

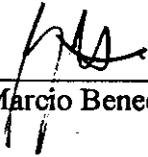
MARCOS MACHADO DRUMOND

**ANÁLISE COMPARATIVA DE METODOLOGIAS
PARA ESTUDO DE VAZÕES DE ENCHENTES:
Determinação e Sintetização de Hidrogramas
Unitários na Bacia Representativa de Juatuba - MG**

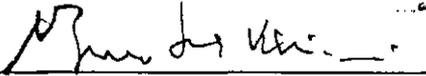
Dissertação ao Curso de Mestrado em
Saneamento e Meio Ambiente da Escola de
Engenharia da UFMG
Orientador: Prof. Marcio Benedito Baptista
Departamento de Engenharia Hidráulica e
Recursos Hídricos da EEUFMG

Escola de Engenharia da UFMG
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental
Belo Horizonte
1994

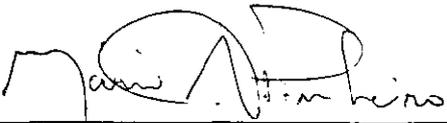
Dissertação defendida e aprovada por unanimidade, em 4 de novembro de 1994, pela banca examinadora constituída pelos professores:



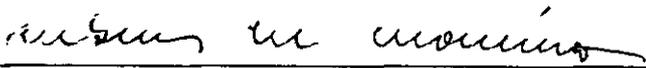
Prof. Marcio Benedito Baptista - EHR/EEUFMG - Orientador



Prof. Bruno Rabelo Versiani - EHR/EEUFMG



Prof. Mário Cicareli Pinheiro - EHR/EEUFMG



Prof. Rubens Martins Moreira - CDTN/CNEN

Prof. Carlos Eduardo Morelli Tucci - IPH/UFRGS

A meus pais Fausto e Maria Staël, exemplos de integridade e dignidade e a meus queridos filhos Júnia, Pedro e Tomaz, estímulos de luta: eles anteriores e posteriores dessa cadeia evolutiva. A Maria Cecília, companheira de todas as horas, que muito tem contribuído para minha evolução pessoal.

AGRADECIMENTOS

O autor externa seu profundo agradecimento às pessoas e às intuições que, de uma forma ou de outra, muito contribuíram para a realização deste trabalho, sobretudo:

à Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA e, especialmente, aos Engenheiros Gabriel Monteiro de Castro Neto e Elias Haddad Filho da DVCA, ao Biólogo Tales Heleodoro Viana, ao Geógrafo César Varela Correa e ao Topógrafo Washington Demicheli da DVCM, ao Supervisor Romeu Augusto Rabelo e ao Hidrometrista Reni Alves Moreira da SCSO/SSA;

ao 5º Distrito do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica - DNAEE (atualmente Delegacia do Ministério de Minas e Energia) e, em especial, aos Engenheiros Mário da Costa Mendes (in memoriam), Geraldo Teixeira de Souza e Paulo João Santos Resende e ao Tecnologista Mário da Costa Mendes Filho;

à Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM e, em particular, aos Engenheiros Cláudio Roberto Olivé de Souza e José Roberto de Paula e ao técnico Gerson dos Santos Lima;

ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, que custeou a participação do Bolsista Webbert Soares Caldeira neste trabalho;

ao Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear da Comissão Nacional de Energia Nuclear - CDTN/CNEN, que tem percebido a importância de investir no aperfeiçoamento do seu corpo técnico;

e finalmente, um agradecimento muito especial ao Engenheiro Geraldo Wilson Jr., responsável pelo primeiro contacto com a Teoria do Hidrograma Unitário, nos idos de 1977, por ocasião da elaboração da monografia "Estudos Hidrológicos de uma Região para Localização de uma Instalação Nuclear - O Hidrograma Unitário", da qual foi orientador.

