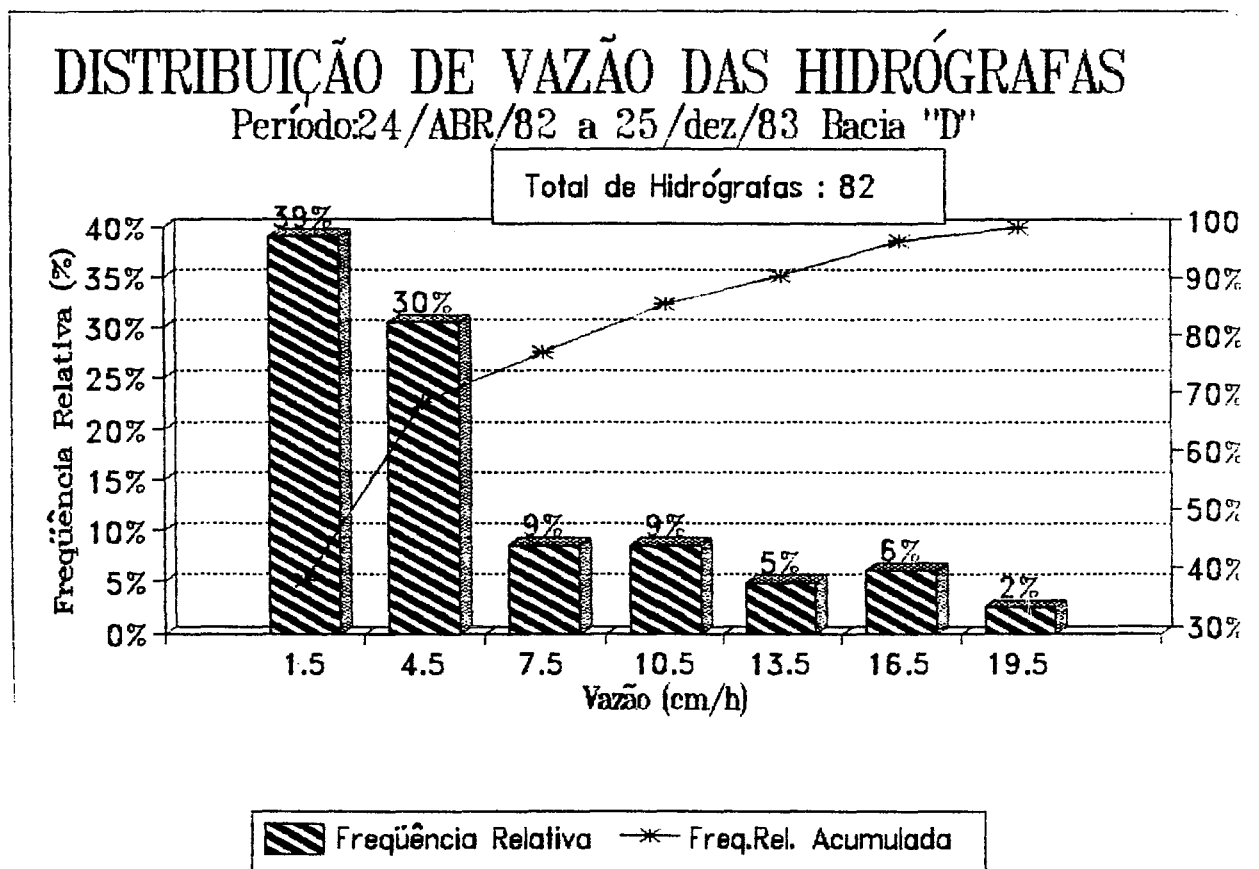


Figura 24 - Distribuição de Frequência das alturas de lâmina d'água das vazões das hidrógrafas, bacia experimental "D", núcleo de Cunha S.P.

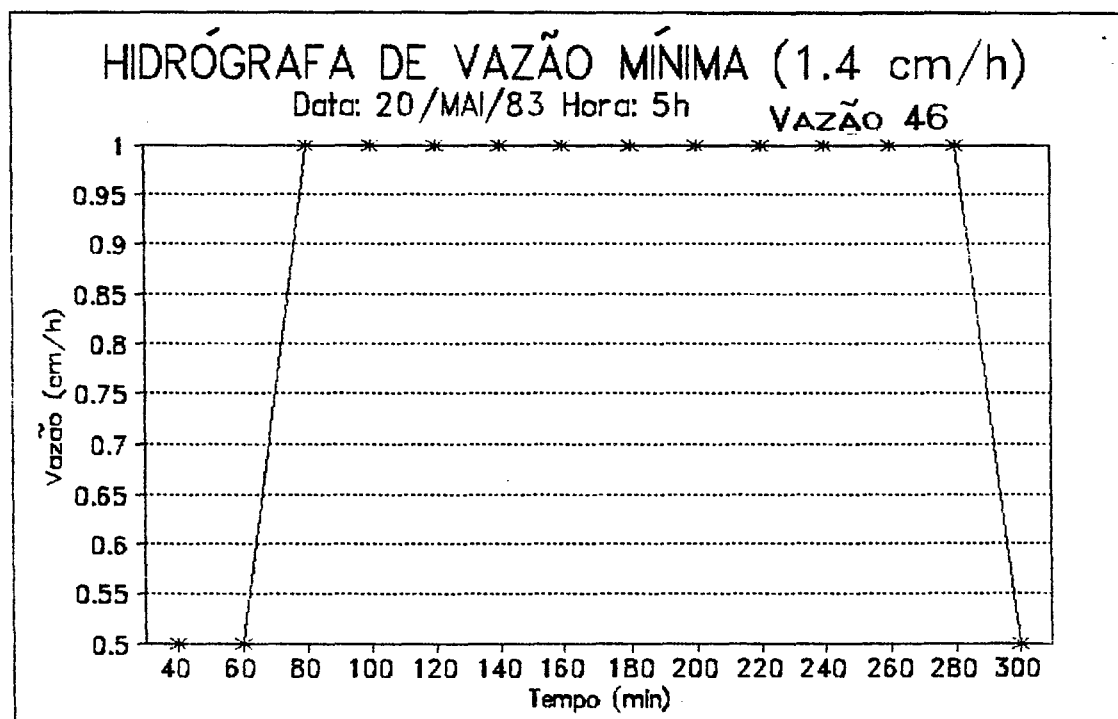
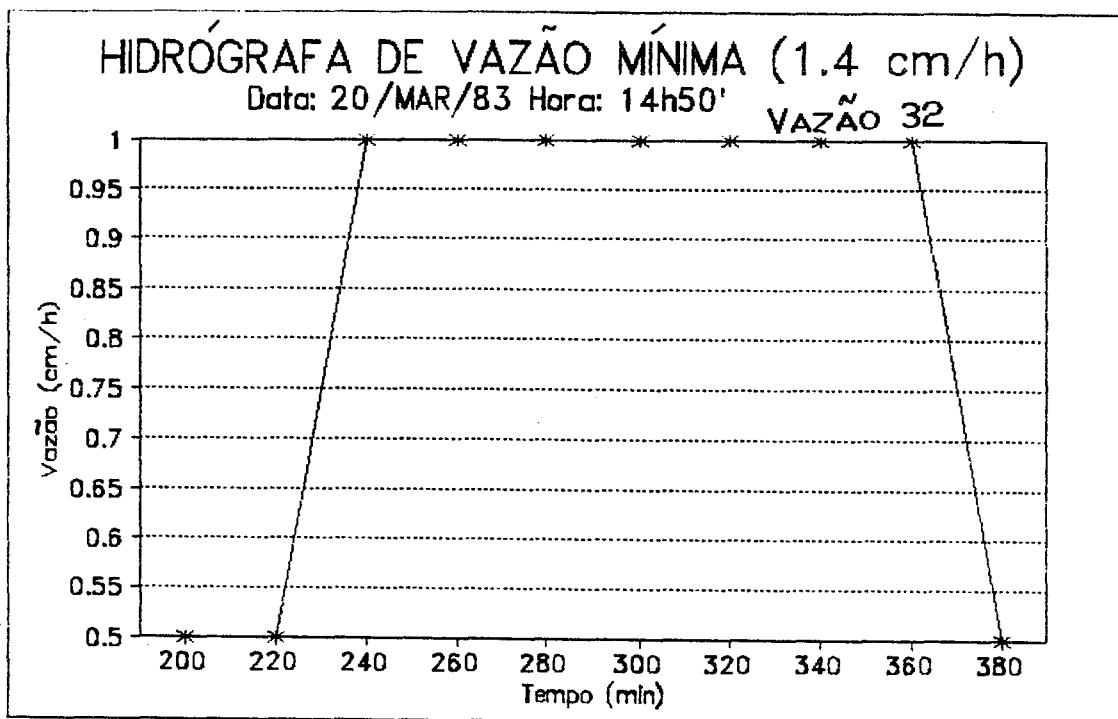


Figura 25 - Distribuições das vazões mínimas das Hidrógrafas na Bacia de Cunha S.P.

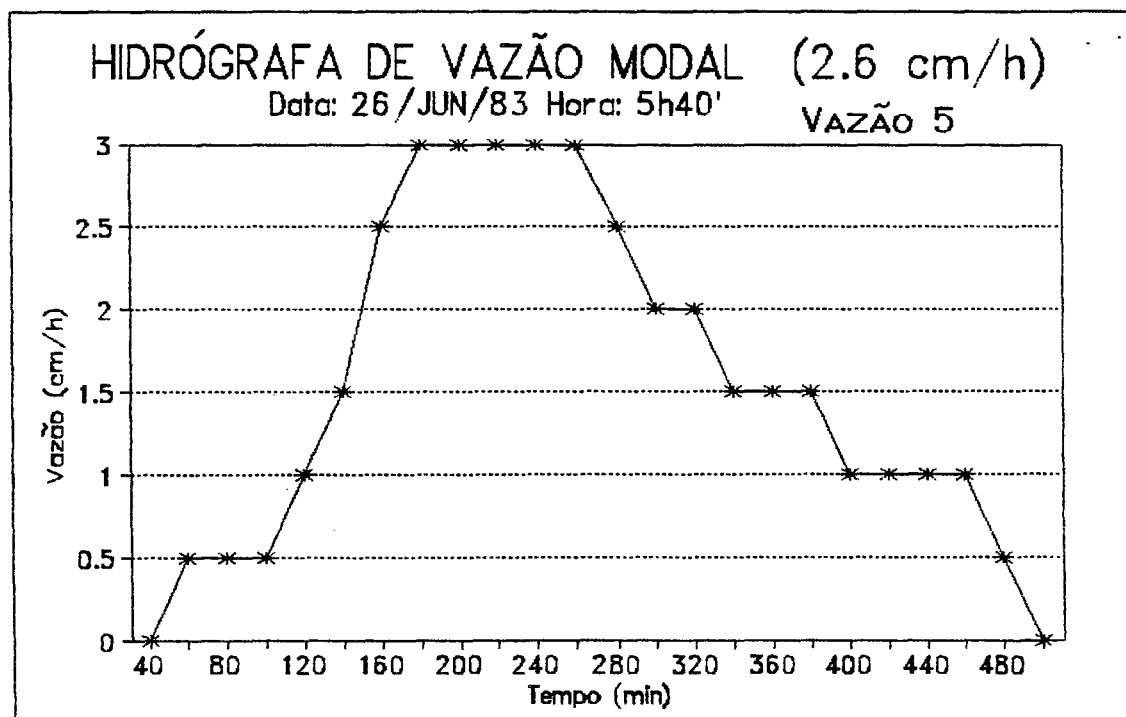
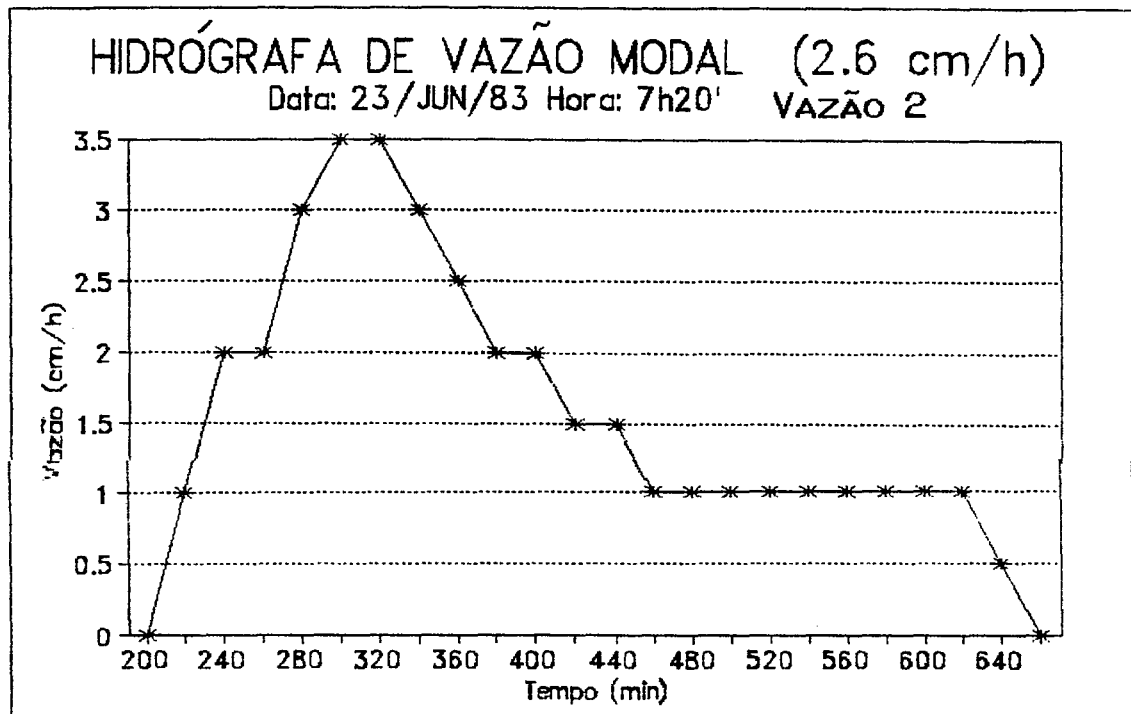


Figura 26 - Distribuições das vazões modais das Hidrógrafas na Bacia de Cunha S.P.

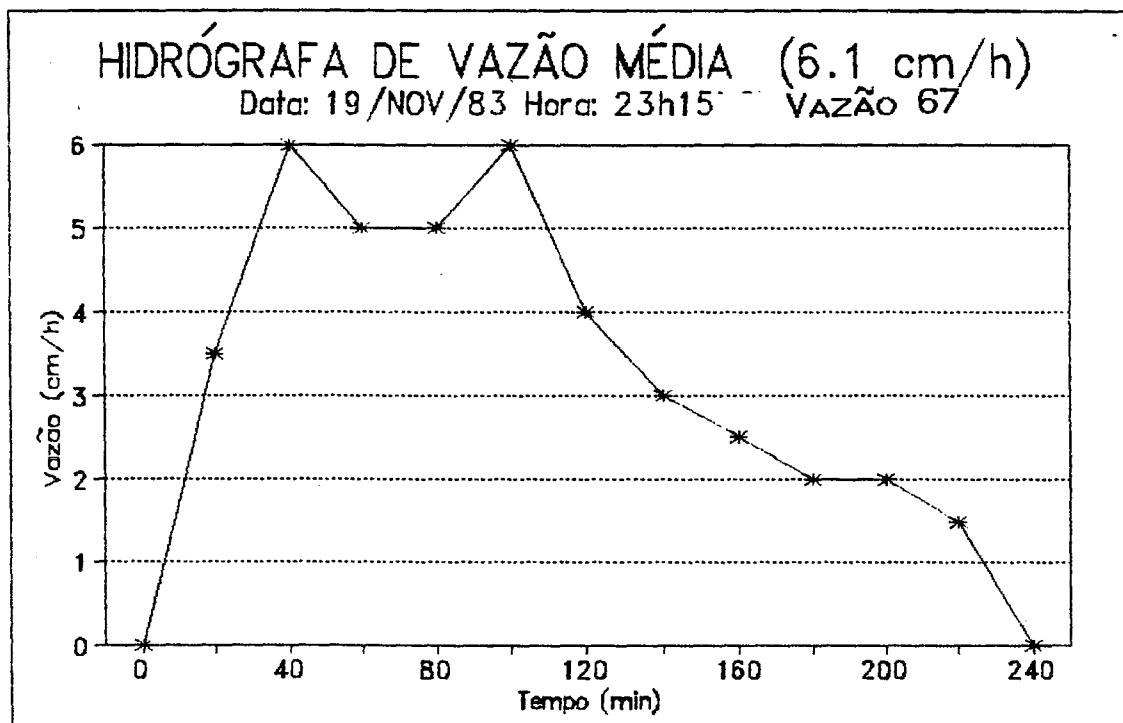
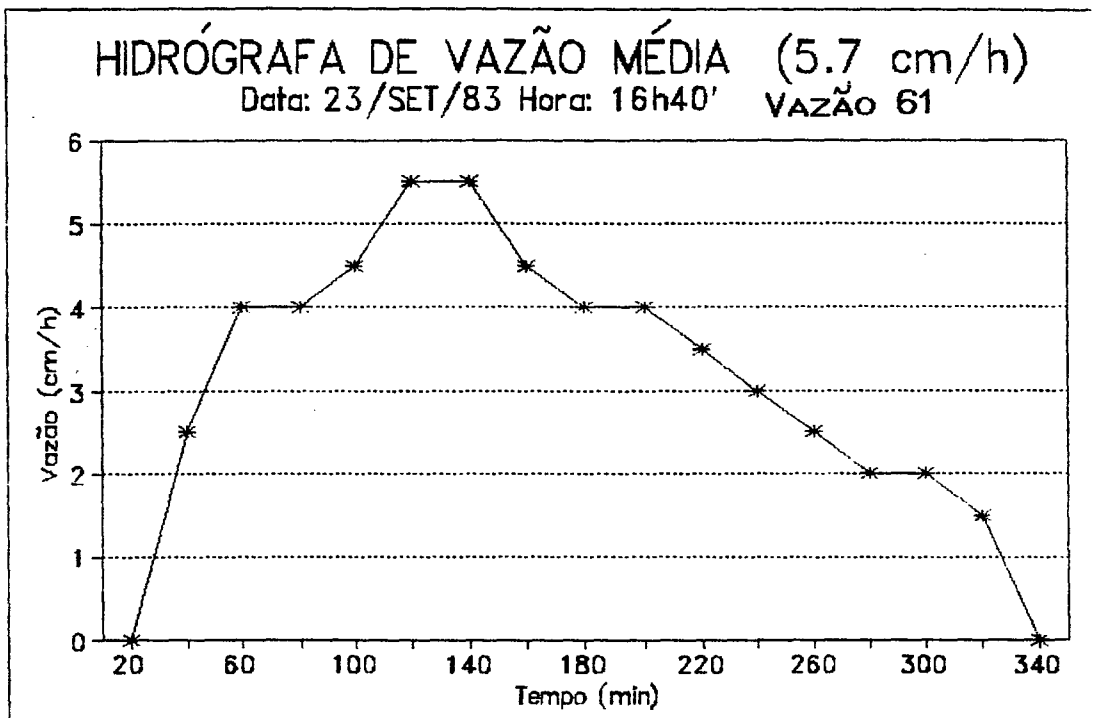


Figura 27 - Distribuições das vazões médias das Hidrógrafas na Bacia de Cunha S.P.

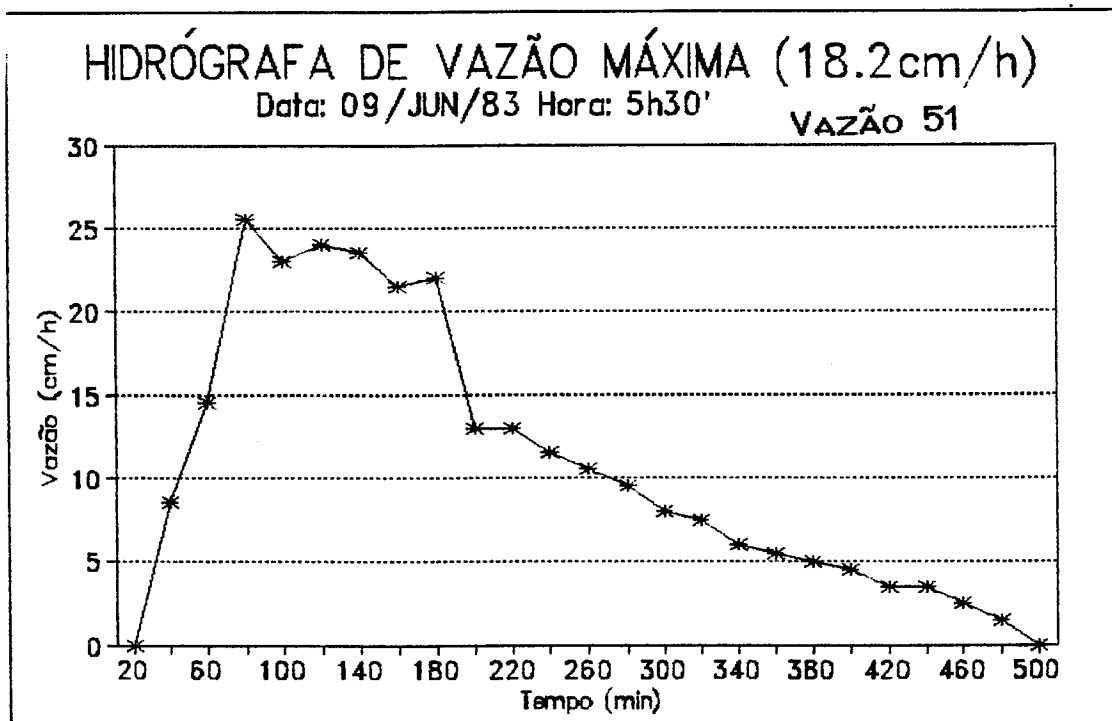
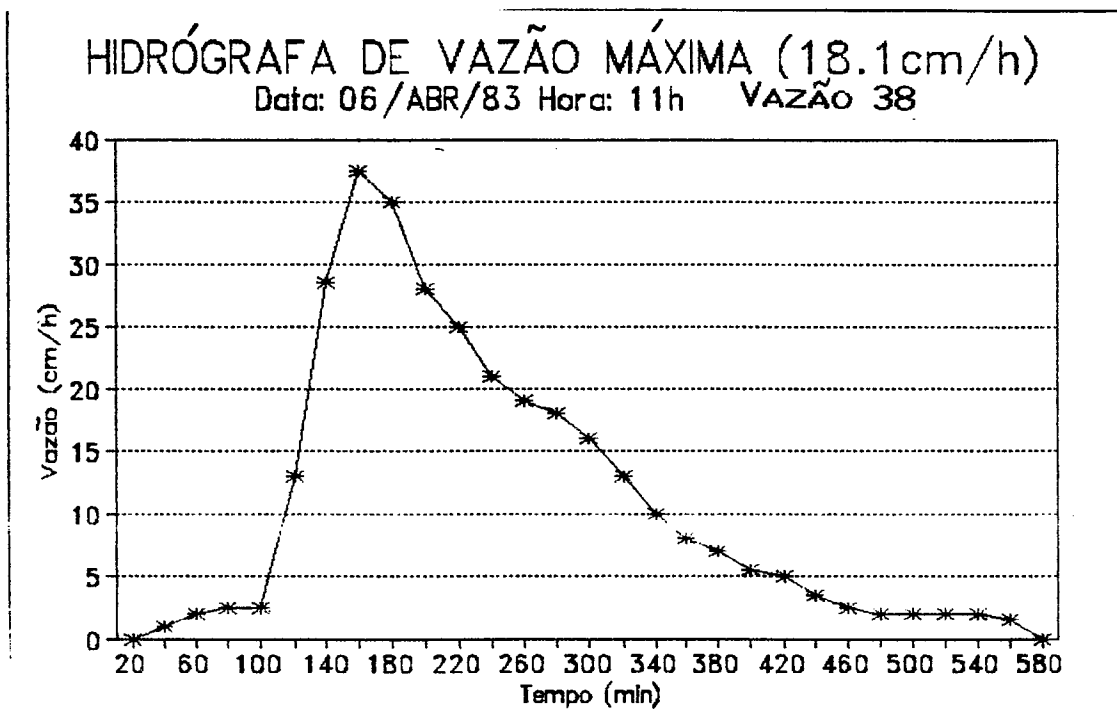


Figura 28 - Distribuições das vazões máximas das Hidrógrafas na Bacia de Cunha S.P.

5.2. Programa de Ajuste e Simulação de Hidrógrafas - PASH

Como visto no capítulo III referente ao Sistema Jonhson de Distribuição, a manipulação das expressões para estimativa dos parâmetros pelo método dos percentis, se tornaria bastante complicada caso não se pudesse contar com ajuda da informática para a computação dos dados.

Outro aspecto importante está relacionado ao volume de dados existentes, como demonstrado pelo elevado número de hidrógrafas e principalmente de chuvas utilizadas para gerar os parâmetros, como também a manipulação das matrizes para a estimativa dos coeficientes de regressão dos modelos sugeridos (MSHJ e MSHA).

Foi elaborado um programa (PASH, em linguagem SAS, (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE, 1985a; STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE, 1985b), versão 5, instalado num computador IBM 3090 modelo 150 (32Mb de memória real), 23Gb de área em disco, pertencente a DATAMIL, empresa coligada à Cia. Suzano de Papel e Celulose.

O PASH (APÊNDICE 4) tem como objetivo efetuar a modelagem (ajuste) e simulação das hidrógrafas existentes. Contém dois módulos principais : módulo - "J", referente ao MSHJ, e módulo "A" referente ao MSHA.

5.2.1. Módulo "J" -

Este módulo contém as seguintes etapas :

- 1) Leitura dos dados de chuva e vazão provenientes da microbacia experimental.
- 2) Determinação dos Parâmetros das chuvas (altura de chuva, tempos entre chuvas e percentis).
- 3) Para cada hidrógrafa, geração de 100 (cem) ajustes de vazões, utilizando-se o método do Sistema Johnson de Distribuição. Posteriormente foi feito a seleção

do melhor ajuste utilizando-se o teste de Kolmogorov-Smirnov.

4) Análise de Regressão utilizando-se do processo "stepwise/forward", para obtenção das melhores equações, correlacionando as variáveis independentes obtidas no item 2, com as variáveis dependentes geradas no item 3.

5) Estudo de Resíduo e multicolinearidade, como fatores discriminantes na escolha do conjunto de equações representantes do modelo proposto.

6) Simulação das hidrógrafas (82), que serviram de base para o ajuste do modelo proposto, utilizando-se as chuvas como condições antecedentes a cada evento considerado.

5.2.2. Módulo "A"

Este módulo contém as seguintes etapas :

1) Leitura dos dados de Chuva e Vazão provenientes da microbacia experimental.

2) Determinação dos Parâmetros das chuvas (altura de chuva, tempos entre chuvas e percentis).

3) Análise de Regressão utilizando-se do processo "stepwise/forward", para obtenção das melhores equações, correlacionando as variáveis independentes obtidas no item 2, com as variáveis dependentes geradas no item 1 (alturas de lâmina d'água).

5) Estudo do Resíduo como fator discriminante na escolha do conjunto de equações representantes do modelo proposto.

6) Simulação das hidrógrafas (82), que serviram de base para o ajuste do modelo proposto, utilizando-se as chuvas como condições antecedentes a cada evento considerado.

Nas Tabelas 9 e 10 são apresentadas as estatísticas relativas as variáveis das chuvas (entradas do

sistema), utilizadas nos modelos de simulação.

As variáveis da chuva são os primeiros produtos do PASH, sendo então numa fase posterior utilizadas nos processos de correlação e regressão com as variáveis de saída do Sistema Bacia Hidrográfica.

O padrão exponencial de Distribuição de Frequência é generalizado entre as variáveis da chuva, caracterizado por forte assimetria positiva, com a mediana (D) posicionada entre a média (\bar{X}) e a moda (M), isto é :

$$M < D < \bar{X}$$

e com o terceiro momento em relação à média, coeficiente de assimetria (m_3) positivo; mantendo concordância com as distribuições intensidade de chuva e vazão apresentadas anteriormente.

Tabela 9 - Momentos das variáveis da chuva - CHUVAR

CHUVAR	n	Xm	S	M3	CV
TCHD0	81	0.00	0.00	.	.
VOLCH0	81	17.37	11.39	0.92	65.59
P25CH0	81	0.95	0.93	1.52	97.19
P50CH0	81	1.59	1.50	1.50	94.53
P75CH0	81	2.33	1.97	1.40	84.44
P100CH0	81	3.97	2.88	1.45	72.66
TCHD1	81	27.84	32.18	1.70	115.59
VOLCH1	81	12.25	12.22	1.14	99.73
P25CH1	81	0.71	0.94	1.65	131.39
P50CH1	81	1.17	1.40	1.64	125.38
P75CH1	81	1.64	1.83	1.18	11.15
P100CH1	81	2.71	2.78	1.20	102.50
TCHD2	81	39.84	57.07	3.33	143.25
VOLCH2	81	8.15	11.63	1.99	142.57
P25CH2	81	0.53	0.88	2.35	163.98
P50CH2	81	0.83	1.23	1.79	148.13
P75CH2	81	1.24	1.73	1.39	139.08
P100CH2	81	2.02	2.70	1.37	133.16
TCHD3	81	28.01	44.34	1.21	158.30
VOLCH3	81	3.67	7.13	2.32	194.44
P25CH3	81	0.25	0.81	3.51	249.59
P50CH3	81	0.35	0.80	1.15	224.78
P75CH3	81	0.63	1.29	2.35	204.57
P100CH3	81	0.97	1.93	2.35	198.60
TCHD4	81	16.44	37.59	2.04	228.67
VOLCH4	81	2.30	6.46	3.38	281.32
P25CH4	81	0.14	0.46	4.30	332.40
P50CH4	81	0.22	0.69	4.15	313.66
P75CH4	81	0.37	1.21	4.50	323.58
P100CH4	81	0.56	1.63	4.01	291.91
TCHD5	81	10.63	33.27	3.04	313.04
VOLCH5	81	0.87	3.76	6.21	432.26
P25CH5	81	0.07	0.31	5.91	428.61
P50CH5	81	0.12	0.45	4.51	378.31
P75CH5	81	0.17	0.82	4.19	367.98
P100CH5	81	0.22	0.75	3.77	346.12

n=número de observações; Xm=média; S=desvio padrão; M3=coeficiente de assimetria; CV=coeficiente de variação.