RESUMO

Considerando os prejuízos humanos e materiais que podem ser causados pela adoção, generalizada e sem uma análise prévia de adequação, de métodos indiretos para o cálculo de vazões de enchentes, pretendeu-se com este trabalho, fazer uma avaliação das metodologias mais usadas, no país e no estado, atualmente. Para realizar esta análise, foram escolhidos os métodos indiretos baseados na Teoria do Hidrograma Unitário e a Bacia Representativa de Juatuba, localizada a cerca de 50 km de Belo Horizonte e com área de drenagem de 443 km², cujos dados se constituem no melhor acervo de informações hidrológicas, de pequenas bacias, existente no Estado de Minas Gerais. Após o levantamento, a análise e o processamento dos dados das estações linigráficas e pluviográficas ali existentes, foram determinados, para as sub bacias dos Ribeirões Estiva e Serra Azul (com áreas de drenagem de 31,5 km² e 112,5 km² respectivamente), os hidrogramas unitários médios, com base em 19 hidrogramas de cheia observados em cada uma, e os hidrogramas unitários sintéticos, obtidos com os Métodos de Snyder (usando os coeficientes do próprio autor e os coeficientes de Linsley) e do US Soil Conservation Service (SCS). Comparando os resultados obtidos, verificou-se que, em se adotando os métodos indiretos estudados, as vazões de pico dos hidrogramas unitários poderiam ser desde 43 % menores até 164 % maiores que as observadas, no caso da sub bacia do Ribeirão Estiva, e desde 65 % menores até 101 % maiores, no caso da sub bacia do Ribeirão Serra azul. Observou-se, com relação ao Método de Snyder, que os coeficientes de Linsley adaptaram-se melhor à sub bacia do Ribeirão Estiva, que tem menor área de drenagem e maiores declividades, enquanto os coeficientes de Snyder forneceram hidrogramas mais próximos dos reais, no Ribeirão Serra Azul, cuja bacia é menos íngreme e tem maior área de drenagem. Este fato parece indicar que os coeficientes C_t e C_p estariam fortemente relacionados com estas duas características das bacias hidrográficas. Já o Método do SCS, que tem como parâmetro básico o tempo de concentração (t_c), forneceu hidrogramas próximos aos observados apenas quando se considerou a Fórmula de Ventura para o cálculo de t_c . Com base nos 19 hidrogramas unitários observados em cada bacia, foram obtidos os seguintes valores médios das vazões de pico, para uma chuva efetiva de 1 cm, e dos principais coeficientes e parâmetros utilizados nos métodos indiretos, para as duas sub bacias:

	Q_p (m ³ /s)	Coef. Esc. Sup. (%)	Índice Φ (mm/h)	t_p (h)	t_b (h)	w_{50} (h)	w_{75} (h)	C_t	C_p	t_c (h)
Rib. Estiva:	17,13	8	35	4	16	4	2	1,53	0,68	5,4
Rib. S. Azul:	29,60	7	41	10	26	9,6	6,3	2,61	0,95	16,1

A análise comparativa dos resultados obtidos demonstrou não só a importância de uma escolha criteriosa dos coeficientes e fórmulas, quando se adotam os métodos indiretos para o cálculo das vazões de enchente, como também, considerando os escassos recursos disponíveis, a necessidade de investir-se em sistemas mínimos de aquisição de dados hidrológicos.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Estações Fluviométricas da Bacia Representativa de Juatuba.....	20
TABELA 2 - Estações Pluviométricas da Bacia Representativa de Juatuba.....	22
TABELA 3 - Situação dos Dados Linigráficos da Bacia Representativa de Juatuba.....	26
TABELA 4 - Situação dos Dados Pluviográficos da Bacia Representativa de Juatuba.....	28
TABELA 5 - Pré-seleção de Linigramas de Cheias no Ribeirão Mato Frio.....	32
TABELA 6 - Relação Cota x Vazão do Ribeirão Estiva em Fazenda Solar.....	40
TABELA 7 - Relação Cota x Vazão do Ribeirão Serra Azul em Jardim.....	47
TABELA 8 - Resumo dos Resultados Obtidos na Determinação dos Hidrogramas Unitários do Ribeirão Estiva.....	64
TABELA 9 - Resumo dos Resultados Obtidos na Determinação dos Hidrogramas Unitários do Ribeirão Serra Azul.....	68
TABELA 10 - Comparação das Formas dos Hidrogramas Unitários Obtidos para o Ribeirão Estiva.....	92
TABELA 11 - Comparação das Formas dos Hidrogramas Unitários Obtidos para o Ribeirão Serra Azul.....	94
TABELA 12 - Cálculo de Ct e Cp para a Bacia do Ribeirão Estiva.....	98
TABELA 13 - Cálculo de tc e Cv para a Bacia do Ribeirão Estiva.....	98
TABELA 14 - Cálculo de Ct e Cp para a Bacia do Ribeirão Serra Azul.....	100
TABELA 15 - Cálculo de tc e Cv para a Bacia do Ribeirão Serra Azul.....	100

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Bacia Representativa de Juatuba.....	15
FIGURA 2 - Localização das Estações Linimétricas e Linigráficas.....	21
FIGURA 3 - Localização das Estações Pluviométricas e Pluviográficas.....	23
FIGURA 4 - Linigrama da Cheia de 06.01.84 no Ribeirão Mato Frio em Fazenda Laranjeiras.....	31
FIGURA 5 - Exemplo de Cheia em que houve a superação do limite de registro do linígrafo, na Estação de Fazenda Laranjeiras do Ribeirão Mato Frio.....	33
FIGURA 6 - Linigrama da cheia de 06.01.91 no Ribeirão Estiva em Fazenda Solar.....	35
FIGURA 7 - Seção Transversal do Ribeirão Estiva em Fazenda Solar.....	36
FIGURA 8 - Perfil Longitudinal do Ribeirão Estiva a montante da Estação de Fazenda Solar.....	37
FIGURA 9 - Curva-Chave do Ribeirão Estiva em Fazenda Solar.....	39
FIGURA 10 - Hidrograma do Ribeirão Estiva correspondente ao linigrama da cheia de 06.01.91.....	41
FIGURA 11 - Linigrama da cheia de 06.01.91 no Ribeirão Serra Azul em Jardim.....	43
FIGURA 12 - Seção Transversal do Ribeirão Serra Azul na Estação de Jardim.....	44
FIGURA 13 - Perfil Longitudinal do Ribeirão Serra Azul a montante da Estação de Jardim.....	45
FIGURA 14 - Curva-Chave do Ribeirão Serra Azul em Jardim.....	46
FIGURA 15 - Hidrograma do Ribeirão Serra Azul correspondente ao linigrama da cheia de 06.01.91.....	49
FIGURA 16 - Pluviogramas da chuva de 06.01.91 nas Estações de Serra Azul e Alto da Boa Vista.....	51
FIGURA 17 - Pluviogramas da chuva de 06.01.91 nas Estações de Fazenda dos Cavalos e Jardim.....	52

FIGURA 18 - Áreas de influência das estações pluviométricas e pluviográficas em relação as sub bacias dos Ribeirões Mato Frio, Estiva e Serra Azul....	53
FIGURA 19 - Principais parâmetros de um Hidrograma Unitário.....	58
FIGURA 20 - Critério utilizado para separação da parte referente ao Escoamento Superficial nos hidrogramas.....	61
FIGURA 21 - Hidrograma Unitário Médio do Ribeirão Estiva.....	65
FIGURA 22 - Hidrograma Unitário Médio do Ribeirão Serra Azul.....	69
FIGURA 23 - Hidrogramas Unitários Sintéticos de Snyder x HU médio para o Ribeirão Estiva.....	74
FIGURA 24 - Hidrogramas Unitários Sintéticos de Snyder x HU médio para o Ribeirão S. Azul.....	77
FIGURA 25 - Hidrogramas Unitários Sintéticos de Snyder/Linsley x HU médio para o Ribeirão Estiva.....	79
FIGURA 26 - Hidrogramas Unitários Sintéticos de Snyder/Linsley x HU médio para o Ribeirão Serra Azul.....	80
FIGURA 27 - Hidrogramas Unitários Sintéticos do SCS x HU médio para o Ribeirão Estiva.....	85
FIGURA 28 - Hidrogramas Unitários Sintéticos do SCS x HU médio para o Ribeirão Serra Azul.....	87

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. LEVANTAMENTO E OBTENÇÃO DOS DADOS DISPONÍVEIS.....	13
2.1 A Bacia Representativa de Juatuba.....	14
2.2 A Implantação da Rede Hidrométrica da Bacia Representativa de Juatuba.....	19
2.3 Obtenção dos Dados Disponíveis.....	19
2.3.1 Dados Linigráficos.....	25
2.3.2 Dados Pluviográficos.....	27
3. ANÁLISE E PROCESSAMENTO DOS DADOS.....	29
3.1 Dados Fluviográficos.....	29
3.1.1 Estação de Fazenda Laranjeiras no Ribeirão Mato Frio.....	29
3.1.2 Estação de Fazenda Solar no Ribeirão Estiva.....	30
3.1.3 Estação de Jardim no Ribeirão Serra Azul.....	38
3.2 Dados Pluviográficos e Pluviométricos	48
3.2.1 Eventos de Precipitação Associados aos Hidrogramas de Cheia Escolhidos.....	50
3.2.2 Seleção de Chuvas Intensas.....	54
4. DETERMINAÇÃO DOS HIDROGRAMAS UNITÁRIOS.....	56
4.1 Hidrogramas Unitários Obtidos com Linigramas da Bacia de Juatuba.....	59
4.1.1 Hidrograma Unitário do Ribeirão Estiva em Fazenda Solar.....	59
4.1.2 Hidrograma Unitário do Ribeirão Serra Azul em Jardim.....	63