Tabela 10 - Quartis das variáveis da chuva - CHUVAR

CHUVAR	MINIMO	MEDIANA			MAXIMO	MODA
	0%	0.25	0.50	0.75	1.00	
TCHD0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
VOLCH0	3.00	8.25	13.50	25.25	52.00	6.50
P25CH0	0.09	0.33	0.56	1.41	4.21	0.42
P50CH0	0.18	0.54	0.96	2.30	7.08	4.17
P75CH0	0.27	0.81	1.63	3.25	9.62	3.25
P100CH0	0.67	2.00	3.00	5.17	14.67	3.00
TCHD1	0.00	2.53	21.78	35.49	137.78	0.00
VOLCH1	0.00	2.25	9.00	18.50	52.00	0.00
P25CH1	0.00	0.09	0.31	0.91	3.91	0.00
P51CH1	0.00	0.19	0.54	1.51	5.68	0.00
P75CH1	0.00	0.28	0.99	2.50	6.38	0.00
P100CH1	0.00	0.68	2.00	3.83	11.33	0.00
TCHD2	0.00	0.00	25.05	66.02	397.82	0.00
VOLCH2	0.00	0.00	3.00	12.25	61.50	0.00
P25CH2	0.00	0.00	0.13	0.71	4.65	0.00
P52CH2	0.00	0.00	0.27	1.29	5.42	0.00
P75CH2	0.00	0.00	0.51	1.70	5.75	0.00
P100CH2	0.00	0.00	1.00	3.16	9.67	0.00
TCHD3	0.00	0.00	0.00	52.86	138.97	0.00
VOLCH3	0.00	0.00	0.00	4.75	32.50	0.00
P25CH3	0.00	0.00	0.00	0.22	3.42	0.00
P50CH3	0.00	0.00	0.00	0.47	4.17	0.00
P75CH3	0.00	0.00	0.00	0.60	5.25	0.00
P100CH3	0.00	0.00	0.00	1.00	8.68	0.00
TCHD4	0.00	0.00	0.00	0.00	130.58	0.00
VOLCH4	0.00	0.00	0.00	0.00	32.50	0.00
P25CH4	0.00	0.00	0.00	0.00	2.67	0.00
P50CH4	0.00	0.00	0.00	0.00	4.33	0.00
P75CH4	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00	0.00
P100CH4	0.00	0.00	0.00	0.00	9.67	0.00
TCHD5	0.00	0.00	0.00	0.00	150.65	0.00
VOLCH5	0.00	0.00	0.00	0.00	29.50	0.00
P25CH5	0.00	0.00	0.00	0.00	2.35	0.00
P50CH5	0.00	0.00	0.00	0.00	2.67	0.00
P75CH5	0.00	0.00	0.00	0.00	3.67	0.00
P100CH5	0.00	0.00	0.00	0.00	4.33	0.00

O segundo produto do PASH é o vetor de parâmetros obtido por estimativa, caracterizando e representando as hidrógrafas escolhidas para a simulação.

Os parâmetros de localização λ e ϵ , foram determinados, e não estimados, sendo então obtidos dos dados brutos iniciais do campo. Por serem de fácil determinação nas distribuições de vazão, este caminho pode ser seguido. Facilitou-se o estudo futuro de modelagem e simulação, e principalmente foi eliminado o efeito aleatório do erro (ϵ_i), existentes em modelos de regressão.

No entanto já os parâmetros ligados a forma e escala do Sistema Johnson de Distribuição, γ e δ , foram estimados via método dos percentis.

As Tabelas 11 e 12 apresentam, as estatísticas dos parâmetros do Sistema Johnson de Distribuição de Probabilidade.

Observa-se que para ϵ a moda (MD) tem o mesmo valor da mediana (D) e ambos inferiores à média (\bar{X}). Já λ apresenta tendência maior tendência à normalidade que os outros parâmetros.

Finalmente são apresentadas as estatísticas das vazões observadas no microbacia "D". Forte assimetria também é encontrada, indicando distribuição exponencial, e podendo ser um fator de relevante no quando da análise de comportamento dos modelos MSHJ e MSHA.

Tabela 11 - Quartis das variáveis da hidrógrafa - HIDVAR

HIDVAR	MINIMO		MEDIANA		MAXIMO		MODA
	0%	25%	50%	75%	100%		
EPSILON	20.00	20.00	40.00	80.00	280.00	40.00	
LAMBDA	100.00	260.00	380.00	500.00	1360.00	240.00	
DELTA	0.26	0.49	1.14	2.17	6.16	0.35	
GAMA	-6.95	-3.13	-0.48	0.10	7.24	0.00	
VOLESP	3.00	25.50	42.00	82.50	510.00	13.50	

Tabela 12 - Momentos das variáveis da hidrógrafa - HIDVAR

HIDVAR	n	Xm	S	M3	CV
EPSILON	81	62.47	52.29	1.93	83.70
LAMBDA	81	398.02	182.94	2.09	45.98
DELTA	81	1.71	1.41	1.24	82.71
GAMA	81	-1.30	2.49	0.13	-190.68
VOLESP	71	74.51	88.33	2.69	118.55

n=número de observações; Xm=média; S=desvio padrão; M3=coeficiente de assimetria; CV=coeficiente de variação.

5.3. A modelagem

Nesta etapa serão apresentadas e analisadas as equações de regressão obtidas após os passos realizados pelo PASH em 5.2, sendo possível então a modelagem do sistema.

Os Modelos de simulação de hidrógrafas com base no Sistema Johnson de Distribuição apresentaram as seguintes equações de regressão :

$$\hat{\gamma} = -0.08(\text{volch0}/\text{p75ch0}) - 2.83(\text{Ln}(\text{p25ch3})) + \\ 1.79(\text{p25ch1}) - 2.11(\text{Ln}(\text{p50ch1})) \\ R^2 = 47.2\% \quad F(4,77) = 17,3^{**}$$

$$\hat{\delta} = [106.89(\text{p100ch0}) - 424.79(\text{p50ch0}) + \\ + 293.97(\text{p75ch0})] / \hat{\lambda} \\ R^2 = 67.2\% \quad F(4,78) = 545^{**}$$

$$\hat{\lambda} = 326.0\text{Ln}(\text{p100ch0}) + 12.7(\text{volch0}/\text{p100ch0}) \\ + 157\text{Ln}(\text{p25ch}) - 2.6(\text{volch0}/\text{p25ch0}) \\ R^2 = 93\% \quad F(4,77) = 258,5^{**}$$

$$\hat{\varepsilon} = \exp[5.66\text{Ln}(p25ch0) + 0.09(\text{volch0}/p100ch0) - 0.57(p50ch0) + 0.02(\text{volch0}/p25ch0)]$$

$$R^2 = 91.1\% \quad F(4,77) = 16,8^{**}$$

$$\hat{V} = \exp[0.84(\text{volch0})^{1/2} + 0.55(\text{Ln}(\text{volch1})) - 0.08(\text{Ln}(tch01)) * \text{Ln}(\text{volch1})]$$

$$R^2 = 97.6\% \quad F(3,79) = 942,1^{**}$$

onde, \hat{V} é a estimativa do volume da hidrógrafa.

Os parâmetros $\hat{\lambda}$ e $\hat{\varepsilon}$ obtiveram correlação somente com variáveis (percentis e intensidades de chuva) relacionadas com a chuva zero (ch0), confirmando a hipótese básica de que, pelo menos com relação ao início e fim da hidrógrafa, a ch0 tem efeito marcante na geração desses dois parâmetros. Essas variáveis são p25ch0 p50ch0 p100ch0 e volch0/p100ch0.

O parâmetro $\hat{\gamma}$ no entanto só se relaciona com a intensidade da chuva zero (atual) ao percentil 75, isto é com a variável (volch0/p75ch0). Esta tem o menor efeito na

composição de $\hat{\gamma}$. Além desta variável as chuvas ch_3 e ch_1 também através de percentis, mantém forte influência em $\hat{\gamma}$. Este parâmetro do Sistema de Distribuição Johnson tem efeito na escala da distribuição formada, podendo comprometer a simulação das hidrógrafas, o que desde já pode-se prever pela grande diferença do R^2 (47.2%) em relação ao R^2 dos outros parâmetros.

O parâmetro $\hat{\delta}$, por outro lado, tem relação com os percentis $p_{100}ch_0$ e $p_{75}ch_0$, sendo que este último tem grande efeito na formação de $\hat{\delta}$. Provalvelmente estas relações com os percentis deve-se a inclusão de $\hat{\lambda}$ na equação de $\hat{\delta}$.

A estimativa do volume da hidrógrafa \hat{V} mantém relação não só com a ch_0 , mas também com a ch_1 . Cabe observar a inclusão da variável $volch_0$ com expoente $1/2$, e variáveis combinadas.

5.3.2. MSHA

Os modelos de simulação de alturas das hidrógrafas, geraram 35 equações correlacionando as alturas de vazão H_i (em intervalos de 20 minutos), com as variáveis das chuvas anteriores.

Na seqüência são apresentadas as equações de regressão.

$$\begin{aligned} \text{Ln}(\text{CH20}) &= 0.05(\text{volch0} + \text{volch5}) - 0.68\text{Ln}(\text{p50ch0}) + \\ &+ 70.79(\text{p75ch0}/\hat{\lambda}) \\ R^2 &= 76.03\% \quad \text{FC}(3,79) = 83.51^{**} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ln}(\text{CH40}) &= 0.06(\text{volch0} + \text{volch5}) - 0.86\text{Ln}(\text{p50ch0}) + \\ &+ 66.63(\text{p100ch0}/\hat{\lambda}) \\ R^2 &= 80.24\% \quad \text{FC}(3,79) = 106.96^{**} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ln}(\text{CH60}) &= 0.07(\text{volch0} + \text{volch5}) - 0.21\text{Ln}(\text{p50ch0}) \\ R^2 &= 75.80\% \quad \text{FC}(3,79) = 82.46^{**} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ln}(\text{CH80}) &= -0.73\text{Ln}(\text{p75ch0}) + 0.76\text{Ln}(\text{volch0}) \\ R^2 &= 92.40\% \quad \text{FC}(3,79) = 320.00^{**} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ln}(\text{CH100}) &= 0.02(\text{volch0} + \text{volch5}) - 0.20(\text{p75ch0}) + \\ &+ 0.62\text{Ln}(\text{volch0}) \\ R^2 &= 93.69\% \quad \text{FC}(3,79) = 390.80^{**} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ln}(\text{CH120}) &= 0.05(\text{volch0} + \text{volch5}) - 0.17(\text{p50ch0}) + \\ &+ 0.72\text{Ln}(\text{p25ch1}) + 0.02(\text{volch0} - \text{volch3}) + 0.14\text{Ln}(\text{tch04}) \\ R^2 &= 88.73 \quad \text{FC}(5,77) = 121.28^{**} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ln}(\text{CH140}) &= -0.20(\text{p50ch0}) + 0.39(\text{volch0})^{0.5} + 0.07(\text{tch04}) \\ R^2 &= 94.74 \quad \text{FC}(6,75) = 225.09^{**} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ln}(\text{CH160}) &= -0.22(\text{p25ch0}) + 0.55(\text{volch0})^{0.5} + 0.62\text{Ln}(\text{volch1}) + \\ &- 0.16(\text{Ln}(\text{tch01}) * \text{Ln}(\text{volch1})) - 0.14(\text{p25ch2}) + 0.01(\text{tch01}) \\ R^2 &= 95.36 \quad \text{FC}(7,74) = 217.37^{**} \end{aligned}$$

$$\text{Ln}(H180) = 0.36(\text{volch0})^{0.5} - 0.17(\text{p25ch0}) + 0.41\text{Ln}(\text{volch1}) - \\ + 0.10(\text{Ln}(\text{tch01}) * \text{Ln}(\text{volch1}))$$

$$R^2 = 93.53 \quad F(5,76) = 219.60^{**}$$

$$\text{Ln}(H200) = 0.04(\text{volch0}) - 54.6(\text{p75ch0}/\lambda) + 0.54\text{Ln}(\text{volch1}) - \\ + 0.14(\text{Ln}(\text{tch01}) * \text{Ln}(\text{volch1})) + 1.24\text{Ln}(\text{p75ch0}) - 0.27\beta_5(\text{p75ch0})$$

$$R^2 = 94.13\% \quad F(8,72) = 144.44^{**}$$

$$\text{Ln}(H220) = 0.05(\text{volch0}) + 1.01(\text{p100ch1}) - 0.18(\text{p100ch1})$$

$$R^2 = 91.02\% \quad F(5,73) = 147.94^{**}$$

$$\text{Ln}(H240) = 0.04(\text{volch0}) + 0.70\text{Ln}(\text{volch1}) - \\ + 0.2(\text{Ln}(\text{tch01}) * \text{Ln}(\text{volch1})) + 0.4\text{Ln}(\text{p100ch0})$$

$$R^2 = 91.29 \quad F(6,70) = 122.30^{**}$$

$$\text{Ln}(H260) = 0.001(\text{volch0})^2 - 228.7(\text{p25ch0}/\lambda) + \\ 0.24\text{Ln}(\text{volch1}) + 1.28\text{Ln}(\text{p25ch0})$$

$$R^2 = 86.73\% \quad F(4,68) = 111.07^{**}$$

$$\text{Ln}(H280) = 0.001(\text{volch0})^2 - 279.5(\text{p25ch0}/\hat{\lambda}) + \\ 1.48\text{Ln}(\text{p25ch0}) + 0.24\text{Ln}(\text{volch1})$$

$$R^2 = 90.64\% \quad F(4,59) = 142.88^{**}$$

$$\text{Ln}(H300) = 0.0155(\text{volch0})^2$$

$$R^2 = 75.28\% \quad F(1,59) = 179.63^{**}$$

$$\text{LnCH320} = 0.00159(\text{volch0})^2$$

$$R^2 = 77.56\% \quad F(1,56) = 193.53^{***}$$

$$\text{LnCH340} = 0.00137(\text{volch0})^2 + 0.00482(\text{tch02})$$

$$R^2 = 81.87\% \quad F(2,51) = 115.14^{**}$$

$$\text{LnCH360} = 0.0008(\text{volch0})^2 + 0.27(\text{p50ch0})$$

$$R^2 = 85.17\% \quad F(2,46) = 132.09^{**}$$

$$\text{LnCH380} = 0.0008(\text{volch0})^2 + 0.23(\text{p50ch0})$$

$$R^2 = 89.43\% \quad F(4,41) = 86.69^{**}$$

$$\text{LnCH400} = 0.0007(\text{volch0})^2 + 0.10(\text{p100ch0})$$

$$R^2 = 88.54\% \quad F(4,40) = 77.22^{**}$$

$$\text{LnCH420} = 0.0013(\text{volch0})^2$$

$$R^2 = 76.26\% \quad F(1,38) = 122.07^{**}$$

$$\text{LnCH440} = 0.0006(\text{volch0})^2 + 0.11(\text{p100ch0})$$

$$R^2 = 91.13\% \quad F(2,31) = 150.20^{**}$$

$$\text{LnCH460} = 0.00044(\text{volch0})^2 + 0.21(\text{p50ch0})$$

$$R^2 = 86.21\% \quad F(3,30) = 62.53^{**}$$

$$\text{Ln}(H480) = 0.0006(\text{volch0})^2 + 0.35\text{Ln}(p100ch0)$$

$$R^2 = 84.70\% \quad F(2,27) = 74.73^{***}$$

$$\text{Ln}(H500) = 0.0005(\text{volch0})^2 + 0.22(p50ch0)$$

$$R^2 = 90.52\% \quad F(2,23) = 109.87^{***}$$

$$\text{Ln}(H520) = 0.001(\text{volch0})^2$$

$$R^2 = 80.20\% \quad F(1,23) = 93.19^{***}$$

$$\text{Ln}(H540) = 0.001(\text{volch0})^2$$

$$R^2 = 86.00\% \quad F(1,18) = 110.61^{***}$$

$$\text{Ln}(H580) = 0.0005(\text{volch0})^2$$

$$R^2 = 79.03\% \quad F(2,14) = 26.39^{***}$$

$$\text{Ln}(H580) = 0.29(p50ch0)$$

$$R^2 = 81.34\% \quad F(1,12) = 52.32^{***}$$

$$\text{Ln}(H600) = 0.26(p50ch0)$$

$$R^2 = 75.71\% \quad F(1,10) = 31.18^{***}$$

$$\text{Ln}(H620) = 1.24\text{Ln}(p50ch0) - 193(p100ch0/\hat{\lambda})$$

$$R^2 = 73.31\% \quad F(3,6) = 5.49^{***}$$

$$\text{Ln}(H640) = 0.73\text{Ln}(p50ch0)$$

$$R^2 = 95.19\% \quad F(1,4) = 79.09^{***}$$

5.4. A Simulação (Validação dos modelos)

A etapa posterior à obtenção das equações de regressão para cada modelo sugerido (MSHJ e MSHA) é a simulação e validação das hidrógrafas.

Para o processo de simulação de hidrógrafas foi utilizado como entrada dos modelos as 82 chuvas atuais, acompanhadas das chuvas anteriores. Deste modo foi possível aferir (validar) o desempenho dos modelos, já que se dispõe das hidrógrafas observadas, que representam as respostas do sistema aos estímulos ou entradas das chuvas atuais e anteriores.

Deve-se lembrar que o estudo de modelagem e simulação das hidrógrafas tem grande importância em previsão de eventos hidrológicos, principalmente aqueles ligados ao estudo de cheias (enchentes), bem com o entendimento da dinâmica da água numa bacia hidrográfica e a geração do deflúvio.

Para tanto, há necessidade de validação do modelo proposto, estudos de condições de excessão e se possível, determinação da sua faixa de atuação.

O estudo de simulação foi feito levando-se em conta a distribuição de frequência dos volumes gerados pelas hidrógrafas (Figura 24). Dentro de cada classe volumétrica sugerido uma classificação das simulações existentes.

Para tal, foi necessário inicialmente "medir" o ajustamento feito pelos modelos (MSHJ e MSHA), tendo-se o objetivo de comparar os diversos ajustes.

A primeira idéia foi utilizar o teste de Kolmogorov-Smirnov para efetuar essas comparações múltiplas com o intuito de classificar os ajustes. Este teste que tem como fator discriminante a maior distância entre as distribuições acumuladas observadas e esperadas, não tendo sensibilidade suficiente para por exemplo, captar

diferenças do tempo de ascensão da hidrógrafa.

Como visto no capítulo 2, as hidrógrafas possuem parâmetros de caracterização como tempo de ascensão e recessão, início e fim do escoamento, vazão no ponto máximo. O ideal seria a utilização de uma média ponderada dos desvios, que levasse em conta os parâmetros acima.

É sugerido um critério de classificação em que se utiliza um discriminante de ajustes (R_a), baseado numa relação entre a média e o desvio padrão dos desvios absolutos. A primeira vista poderia se pensar no coeficiente de variação (CV), mas o critério tem com ponto básico os seguintes princípios (Figura 29):

1. Calcula-se a diferença absoluta para cada uma das 82 simulações, obtendo-se assim a média e o desvio padrão dos desvios absolutos.

2. Num sistema de eixos cartesianos, plota-se no eixo das abscissas, os valores das médias e no eixo das ordenadas, os respectivos valores dos desvios padrão.

3. Determina-se finalmente a distância cartesiana (R_a) de cada ponto no plano, representando cada simulação, ao centro do sistema de eixos (origem), que na verdade é o que se deseja : médias próximos de zero com desvio padrão reduzido.

4. Dentro de cada classe de volume de hidrógrafa, determina-se as distâncias R_a ordenado-as.

5. Deste modo pode-se determinar os percentis 33,33% , 66,66% e 100% das distribuições de R_a nas classes de volume, obtendo-se então três classes de simulação : classe I, II e III (boa, média e ruim, por exemplo).

Observa-se que o coeficiente de variação na verdade está representado pela inclinação de uma dada reta. Deste modo pode-se ter várias distribuições com o mesmo CV, mas com comportamentos diferentes com relação aos desvios

do ajuste das distribuições. A distância Ra torna-se, então mais indicada para "medir" a eficiência de um dado ajustamento.

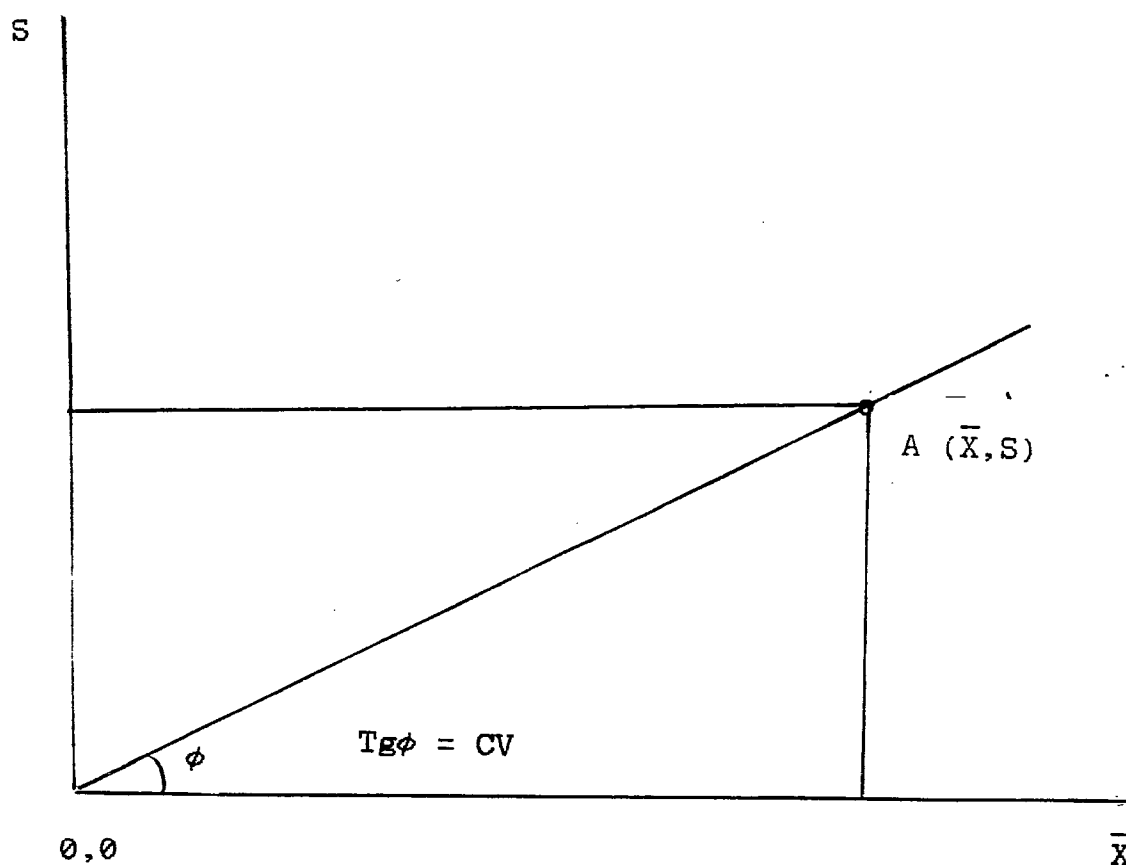


Figura 29 . - Método de classificação de hidrógrafas*: distância "Ra". S = desvio padrão; x = média; CV = coeficiente de variação; $Tg\phi = s/\bar{x}$.

No APÊNDICE 3 são fornecidos os valores de "Ra" e seus componentes (média e desvio padrão) para cada uma das 82 simulações dentro de cada método existente.

No Tabela 13 está representado a distribuição de frequência dos volumes das hidrógrafas.

Tabela 13. - Distribuição de Frequência do volumes das hidrógrafas utilizadas para a modelagem.

Classe (cm)	Fi	Fr(%)
70	53	70.67
140	14	18.67
210	7	9.33
280	5	6.67
350	2	2.67
420	0	0.00
480	1	1.33
TOTAL	75	100.00

Observa-se que existe uma tendência de crescimento dos valores de "Ra" quando a classe de volume das vazões aumenta, (APÊNDICE 3).

No seguimento são apresentados os gráficos das simulações por classe de volume de hidrógrafa.

Os modelos MSHJ não obtiveram boas respostas aos estímulos das chuvas anteriores como fica verificado nos valores de "Ra" (APÊNDICE 3), com raras excessões Figuras 30, 32 e principalmente a 41. De um total de 75 observações de simulação aproximadamente 35% apresentou uma resposta com pico de vazão no final, 10% sem respostas, 10% com pico exagerados no início, sendo que o restante obteve resposta mas com desvios muitos elevados.

Este fato já foi previsto anteriormente

quando da análise dos modelos MSHJ, onde os parâmetros δ e γ são os principais suspeitos pela falta de sensibilidade do Sistema Johnson de Distribuição às variações de condições de entrada no sistema.

Já os MSHA obtiveram desempenho por vezes melhor do que os modelos MSHJ, como comprovado pelos valores de "Ra" apresentados no apêndice 3 nas Figuras 30 a 50.

Observa-se que para classes de volume de hidrógrafa inferiores as previsões são melhores, quando comparadas com às últimas classes.

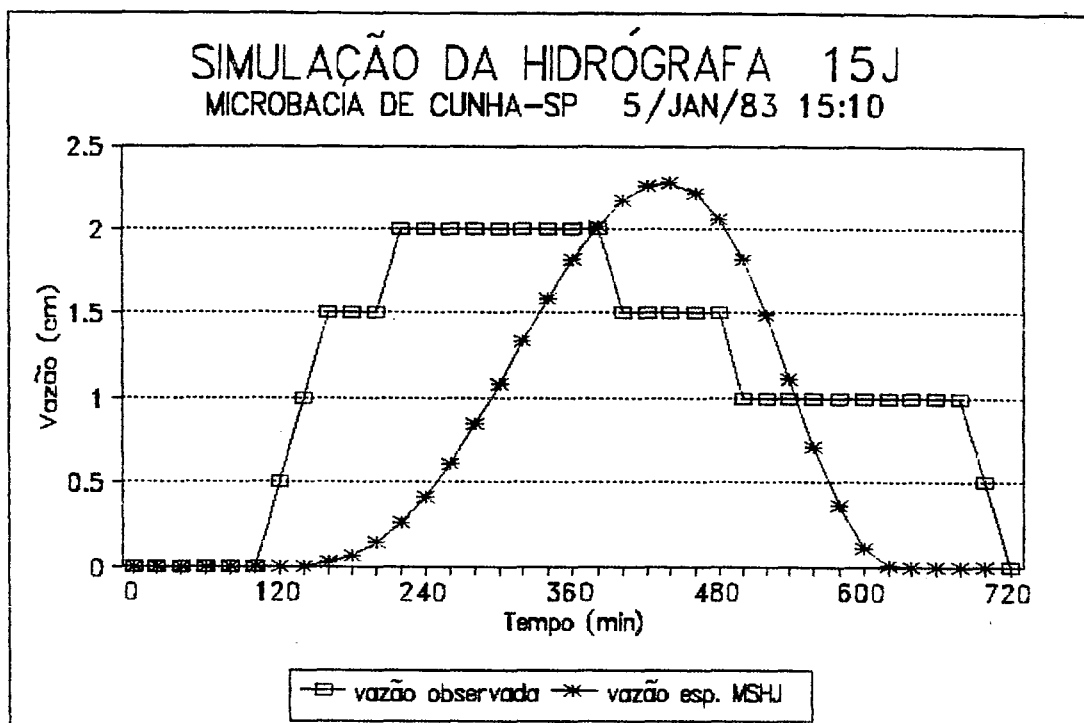
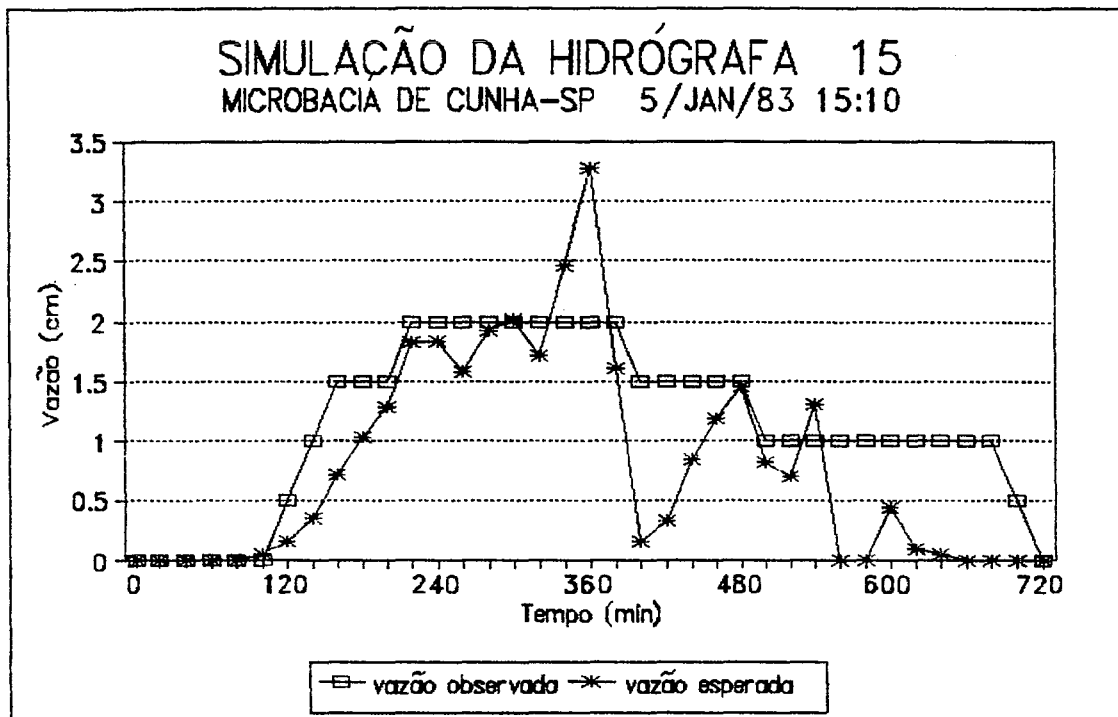


Figura 30: - Simulações de hidrógrafas de classe 70 cm de vazão, com $R_a = 0.62$ e $R_a = 0.91$ respectivamente.