4.2 Hidrogramas Unitários Sintéticos de Snyder.....	67
4.2.1 HUS's de Snyder para o Ribeirão Estiva.....	72
4.2.2 HUS's de Snyder para o Ribeirão Serra Azul.....	75
4.3 Hidrogramas Unitários Sintéticos de Snyder/Linsley.....	76
4.3.1 HUS's de Snyder/Linsley para o Ribeirão Estiva.....	78
4.3.2 HUS's de Snyder/Linsley para o Ribeirão Serra Azul.....	78
4.4 Hidrogramas Unitários Sintéticos do SCS.....	78
4.4.1 HUS's do SCS para o Ribeirão Estiva.....	83
4.4.2 HUS's do SCS para o Ribeirão Serra Azul.....	86
5. ANÁLISE E COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	88
5.1 Comparação dos Resultados.....	88
5.1.1 Comparação da Vazões Máximas.....	88
5.1.2 Comparação das Formas dos Hidrogramas Unitários.....	91
5.2 Coeficientes e Parâmetros Hidrológicos Obtidos para as Bacias dos Ribeirões Estiva e Serra Azul.....	95
5.2.1 Bacia do Ribeirão Estiva.....	96
5.2.2 Bacia do Ribeirão Serra Azul.....	97
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	102
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106
8. ANEXO.....	109

Fotografias

1. INTRODUÇÃO

A freqüência crescente com que as imagens de cidades e estradas inundadas aparecem nas televisões brasileiras, além de evidenciar planejamentos urbanos e projetos de drenagem deficientes, sugere também a necessidade de uma revisão das metodologias utilizadas na previsão de vazões de enchentes. Como se sabe, a vazão de enchente é um parâmetro de importância fundamental no dimensionamento de obras de engenharia e na definição de cotas seguras contra a ocorrência de inundações. Para a determinação desse parâmetro, torna-se necessário utilizar, portanto, metodologias confiáveis e que apresentem resultados tão próximos quanto possível da realidade, uma vez que esses resultados têm implicações tanto na segurança das pessoas, como no custo econômico das obras.

Em se tratando de estudos hidrológicos, a maior dificuldade encontrada pelos profissionais da área talvez seja, ainda hoje, a carência de séries históricas de dados, que possam dar consistência e confiabilidade aos estudos. Isto se verifica, principalmente, no caso de pequenas bacias, onde os hidrogramas de cheia são de curta duração exigindo, portanto, medições com aparelhos de registro contínuo, que têm um elevado custo operacional. Essa carência de dados resulta na adoção generalizada de *métodos indiretos* para a determinação de vazões de enchente, cujos resultados, quase sempre, apresentam um elevado grau de incerteza.

Para determinar as vazões de enchente, diversos métodos são utilizados no Brasil. A grande maioria, no entanto, foi desenvolvida em outros países, levando em consideração, portanto, as condições específicas locais. A despeito disto, esses métodos são utilizados aqui, muitas vezes, de forma inadequada por não levar em consideração a necessidade de adaptação às características locais ou, simplesmente, pela carência de dados hidrológicos.

Foi considerando esse quadro que se decidiu, com esse trabalho, tentar fazer uma avaliação de alguns dos métodos mais utilizados para determinação de vazões de enchente no país e, particularmente, em Minas Gerais. Para tanto, fez-se um levantamento das metodologias adotadas em órgãos governamentais e empresas de consultoria que atuam no Estado, tendo em vista a definição dos métodos a serem analisados. Após esse levantamento e considerando a carência maior de estudos em bacias hidrográficas de pequeno porte, optou-se por analisar as metodologias que se aplicam a essas condições. Foram escolhidos então os métodos baseados na Teoria do Hidrograma Unitário que, normalmente, são os mais usados, mesmo quando não se dispõe de dados hidrológicos da bacia em estudo.

Inicialmente, seriam determinados os Hidrogramas Unitários de pequenas bacias, com base em dados pluvio-fluviométricos ali observados. Em seguida, seriam calculados, para as mesmas bacias, os Hidrogramas Unitários Sintéticos de Snyder, Snyder/Linsley e do U.S. Soil Conservation Service, que são os *métodos indiretos* geralmente adotados, quando não se dispõe de dados da bacia hidrográfica em estudo. Em seguida, seria feita a comparação dos resultados obtidos a partir de dados hidrológicos observados (método direto) com os resultados obtidos levando em consideração apenas as características físicas das bacias (métodos indiretos).

Em uma segunda etapa, seriam introduzidos na análise os Métodos Estatísticos, com o objetivo de estabelecer uma comparação entre as vazões de enchente com períodos de retorno maiores que o período de observação. Seriam comparadas então as vazões obtidas através da extrapolação da série de vazões máximas observadas e as vazões obtidas com base nas chuvas maximizadas aplicadas aos Hidrogramas Unitários encontrados na primeira etapa do trabalho.

Considerando-se a dificuldade inicial da carência de dados, adotou-se como objeto de estudo a Bacia Hidrográfica de Juatuba localizada a cerca de 50 km de Belo Horizonte que, mesmo sendo formada por áreas de drenagem de pequeno porte, apresentava um volume de dados hidrológicos que pode ser considerado, atualmente, como o melhor conjunto de dados de pequenas bacias existente no Estado de Minas Gerais. Isto se deve, em parte, ao fato desta bacia ter sido escolhida, pelo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica - DNAEE, para ser representativa da região central do estado, o que resultou numa concentração ali de estações de medidas pluvio-fluviométricas e pluvio-fluviográficas bastante satisfatória. Dentro da área de drenagem de cerca de 443 km² da Bacia de Juatuba, foram instaladas, desde a implantação dos programas de medidas, em 1972, cerca de 30 estações fluviométricas (9 linigráficas) e 24 pluviométricas, das quais 10 estavam equipadas com pluviógrafos.

Uma vez definido que o escopo do trabalho seria o estudo em pequenas bacias, priorizaram-se os dados das estações linigráficas e pluviográficas existentes nas sub bacias de Juatuba. Teve início então a fase do levantamento dos dados disponíveis, com pesquisas exaustivas, durante mais de um ano, nos arquivos do DNAEE, da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM e da Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA, que também passou a operar estações hidrométricas na bacia após a construção da Barragem de Serra Azul, em 1982.

Ao término deste levantamento, constatou-se que, apesar de existirem na Bacia de Juatuba estações pluviográficas em operação há mais de 20 anos, as respectivas séries históricas apresentavam falhas em grandes períodos, enquanto as séries de registros linigráficos limitavam-se a 10 anos de observações. Embora este fato prejudicasse a segunda etapa do trabalho, que previa extrapolação das séries históricas, os linigramas registrados ao longo de 10 anos em algumas das sub bacias atendiam os requisitos para a realização da etapa principal do trabalho. Decidiu-se então concentrar os estudos nestas sub bacias e teve início a fase de tratamento dos dados.

Foram selecionados e analisados cerca de 300 hidrogramas de cheias das sub bacias dos Ribeirões Mato Frio, Estiva e Serra Azul, com áreas de drenagem de 10, 31 e 112 km² respectivamente, com vistas a determinação dos Hidrogramas Unitários. Ao final desta análise, tendo-se constatado deficiências nos dados da bacia do Ribeirão Mato Frio, decidiu-se finalmente limitar os estudos às duas outras sub bacias. Foram determinados os respectivos Hidrogramas Unitários e calculados os Hidrogramas Unitários Sintéticos utilizando os *métodos indiretos* já mencionados. A comparação destes resultados, como será visto adiante, permitiu a obtenção de conclusões importantes acerca dos domínios preferenciais de aplicação e das reais potencialidades de cada metodologia analisada.

2. LEVANTAMENTO E OBTENÇÃO DOS DADOS DISPONÍVEIS

Uma vez definido que o estudo seria baseado nos dados da Bacia de Juatuba, teve início a fase referente ao levantamento e à obtenção destes dados.

Conhecendo-se as dificuldades habituais enfrentadas pelos órgãos governamentais responsáveis pelo acervo de dados hidrológicos no Estado de Minas Gerais como, por exemplo, a falta de recursos para a manutenção das redes hidrométricas e para o tratamento de dados, previa-se, já por ocasião do planejamento deste trabalho em meados de 1992, os percalços com os quais iria-se confrontar na fase de obtenção dos dados, mesmo em se tratando da Bacia Representativa de Juatuba. Entretanto, após iniciarem-se os contactos para obtenção dos dados, verificou-se que as dificuldades seriam ainda maiores que as previstas, em razão dos prejuízos causados à administração dos serviços públicos do país, pelo Governo Collor.

O 5º Distrito do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica-DNAEE, principal órgão depositário de dados hidrológicos no Estado, havia sido extinto em Julho de 1990 e toda sua equipe técnica colocada em disponibilidade ou demitida. Como ocorria em outros órgãos públicos, a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais-CPRM, órgão responsável pela implantação e operação da rede hidrométrica do DNAEE, também sofria as conseqüências danosas do Governo Collor, na forma de uma redução drástica dos recursos para manutenção da rede hidrométrica, que acarretou, inclusive, a extinção de uma série de estações de medidas.

Com a extinção do 5º Distrito e a dispensa de, praticamente, todo o seu quadro de pessoal, o acervo de dados do DNAEE em Minas Gerais sofreu as conseqüências de três mudanças do local de depósito, com o agravante, no caso da primeira mudança, de não ter havido o acompanhamento dos técnicos responsáveis pelos arquivos. A dedicação e o cuidado das quatro pessoas que restaram para acompanhar os deslocamentos do grande volume de dados não foram suficientes para evitar o extravio de séries de dados acumuladas ao longo do tempo com todas as dificuldades conhecidas. Nem mesmo os dados da Bacia de Juatuba, que tinham tratamento privilegiado por se tratar de uma bacia com características especiais, ficaram a salvo deste verdadeiro desastre.