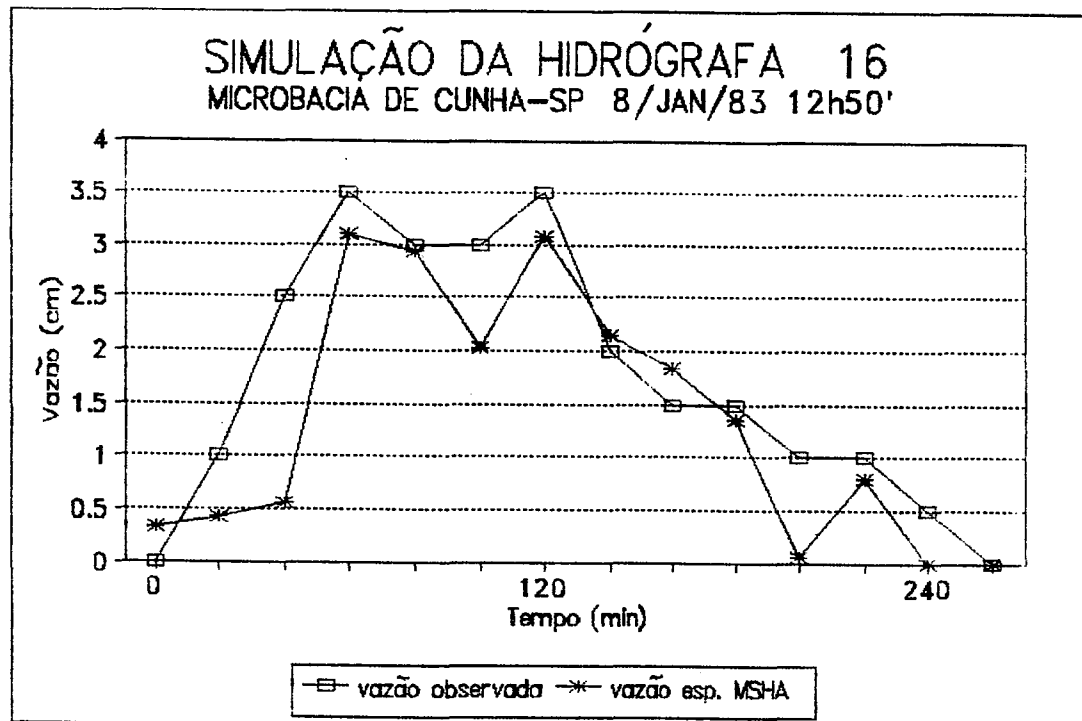
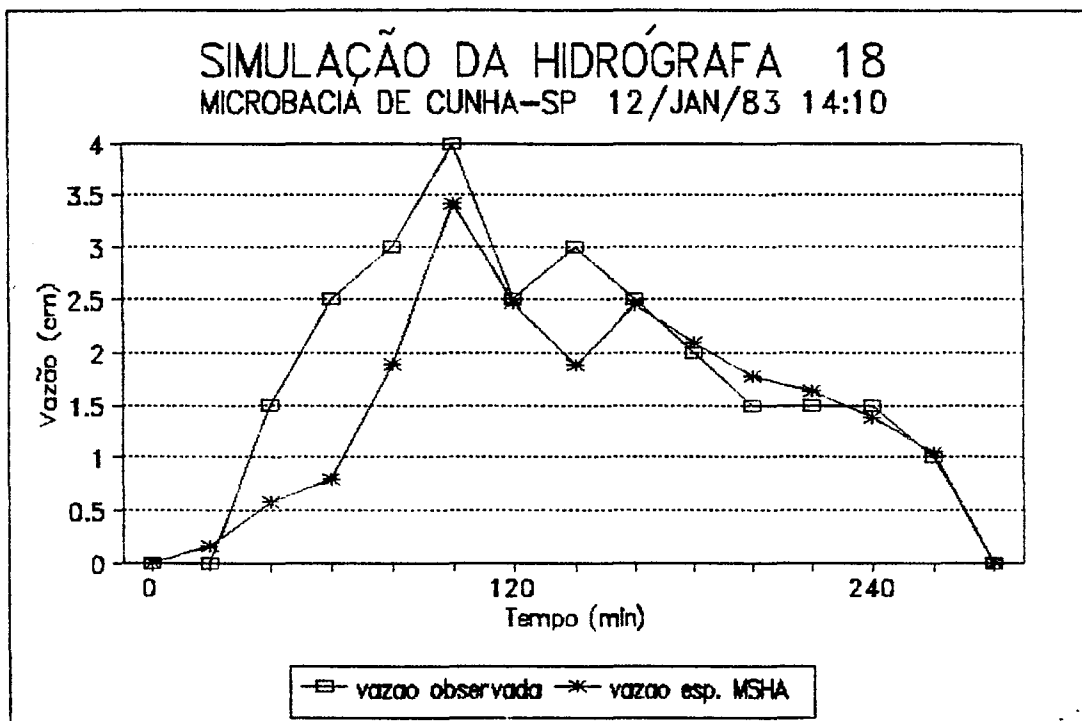


Figura 31 - Simulações de hidrógrafas de classe 70 cm de vazão, com $R_a = 0.65$ e $R_a = 0.71$ respectivamente.

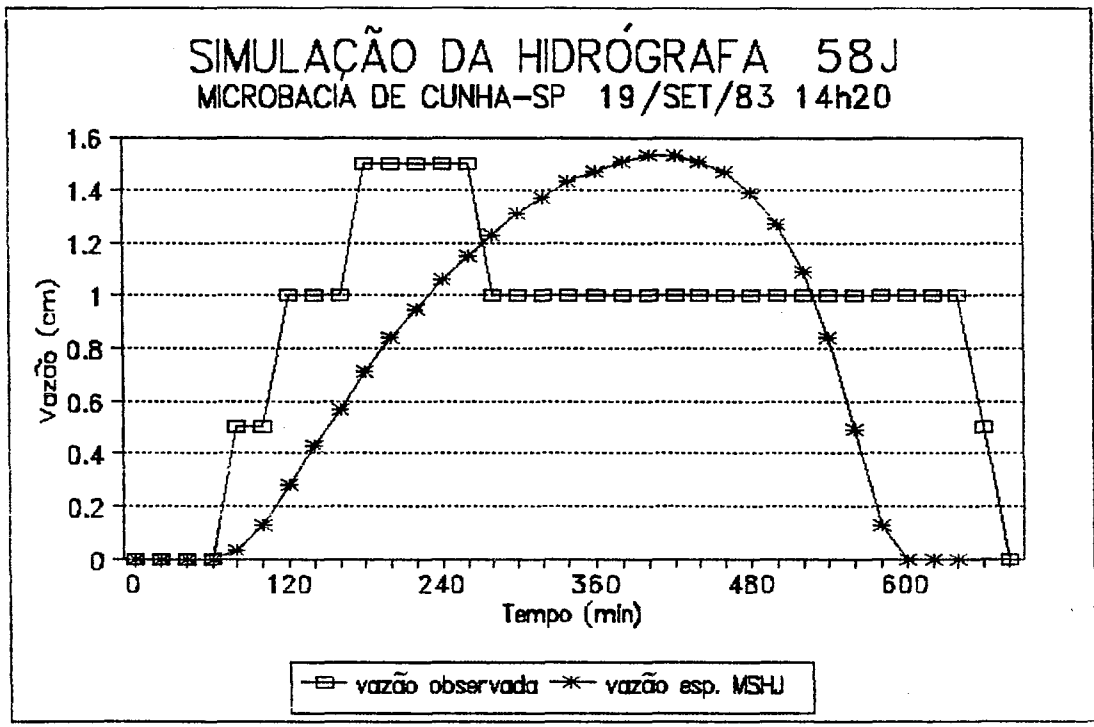
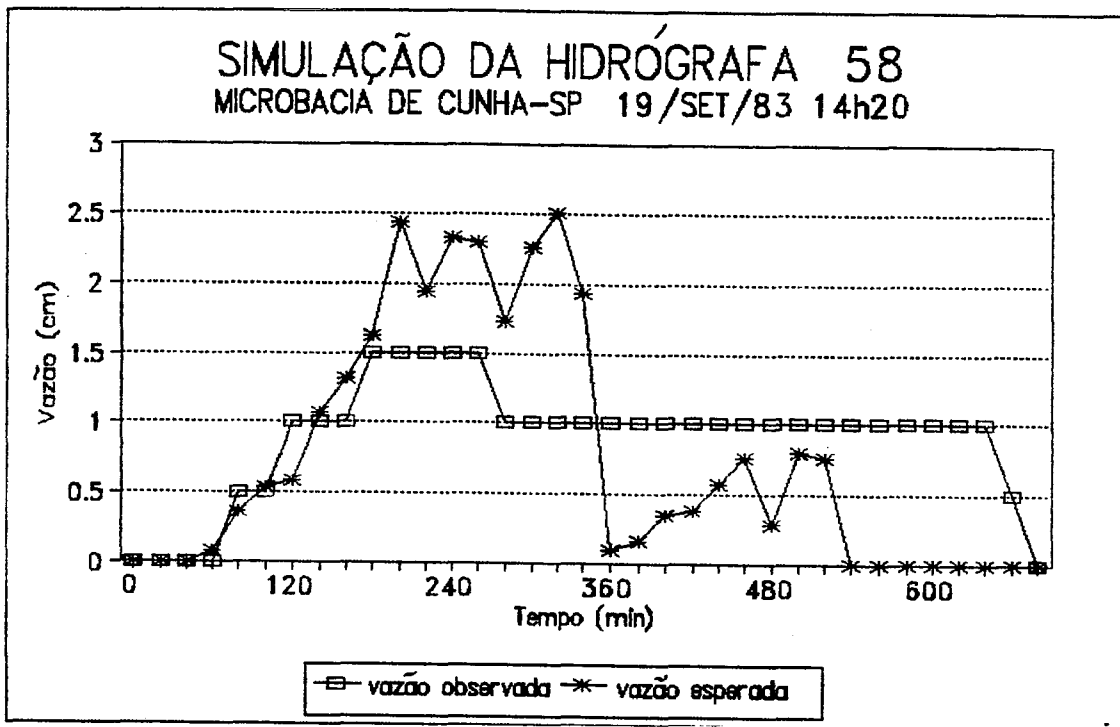


Figura 32 - Simulações de hidrógrafas de classe 70 cm de vazão, com Ra= 0.73 e Ra= 0.53 respectivamente.

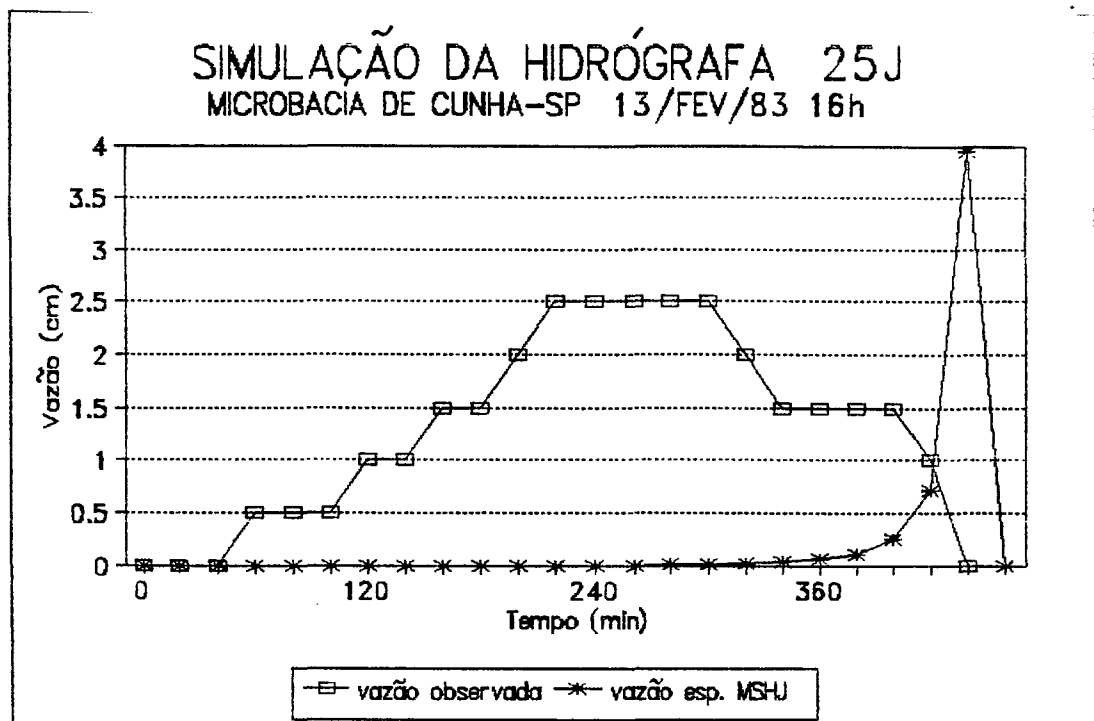
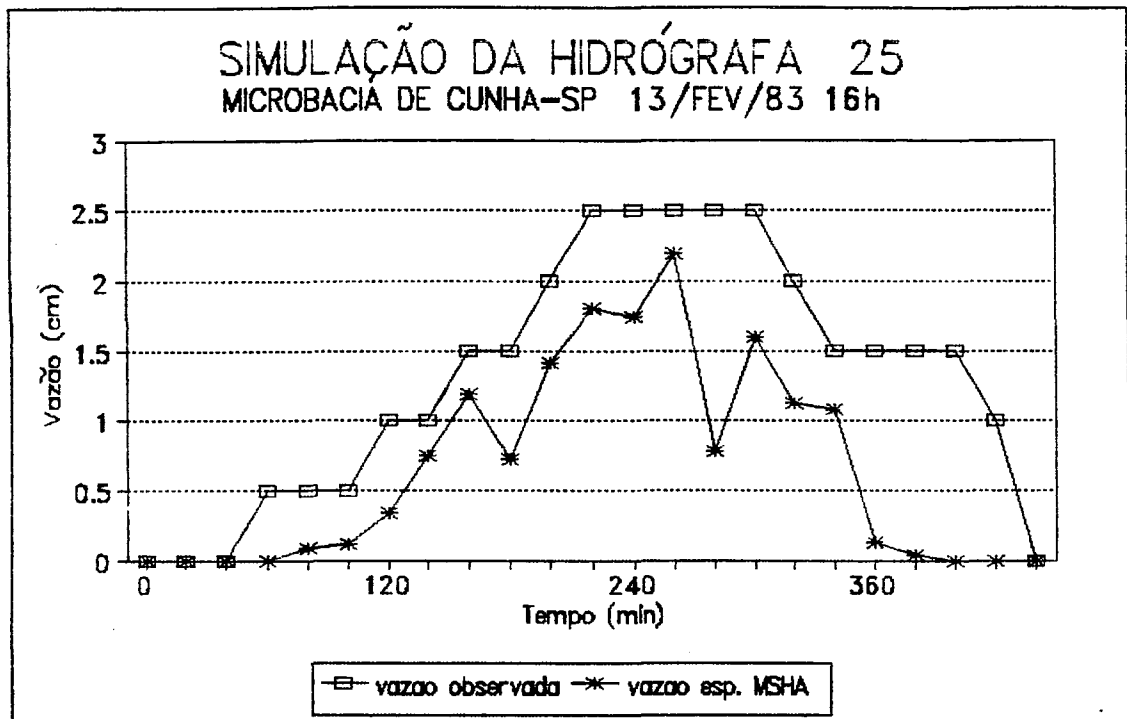


Figura 33 - Simulações de hidrógrafas de classe 70 cm de vazão, com $R_a = 0.80$ e $R_a = 1.72$ respectivamente.

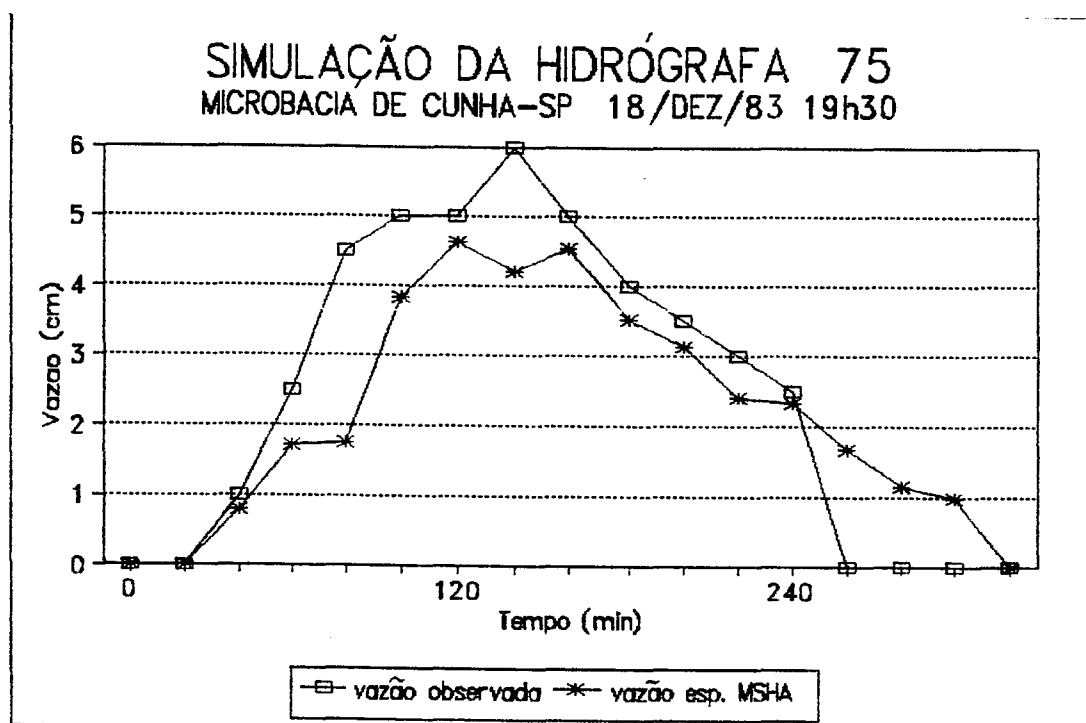
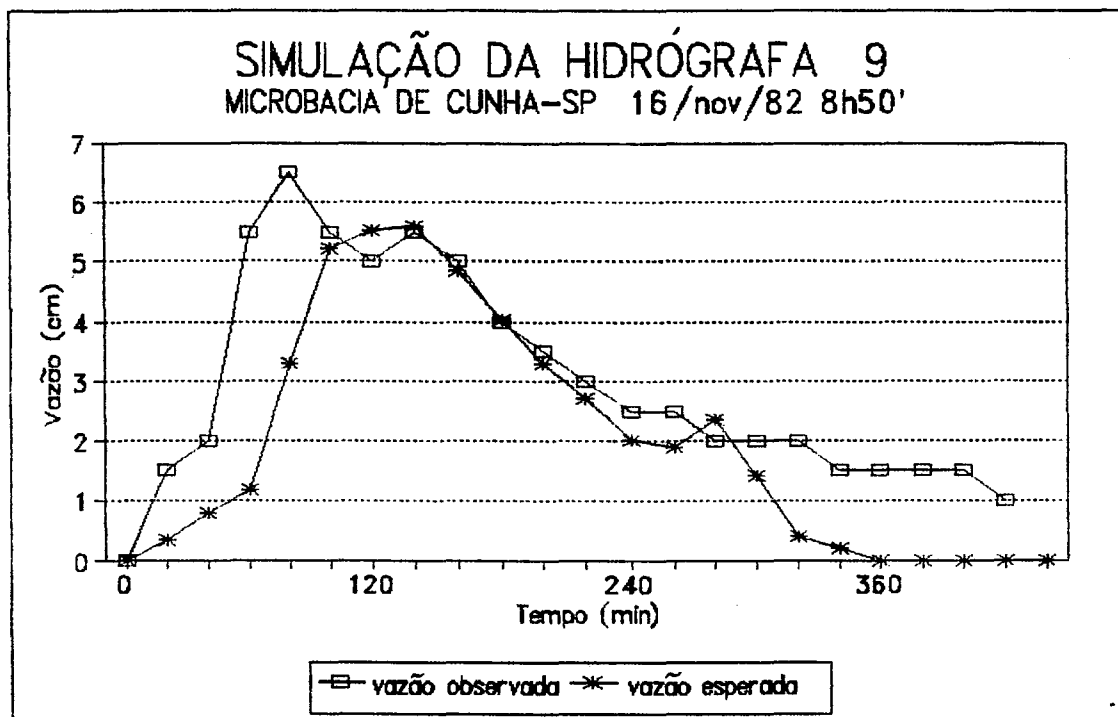


Figura 34 - Simulações de hidrógrafas de classe 70 cm ue vazão, com $R_a = 0.95$ e $R_a = 1.04$ respectivamente.

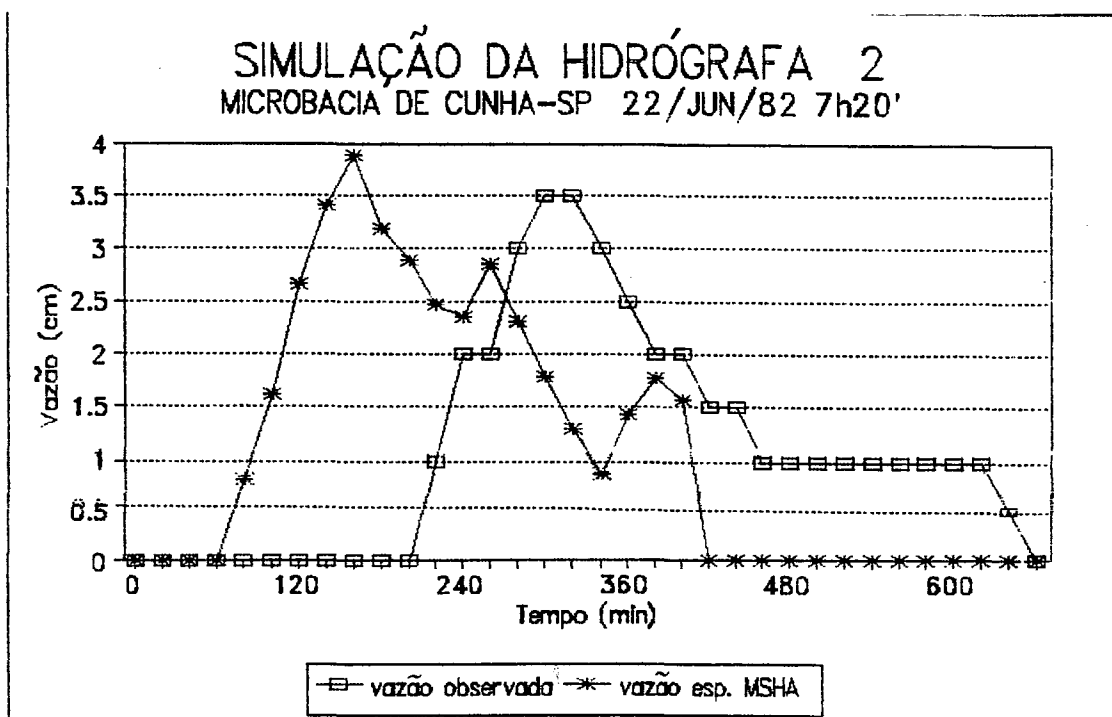
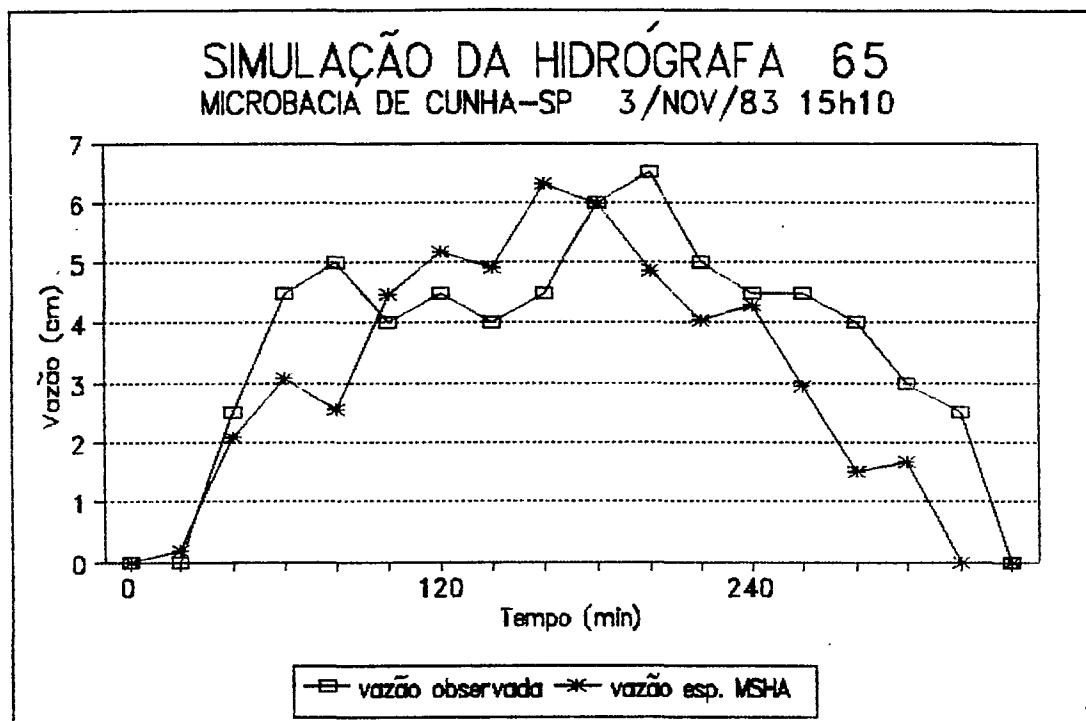


Figura 35 - Simulações de hidrógrafas de classe 70 cm de vazão, com $R_a = 1.38$ e $R_a = 1.61$ respectivamente.

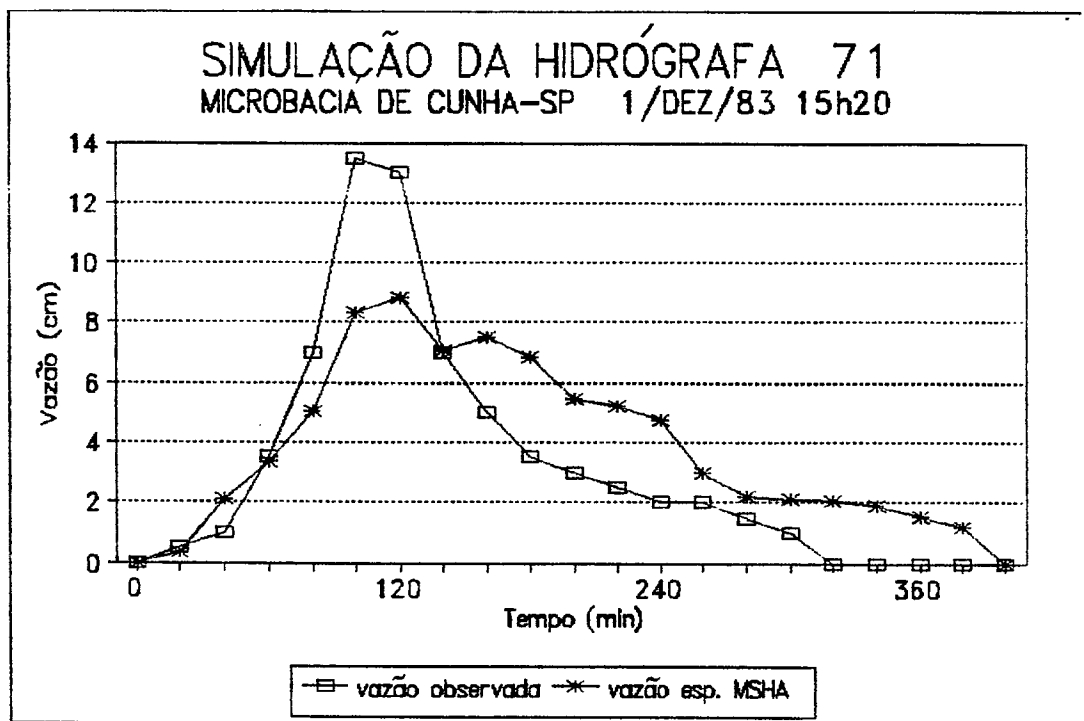
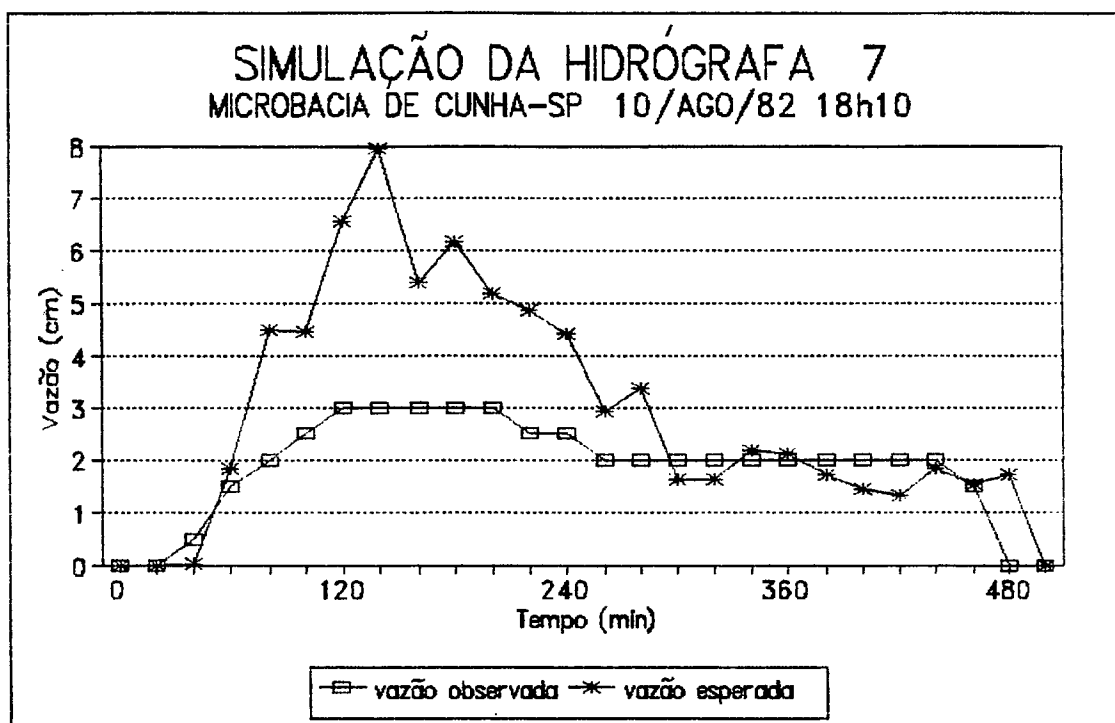


Figura 36 - Simulações de hidrógrafas de classe 70 cm de vazão, com $R_a = 1.72$ e $R_a = 1.44$ respectivamente.

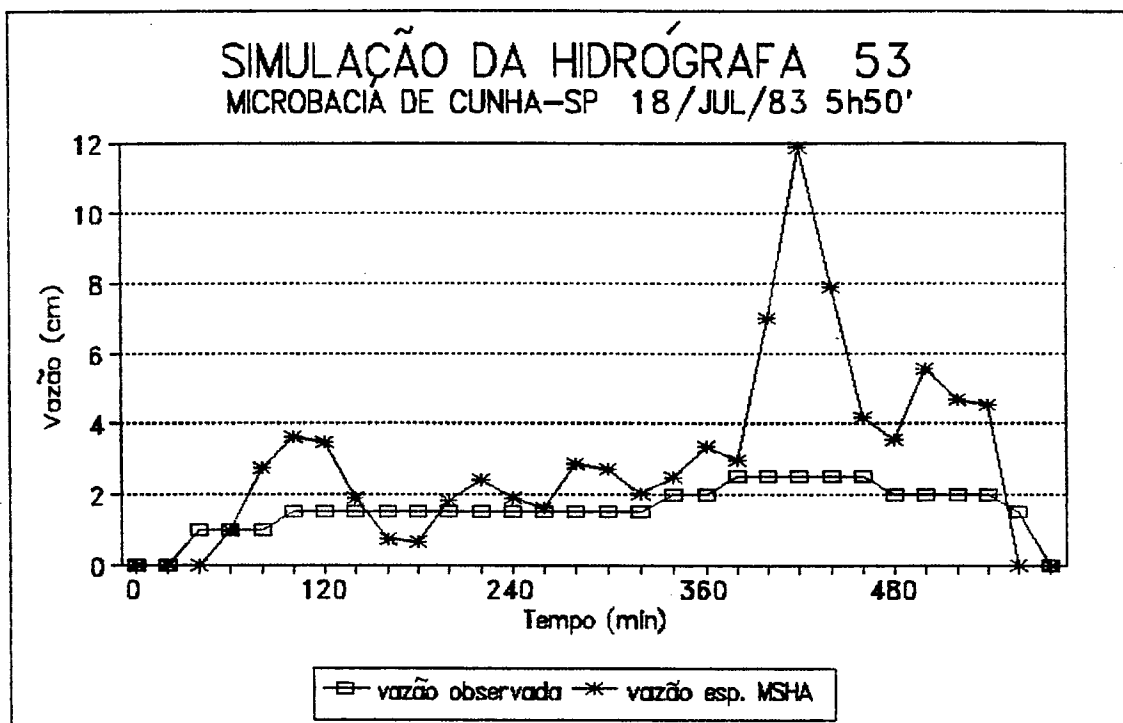


Figura 37 - Simulações de hidrógrafas de classe 70 cm de vazão, com Ra= 2.47.

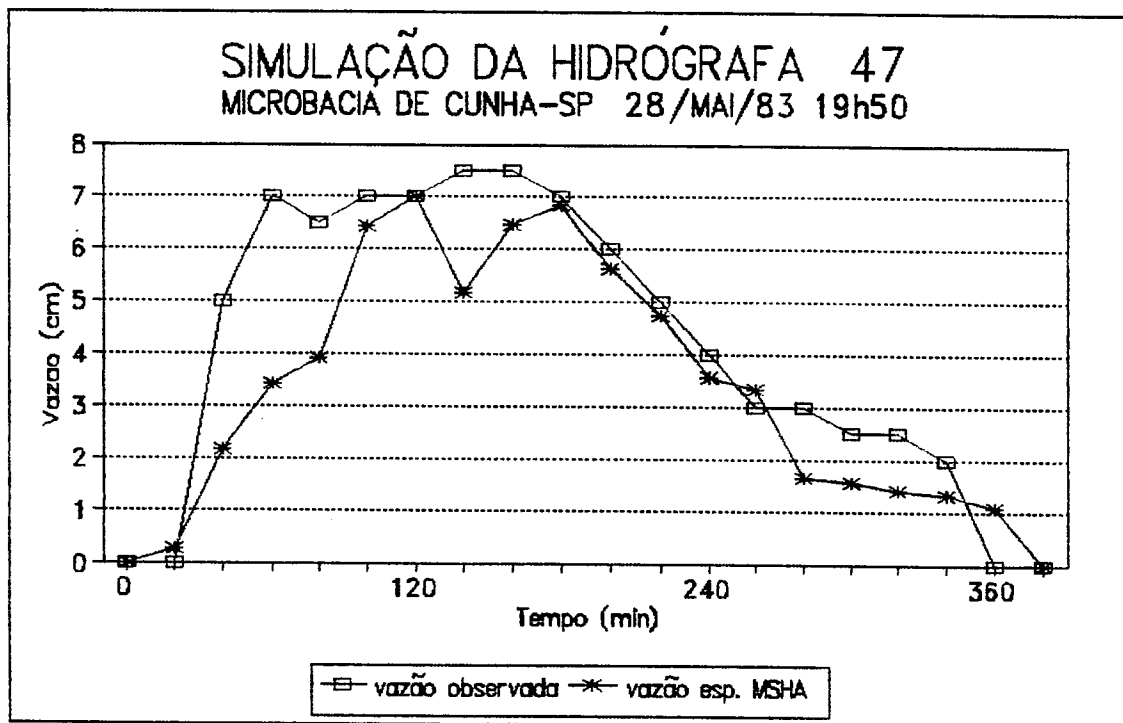
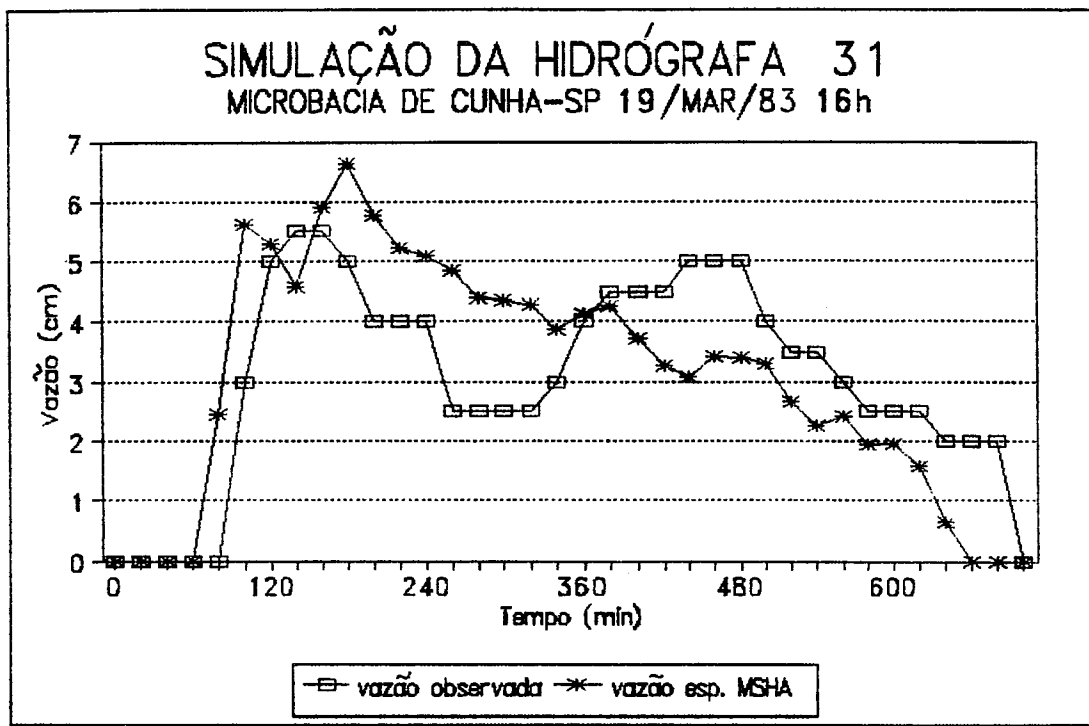


Figura 38 - Simulações de hidrógrafas de classe 140 cm de vazão, com $R_a = 1.34$ e $R_a = 1.44$ respectivamente.

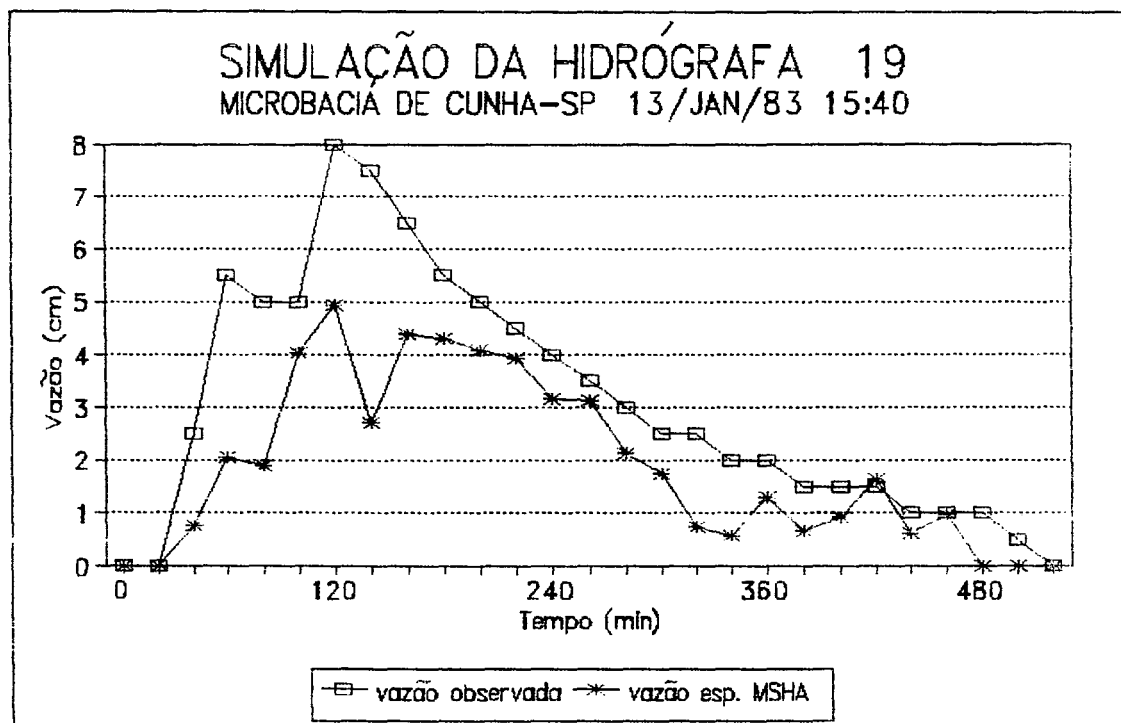
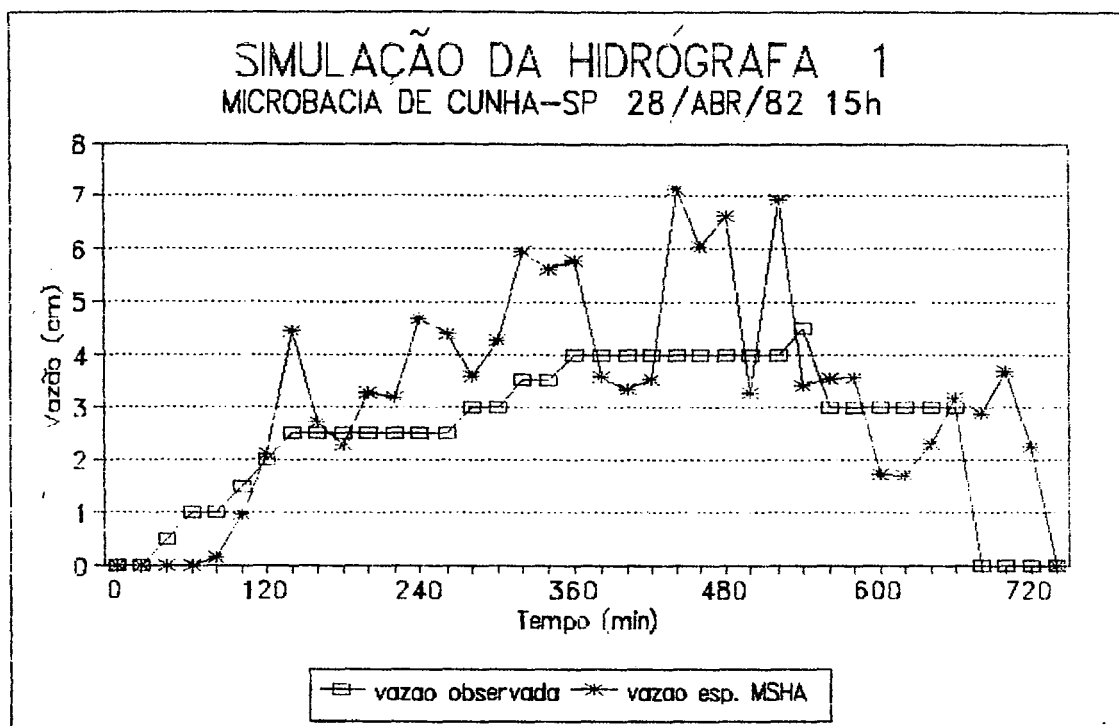
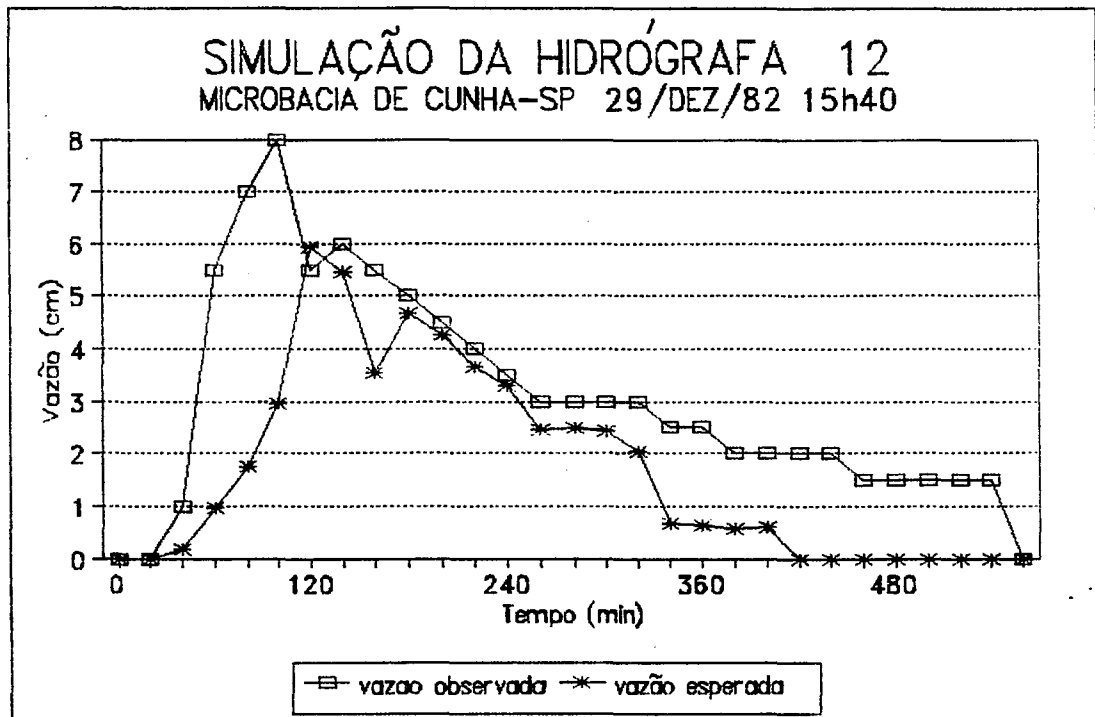


Figura 39 - Simulações de hidrógrafas de classe 140 cm de vazão, com $R_a = 1.51$ e $R_a = 3.14$ respectivamente.



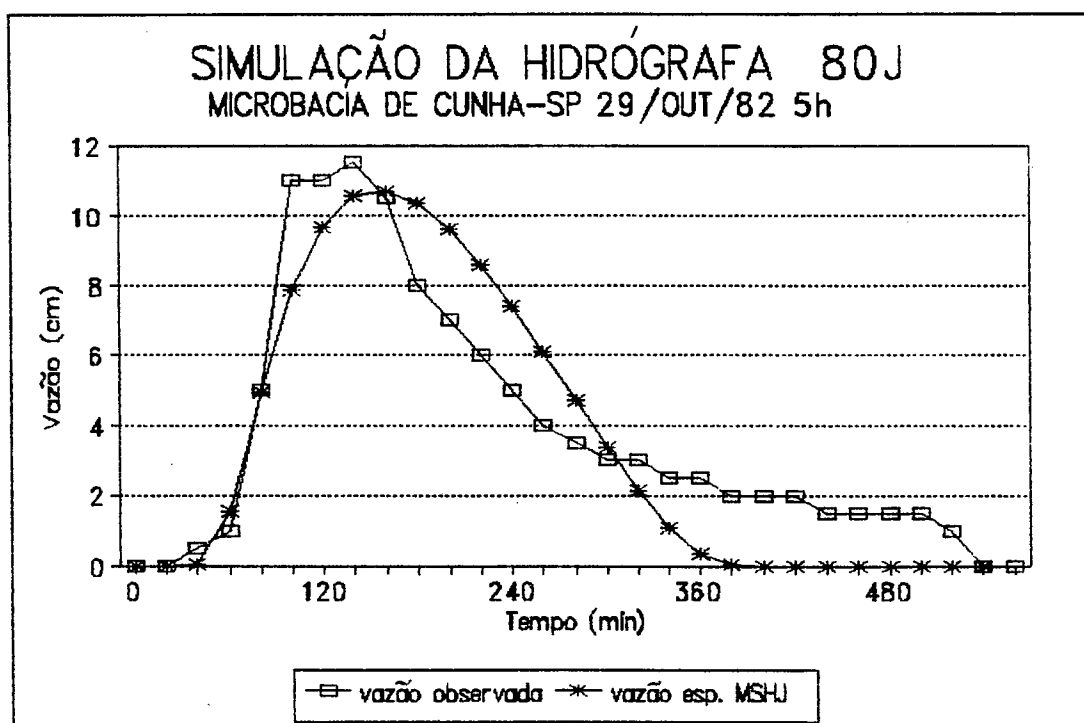
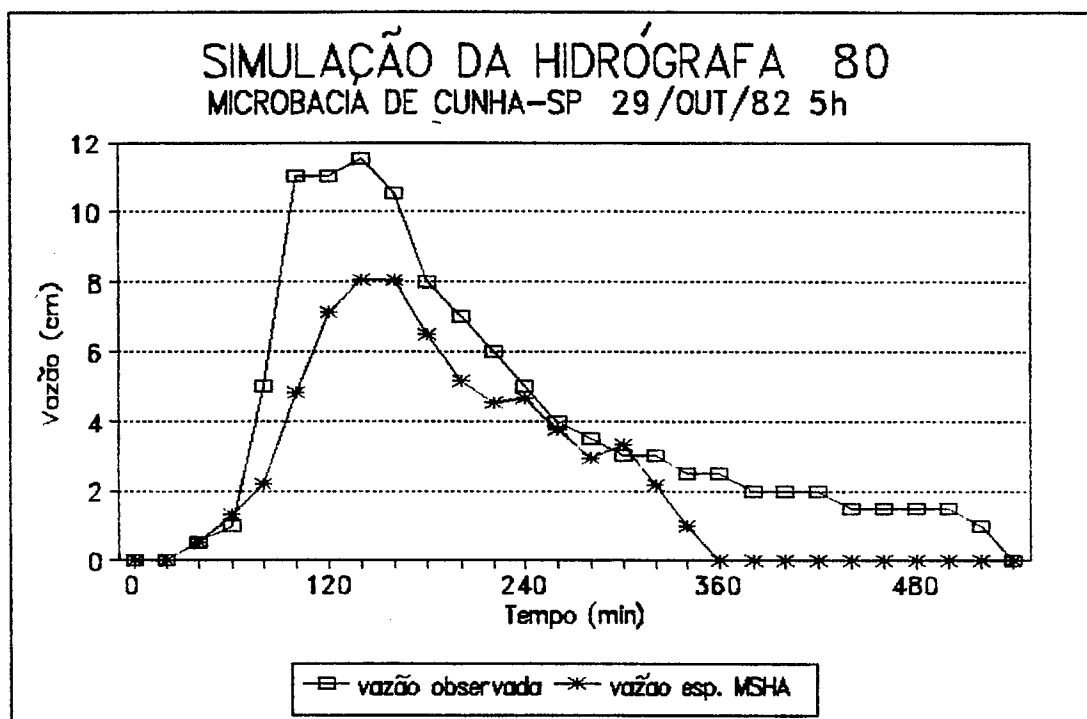


Figura 41 - Simulações de hidrógrafas de classe 140 cm de vazão, com $R_a = 2.07$ e $R_a = 1.62$ respectivamente.

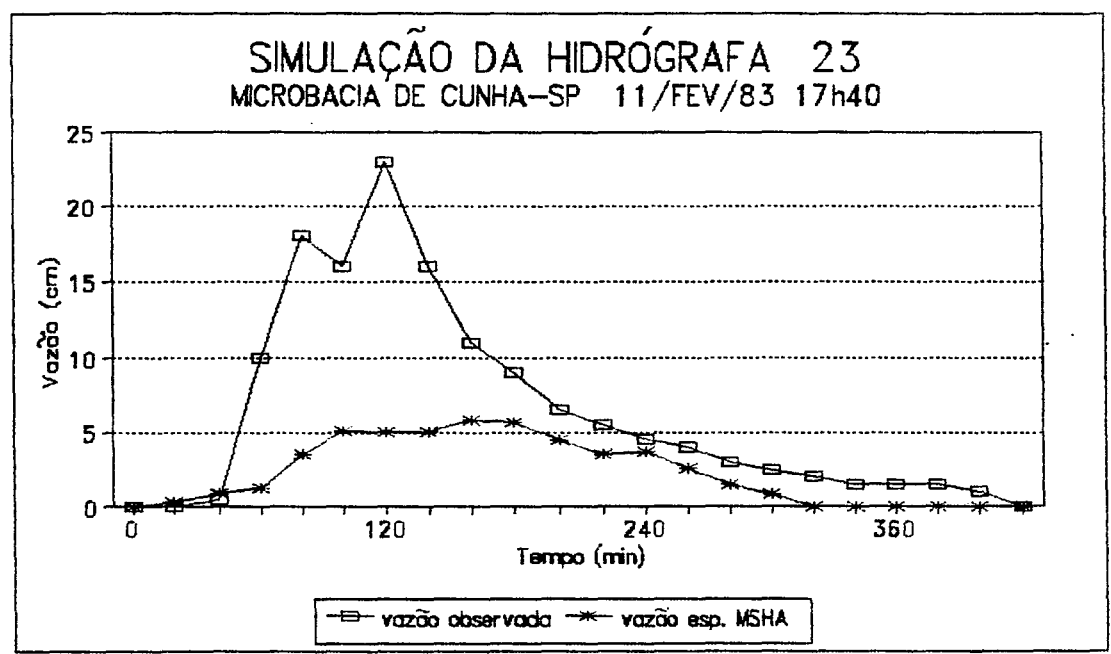


Figura 42 - Simulações de hidrógrafas de classe 140 cm de vazão, com Ra= 6.53 .

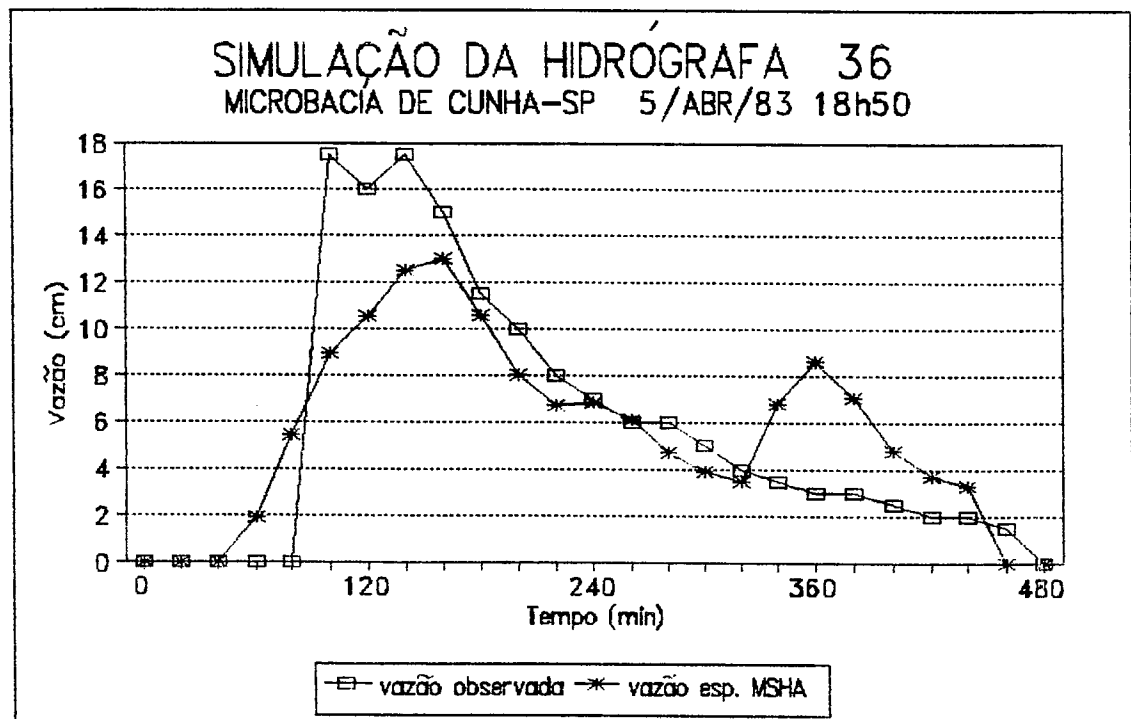
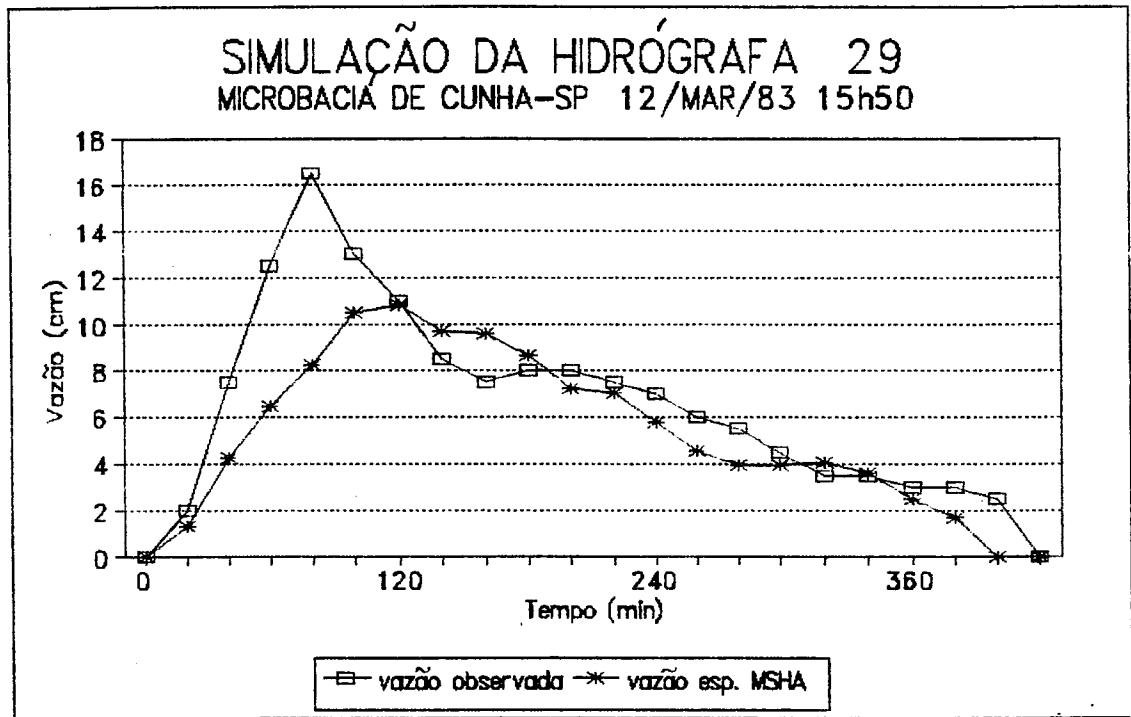


Figura 43 - Simulações de hidrógrafas de classe 210 cm de vazão, com $R_a = 2.60$ e $R_a = 3.12$ respectivamente.