O prazo inicialmente previsto para o levantamento dos dados que era de quatro meses, em razão destas dificuldades adicionais, se prolongou por mais de um ano.

Apesar de tudo, graças ao idealismo de técnicos do DNAEE como os Engenheiros Mário da Costa Mendes e Geraldo Teixeira de Souza, principais responsáveis pela criação e implantação do Projeto de Juatuba, pôde-se contar com duas referências importantes (DNAEE, **Bacia Representativa de Juatuba**, 1981 e 1986), que serviram como ponto de partida para o levantamento dos dados. Com base nestas publicações, foram obtidas as primeiras informações sobre as características físicas da bacia e identificada a maior parte das estações hidrométricas ali existentes.

2.1 A Bacia Representativa de Juatuba

A adoção de bacias representativas é um recurso utilizado para contornar a inviabilidade de manterem-se redes hidrométricas ideais, ou seja, redes com grande densidade de estações de boa precisão e que cubram todo o território do estado, ou do país. Assim, é selecionada, dentro de uma região com características físicas homogêneas, uma bacia cujo comportamento hidrológico possa ser considerado representativo das demais ali situadas. Escolhida a bacia, há uma concentração de esforços para a implantação de uma rede hidrométrica com um número de estações de boa qualidade suficiente para a obtenção da maior quantidade possível de informações sobre o comportamento hidrológico da mesma. Depois de um estudo detalhado desses dados, os resultados são extrapolados para outras bacias da região, através de análises de correlação.

Por ter características como formação geológica, cobertura vegetal, relevo e fácies ocupacional, bastante semelhantes a uma vasta região do centro do estado, a Bacia de Juatuba foi escolhida pelo DNAEE para ser representativa desta região. Após essa escolha, portanto, foram feitos investimentos para a implantação ali de uma rede hidrométrica cujos dados, juntamente com parâmetros geológicos e botânicos, viabilizariam tanto o equacionamento do balanço hídrico da bacia, quanto a extrapolação de seus dados.

O Rio Juatuba, afluente da margem esquerda do Rio Paraopeba, um dos principais tributários do Rio São Francisco, é formado pelos Ribeirões Mateus Leme e Serra Azul. Sua bacia hidrográfica abrange uma área de cerca de 443 km² e está localizada nos municípios de Mateus Leme, Igarapé e Itaúna, em Minas Gerais, a uma distância média de 50 km, a oeste de Belo Horizonte. Os dois principais cursos d'água que formam a Bacia de Juatuba - Ribeirões Serra Azul e Mateus Leme - têm áreas de drenagem de cerca de 265 e 155 km² respectivamente. O Rio Juatuba, propriamente dito, percorre um trecho de apenas 3 km desde o encontro de seus formadores até o ponto em que deságua no Rio Paraopeba (ver a Figura 1).

Para caracterizar a Bacia de Juatuba quanto aos aspectos de cobertura vegetal e a natureza do solo, são reproduzidos aqui trechos do estudo "Composição Botânica dos Campos Naturais da Bacia Representativa de Juatuba Municípios de Mateus Leme, Igarapé e Itauna em Minas Gerais":

"...A Bacia de Juatuba é uma bacia típica de cerrados e 'Cerrado' é, em sentido genérico, um grupo de formas de vegetação que se apresentam segundo um gradiente de biomassa. A forma de menor biomassa chamamos campos sujos de cerrado. Seguem-se o Campo Cerrado, o Cerrado e o Cerradão.

Enquanto que os três primeiros termos se enquadram no grupo de formações campestres, o quarto dispõe-se entre as formações florestais (Relatório à EMBRAPA, 1975, p. 3).

Sob o ponto de vista agrônomo, a bacia de Juatuba tem sido pouco explorada. Os principais obstáculos à produção agrícola residem na baixa fertilidade dos solos e na insuficiência hídrica resultante da irregular distribuição pluviométrica da região.