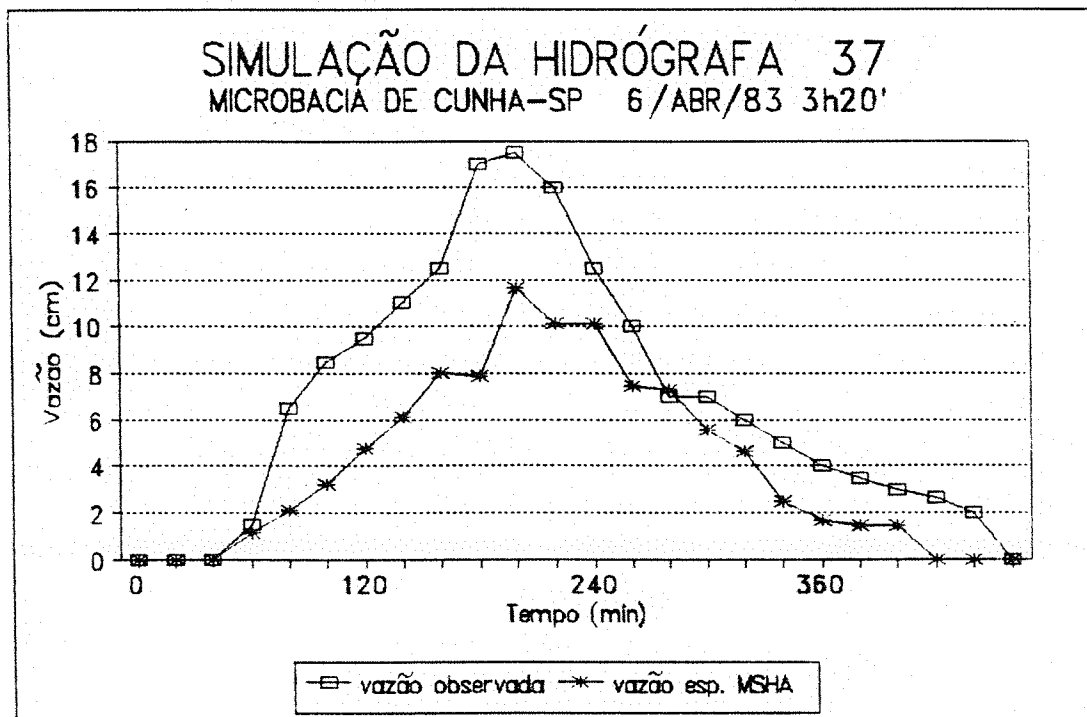
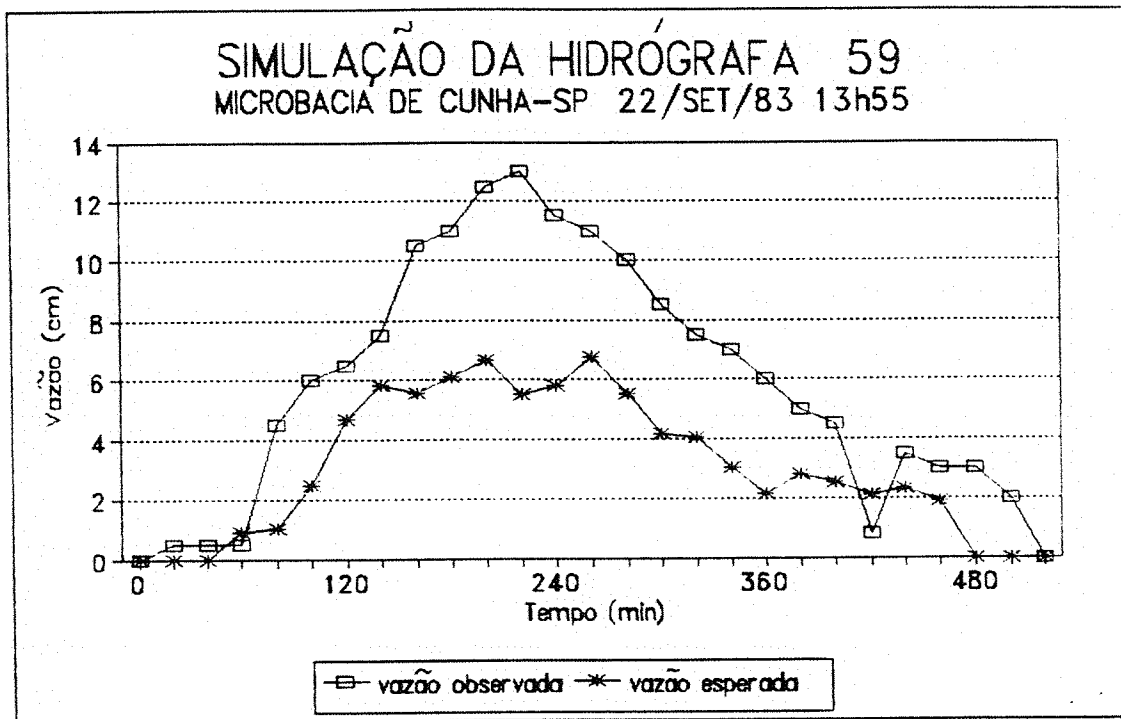


Figura 44 - Simulações de hidrógrafas de classe 210 cm de vazão, com $R_a = 3.45$ e $R_a = 3.60$ respectivamente.

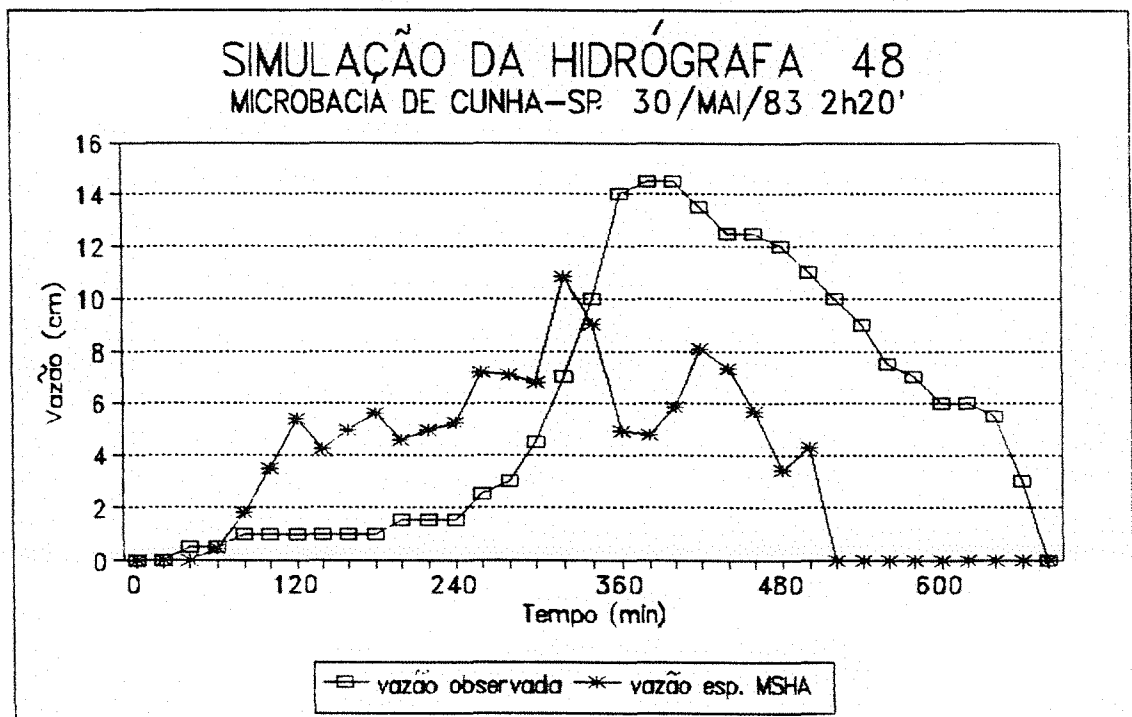
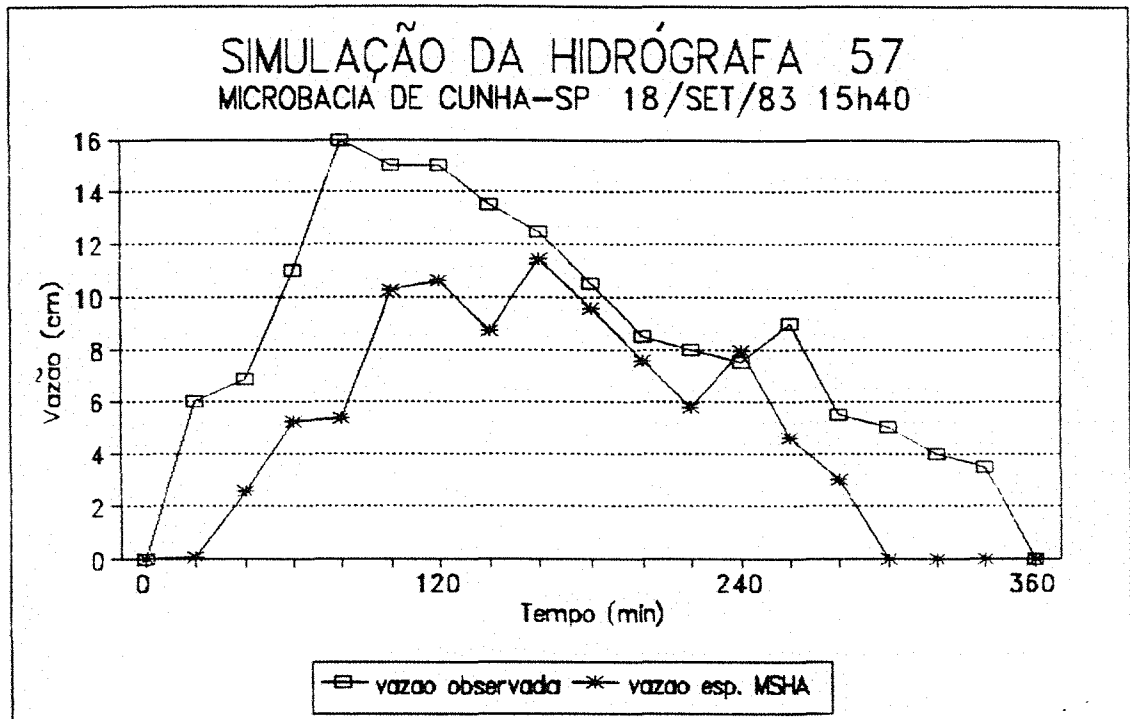


Figura 45 - Simulações de hidrógrafas de classe 210 cm de vazão, com Ra= 2.24 e Ra= 5.47 respectivamente.

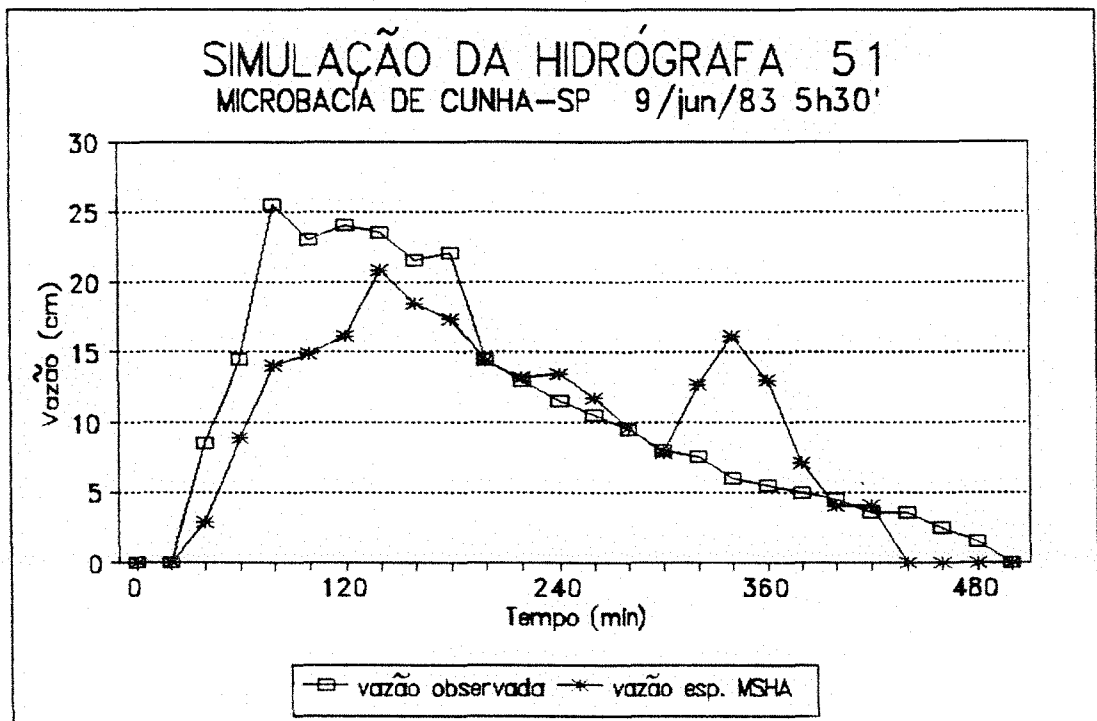
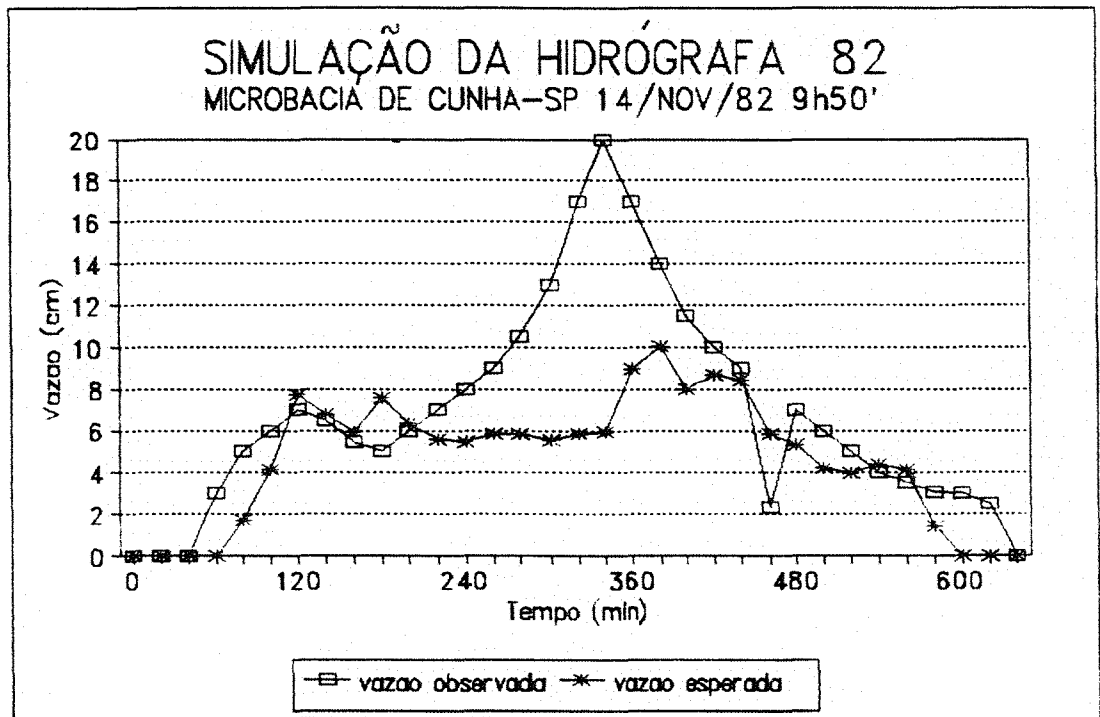


Figura 46 - Simulações de hidrógrafas de classe 280 cm de vazão, com Ra= 4.23 e Ra= 4.77 respectivamente.

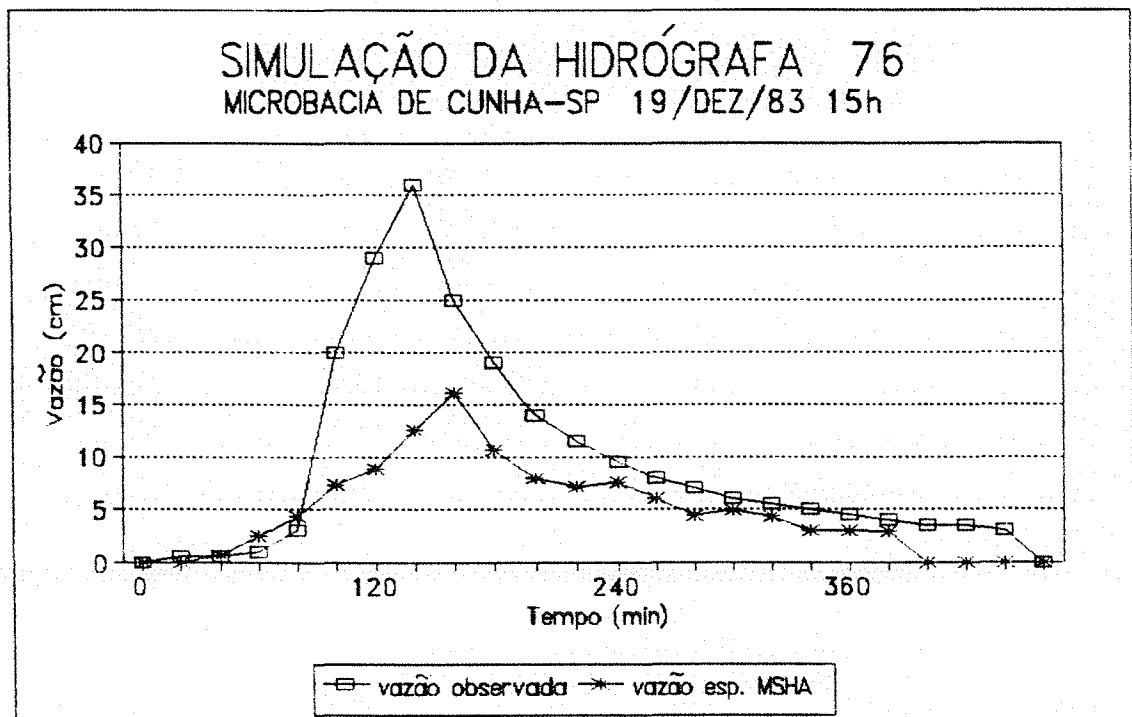
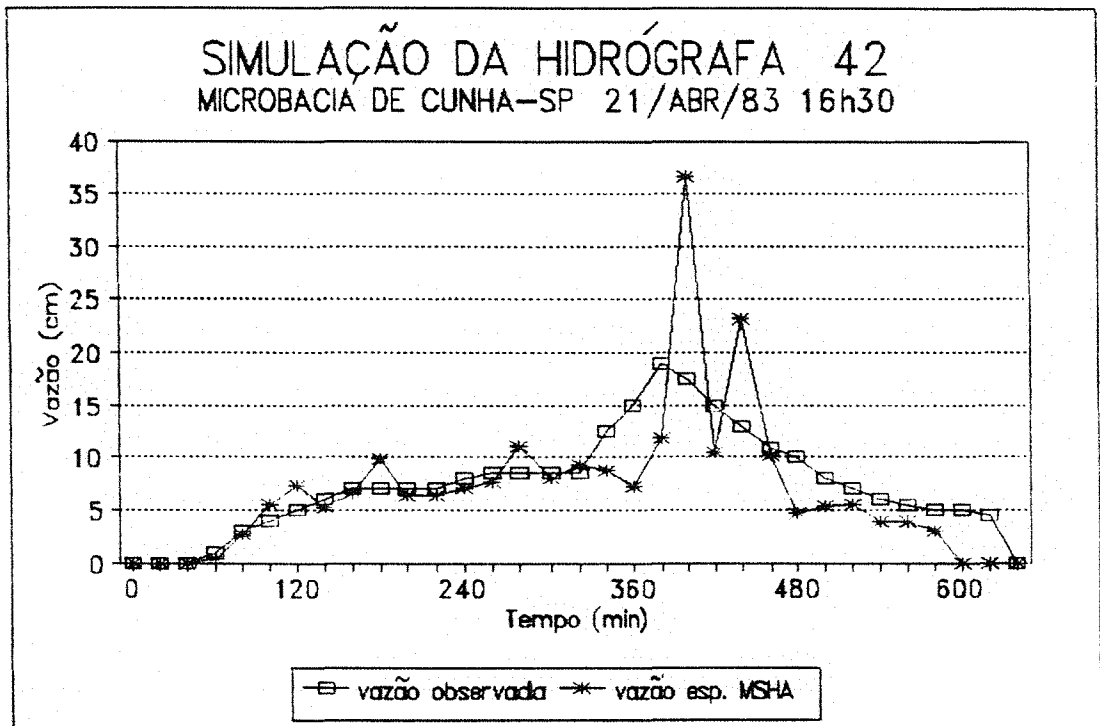


Figura 47 - Simulações de hidrógrafas de classe 280 cm de vazão, com $R_a = 4.78$ e $R_a = 7.70$ respectivamente.

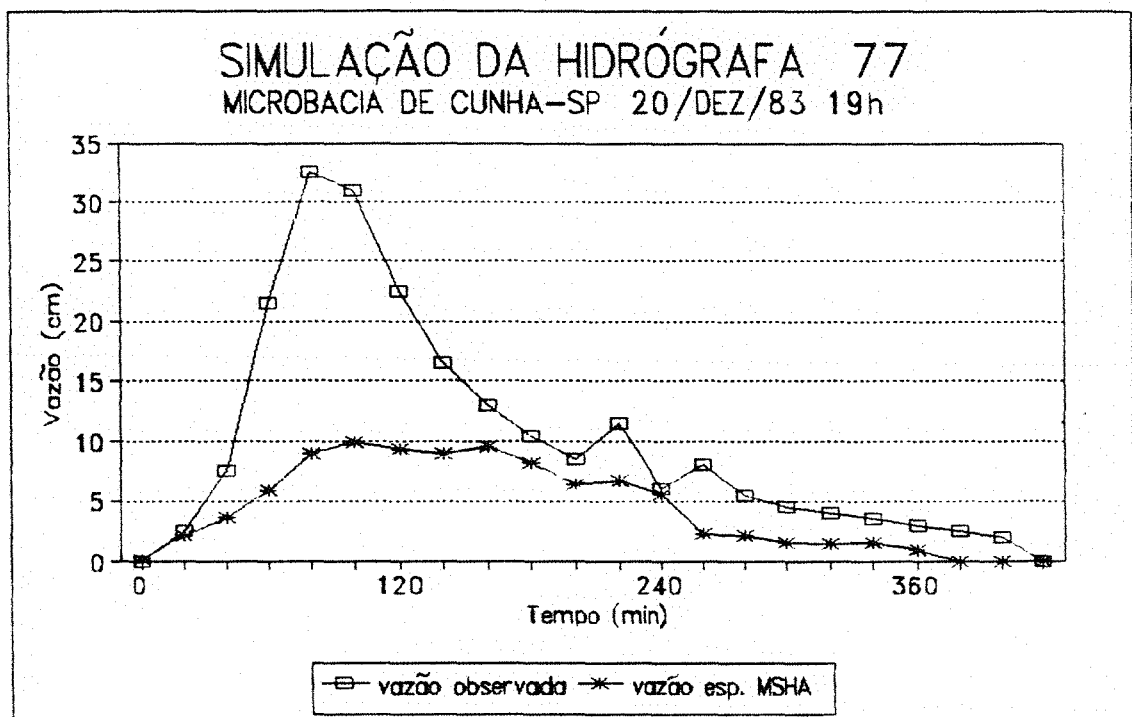


Figura 48 - Simulações de hidrógrafas de classe 280 cm de vazão, com $R_a = 8.50$.

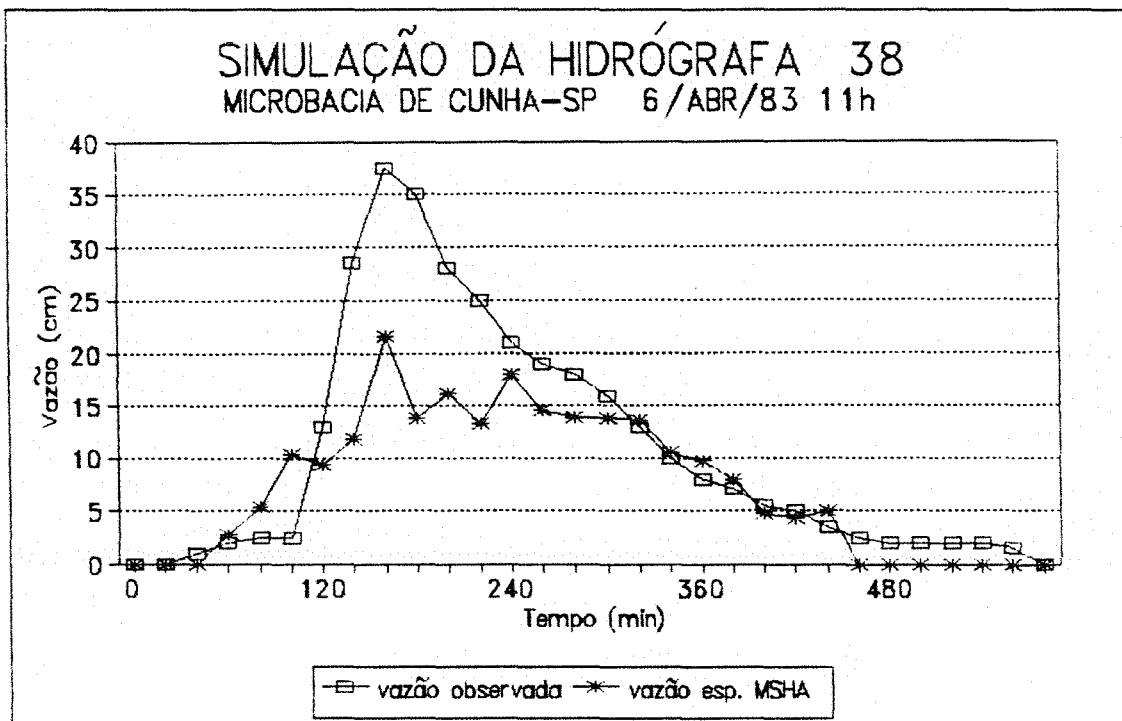
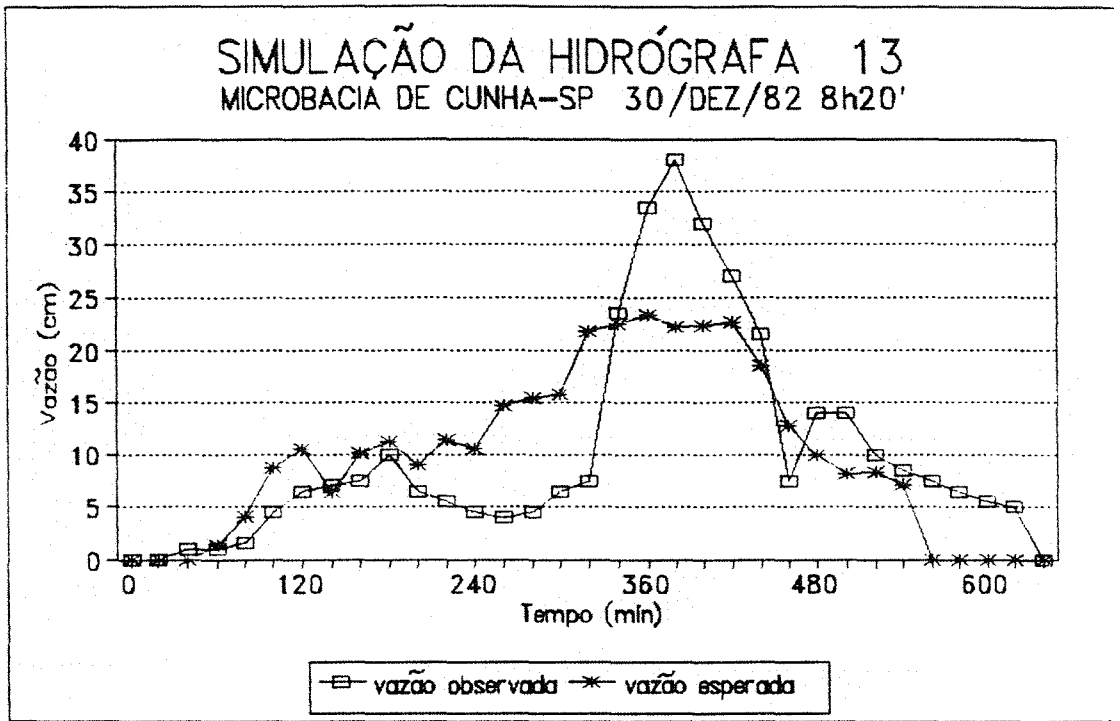


Figura 49 - Simulações de hidrógrafas de classe 350 cm de vazão, com $R_a = 6.47$ e $R_a = 6.96$ respectivamente.

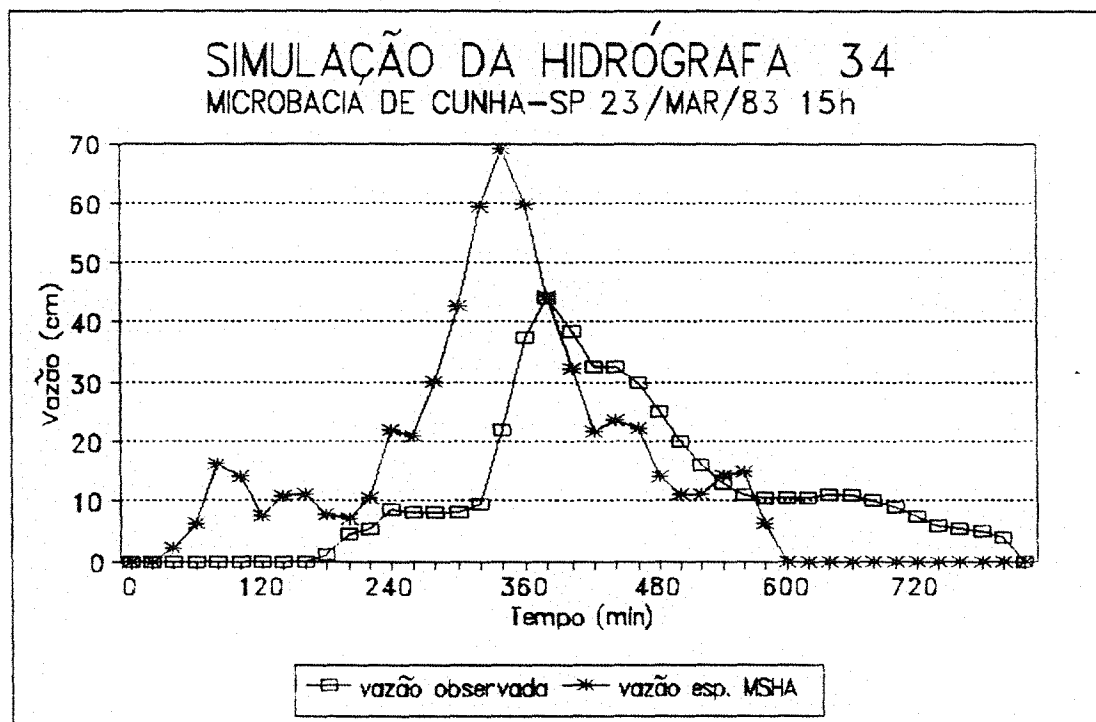


Figura 50 - Simulações de hidrógrafas de classe 490 cm de vazão, com $Ra = 15.12$.

6. CONCLUSÕES

- a) O início e fim das hidrógrafas (λ e ε), parâmetros de localização, podem ser estimadas conhecendo-se somente o volume e o padrão da chuva mais recente (ch_0).
- b) O volume da hidrógrafa é influenciado pelas duas chuvas mais próximas, (ch_0 e ch_1), através das variáveis volume e diferença de tempo entre duas chuvas (tch_01).
- c) Podemos utilizar a simulação de hidrógrafas para previsão de enchentes em bacias hidrográficas, mesmo estimando-se apenas o início e fim das hidrógrafas e o volume total escoado.
- d) O modelo MSHJ não produziu boas simulações de modo generalizado, tendo como causa a baixa sensibilidade dos parâmetros de forma do Sistema Johnson (δ e γ) as variações das chuvas.
- e) O modelo MSHA produziu boas simulações, sendo que a variável volume da chuva mais próxima ($volch_0$) foi a mais frequente, com frequência de 66.7%, das 34 equações de simulação das alturas de lâmina d'água, acompanhada da variável $p50ch_0$ (percentil 50 da chuva 0), com frequência de ocorrência de 38.29%.
- f) O método das distâncias "Ra" se mostrou adequado para a função de "medir" ajustamentos de hidrógrafas, sendo possível ser utilizado para classificar e selecionar ajustamentos de quaisquer outras variáveis.
- g) Pode-se utilizar o método dos percentis sugerido neste

trabalho, em qualquer sistema da área de Ciências Florestais, desde que sejam caracterizados padrões de distribuições de entrada (estímulos), e de saída (respostas).

- h) Uma dissertação não se encerra no ato de sua publicação. Na verdade é neste instante que se inicia uma das principais etapas, a de comunicação de novas idéias para com a comunidade científica.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBOTT, M.B. et alii. An introduction to the European Hydrological System - Systeme Hydrologique Europeen, "SHE", 1: History & philosophy of a physically - based, distributed modelling system. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 87: 45-59, 1986a.
- ABBOTT, M.B. et alii. An introduction to the European Hydrological System - Systeme Hydrologique Europeen, "SHE", 2: Structure of a physically-based, distributed modelling system. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 87: 61-77, 1986b.
- ALVES, RUBENS *Filosofia da Ciência - introdução ao jogo e suas regras*. 8^a ed. São Paulo, Editora Brasiliense S.A. 1986. 209p.
- ANDERSON, M.G. & BURT, T.P. Modelling strategies. In: ANDERSON, M.G. & BURT, T.P. *Hydrological forecasting*. Chichester U.K., John Wiley & Sons Ltd., 1985. 604p.
- ANDO, Y.; MUSIAKE, K. & TAKAHASHI, Y. Modelling of hydrologic processes in a small natural hillslope basin, based on the synthesis of partial hydrological relationships. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 64: 311-337, 1983.
- BARTEN, P. K. & BROOKS, K. N. Modeling streamflow from headwater areas in the Northern lake states. In: ANDERSON, M.G. & BURT, T.P. *Hydrological Forecasting*. Chichester U.K., John Wiley & Sons Ltd., 1988. 604p.
- BATHURST, J.C. Physically-based distributed modelling of an upland catchment using the Systeme Hydrologique Europeen. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 87: 79-102, 1986a.

- BATHURST, J.C. Sensitivity analysis of the Systeme Hydrologique Europeen for an upland catchment. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 87: 103-123, 1986b.
- BERGSTRÖM, S. Operational applications of conceptual hydrological models developed for representative and experimental basins. In: IAHS - International Association of Hydrological Sciences, publication No.130. *The influence of man on the hydrological regime with special reference to representative and experimental basins*. Helsinki, 1980. 483p.
- BERNDTSSON, R. & NIEMCZYNOWICZ, J. Spatial and temporal scales in rainfall analysis - some aspects and future perspectives. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 100: 293-313, 1988.
- BEVEN, K. A sensitivity analysis of the Penman-Montheith actual evapotranspiration estimates. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 44: 169-190, 1979.
- BEVEN, K. Distributed Models. In: ANADERSON, M.G. & BURT, T.P. *Hydrological Forecasting*. Chichester U.K., John Wiley & Sons Ltd. 1985. 604p.
- BEVEN, K. Changing ideas in hydrology - the case of Physically-Based models. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 105:157-172, 1989.
- BEVEN, K. & WOOD, E.F. Catchment geomorphology and the dynamics of runoff contributing areas. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 65: 139-158, 1983.
- BLACKIE, J.R. & EELES, L.W.O. Lumped Cathment Models. In: ANDERSON, M.G. & BURT, T.P. *Hydrological forecasting*. Chichester U.K., John Wiley & Sons Ltd. 1985. 604p.
- BLIDARU, S.; DRAGOI, E. & STANCIU, P. Mathematical modelling of overland runoff under various physiographical conditions and for certain agricultural uses. In: IAHS - International Association of Hydrological Sciences, publication No.130. *The influence of man on the hydrological regime with special reference to representative and experimental basins*. Helsinki, 1980. 483p.
- BONELL, M. et alii. The generation of storm runoff in a forested clayey drainage basin in Luxembourg. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 71: 53-77, 1984.

- BORAH, D.K. Runoff simulation model for small watersheds. *American Society of Agricultural Engineers*, 32(3) may-june, 1989.
- BOWMAAN, K.O. & SHENTON, L.R. Johnson's System of Distributions In: JOHNSON, N.L. & KOTZ, S. *Encyclopedia of Statistical Sciences*. 1983.
- BOYD, M.J. & BUFILL, M.C. Determining runoff routing model parameters without rainfall data. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 108: 281-294, 1989.
- BRUIJNZEEL, L.A & WIERSUM, K.F. Rainfall inteception by a young *Acacia auriculiformis* (A.Cunn) plantation forest in west Java, Indonesia: application of Gash's analytical model. *Hidrological Processes*, 1: 309-319, 1987.
- CALDER, I.R. A stochastic model of rainfall interception. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 89: 65-71, 1986a.
- CALDER, I.R.; WRIGHT, I.R. & MURDIYARSO, D. A study of evaporation from tropical rain forest - west Java. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 89: 13-31, 1986b.
- CHOW, V.T. *Handbook of applied Hydrology*. New York, McGrawhill Book Co., 1964.
- CICCO et alii. Determinação do balanço hídrico com emprego de bacia hidrográfica experimental em mata natural secundária. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS E SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS EM REGIÕES METROPOLITANAS. S.P. Nov. 1985.
- CICCO et alii. Determinação da curva-chave do vertedouro da Bacia Hidrográfica Experimental "D" no Parque Estadual da Serra do Mar - Núcleo de Cunha, S.P. *Boletim Técnico do Instituto Florestal*, S.P., 41(1):79-96, março, 1987.
- CICCO et alii. Interceptação das chuvas por floresta natural secundária de Mata Atlântica. *Silvicultura em São Paulo*, 20/22: 25-30, 1986/88.
- CLARKE, R.T. *Mathematical models in Hydrology*. Rome, FAO-Irrigation and drainage paper No.19, 1984. 282p.
- CLARKE, R.T. The interception process in tropical rain forest: A literature review and critique. *Acta Amazonica*, 16/17: 225-238, 1986/87.

- DEVILLEZ, F. & LAUDELOUT, H. Application d'un modèle hydrologique à un bassin versant forestier de Wallonie. *Ann. Sci. For.*, 43(4): 475-504, 1986.
- DISKIN, M.H.; BURAS, N. & ZAMIR, S. Application of a simple hydrologic model for rainfall-runoff relations of the Dalton Watershed. *Water Resources Research*, 9(4): 927-936, aug. 1973.
- DOOGE, J.C. Looking for hydrologic laws. *Water Res. Res.*, 22(9): 46S-58S, aug. 1986.
- DRAPER, J. Properties of distributions resulting from certain simple transformation of the Normal distribution. *Biometrika*, 39: 290-301, 1952.
- DRIVER, N. & TROUTMAN, B.M. Regression models forestimating urbanstorm-runoff quality and quantity in the United States. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 109: 221-236, 1989.
- DUNNE T. Relation of field studies and modeling in the prediction of storm runoff. *Journal of Hydrology*, Amsterdam 65: 25-48, 1983.
- ELDERTON, W.P. & JOHNSON, N.L. *Systems of frequency curves*. Cambridge at University Press, 1969.
- ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Departamento de Águas e Energia Elétrica. Associação Brasileira de Hidrologia e Recursos Hídricos. Curso de Engenharia Hidrológica. v.1. São Paulo, 1983.
- FEDORA, M.A. & BESCHTA, R.L. Storm runoff simulation using an antecedent precipitation index (API) model. *Journal of Hydrology*, 112: 121-133, 1989.
- FERREIRA, V.A. & SMITH, R.E. Limited physical basis of physically based Hydrologic Models. In: ASAE - American Society of Agricultural Engineers - Publication 07-88. *Modeling Agricultural, Forest, and Rangeland Hydrology - Proceedings of the 1988 International Symposium*. Michigan U.S.A., 1988. 510p.
- FERSI, M. Model of surface runoff in small basins in South Tunisia. In: IAHS - International Association of Hydrological Sciences, publication No. 130. *The influence of man on the hydrological regime with special reference to representative and experimental basins*. Helsinki, jun. 1980. 483p.

- FRANKEN, W. et alii. Estudo da interceptação da água de chuva em cobertura florestal amazônica do tipo terra firme. *Acta Amazonica*, 12(2): 327-331, 1982.
- FRANKEN, W & LEOPOLDO, P. Hydrology of catchment areas of central Amazon Forest streams. In: SIOLI, H. THE AMAZON. LIMINOLOGY AND LANDSCAPE ECOLOGY OF MIGHTY RIVER AND ITS BASIN. Boston, Dr. W. Junk Publishers, 1984.
- FREEZE, R.A. A Stochastic - conceptual analysis of rainfall-runoff processes on a hillslope. *Water Resources Research*, 16(2): 341-408, april 1980.
- FURIAN, S.M. & PFEIFER, R.M. Levantamento de reconhecimento do meio físico do Núcleo de Cunha - S.P. *Boletim Técnico do Instituto Florestal de São Paulo*, 40(20) : 183-193, S.P. dez. 1986.
- GASH, J.H. An analitical model of rainfall inteception by forest. *Quart. Journal R. Met. Soc.* 105: 43-55, 1979.
- HAGER, W.H. A simplified hydrological rainfall-runoff model. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 74: 151-170, 1984.
- HAAN, C.T. A water yield model for small watersheds. *Water Res. Res.* 8(1): 58-91, feb. 1972.
- HAAN, C.T. Parametric uncerty in hydrologic modeling. In: ASAE - American Society of Agricultural Engineers - No.07-88. *Modelling agricultural, forest and rangeland Hydrology - Proceedings of the 1988 International Symposium.* Michigan U.S.A., 1988. 510p.
- HAAN, C.T. & JOHNSON, H.P. *Hydrologic modelling of small watersheds.* Michigan, ASAE technical editor, 1982. 533p. HANSON, C.L.; OSBORN, H.B.; WOOLHISER, D.A. Daily precipitation simulation model for moutainous areas. *Transactions of the ASAE*, 32(3): 865-873, 1989.
- HARR, R.D. Water flux in soil and subsoil on a steep forested slope. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 33: 37-58, 1977.
- HEWLETT, J.D. Soil moiture as a source of a base flow from steep mountain watersheds. U.S. Department of Agriculture-Forest Service Station paper no.132, Asheville, North Carolina, oct. 1961.
- HEWLETT, J.D. *Principles of Forest Hydrology.* The University Press. 183p. 1982.

- HEWLETT, J.D. & BOSCH, J.M. The dependence of storm flows on rainfall intensity and vegetal cover in South Africa. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 76: 365-381, 1984/1985.
- HEWLETT, J.D. & HIBBERT, A.R. Factors affecting the response of small watersheds to precipitation in humid areas. In: SOPPER, W.E. & LULL, H.W., ed. *Affecting the response of small watersheds to precipitation in humid areas*, Oxford, Pergamont Press, p.275-290, 1967.
- HIGGINS, R.J. Use and modification of a simple rainfall-runoff model for wet tropical catchments. *Water Res. Res.*, 17(2): 423-427, april 1981.
- HILL, I.D., HILL, R. & HOLDER, R.L. Fitting Johnson curves by moments. *Applied Statistics*, 25(2): 180-189, 1976.
- HINO, M. & HASEBE, M. Analysis of hydrologic characteristics from runoff data-A hydrologic inverse problem. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 49: 287-313, 1981.
- HOLECEK, G. Storage-effective drainage (SED) runoff model. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 98: 295-314, 1988.
- ISOTOK, J.D. & BOERSMA, L. Effect of antecedent rainfall on runoff during - low intensity rainfall. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 88: 329-342, 1986.
- ISOTOK, J.D. & BOERSMA, L. A stochastic cluster model for hourly precipitation data. *Journal of hydrology*, Amsterdam, 106: 257-285, 1989.
- JACKSON, I. J. Relationships between rainfall parameters and interception by tropical forest. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 24: 215-238, 1975.
- JOHNSON, N.L. Systems of frequency curves generated by methods of translation. *Biometrika*, 36: 149-176, 1949.
- JOHNSON, N.L. Tables to facilitate fitting Su frequency curves *Biometrika*, 52(3/4): 547-558, 1965.
- JOHNSON, N.L. & KOTZ, S. *Continuous univariate distributions - 2*. New York - USA, John Wiley & Sons, 1970. 306p.
- KIRBY, M. Hillslope runoff processes and models. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 100: 315-339, 1989.

- KLEMES, V. Conceptualization and scale in Hydrology. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 65: 1-23, 1983.
- KLEMES, V. Dilettantism in Hydrology : transition or destiny ? *Water Res. Res.*, 22(9): 177S-188S, 1986.
- KLEMES, V. A hydrological prespective. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 100: 3-28, 1988.
- KUHN, T.S. *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo, Editora Perspectiva S.A., 1975. 262p.
- KUTILEK, M. Flood hydrograph simulation model-A comment. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 56: 381-382, 1982.
- KUUSISTO, K. Conceptual modelling of snowmelt runoff in small drainage basins in Finland. In: IAHS - International Association of Hydrological Sciences, publication No.130. *The influence of man on the hydrological regime with special reference to representative and experimental basins*. Helsinki, 1980. 483p.
- LAINE, R.J. Measuring rainfall on forest catchments. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 9: 103-112, 1969.
- LEE, R.P. *Forest Hydrology*, New York, Columbia University Press, 1980. 349p.
- LEITÃO FILHO, P. Aspectos Taxonômicos das florestas do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS. Campos do Jordão - S.P. Set. 1982.
- LENCASTRE, A. e FRANCO, F.M. *Lições de Hidrologia*. Portugal, Universidade Nova de Lisboa, 1984. 451p.
- LEOPOLDO, P.R. et alii. Balanço hídrico de pequena bacia hidrográfica amazônica de terra firme. *Acta Amazônica* 12(2):333-337. 1982.
- LEONARD, R. E. Mathematical teori of interception. In: SOPPER, W. E. & LULL, H. W. *Forest Hydrology*, Oxford, Pergamon, 1967. p.132-136.
- LESLIE, D.C.M. Determination of parameters in the Johnson System of Probability Distributions. *Biometrika*, 46: 229-231, 1959.

- LIMA, W.P. *Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas.* Piracicaba, ESALQ, 1986. 242p.
- LIMA, W.P. *Modelagem do processo de interceptação.* Relatório apresentado ao Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP, Viagem ao Instituto de Hidrologia da Inglaterra. Piracicaba, ESALQ, 1987. 64p.
- LLOYD, C.R. GASH; J.H.C. & SHUTTLEWORTH, W.J. The measurement and modelling of rainfall interception by amazonian rain forest. *Agricultural and Forest Meteorology.* 43: 277-294, 1988.
- LUNDQUIST, D. Use of a conceptual rainfall - runoff model in water resources planning. In: IAHS - International Association of Hydrological Sciences, publication No.130. *The influence of man on the hydrological regime with special reference to representative and experimental basins.* Helsinki, 1980. 483p.
- LUXMOORE, R.J. Infiltration and runoff predictions for a grassland watershed. *Journal of Hydrology,* Amsterdam, 65: 271-278, 1983.
- MAGE, D.T. An explicit solution for Sb parameters using four percentile points. *Technometrics,* 22(22): 247-251, may 1980.
- McMAHON, T.A. & SRIKANTHAN,R. Log Pearson III distribution - is it applicable to flood frequency analysis of australian streams? *Jornal of Hydrology,* Amsterdam, 52: 139-147, 1981.
- MARQUES FILHO, A.de O. et alii. Simulação de escoamento superficial em bacias representativas na Amazônia. *Acta Amazonica,* 12(3): 29-37, 1982.
- MELANEN, M. & LAUKKANEN, R. Analysis of rainfall - runoff relationships in finnish urban test basins. In: IAHS - International Association of Hydrological Sciences, No. 130. *The influence of a man on the hydrological regime with special reference to representative and experimental basins.* Helsinki, june 1980. 483p.

- MENDEL, O. Analysis of a nonlinear rainfall - runoff model and its application to the Mostenik experimental basin in Czechoslovakia. In: IAHS - International Association of Hydrological Sciences, No. 130. *The influence of a man on the hydrological regime with special reference to representative and experimental basins.* Helsinki, 1980. 483p.
- MOSLEY, M.P. Subsurface flow velocities through selected forest soils, South Island, New Zealand. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 55: 65-92, 1982.
- O'LOUGHLIN, E.M. Saturation regions in catchments and their relations to soil and topographic properties. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 53: 229-246, 1981.
- O'LOUGHLIN, E.M. Prediction of surface saturation zones in natural catchments by topographic analysis. *Water Res. Res.* 22(5): 794-804, may 1986.
- OGUNKOYA, O.O.; ADEJUWON, J.O. & JEJE, L.K. Runoff response to basin parameters in Southwestern Nigeria. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 72: 67-84, 1984.
- ORD, J.K. *Families of frequency distributions.* Graffins Statistical Monographs & Courses. Hafner Publishing Company N.Y. 1972.
- OSBORN, H. B. et alii. Precipitation. In: Haan C. T. et alii, ed. *Hydrologic modeling of small watersheds.* Asae Monograf No. 5, 1982. 531p.
- PEARCE A.J.; STEWART, M.K. & SKLASH, M.G. Storm runoff generation in humid headwater catchments. 1. Where does the water come from? *Water Res. Res.*, 22(8): 1263-1272, aug. 1986.
- PESCHKE, G. & KUTILEK, M. Infiltration model in simulated hydrographs. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 56: 369-379, 1982.
- PHIEN, H.N. & HIRA, M.A. Log Pearson type-3 distribution: parameter estimation. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 64: 25-37, 1983.
- PHIEN, H.N. & CHOW, WEN-BIN. Applicability of the Johnson Sb curve to annual streamflow distributions. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 64: 15-24, 1983.

- PHIEN, H.N. & JIVAJIRAJAH, T. Applications of the Log Pearsons Type-3 distributions in hydrology. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 73: 359-372, 1984a.
- PHIEN, H.N. & JIVAJIRAJAH, T. Fitting the Sb curve by the method of maximum likelihood. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 67: 67-75, 1984b.
- PILGRIM, D.H. et alii. Effects of cathment size on runoff relationships. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 58: 205-221, 1982.
- PILGRIM, D.H. Some problems in transferring hydrological relations between small and large drainage basins and between regions. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 65: 49-72, 1983.
- ROBINSON, M. Changes in catchment runoff following drainage and afforestation. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 86: 71-84, 1986.
- RODDA, J.C. Basin Studies. In: RODDA, J.C. *Facets of Hydrology*. vol. 2. New York, John Wiley Sons, 1985. p.257-297.
- ROGERSON, T.L. Simulating hydrologic behavior on Ouachita Mountain drainages. *US Department of Agriculture - Forest Service Research Paper*, SO-119, 1976.
- RUPRECHT, J.K. & SCHOFIELD, N.J. Analysis of streamflow generation following deforestation in Southwest Western Australia. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 105: 1-17, 1989.
- RUTTER, A.J.; KERSHAW, K.A.; ROBINS, P.C. & MORTON, A.J. A predictive model of rainfall interception in forests,1. Derivation of the model from observations in a plation of Corsican Pine. *Agricultural Meteorology*, 9: 367-384, 1971/1972.
- SHAPIRO, S.S. & GROSS, A.J. *Statistical modeling thechniques*. New York, Marcel Dakker, Inc., 1981. 366p.
- SHAW, E. *Hydrologic in Practice*. Berkshaire U.K., Nostrand Reinhold Co. Ltd., 1983. 569p.

- SKLASH, M.G. ; STEWART, M.K. & PEARCE, A.J. Storm runoff generation in humid headwater catchments. 2. A case study of hillslope and low-order stream response. *Water Res. Res.*, 22(8): 1273-1282, aug. 1986.
- SLIFKER, J.F. & SHAPIRO, S.S. The Johnson System : Selection and parameter estimation. *Technometrics*, 22(2): 239-246, may 1980.
- SLOAN, P.G. & MOORE, I.D. Modeling subsurface stormflow on steeply sloping forested watersheds. *Water Res. Res.* 20(12): 1815-1822, december 1984.
- SRIKANTHAN, R. & McMAHON, T.A. Log Pearson III distribution - Effect of dependence, distribution parameters and sample size on peak annual flood estimates. *Jornal of Hydrology*, Amsterdam, 52: 149-159, 1981.
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEMS INSTITUTE. *User's guide; basics*. 5^aed. New York, 1985a. 1290p.
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEMS INSTITUTE. *User's guide; statistics*. 5^aed. New York, 1985b. 956p.
- TAKASAO, T. & TAKARA, K. Evaluation of rainfall-runoff models from the stochastic viewpoint. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 102: 381-406, 1988.
- TODINI, E. Rainfall-Runoff modeling - past, present and future. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 100: 341-352, 1988.
- TSUKAMOTO, Y. & OHTA, T. Runoff process on a steep forested slope. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 102: 165-178, 1988.
- ULLAH, W. & BABU, R. Runoff estimates based on rainfall-retention relationship. *Indian Forester*, 96(2): 127-134, 1970.
- WARD, R.C. On the response to precipitation of headwater streams in humid areas. *Journal of Hydrology*, 74: 171-189, 1984a.
- WARD, R.C. Hypotesis-testing by modelling catchment response. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 67: 281-305, 1984b.

- WEEKS, W.D. & BOUGHTON, W.C. Tests of ARMA Model for rainfall-runoff modelling. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 91: 29-47, 1987.
- WHEATER, H.S.; SHAW, T.L. & RUTHERFORD, J.C. Storm runoff small lowland catchments in Southwest England. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 55: 321-337, 1982.
- WILLIAMS, B.J. & YEH, W.W.G. Parameter estimation in rainfall-runoff models. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 63: 373-393, 1983.
- WISLER, C. O. & BRATER, E. F. *Hidrologia*. Rio de Janeiro R.J., Ao Livro Técnico, 1964. 484p.
- WOOD, E.F. & O'CONNELL, P.E. Real time in forecasting. In: Anderson, M.G. & BURT, T.P. *Hydrological Forecasting*. Chinchester U.K., John Wiley & Sons Ltd., 1985. 604p.
- WOOD, E.F. et alii. Effects of spatial variability and scale with implications to hydrologic modeling. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 102: 29-47, 1988.
- WOOLHISER, D.A. & GOODRICH, D.C. Effect of storm rainfall intensity patterns on surface runoff. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 102: 335-354, 1988.
- WOOLHISER, D.A. & BRAKENSIEK, D.L. Hydrologic modeling of small watersheds. In: Haan C. T. et alii, ed. *Hydrologic modeling of small watersheds*. Asae Monograf No. 5, 1982. 531p.

APÊNDICE 1.

AS CHUVAS

CHUVAS ATUAIS (CH0) USADAS P/ SIMULAÇÃO DAS HIDROGRAFAS MAR-ABR83										
CHUVAS->	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
DIA-->	19MAR	20MAR	22MAR	23MAR	24MAR	5ABR	6ABR	6ABR	15ABR	16ABR
HORA-->	18	14:50	15:30	15	15:10	18:50	3:20	11	17	21:30
TEMPO (min)	CHUVAS (mm x 2)									
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	1	1	1	1	1	1	1	8	8	1
40	1	0	0	1	0	1	3	3	2	0
60	2	1	1	0	0	0	8	0	0	1
80	1	0	1	0	0	3	8	2		1
100	10	1	0	2	1	53	5	24		0
120	10	0	1	1	0	2	2	14		1
140	12	0	0	2	0	8	4	6		2
160	0	1	1	7	2	2	10	5		1
180	0	0	0	7	2	1	4	3		2
200	0	1	1	0	1	3	3	3		1
220	1	0	0	0	0	0	0	3		1
240	2	1		7	2	1		5		1
260	4	1		0	0	0		1		2
280	1	1		0				0		1
300	1	1		8						1
320	5	1		20						0
340	3	1		8						1
360	1	0		7						1
380	2	0		4						1
400	1	1		7						1
420	2	0		5						1
440	2	0		1						0
460	0	0		0						0
480	1	1		0						0
500	1	0		0						1
520	1	0		2						0
540	0			2						1
560				0						0
580				1						
600				8						
620				0						
640				0						
660				0						
680				1						
700				0						

CHUVAS ATUAIS (CHO) USADAS P/ SIMULAÇÃO DAS HIDROGRAFAS JUN83-SET83										
CHUVAS->	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
DIA->	8JUN	28JUN	18JUL	2AGO	4AGO	18SET	18SET	18SET	22SET	23SET
HORA->	5:30	15:50	5:50	23:50	7:40	2:30	15:40	14:20	13:55	3:30
TEMPO (min)	CHUVAS (mm x 2)									
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
20	35	36	1	1	1	5	34	1	4	2
40	8	2	5	8	0	10	6	3	0	2
60	15	12	2	2	1	2	4	4	4	2
80	7	10	1	3	1	0	4	2	8	2
100	8	2	2	1	1	0	3	1	11	2
120	4	2	0	2	1	0	3	0	0	3
140	0	3	0	1	2	1	1	0	0	0
160	1	1	0	1	1	5	0	0	4	3
180	4	2	1	0	1	2		0	12	0
200	1	1	1	1	1	0		1	3	
220	1	0	0	0	1			0	3	
240	0		1	2	1			1	2	
260	0		2	1	0			0	1	
280			0	5	1			0	1	
300			2	0	0			1	0	
320			1					1	1	
340			3					0	0	
360			1							
380			3							
400			2							
420			2							

APÊNDICE 2

AS HIDRÓGRAFAS

HIDROGRAFAS UTILIZADAS PARA SIMULAÇÃO DEZ/82 - JAN/83										
HIDROGS->	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
DIA->	27DEZ	29DEZ	30DEZ	31DEZ	5JAN	8JAN	9JAN	12JAN	13JAN	19JAN
HORA->	12:30	15:40	8:20	14:10	15:10	12:50	13:10	14:10	15:40	11
TEMPO (min)	ALTURAS DE LÂMINA D'AGUA (cm ²)									
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0.5	0	0	1.0	0	1.0	0.5	0	0	0
40	4.5	1.0	1.0	2.5	0	2.5	1.0	1.5	2.5	0
60	6.0	5.5	1.0	4.0	0	3.5	1.0	2.5	5.5	0
80	4.5	7.0	1.5	4.5	0	3.0	1.0	3.0	5.0	0
100	4.0	8.0	4.5	4.0	0	3.0	1.0	2.5	5.0	0
120	3.0	5.5	6.5	3.5	0.5	3.5	0.5	4.0	8.0	0
140	3.0	6.0	7.0	3.0	1.0	2.0	1.5	3.0	7.5	0.5
160	2.5	5.5	7.5	2.5	1.5	1.5	5.5	2.5	6.5	1.0
180	2.0	5.0	10.0	2.0	1.5	1.5	5.5	2.0	5.5	1.0
200	1.5	4.5	6.5	2.0	1.5	1.0	3.5	1.5	5.0	1.5
220	1.5	4.0	5.5	1.5	2.0	1.0	2.5	1.5	4.5	2.0
240	1.0	3.5	4.5	1.5	2.0	0.5	2.0	1.5	4.0	2.5
260		3.0	4.0	1.5	2.0		2.0	1.0	3.5	2.5
280		3.0	4.5	1.0	2.0		1.5		3.0	2.5
300		3.0	6.5	1.0	2.0		1.5		2.5	2.5
320		3.0	7.5	0.5	2.0		1.0		2.5	2.0
340		2.5	23.5		2.0		1.0		2.0	2.0
360		2.5	33.5		2.0		1.0		2.0	2.0
380		2.0	38.0		2.0		1.0		1.5	2.0
400		2.0	32.0		1.5		0.5		1.5	2.0
420		2.0	27.0		1.5				1.5	2.0
440		2.0	21.5		1.5				1.0	2.0
460		1.5	7.2		1.5				1.0	2.5
480		1.5	14.0		1.5				1.0	2.5
500		1.5	14.0		1.0				0.5	2.5
520		1.5	10.0		1.0					2.5
540		1.0	8.5		1.0					2.5
560		0	7.5		1.0					2.0
580			6.5		1.0					2.0
600			5.5		1.0					1.5
620			5.0		1.0					1.5
640			0		1.0					1.5
660					1.0					1.0
680					1.0					0
700					0.5					
720					0					