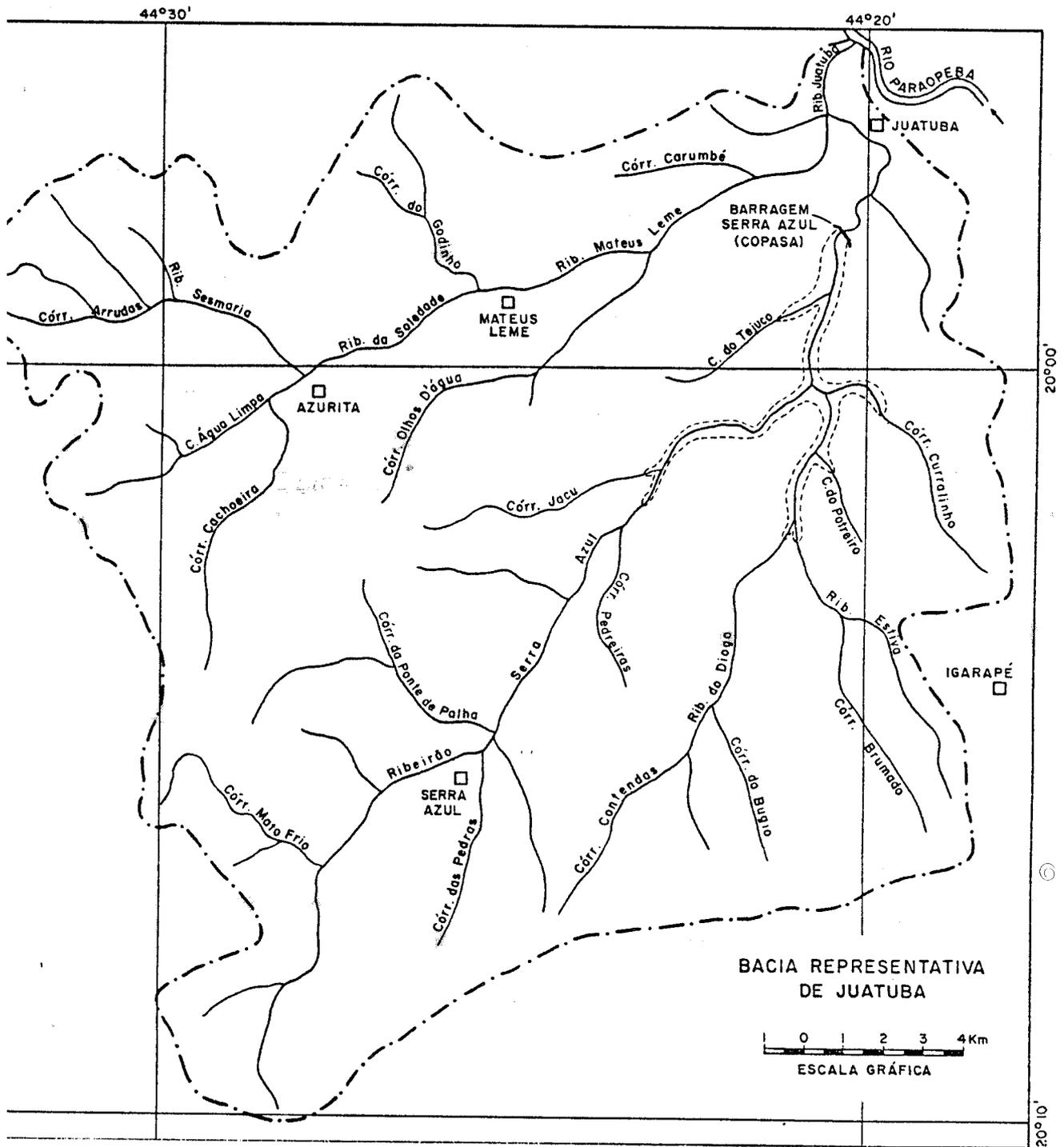


FIGURA 1 - Bacia Representativa de Juatuba

A calagem é necessária e a aplicação de fertilizantes é recomendada para a melhoria das pastagens e exploração racional dos cultivos.

Os campos sujos, caracterizados por poucas e pequenas árvores, vem cedendo lugar para explorações agrícolas mais econômicas como pomares, reflorestamentos e cereais.

Cerca de 10% da área em apreço encontra-se agriculturada, com tendências sensíveis de expansão. [...]

Com uma altitude média de 900 m acima do nível do mar e uma declividade média de 1% apresenta, de acordo com a classificação climática de Koeppen, um clima do tipo Aw, onde:

A = verão tropical com nenhum mês tendo temperatura média abaixo de 18°C e,

W = indicativo de 4 - 6 meses de estação hibernal seca.

Quanto aos aspectos pedológicos e botânicos, os mesmos resultam de uma estimativa visual observada quando da realização de testes de infiltração executados no interior da Bacia e principalmente, de comparações fitogeográficas com áreas homogêneas, já exaustivamente levantadas.

A região que compreende a Bacia Vertente de Juatuba é bastante acidentada. Morfológicamente, apresenta uma topografia baixa e ondulada, com morros em forma semi-esféricos, com encostas suaves.

A maioria de seus solos são profundos, bem drenados, ácidos e de baixa fertilidade natural.

A distribuição fisionômica da vegetação acha-se associada intimamente com o seu gradiente de fertilidade natural e de umidade.