HIDROGRAFAS UTILIZADAS PARA SIMULAÇÃO JAN/83 - MAR/83										
HIDROGS-->	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
DIA-->	20JAN	11FEV	11FEV	12FEV	13FEV	14FEV	27FEV	1MAR	12MAR	13MAR
HORA-->	14:30	11:10	17:40	22:30	16	16:15	14:50	18:30	15:50	16:30
TEMPO (min)	ALTURAS DE LÂMINA D'AGUA (cm ²)									
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	1.5	1.0	1.0	2.0	0
40	0	0	10.0	0	0	1.5	1.0	1.0	7.5	0.5
60	0.5	0	18.0	1.0	0.5	3.0	1.0	2.0	12.5	0.5
80	0.5	0	16.0	1.0	0.5	3.0	2.0	2.5	16.5	1.0
100	1.0	0.5	23.0	1.5	0.5	4.0	5.5	2.5	13.0	1.5
120	1.0	0.5	16.0	3.0	1.0	3.0	8.5	2.5	11.0	1.5
140	1.0	0.5	11.0	3.0	1.0	2.0	7.0	2.5	8.5	1.5
160	1.0	2.5	9.0	3.5	1.5	1.5	6.5	2.5	7.5	2.5
180	1.0	2.5	6.5	3.5	1.5	1.5	6.5	3.0	8.0	2.5
200	1.5	2.5	5.5	3.5	2.0	1.0	5.5	3.5	8.0	3.5
220	2.0	2.0	4.5	3.0	2.5	1.0	4.5	4.0	7.5	3.5
240	2.5	2.0	4.0	2.5	2.5	1.0	4.0	4.0	7.0	3.5
260	2.0	2.0	3.0	2.0	2.5	1.0	3.5	4.0	6.0	3.0
280	2.0	2.0	2.5	2.0	2.5	0.5	3.5	3.5	5.5	3.0
300	2.0	1.5	2.0	1.5	2.5		3.0	3.0	4.5	3.0
320	2.0	1.0	1.5	1.5	2.0		2.5	2.5	3.5	3.0
340	1.5		1.5	1.0	1.5		2.0	2.5	3.5	3.0
360	1.0		1.5	1.0	1.5		2.0	2.0	3.0	3.5
380	1.0		1.0	0.5	1.5		2.0	1.5	3.0	3.0
400	1.0			0.5	1.5		2.0	1.5	2.5	3.0
420	1.0			0.5	1.0		1.5	1.5		3.0
440	0.5			0.5			1.5	1.5		2.5
460	0.5						1.5	1.0		2.0
480	0.5						1.5	1.0		2.0
500	0.5						1.5	1.0		2.0
520							1.0	1.0		1.5
540								0.5		

HIDROGRAFAS UTILIZADAS PARA SIMULAÇÃO MAR/83 - ABR/83										
HIDROGS->	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
DIA-->	19MAR	20MAR	22MAR	23MAR	24MAR	5ABR	6ABR	6ABR	15ABR	16ABR
HORA-->	16	14:50	15:30	15	15:10	18:50	3:20	11	17	21:30
TEMPO (min)	ALTURAS DE LÂMINA D'AGUA (cm*2)									
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	1.0	0.5	0
60	0	0	0.5	0	0	0	1.5	2.0	1.0	0
80	0	0	0.5	0	0	0	6.5	2.5	1.0	0
100	1.5	0	0.5	0	0.5	17.5	8.5	2.5	1.0	0
120	3.0	0	1.0	0	0.5	16.0	9.5	13.0	1.0	0
140	5.0	0	1.0	0	1.0	17.5	11.0	28.5	1.0	0
160	5.5	0	1.0	0	1.0	15.0	12.5	37.5	1.0	0
180	5.5	0	1.0	1.0	1.5	11.5	17.0	35.0	1.0	0.5
200	5.0	0.5	1.0	4.5	1.5	10.0	17.5	28.0	0.5	1.0
220	4.0	0.5	1.0	5.5	1.5	8.0	16.0	25.0		1.0
240	4.0	1.0	1.0	8.5	2.0	7.0	12.5	21.0		1.5
260	2.5	1.0	1.0	8.0	1.0	6.0	10.0	19.0		2.0
280	2.5	1.0	1.0	8.0	1.0	6.0	7.0	18.0		2.0
300	2.5	1.0	1.0	8.0	0.5	5.0	7.0	16.0		2.0
320	2.5	1.0	1.0	9.5	0.5	4.0	6.0	13.0		2.0
340	3.0	1.0	1.0	22.0	0.5	3.5	5.0	10.0		2.0
360	4.0	1.0	1.0	37.5		3.0	4.0	8.0		2.0
380	4.5	0.5	1.0	44.0		3.0	3.5	7.0		2.0
400	4.5		1.0	38.5		2.5	3.0	5.5		2.0
420	4.5		0.5	32.5		2.0	2.5	5.0		2.0
440	5.0			32.5		2.0	2.0	3.5		2.0
460	5.0			30.0		1.5		2.5		2.0
480	5.0			25.0				2.0		2.0
500	4.0			20.0				2.0		2.0
520	3.5			16.0				2.0		2.0
540	3.5			13.0				2.0		2.0
560	3.0			11.0				1.5		2.0
580	2.5			10.5				0		2.0
600	2.5			10.5						1.5
620	2.5			10.5						1.5
640	2.0			11.0						1.5
660	2.0			11.0						1.5
680	2.0			10.0						1.0
700				9.0						0
720				7.5						
740				6.0						
760				5.5						
780				0						
800				0						
820				1.0						
840				0.0						

HIDRÓGRAFAS UTILIZADAS PARA SIMULAÇÃO ABR/83 - JUN/83										
HIDROGS->	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
DIA->	20ABR	21ABR	24ABR	26ABR	3MAI	20MAI	28MAI	30MAI	3JUN	4JUN
HORA->	20	16:30	15:30	13:50	1	5	19:50	2:20	15	2:50
TEMPO (min)	ALTURAS DE LAMINA D'AGUA (cm*2)									
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	1.5
40	0	0	5.5	0	0	0.5	5.0	0.5	0	2.0
60	1.5	3.0	5.0	0.5	0	0.5	7.0	0.5	0	2.0
80	2.0	4.0	4.5	1.5	0.5	1.0	6.5	1.0	0	2.0
100	1.5	5.0	5.0	2.0	1.0	1.0	7.0	1.0	0	2.0
120	2.0	6.0	4.0	2.0	1.0	1.0	7.0	1.0	0	2.5
140	2.0	7.0	3.0	2.0	2.0	1.0	7.5	1.0	0.5	2.0
160	2.0	7.0	2.5	2.0	2.5	1.0	7.5	1.0	1.5	1.5
180	1.5	7.0	2.0	1.5	3.0	1.0	7.0	1.0	2.0	1.0
200	1.0	7.0	2.0	1.5	3.0	1.0	6.0	1.5	3.0	1.0
220		8.0	1.5	1.0	3.5	1.0	5.0	1.5	3.5	0.5
240		8.5		1.0	3.5	1.0	4.0	2.5	4.5	0.0
260		8.5		1.0	4.0	1.0	3.0	3.0	4.5	
280		8.5		0.5	4.0	1.0	3.0	4.5	4.5	
300		8.5			4.0	0.5	2.5	7.0	4.0	
320		12.5			4.0		2.5	10.0	3.5	
340		15.0			4.0		2.0	14.0	3.5	
360		19.0			4.0			14.5	3.0	
380		17.5			4.0			14.5	3.0	
400		15.0			4.0			13.5	3.0	
420		13.0			4.0			12.5	2.5	
440		11.0			4.0			12.5	2.5	
460		10.0			3.5			12.0	2.0	
480		8.0			3.0			11.0		
500		7.0			3.0			10.0		
520		6.0			3.0			9.0		
540		5.5			2.5			7.5		
560		5.0			2.0			7.0		
580		5.0			0			6.0		
600		4.5						6.0		
620		0						5.5		
640								3.0		
660								2.0		
680								0.5		
700								0		

HIDROGRAFAS UTILIZADAS PARA SIMULAÇÃO JUN/83 - SET/83										
HIDROGS-->	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
DIA-->	9JUN	28JUN	18JUL	2AGO	4AGO	16SET	18SET	19SET	22SET	23SET
HORA-->	5:30	15:50	5:50	23:50	7:40	2:30	15:40	14:20	13:55	3:30
TEMPO (min)	ALTURAS DE LÂMINA D'AGUA (cm ²)									
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0.5	6.0	0	0.5	0
40	8.5	7.5	1.0	1.0	0	2.0	12.5	0	0.5	0
60	14.5	9.0	1.0	1.0	0	5.5	11.0	0	0.5	0
80	23.5	12.5	1.0	1.5	0	5.5	16.0	0.5	4.5	0.5
100	23.0	14.0	1.5	2.0	0	6.0	15.0	0.5	6.0	0.5
120	24.0	11.5	1.5	2.0	0	5.5	15.0	1.0	6.5	1.0
140	23.5	11.0	1.5	2.0	0.5	4.0	13.5	1.0	7.5	1.5
160	21.5	9.5	1.5	2.0	1.0	3.5	12.5	1.0	10.5	2.0
180	22.0	7.5	1.5	2.0	1.0	4.0	10.5	1.5	11.0	2.0
200	13.0	7.0	1.5	2.0	1.0	4.0	8.5	1.5	12.5	2.0
220	13.0	6.0	1.5	2.0	1.0	3.5	8.0	1.5	13.0	2.0
240	11.5	5.5	1.5	2.0	1.0	3.5	7.5	1.5	11.5	1.5
260	10.5	5.0	1.5	2.0	1.0	3.0	9.0	1.5	11.0	1.5
280	9.5	4.0	1.5	2.0	1.5	2.5	5.5	1.0	10.0	1.5
300	8.0	3.5	1.5	2.0	1.5	2.0	5.0	1.0	8.5	1.0
320	7.5	3.0	1.5	2.0	1.5	1.5	4.0	1.0	7.5	1.0
340	6.0	2.5	2.0	2.0	1.5	1.0	3.5	1.0	7.0	0.5
360	5.5	2.0	2.0	2.0	1.5	0.5		1.0	6.0	0.5
380	5.0		2.5	2.0	1.5			1.0	5.0	0.5
400	4.5		2.5	2.0	1.5			1.0	4.5	
420	3.5		2.5	1.5	1.0			1.0	4.0	
440	3.5		2.5	1.5	1.0			1.0	3.5	
460	2.5		2.5	1.0	1.0			1.0	3.0	
480	1.5		2.0	1.0	1.0			1.0	3.0	
500	0.0		2.0	1.0	1.0			1.0	2.0	
520			2.0	0.5	1.0			1.0		
540			2.0		1.0			1.0		
560			1.5		1.0			1.0		
580					0.5			1.0		
600								1.0		
620								1.0		
640								1.0		
660								0.5		

HIDROGRAFAS UTILIZADAS PARA SIMULAÇÃO SET/83 - NOV/83										
HIDROGS->	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
DIA->	23SET	18OUT	22OUT	2NOV	3NOV	4NOV	19NOV	20NOV	22NOV	29NOV
HORA->	16:40	21:20	9:10	17:50	15:10	14:30	23:15	16:10	4	15:30
TEMPO (min)	ALTURAS DE LAMINA D'AGUA (cm ²)									
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	3.5	1.5	1.5	0
40	2.5	0	0	0	2.5	2.0	6.0	1.5	1.0	0.5
60	4.0	0	1.0	0.5	4.5	2.0	5.0	2.5	1.5	0.5
80	4.0	1.0	1.0	1.0	5.0	2.5	5.0	2.5	1.5	1.0
100	4.5	2.0	1.0	1.5	4.0	2.0	6.0	3.0	1.5	1.0
120	5.5	2.5	1.5	1.5	4.5	2.0	4.0	3.0	1.5	1.0
140	5.5	3.5	1.5	1.5	4.0	2.0	3.0	2.5	1.5	1.0
160	4.5	4.0	1.5	2.0	4.5	2.0	2.5	2.5	1.0	1.0
180	4.0	4.5	1.5	2.0	6.0	2.0	2.0	2.0	1.0	1.0
200	4.0	5.0	1.5	2.0	6.5	2.0	2.0	2.0	1.0	1.0
220	3.5	4.5	1.5	2.0	5.0	2.0	1.5	2.0	0.5	1.0
240	3.0	4.0	1.5	2.0	4.5	2.0	0	1.5		1.0
260	2.5	3.5	1.5	2.0	4.5	2.0				0.5
280	2.0	3.0	1.0	1.5	4.0	2.0				
300	2.0	2.5	0.0	1.0	3.0	2.0				
320	1.5	2.0			2.5	2.0				
340	0	1.5				1.5				
360		1.5				1.5				
380		1.0				1.5				
400						1.0				
420						0.0				

APÊNDICE 3

VALORES DE "Ra"

VALORES DE MÉDIA DESVIO PADRÃO E DISTÂNCIA RA DOS DESVIOS ABSOLUTOS DAS SIMULAÇÕES DE HIDRÓGRAFAS (CLASSE DE VOLUME 70cm)

No VAZÃO	MÉDIA		DESVIO PADRÃO		DISTÂNCIA		DIF	OBSERVAÇÃO	
	Xm		s		Ra			MSHJ	MSHA
	MSHJ	MSHA	MSHJ	MSHA	MSHJ	MSHA			
44	1.58	0.25	2.62	0.24	3.06	0.35	2.71	PICO NO FIM	IMP
46	0.57	0.31	0.56	0.25	0.80	0.40	0.40	S/ RESPOSTA	
33	0.71	0.31	0.44	0.34	0.84	0.46	0.38	PICO NO FIM	
70	0.70	0.35	0.41	0.32	0.81	0.47	0.34	S/ RESPOSTA	
64	0.89	0.36	0.88	0.36	1.25	0.51	0.74	S/ RESPOSTA	
39	0.73	0.39	0.41	0.41	0.83	0.57	0.27	S/ RESPOSTA	
63	1.27	0.42	1.13	0.39	1.70	0.58	1.12	PICO NO FIM	
15	0.73	0.46	0.55	0.41	0.91	0.62	0.29		IMP
18	2.25	0.37	2.19	0.53	3.14	0.65	2.50	PICO NO FIM	IMP
69	0.90	0.48	0.65	0.44	1.11	0.65	0.46	PICO NO FIM	
55	0.70	0.46	0.53	0.48	0.87	0.67	0.21	PICO INICIO	
21	0.90	0.49	0.64	0.48	1.10	0.68	0.42	PICO NO FIM	
60	0.61	0.53	0.47	0.44	0.77	0.69	0.09		
16	2.01	0.50	1.68	0.51	2.62	0.71	1.91	PICO NO FIM	IMP
58	0.45	0.59	0.28	0.42	0.53	0.73	-0.19	MELHOR	IMP
35	1.23	0.50	3.11	0.55	3.35	0.74	2.61		
20	1.43	0.60	0.99	0.44	1.74	0.74	1.00	PICO NO FIM	IMP
41	1.45	0.55	1.84	0.58	2.34	0.80	1.54	PICO NO FIM	
54	1.49	0.64	0.70	0.48	1.64	0.80	0.85	S/ RESPOSTA	
25	1.36	0.62	1.04	0.51	1.72	0.80	0.91	PICO NO FIM	IMP
40	1.13	0.62	0.95	0.58	1.48	0.85	0.63	PICO NO FIM	
26	1.46	0.66	1.24	0.54	1.91	0.85	1.06		
68	1.65	0.73	0.95	0.52	1.90	0.89	1.01	PICO NO FIM	IMP
9	1.63	0.73	0.61	0.61	1.74	0.95	0.79	PICO INICIO	IMP
17	2.46	0.63	2.47	0.77	3.49	0.99	2.49	INVERSAO	
50	1.10	0.59	1.46	0.83	1.83	1.01	0.82	S/ RESPOSTA	
66	1.73	0.86	1.92	0.57	2.59	1.03	1.56	PICO NO FIM	
75	3.69	0.72	3.26	0.75	4.93	1.04	3.88	PICO NO FIM	IMP
32	0.79	0.69	2.30	0.85	2.44	1.09	1.34	PICO INICIO	
8	1.51	0.89	0.64	0.64	1.65	1.10	0.54	PICO NO FIM	
14	4.84	0.85	12.27	0.75	13.19	1.13	12.06	PICO INICIO	
24	1.51	0.94	1.26	0.67	1.97	1.16	0.81	PICO NO FIM	
30	2.89	0.88	3.26	0.81	4.35	1.19	3.16	PICO INICIO	
11	2.01	0.88	1.91	0.84	2.78	1.21	1.56	S/ RESPOSTA	IMP
65	4.20	1.06	4.29	0.88	6.00	1.38	4.63	PICO NO FIM	IMP

OBSERVAÇÃO : IMP = ESCOLHIDA P/ IMPRESSÃO

VALORES DE MÉDIA DESVIO PADRÃO E DISTÂNCIA RA DOS DESVIOS ABSOLUTOS DAS SIMULAÇÕES DE HIDRÓGRAFAS (CLASSE DE VOLUME 70cm) CONT.

No VAZÃO	MÉDIA Xm		DESVIO PADRÃO s		DISTÂNCIA RA		DIF	OBSERVAÇÃO	
	MSHJ	MSHA	MSHJ	MSHA	MSHJ	MSHA		MSHJ	MSHA
28	1.96	1.21	1.20	0.82	2.30	1.46	0.84	S/ RESPOSTA	
61	4.33	1.14	5.40	1.00	6.92	1.51	5.41	PICO NO FIM	
43	3.53	1.14	5.08	1.06	6.19	1.55	4.63	PICO INICIO	
2	1.28	1.24	1.02	1.02	1.64	1.61	0.03		IMP
62	3.11	1.20	4.15	1.11	5.18	1.63	3.55	PICO NO FIM	
74	2.32	1.39	2.59	1.01	3.48	1.71	1.77	PICO NO FIM	
67	3.73	1.28	3.19	1.15	4.91	1.72	3.19	PICO NO FIM	
3	1.74	1.05	1.37	1.37	2.21	1.72	0.49		IMP
7	2.11	1.12	1.31	1.31	2.48	1.72	0.75	PICO NO FIM	IMP
56	3.36	1.20	4.66	1.38	5.74	1.83	3.91	PICO NO FIM	
73	2.34	1.37	2.16	1.44	3.19	1.99	1.20	PICO NO FIM	
49	1.78	1.75	2.71	1.10	3.24	2.06	1.18		IMP
5	5.11	1.53	1.56	1.56	5.35	2.18	3.16		
72	2.58	1.56	3.09	1.57	4.03	2.21	1.82		
71	6.00	1.73	5.00	1.44	7.80	2.25	5.55		IMP
6	1.98	1.85	1.60	1.60	2.55	2.45	0.10		
53	4.12	1.52	14.07	1.95	14.66	2.47	12.19	PICO INICIO	IMP
4	5.18	2.03	1.74	1.74	5.47	2.68	2.79		IMP

OBSERVAÇÃO : IMP = ESCOLHIDA P/ IMPRESSÃO

VALORES DE MÉDIA DESVIO PADRÃO E DISTÂNCIA RA DOS DESVIOS ABSOLUTOS DAS SIMULAÇÕES DE HIDROGRAFAS (CLASSE DE VOLUME 140cm) CONT.

No VAZÃO	MÉDIA Xm		DESVIO PADRÃO s		DISTÂNCIA RA		DIF	OBSERVAÇÃO	
	MSHJ	MSHA	MSHJ	MSHA	MSHJ	MSHA		MSHJ	MSHA
22	1.45	0.47	2.16	0.60	2.60	0.76	1.84	PICO NO FIM	IMP
31	1.33	1.10	1.40	0.76	1.94	1.34	0.60		IMP
47	6.35	1.00	5.95	1.04	8.70	1.44	7.26	PICO NO FIM	IMP
1	2.78	1.11	1.02	1.02	2.96	1.51	1.45		IMP
10	5.16	1.14	0.99	0.99	5.25	1.51	3.74	PICO INICIO	IMP
45	1.58	1.16	1.05	1.04	1.89	1.56	0.33	PICO NO FIM	
19	3.75	1.19	3.04	1.19	4.82	1.68	3.14		IMP
12	3.13	1.39	2.46	1.40	3.98	1.97	2.01	INVERSAO	IMP
80	1.35	1.54	0.91	1.39	1.62	2.07	-0.45	MELHOR	IMP
79	4.44	1.77	5.58	1.91	7.14	2.60	4.53	PICO NO FIM	
52	4.02	1.77	3.62	2.00	5.41	2.67	2.74		IMP
27	2.86	2.44	2.27	2.06	3.65	3.20	0.45	S/ RESPOSTA	IMP
78	8.07	3.47	9.11	4.43	12.17	5.62	6.55		IMP
23	6.05	4.06	6.78	5.12	9.09	6.53	2.56	PICO NO FIM	IMP

OBSERVACAO : IMP = ESCOLHIDA P/ IMPRESSAO

VALORES DE MEDIA DESVIO PADRAO E DISTANCIA RA DOS DESVIOS ABSOLUTOS DAS SIMULACOES DE HIDROGRAFAS (CLASSE DE VOLUME 210cm) CONT.

No VAZÃO	MÉDIA Xm		DESVIO PADRAO s		DISTANCIA RA		DIF	OBSERVACAO	
	MSHJ	MSHA	MSHJ	MSHA	MSHJ	MSHA		MSHJ	MSHA
29	5.85	1.63	4.47	2.02	7.36	2.60	4.77		IMP
36	2.91	2.14	5.57	2.27	6.28	3.12	3.16		IMP
59	3.00	2.78	2.42	2.03	3.86	3.45	0.41		IMP
37	16.88	2.69	49.34	2.40	52.15	3.60	48.54	PICO INICIO	IMP
57	4.62	3.28	3.37	2.69	5.72	4.24	1.48		IMP
81	15.28	3.04	48.34	3.29	50.70	4.48	46.22	PICO INICIO	IMP
48	11.82	4.58	47.23	3.00	48.68	5.47	43.21	PICO INICIO	IMP

OBSERVACAO : IMP = ESCOLHIDA P/ IMPRESSAO

VALORES DE MÉDIA DESVIO PADRÃO E DISTÂNCIA RA DOS DESVIOS
ABSOLUTOS DAS SIMULAÇÕES DE HIDRÓGRAFAS (CLASSE DE VOLUME 280cm) CONT.

No VAZAO	MÉDIA Xm		DESVIO PADRÃO s		DISTÂNCIA R		DIF	OBSERVAÇÃO	
	MSHJ	MSHA	MSHJ	MSHA	MSHJ	MSHA		MSHJ	MSHA
82	10.90	2.75	24.42	3.22	26.75	4.23	22.51	PICO INICIO	IMP
51	11.43	3.32	15.11	3.42	18.95	4.77	14.18		IMP
42	15.36	2.84	34.74	3.85	37.98	4.78	33.20	PICO INICIO	IMP
76	6.60	4.62	7.93	6.15	10.32	7.70	2.62		IMP
77	9.07	5.29	9.39	6.65	13.05	8.50	4.55	PICO NO FIM	IMP

OBSERVAÇÃO : IMP = ESCOLHIDA P/ IMPRESSÃO

VALORES DE MÉDIA DESVIO PADRÃO E DISTÂNCIA RA DOS DESVIOS
ABSOLUTOS DAS SIMULAÇÕES DE HIDRÓGRAFAS (CLASSE DE VOLUME 350cm) CONT.

No VAZAO	MÉDIA Xm		DESVIO PADRÃO s		DISTANCIA RA		DIF	OBSERVAÇÃO	
	MSHJ	MSHA	MSHJ	MSHA	MSHJ	MSHA		MSHJ	MSHA
13	29.93	4.94	113.04	4.18	116.9	6.47	110.5	PICO INICIO	IMP
38	30.96	4.19	111.41	5.55	115.6	6.96	108.7	PICO INICIO	IMP

OBSERVAÇÃO : IMP = ESCOLHIDA P/ IMPRESSÃO

VALORES DE MÉDIA DESVIO PADRÃO E DISTÂNCIA RA DOS DESVIOS
ABSOLUTOS DAS SIMULAÇÕES DE HIDRÓGRAFAS (CLASSE DE VOLUME 490cm) CONT.

No VAZAO	MÉDIA Xm		DESVIO PADRÃO s		DISTANCIA RA		DIF	OBSERVAÇÃO	
	MSHJ	MSHA	MSHJ	MSHA	MSHJ	MSHA		MSHJ	MSHA
34	26.61	10.55	98.02	10.83	101.6	15.12	86.45	PICO INICIO	IMP

OBSERVAÇÃO : IMP = ESCOLHIDA P/ IMPRESSÃO

APÊNDICE 4

ROTINAS DO PASH (Linguagem SAS)

-----Leitura dos dados das chuva-----

```
//BFTSTBU4 JOB , 'RAIMUNDO-TF BSCDES',CLASS=K,MSGCLASS=X,
// NOTIFY=ROSPBU4,TIME=2
// EXEC LSAS
//NOME.PROGRAMA DD *
-SEL DFSAX99P
/*
//VARIABLE.PROGRAMA DD *
OPTIONS PS=60;
DATA CHUVAR;
INPUT #1 NH 9-10
TCH00 12-20 VOLCH0 22-30 P25CH0 32-40 P50CH0 42-50 P75CH0 52-60 P100CH0 62-70
#2 NH1 9-10
TCH01 12-20 VOLCH1 22-30 P25CH1 32-40 P50CH1 42-50 P75CH1 52-60 P100CH1 62-70
#3 NH2 9-10
TCH02 12-20 VOLCH2 22-30 P25CH2 32-40 P50CH2 42-50 P75CH2 52-60 P100CH2 62-70
#4 NH3 9-10
TCH03 12-20 VOLCH3 22-30 P25CH3 32-40 P50CH3 42-50 P75CH3 52-60 P100CH3 62-70
#5 NH4 9-10
TCH04 12-20 VOLCH4 22-30 P25CH4 32-40 P50CH4 42-50 P75CH4 52-60 P100CH4 62-70
#6 NH5 9-10
TCH05 12-20 VOLCH5 22-30 P25CH5 32-40 P50CH5 42-50 P75CH5 52-60 P100CH5 62-70;
DROP NH1 NH2 NH3 NH4 NH5;
CARDS;
1 0.000 31.000 1.833 5.000 8.083 14.667
1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
2 0.000 25.500 3.421 3.657 4.454 6.000
2 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
2 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
2 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
2 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
2 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
3 0.000 11.000 1.061 1.158 1.254 1.667
3 34.183 25.500 3.421 3.657 4.454 6.000
3 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
3 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
3 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
3 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
. . . . .
. . . . .
. . . . .
. . . . .
. . . . .
82 0.000 39.000 2.500 4.167 5.300 8.333
82 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
82 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
```

```

MODEL LAMBDA=LP100CH0 INTCH0 LP25CH0 INT50CH0/NOINT P;

PROC REG DATA=ALL;
MODEL LLAMBDA=LP100CH0 INTCH0 LP25CH0 INT50CH0/NOINT P;

PROC REG DATA=ALL;
MODEL Y13=P100CH0 P50CH0 P75CH0/NOINT P;

PROC REG DATA=ALL;
MODEL GAMA=INT75CH0 LP25CH3 P25CH1 LP50CH1/NOINT P;*/

/*PROC STEPWISE DATA=TOTAL;
MODEL NETA LNETA GAMA LGAMA =
TCH00 VOLCH0 P25CH0 P50CH0 P75CH0 P100CH0
TCH01 VOLCH1 P25CH1 P50CH1 P75CH1 P100CH1
TCH02 VOLCH2 P25CH2 P50CH2 P75CH2 P100CH2
TCH03 VOLCH3 P25CH3 P50CH3 P75CH3 P100CH3
TCH04 VOLCH4 P25CH4 P50CH4 P75CH4 P100CH4
TCH05 VOLCH5 P25CH5 P50CH5 P75CH5 P100CH5
LTCH00 LVOLCH0 LP25CH0 LP50CH0 LP75CH0 LP100CH0
LTCH01 LVOLCH1 LP25CH1 LP50CH1 LP75CH1 LP100CH1
LTCH02 LVOLCH2 LP25CH2 LP50CH2 LP75CH2 LP100CH2
LTCH03 LVOLCH3 LP25CH3 LP50CH3 LP75CH3 LP100CH3
LTCH04 LVOLCH4 LP25CH4 LP50CH4 LP75CH4 LP100CH4
LTCH05 LVOLCH5 LP25CH5 LP50CH5 LP75CH5 LP100CH5
AUXV01 AUXV02 AUXV03 AUXV04 AUXV05 AUXV06 AUXV07 AUXV08
AUXV09 AUXV10 AUXV11 AUXV12 AUX1 AUX2 AUX3 AUX4
AUXVAR1 AUXVAR2 AUXVAR3 AUXVAR4 AUXVAR5 AUXVAR6/F SLE=0.05;
RUN;*/

/*PROC REG DATA=TOTAL;
MODEL VAZAC= AUXV01 P100CH4 P75CH4 AUXV04 /NOINT P;
PROC REG DATA=TOTAL;
MODEL VAZAC= AUXV01 P100CH4 P75CH4 AUXV04 / P;*/

/*PROC REG DATA=TOTAL;
MODEL NETA = P25CH4 TCH01 VOLCH4 P50CH5 LVOLCH5 VOLCH3/NOINT P;*/

/*PROC PLOT DATA= TOTAL;
PLOT Y13*VOLCH1/ VREF=0;
PLOT Y13*P25CH1/ VREF=0;
PLOT Y13*P50CH1/ VREF=0;
PLOT Y13*P100CH1/ VREF=0;
PLOT Y13*TCH01/ VREF=0;*/

/*VAZAE=EXP(AUXV01*0.03336380-P100CH4*0.13033740+P75CH4*0.26222054-
LTCH01*0.09798651+AUXV04*0.06523026+LVOLCH1*0.45230561);
PROC PRINT;
VAR EPSILON EESP LAMBDA LESP NETA NESP GAMA GESP VAZAC VAZAE;*/

```

```

RUN;*/
/*PROC STEPWISE DATA=ALL;
MODEL Y1 Y2 Y3 Y4 Y5 Y6 Y7 Y8 Y9 Y10 Y11 Y12 Y13 Y14 Y15 Y16
      Y17 Y18 Z1 Z2 Z3 Z4 Z5 Z6 Z7 Z8 Z9 Z10 Z11 Z12 Z13 Z14
      Z15 Z16 Z17 Z18 LY1 LY2 LY3 LY4 LY5 LY6 LY7 LY8 LY9 LY10
      LY11 LY12 LY13 LY14 LY15 LY16 LY17 LY18=
      TCH00 VOLCH0 P25CH0 P50CH0 P75CH0 P100CH0
      TCH01 VOLCH1 P25CH1 P50CH1 P75CH1 P100CH1
      TCH02 VOLCH2 P25CH2 P50CH2 P75CH2 P100CH2
      TCH03 VOLCH3 P25CH3 P50CH3 P75CH3 P100CH3
      TCH04 VOLCH4 P25CH4 P50CH4 P75CH4 P100CH4
      TCH05 VOLCH5 P25CH5 P50CH5 P75CH5 P100CH5
      LTCH00 LVOLCH0 LP25CH0 LP50CH0 LP75CH0 LP100CH0
      LTCH01 LVOLCH1 LP25CH1 LP50CH1 LP75CH1 LP100CH1
      LTCH02 LVOLCH2 LP25CH2 LP50CH2 LP75CH2 LP100CH2
      LTCH03 LVOLCH3 LP25CH3 LP50CH3 LP75CH3 LP100CH3
      LTCH04 LVOLCH4 LP25CH4 LP50CH4 LP75CH4 LP100CH4
      LTCH05 LVOLCH5 LP25CH5 LP50CH5 LP75CH5 LP100CH5
      INT25CH0 INT50CH0 INT75CH0 INTCH0 /F SLE=0.05;

```

```

RUN;*/
/* PROC REG DATA=TOTAL;
MODEL VAZAC =AUXV01 P100CH4 P75CH4 LTCH01 AUXV04 LVOLCH1/ P;
MODEL LVAZAC =AUXV01 P100CH4 P75CH4 LTCH01 AUXV04 LVOLCH1/ P;
MODEL VAZ0 =VOLCH1 LVOLCH1 P50CH3 P25CH3 LP75CH3 INTCH0/ P;
MODEL VAZ0 =LVOLCH1 P50CH3 P25CH3 LP75CH3 INTCH0/ P;
MODEL VAZCUB0=P100CH4 P50CH4 P50CH1 TCH04 P25CH4 P75CH4
           P25CH1 / P;
MODEL VAZCUB0=LP100CH4 LP50CH4 LP50CH1 TCH04 LP25CH4 P75CH4
           LP25CH1 / P;*/

```

```

/*PROC PLOT DATA= TOTAL;
PLOT VAZAC*VOLCH1/ VREF=0;
PLOT VAZAC*VOLCH2/ VREF=0;
PLOT VAZAC*VOLCH4/ VREF=0;
PLOT VAZAC*LVOLCH1/ VREF=0;
PLOT LVAZAC*VOLCH1/ VREF=0;
PLOT LVAZAC*VOLCH2/ VREF=0;
PLOT LVAZAC*VOLCH4/ VREF=0;
PLOT LVAZAC*LVOLCH1/ VREF=0;*/

```

```

/*PROC UNIVARIATE DATA=VAZ00 PLOT NORMAL FREQ;
VAR LVAZAC;
PROC CHART DATA=VAZ00;
VBAR LVAZAC;*/

```

```

/*PROC REG DATA=ALL;
MODEL EPSILON=LP25CH0 INTCH0 P50CH0 INT25CH0/NOINT P;

```

```

PROC REG DATA=ALL;
MODEL LEPSILON=LP25CH0 INTCH0 P50CH0 INT25CH0/NOINT P;

```

```

PROC REG DATA=ALL;

```

```

PLOT NETA#P75CH4/VREF=0;
PLOT NETA#P75CH5/VREF=0;
PLOT NETA#P100CH0/VREF=0;
PLOT NETA#P100CH1/VREF=0;
PLOT NETA#P100CH2/VREF=0;
PLOT NETA#P100CH3/VREF=0;
PLOT NETA#P100CH4/VREF=0;
PLOT NETA#P100CH5/VREF=0;*/

```

```

/* PROC STEPWISE DATA=TOTAL;

```

```

MODEL NETA =
TCH00 VOLCH0 P25CH0 P50CH0 P75CH0 P100CH0
TCH01 VOLCH1 P25CH1 P50CH1 P75CH1 P100CH1
TCH02 VOLCH2 P25CH2 P50CH2 P75CH2 P100CH2
TCH03 VOLCH3 P25CH3 P50CH3 P75CH3 P100CH3
TCH04 VOLCH4 P25CH4 P50CH4 P75CH4 P100CH4
TCH05 VOLCH5 P25CH5 P50CH5 P75CH5 P100CH5
LTCH00 LVOLCH0 LP25CH0 LP50CH0 LP75CH0 LP100CH0
LTCH01 LVOLCH1 LP25CH1 LP50CH1 LP75CH1 LP100CH1
LTCH02 LVOLCH2 LP25CH2 LP50CH2 LP75CH2 LP100CH2
LTCH03 LVOLCH3 LP25CH3 LP50CH3 LP75CH3 LP100CH3
LTCH04 LVOLCH4 LP25CH4 LP50CH4 LP75CH4 LP100CH4
LTCH05 LVOLCH5 LP25CH5 LP50CH5 LP75CH5 LP100CH5
INT25CH0 INT50CH0 INT75CH0 INTCH0 /F SLE=0.05;

```

```

RUN;*/

```

```

/*PROC STEPWISE DATA=ALL;

```

```

MODEL NETA LNETA GAMA LGAMA=
LAMBDA LLAMBDA EPSILON LEPSILON /F SLE=0.05;*/

```

```

/*PROC UNIVARIATE DATA=ALL PLOT NORMAL FREQ;

```

```

VAR EPSILON LAMBDA;

```

```

PROC CHART DATA=ALL ;

```

```

VBAR EPSILON LAMBDA;

```

```

RUN;*/

```

```

/*PROC STEPWISE DATA=ALL;

```

```

MODEL INVNETA LLAMBDA LEPSILON=
TCH00 VOLCH0 P25CH0 P50CH0 P75CH0 P100CH0
TCH01 VOLCH1 P25CH1 P50CH1 P75CH1 P100CH1
TCH02 VOLCH2 P25CH2 P50CH2 P75CH2 P100CH2
TCH03 VOLCH3 P25CH3 P50CH3 P75CH3 P100CH3
TCH04 VOLCH4 P25CH4 P50CH4 P75CH4 P100CH4
TCH05 VOLCH5 P25CH5 P50CH5 P75CH5 P100CH5
LTCH00 LVOLCH0 LP25CH0 LP50CH0 LP75CH0 LP100CH0
LTCH01 LVOLCH1 LP25CH1 LP50CH1 LP75CH1 LP100CH1
LTCH02 LVOLCH2 LP25CH2 LP50CH2 LP75CH2 LP100CH2
LTCH03 LVOLCH3 LP25CH3 LP50CH3 LP75CH3 LP100CH3
LTCH04 LVOLCH4 LP25CH4 LP50CH4 LP75CH4 LP100CH4
LTCH05 LVOLCH5 LP25CH5 LP50CH5 LP75CH5 LP100CH5
INT25CH0 INT50CH0 INT75CH0 INTCH0 /F SLE=0.05;

```


VAR DIFNETA DIFNET DIFRNETA DIFRNET;

RUN;*/

```

/*PROC PLOT DATA= ALL;
  PLOT ERRO5*PRED5/ VREF=0;
  PLOT ERRO3*PRED3/ VREF=0;
  PLOT ERRO6*PRED6/ VREF=0;
  PLOT ERRO18*PRED18/ VREF=0;
  PLOT ERRO14*PRED14/ VREF=0;
  PLOT ERRO12*PRED12/ VREF=0;
  PLOT ERRO2*PRED2/ VREF=0;

```

RUN;*/

/*PROC MEANS N MIN MAX MEAN CV DATA = ALL;

```

VAR INESC NETA GAMA LAMBDA EPSILON
  TCH00 VOLCH0 P25CH0 P50CH0 P75CH0 P100CH0
  TCH01 VOLCH1 P25CH1 P50CH1 P75CH1 P100CH1
  TCH02 VOLCH2 P25CH2 P50CH2 P75CH2 P100CH2
  TCH03 VOLCH3 P25CH3 P50CH3 P75CH3 P100CH3
  TCH04 VOLCH4 P25CH4 P50CH4 P75CH4 P100CH4
  TCH05 VOLCH5 P25CH5 P50CH5 P75CH5 P100CH5;

```

RUN;

PROC CORR DATA=ALL;

```

VAR INESC NETA GAMA LAMBDA EPSILON
  TCH00 VOLCH0 P25CH0 P50CH0 P75CH0 P100CH0
  TCH01 VOLCH1 P25CH1 P50CH1 P75CH1 P100CH1
  TCH02 VOLCH2 P25CH2 P50CH2 P75CH2 P100CH2
  TCH03 VOLCH3 P25CH3 P50CH3 P75CH3 P100CH3
  TCH04 VOLCH4 P25CH4 P50CH4 P75CH4 P100CH4
  TCH05 VOLCH5 P25CH5 P50CH5 P75CH5 P100CH5;

```

PROC PLOT DATA = ALL;

```

PLOT NETA*VOLCH0/VREF=0;
PLOT NETA*P25CH1/VREF=0;
PLOT NETA*P25CH2/VREF=0;
PLOT NETA*P25CH3/VREF=0;
PLOT NETA*P25CH4/VREF=0;
PLOT NETA*P25CH5/VREF=0;
PLOT NETA*P50CH1/VREF=0;
PLOT NETA*P50CH2/VREF=0;
PLOT NETA*P50CH3/VREF=0;
PLOT NETA*P50CH4/VREF=0;
PLOT NETA*P50CH5/VREF=0;
PLOT NETA*P75CH0/VREF=0;
PLOT NETA*P75CH1/VREF=0;
PLOT NETA*P75CH2/VREF=0;
PLOT NETA*P75CH3/VREF=0;

```

LESP=LP100CH0*326.02465+INTCH0*12.71204016-LP25CH0*156.93894-
INT50CH0*2.60920615;

EESP=EXP(LP25CH0*5.64611687+INTCH0*0.09367557-P50CH0*0.56528782+
INT25CH0*0.01709580);

GESP=-INT75CH0*0.08268885-LP25CH3*2.83225195+P25CH1*1.78563592-
LP50CH1*2.10854852;

NESP=(P100CH0*106.89213-P50CH0*424.79452+P75CH0*293.87498)/LESP;

/*DATA TOTAL; MERGE ALL VAZAO; BY NH;

ARRAY FZE(100) FZE1-FZE100;

ARRAY FWE(100) FWE1-FWE100;

MAXE=INT(LESP/20);

DO I=1 TO MAXE ;

YE=(I*20-EESP)/LESP;

ISINHYE=LOG(YE+SQRT(YE**2+1));

FZE(I)=PROBNORM(GESP+NESP*ISINHYE);

VAZAE=AUXV01*3.12989075+P100CH4*87.2031858-P75CH4*97.05355026-
AUXV04*1.29634887;

IF I GT 1 THEN FWE(I)=(FZE(I)-FZE(I-1))*VAZAE;

ELSE FWE(I)=FZE(I)*VAZAE;

END;

PROC PRINT;TITLE1 'SIMULACAO DA VAZAO DA MICROBACIA DE CUNHA';

TITLE2 'SISTEMA UTILIZADO : SU';

VAR FWE1-FWE100 ;

FORMAT FWE1-FWE100 6.2;

PROC PRINT ;

VAR LAMBDA LESP EPSILON EESP GAMA GESP NETA NESP VAZAC VAZAE;

FORMAT LAMBDA LESP EPSILON EESP GAMA GESP NETA NESP VAZAC VAZAE 6.2;*/

/*PROC REG DATA=ALL;

MODEL NETA=TCH01 VOLCH3 VOLCH4 P25CH4 P50CH5 LVOLCH5/NOINT;

OUTPUT OUT=DIFNETA P=PREDNETA;*/

/*PROC REG DATA=ALL;

MODEL Y13 = P100CH0 P50CH0 P75CH0/NOINT P;*/

/*DATA ALL;

MERGE ALL DIFNETA DIFNET;

DIFNETA = PREDNETA-NETA;

DIFRNETA = DIFNETA/NETA;

DIFNET = PREDNET-NETA;

DIFRNET = DIFNET/NETA;

PROC MEANS N MIN MAX MEAN CV USS;

```

LESP=LP100CH0*326.02465+INTCH0*12.71204016-LP25CH0*156.93894-
INT50CH0*2.60920615;

EESP=EXP(LP25CH0*5.64611607+INTCH0*0.09367557-P50CH0*0.56528782+
INT25CH0*0.01709580);

GESP=-INT75CH0*0.00268885-LP25CH3*2.83225195+P25CH1*1.78563592-
LP50CH1*2.10854852;

NESP=(P100CH0*106.89213-P50CH0*424.79452+P75CH0*293.87496)/LESP;

/*DATA TOTAL; MERGE ALL VAZAO; BY NH;
ARRAY FZEa100e FZE1-FZE100;
ARRAY FWEa100e FWE1-FWE100;

MAXE=INT(LESP/20);

DO I=1 TO MAXE ;
YE=(I*20-EESP)/LESP;
ISINHYE=LOG(YE+SQRT(YE**2+1));
FZEaI =PROBNORM(GESP+NESP*ISINHYE);
VAZAE=AUXV01*3.12989075+P100CH4*87.2031858-P75CH4*97.05355026-
AUXV04*1.29634887;
IF I GT 1 THEN FWEaIe=(FZEaIe-FZEaI-1e)*VAZAE;
ELSE FWEaIe=FZEaIe*VAZAE;
END;
PROC PRINT;TITLE1 'SIMULACAO DA VAZAO DA MICROBACIA DE CUNHA';
TITLE2 'SISTEMA UTILIZADO : SU';
VAR FWE1-FWE100 ;
FORMAT FWE1-FWE100 6.2;

PROC PRINT ;
VAR LAMBDA LESP EPSILON EESP GAMA GESP NETA NESP VAZAC VAZAE;
FORMAT LAMBDA LESP EPSILON EESP GAMA GESP NETA NESP VAZAC VAZAE 6.2;*/

/*PROC REG DATA=ALL;
MODEL NETA=TCH01 VOLCH3 VOLCH4 P25CH4 P50CH5 LVOLCH5/NOINT;
OUTPUT OUT=DIFNETA P=PREDNETA;*/
/*PROC REG DATA=ALL;
MODEL Y13 = P100CH0 P50CH0 P75CH0/NOINT P;*/

/*DATA ALL;
MERGE ALL DIFNETA DIFNET;

DIFNETA = PREDNETA-NETA;
DIFRNETA = DIFNETA/NETA;
DIFNET = PREDNET-NETA;
DIFRNET = DIFNET/NETA;

PROC MEANS N MIN MAX MEAN CV USS;

```

```

82  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000
82  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000
82  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000

```

```

;
PROC SORT DATA = CHUVAR; BY NH;
  RUN;
  Calculo dos parametros do Sist. Johnson de Distr. -----
  Calculo das probabilidades do Sist. Johnson de Distr.
  Calculo das equacoes re regressao /stepwise/residuos e plots.

```

```

DATA HIDROG;
  INFILE CARDS MISSOEVER;
  INPUT @1 X 2. @;

  RETAIN NH;

  IF X NE . THEN DO;
    NH = X;
    N = 0;
  END;

  N + 1;

```

```

SELECT(N);
  WHEN(1) INPUT @3 V1 -V11;
  WHEN(2) INPUT @3 V12-V22;
  WHEN(3) INPUT @3 V23-V33;
  WHEN(4) INPUT @3 V34-V44;
  WHEN(5) INPUT @3 V45-V55;
  WHEN(6) INPUT @3 V56-V66;
  WHEN(7) INPUT @3 V67-V70;
  OTHERWISE;

```

END;

CARDS;

1	0.0	0.5	1.0	1.0	1.5	2.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	2.5	2.5	3.0	3.0	3.5	3.5	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
	4.0	4.0	4.0	4.0	4.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	1.5	0.0									
2	0.0	1.0	2.0	2.0	3.0	3.5	3.5	3.0	2.5	2.0	2.0
	1.5	1.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	0.5	0.0									
3	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0				
.
.
.
.
81	0.0	4.0	6.5	6.0	9.5	7.5	7.0	7.5	7.5	8.0	11.5
	16.0	18.0	18.0	14.5	12.0	10.0	8.5	7.0	6.0	5.0	4.0
	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.5	1.0	0.0			

82	0.0	3.0	5.0	6.0	7.0	6.5	5.5	5.0	6.0	7.0	8.0
	9.0	10.5	13.0	17.0	20.0	17.0	14.0	11.5	10.0	9.0	8.0
	7.0	6.0	5.0	4.0	3.5	3.0	3.0	2.5	0.0		

```

;
PROC SORT;
  BY NH;
PROC SUMMARY;
  BY NH;
  VAR V1-V70;
  OUTPUT OUT = HIDROG (DROP=_TYPE_ _FREQ_) SUM=;
*PROC PRINT;
*   TITLE2 '## CARDS ##';

```

```

DATA HIDROG;
  ARRAY V(70) V1-V70;
  ARRAY VAC(70);
  ARRAY PY(5);
  ARRAY X(4);

  MERGE HIDROG HIDVAR (KEEP=NH EPSILON LAMBDA);
  BY NH;
  VAZAC=SUM(OF V1-V70);
  DMIN=9999;
  RETAIN AUX1;
  RETAIN AUXEPS;
  RETAIN AUXLAMB;
  RETAIN AUXNET;
  RETAIN AUXGAM;

  DO Z=0.01 TO 1 BY 0.01;
    PY1=PROBNORM(-3*Z)*VAZAC;
    PY2=PROBNORM(-Z) *VAZAC;
    PY3=PROBNORM(Z) *VAZAC;
    PY4=PROBNORM(3*Z) *VAZAC;

    VAC(1)=V(1);
    K=1;
    DO I=1 TO 70;
      VAC(I+1)=SUM(VAC(I),V(I+1));
      DO J=1 TO I+1;
        T=20*(J-1);
        IF PY(K)<VAC(J) THEN DO;
          X(K)=(T-20)+SUM(PY(K),-VAC(J-1))*20/V(J);
          J=I+1;
          IF K=4 THEN I=70;
          K=K+1;
        END;
      END;
    END;
  END;
END;

```

```

M=X(4)-X(3);
N=X(2)-X(1);
P=X(3)-X(2);
DISCR=M*N/(P**2);
DMAX=0;
IF DISCR < 1 THEN DO;
  NB=0.5*SQRT((1+P/M)*(1+P/N));
  GB=(P/N-P/M)*SQRT(((1+P/M)*(1+P/N)-4)/(2*(P**2/(M*N)-1)));
  * LB=P*SQRT(((1+P/M)*(1+P/N)-2)**2-4);
  * EB=(X2+X3)/2-LB/2+P*(P/N-P/M)/(2*(P**2/(M*N)-1));

  NETA=Z/(LOG(NB+SQRT(NB**2-1)));
  GAMA=NETA*LOG(GB+SQRT(GB**2+1));
  * LAMBDA=LB;
  * EPSILON=EB;
  SIS='SB';
  MAXE=INT(LAMBDA/20);
  MINE=INT(EPSILON/20)+1;
  DO W=MINE TO MAXE;
    IF V(W)= . THEN W=MAXE;
    T=W*20;
    Y=(T-EPSILON)/LAMBDA;
    ARG=Y/(1-Y);
    ZE=GAMA+NETA*LOG(ARG);
    FZE=PROBNORM(ZE);
    VACAUX=VAZAC*FZE;VACAY=VAC(W+1);
    DIF=ABS(VAC(W+1)-VACAUX);
    IF DMAX<DIF THEN DMAX=DIF;
  * OUTPUT;
  END;
END;
ELSE DO;
  NU=0.5*(M+N)/P;
  GU=((N-M)/P)/(2*SQRT(M*N)/P**2-1);
  * LU=2*P*SQRT(M*N/P**2-1)/(((M+N)/P-2)*SQRT((M+N)/P+2));
  * EU=(X2+X3)/2+P*((N-M)/P)/(2*((M+N)/P-2));

  NETA=2*Z/LOG(NU+SQRT(NU**2-1));
  GAMA=NETA*LOG(GU+SQRT(GU**2+1));
  * LAMBDA=LU;
  * EPSILON=EU;
  SIS='SU';
  MAXE=INT(LAMBDA/20);
  MINE=INT(EPSILON/20);
  DO W=MINE TO MAXE;
    IF V(W)= . THEN W=MAXE;
    T=W*20;
    Y=(T-EPSILON)/LAMBDA;
    ZE=GAMA+NETA*LOG(Y+SQRT(Y**2+1));
    FZE=PROBNORM(ZE);

```

```

VACAUX=VAZAC*FZE;VACAY=VAC(W+1);
DIF=ABS(VAC(W+1)-VACAUX);
IF DMAX<DIF THEN DMAX=DIF;
* OUTPUT;
END;
END;
IF DMIN>DMAX THEN DO;
DMIN=DMAX;
AUXZ=Z-0.01;
AUXEPS=EPSILON;
AUXLAMB=LAMBDA;
AUXNET=NETA;
AUXGAM=GAMA;
END;
OUTPUT;
END;
/*PROC PRINT;
VAR NH Z W T EPSILON LAMBDA NETA GAMA Y ARG ZE FZE VACAUX VACAY DIF;
FORMAT Z NETA GAMA Y ARG ZE FZE VACAUX VACAY 6.2;*/
PROC UNIVARIATE PLOT NORMAL FREQ;
VAR DMIN;
* BY NH;
PROC SORT;
BY NH;
DATA HIDROG;
SET HIDROG;
BY NH;
IF LAST.NH;
PROC PRINT ;
VAR NH Z DISCR SIS DMAX DMIN AUXZ AUXEPS AUXLAMB AUXNET AUXGAM;
FORMAT Z DISCR 6.2 DMAX DMIN AUXZ AUXEPS AUXLAMB AUXNET AUXGAM 6.2;
/*
//*-----*

```

-----Leitura variaveis do Sist. Johnson de Distrib-----

```

DATA HIDVAR;
INPUT NH 10-11 INESC 12-20 NETA 22-30 GAMA 32-40 LAMBDA 41-50 EPSILON 51-60;
CARDS;
1 0.667 0.463 0.138 1360.0 40.0
2 3.667 0.589 0.529 440.0 220.0
3 1.333 2.065 7.239 100.0 80.0
. . . . .
. . . . .
80 0.667 1.250 -3.452 500.0 40.0
81 2.667 1.173 -0.037 560.0 160.0
82 1.000 1.825 0.060 580.0 60.0
;
PROC SORT DATA = HIDVAR;
BY NH; RUN;

```

```

DATA ALL; MERGE HIDVAR CHUVAR ; BY NH;
IF NH = 48 THEN DELETE;
LTCH0=LOG(TCH0+1);LVOLCH0=LOG(VOLCH0+1);LP25CH0=LOG(P25CH0+1);
LTCH1=LOG(TCH1+1);LVOLCH1=LOG(VOLCH1+1);LP25CH1=LOG(P25CH1+1);
LTCH2=LOG(TCH2+1);LVOLCH2=LOG(VOLCH2+1);LP25CH2=LOG(P25CH2+1);
LTCH3=LOG(TCH3+1);LVOLCH3=LOG(VOLCH3+1);LP25CH3=LOG(P25CH3+1);
LTCH4=LOG(TCH4+1);LVOLCH4=LOG(VOLCH4+1);LP25CH4=LOG(P25CH4+1);
LTCH5=LOG(TCH5+1);LVOLCH5=LOG(VOLCH5+1);LP25CH5=LOG(P25CH5+1);
LP50CH0=LOG(P50CH0+1);LP75CH0=LOG(P75CH0+1);LP100CH0=LOG(P100CH0+1);
LP50CH1=LOG(P50CH1+1);LP75CH1=LOG(P75CH1+1);LP100CH1=LOG(P100CH1+1);
LP50CH2=LOG(P50CH2+1);LP75CH2=LOG(P75CH2+1);LP100CH2=LOG(P100CH2+1);
LP50CH3=LOG(P50CH3+1);LP75CH3=LOG(P75CH3+1);LP100CH3=LOG(P100CH3+1);
LP50CH4=LOG(P50CH4+1);LP75CH4=LOG(P75CH4+1);LP100CH4=LOG(P100CH4+1);
LP50CH5=LOG(P50CH5+1);LP75CH5=LOG(P75CH5+1);LP100CH5=LOG(P100CH5+1);

```

```

AUX1=P100CH0/LAMBDA;
AUX2=P75CH0/LAMBDA;
AUX3=P50CH0/LAMBDA;
AUX4=P25CH0/LAMBDA;
AUXVAR1=P100CH4**2;
AUXVAR2=P75CH4**2;
AUXVAR3=P75CH4*P100CH4;
AUXVAR4=LTCH0**2;
AUXVAR5=LVOLCH1**2;
AUXVAR6=LTCH0*LVOLCH1;
AUXV01=VOLCH0+VOLCH1;
AUXV02=VOLCH0+VOLCH2;
AUXV03=VOLCH0+VOLCH3;
AUXV04=VOLCH0+VOLCH4;
AUXV05=VOLCH0+VOLCH5;
AUXV06=VOLCH0-VOLCH1;
AUXV07=VOLCH0-VOLCH2;
AUXV08=VOLCH0-VOLCH3;
AUXV09=VOLCH0-VOLCH4;
AUXV10=VOLCH0-VOLCH5;
AUXV11=VOLCH0**2;
AUXV12=VOLCH0**0.5;

```

```

LINEC=LOG(INESC+1);LNETA=LOG(NETA+1);LLAMBDA=LOG(LAMBDA);
LEPSILON=LOG(EPSILON);LGAMA=LOG(GAMA+10);
INVNETA=1/NETA;
Y1 =INESC/NETA;
Y2 =INESC/LAMBDA;
Y3 =INESC/(NETA+LAMBDA);
Y4 =INESC/(NETA-LAMBDA);
Y5 =INESC/(NETA*LAMBDA);
Y6 =INESC/(NETA+LAMBDA+INESC);
Y7 =NETA/INESC;
Y8 =NETA/LAMBDA;
Y9 =NETA/(INESC+LAMBDA);
Y10 =NETA/(INESC-LAMBDA);
Y11 =NETA/(INESC*LAMBDA);

```



```

Y12 =NETA/(INESC+LAMBDA+NETA);
Y13 =LAMBDA/NETA;
Y14 =LAMBDA/INESC;
Y15 =LAMBDA/(NETA+INESC);
Y16 =LAMBDA/(NETA-INESC);
Y17 =LAMBDA/(NETA*INESC);
Y18 =LAMBDA/(NETA+INESC+LAMBDA);
INTCH0=VOLCH0/P100CH0;
INT25CH0=VOLCH0/P25CH0;
INT75CH0=VOLCH0/P75CH0;
INT50CH0=VOLCH0/P50CH0;

Z1 = 1/Y1;
Z2 = 1/Y2;
Z3 = 1/Y3;
Z4 = 1/Y4;
Z5 = 1/Y5;
Z6 = 1/Y6;
Z7 = 1/Y7;
Z8 = 1/Y8;
Z9 = 1/Y9;
Z10 = 1/Y10;
Z11 = 1/Y11;
Z12 = 1/Y12;
Z13 = 1/Y13;
Z14 = 1/Y14;
Z15 = 1/Y15;
Z16 = 1/Y16;
Z17 = 1/Y17;
Z18 = 1/Y18;
YINESC=INESC;
LY1 =LOG(ABS(INESC/NETA));
LY2 =LOG(ABS(INESC/LAMBDA));
LY3 =LOG(ABS(INESC/(NETA+LAMBDA)));
LY4 =LOG(ABS(INESC/(NETA-LAMBDA)));
LY5 =LOG(ABS(INESC/(NETA*LAMBDA)));
LY6 =LOG(ABS(INESC/(NETA+LAMBDA+INESC)));
LY7 =LOG(ABS(NETA/INESC));
LY8 =LOG(ABS(NETA/LAMBDA));
LY9 =LOG(ABS(NETA/(INESC+LAMBDA)));
LY10 =LOG(ABS(NETA/(INESC-LAMBDA)));
LY11 =LOG(ABS(NETA/(INESC*LAMBDA)));
LY12 =LOG(ABS(NETA/(INESC+LAMBDA+NETA)));
LY13 =LOG(ABS(LAMBDA/NETA));
LY14 =LOG(ABS(LAMBDA/INESC));
LY15 =LOG(ABS(LAMBDA/(NETA+INESC)));
LY16 =LOG(ABS(LAMBDA/(NETA-INESC)));
LY17 =LOG(ABS(LAMBDA/(NETA*INESC)));
LY18 =LOG(ABS(LAMBDA/(NETA+INESC+LAMBDA)));

```