*Assim, nos platôs mais elevados, caracterizados por uma superfície mais antiga, encontram-se solos, geralmente do tipo LATOSSOLO VERMELHO AMARELO PODZOLIZADO. A vegetação desses platôs, são via de regra, de gramíneas e subarbustos, como por exemplo, a *Aristida pallens* Cav [...]*

São plantas rústicas que geralmente resistem ao estio e às grandes alterações de temperatura mediante elementos especiais, as túnicas pelo que receberam de Hackel a designação de gramíneas tunicadas.

*À medida que se desce rumo aos drenos naturais, onde sobre solos hidromórficos, localizam-se as matas ciliares, encontram-se nas encostas suaves, sobre os litossólicos, os cerrados propriamente ditos caracterizados por árvores baixas e retorcidas, em geral dotadas de casca grossa e suberosa. Tais árvores não apresentam grande valor econômico por não serem suficientemente direitas e grossas. A maior delas é a leguminosa *Bowdichia virgiloides* (sucupira) que pode fornecer madeira de qualidade. [...]*

Sob tais árvores, relativamente espaçadas entre si, encontra-se um tapete de gramíneas com subarbustos de folhas grandes e densas.

Entre essas vegetações e as matas ciliares, em solos via de regra mais férteis, como os LATOSSOLOS VERMELHOS ESCUROS, encontra-se uma vegetação mais densa e desenvolvida chamada Cerradão. A flora do Cerradão é uma flora climax.

*Conta com muitas leguminosas, annoáceas, mas caracteriza-se sobretudo, pela abundância de vochysiáceas (*Qualea*, *vochysia*, *salvertia*, *Calystrema*) e Malpigiúáceas (*Byrsonima*). ..." (DNAEE, 1981. cap. 4, p. 21-24)*

Além deste estudo, que se refere à bacia de Juatuba como um todo, foram utilizadas também, para caracterizar a sub bacia do Ribeirão Serra Azul, as seguintes informações obtidas pela COPASA, por ocasião dos estudos para o gerenciamento da bacia hidrográfica:

" [...]

GEOLOGIA

A área drenada pelo Ribeirão Serra Azul e seus tributários, constitui-se litologicamente por rochas dos complexos graníticos e migmatíticos, filíticos e série Minas. Além dessas unidades são descritos na região, corpos intrusivos representados por meta-diabásicos. Capeando as planícies fluviais, às encostas das elevações e os pediplanos ocorrem respectivamente, solos aluvionais, colúvios e coberturas detrito lateríticas.

SOLOS

Os solos das superfícies de aplainamento, topos planos e suavemente ondulados e vertentes dissecadas são constituídos de Latosolo vermelho escuro e Cambisol; xistos argilosos e margas. As superfícies de aplainamento com relevo regional ondulado a forte ondulado são constituídos de Latosolo vermelho escuro, Cambisol e Lateríticos concrecionários; ardósias, filitos ardozianos e siltitos. As superfícies dissecadas de relevo forte ondulado são constituídos de Litosolos, Cambisolos e Lateritos concrecionários.

RELEVO

O relevo apresenta-se em sua maioria variando entre ondulado a íngreme nas seguintes faixas de declividade:

<i>Declividades</i>	<i>Áreas</i>	<i>Área total</i>
<i>%</i>	<i>km²</i>	<i>%</i>
<i>0 - 10</i>	<i>76,2</i>	<i>29</i>
<i>10 - 20</i>	<i>71,8</i>	<i>27</i>
<i>20 - 30</i>	<i>65,6</i>	<i>25</i>
<i>Superior a 30</i>	<i>52,3</i>	<i>19</i>
<i>Total</i>	<i>265,9</i>	<i>100</i>

USO ATUAL DOS SOLOS

O uso atual dos solos se apresenta com predomínio da vegetação típica do cerrado, nos seguintes percentuais, baseado em levantamento aerofotogramétrico de 1977 na escala 1: 40.000

<i>Tipo de cobertura</i>	<i>Área km²</i>	<i>Área total %</i>
<i>Campo cerrado</i>	<i>70,0</i>	<i>26,3</i>
<i>Cerrado</i>	<i>48,4</i>	<i>18,2</i>
<i>Solos Expostos</i>	<i>42,5</i>	<i>16,0</i>
<i>Áreas Agrícolas</i>	<i>28,3</i>	<i>10,6</i>
<i>Campo Limpo ou Pastagem</i>	<i>24,1</i>	<i>9,1</i>
<i>Mata Densa</i>	<i>16,7</i>	<i>6,3</i>
<i>Reflorestamento</i>	<i>14,9</i>	<i>5,6</i>
<i>Cerradão</i>	<i>14,0</i>	<i>5,3</i>
<i>Mata Rala</i>	<i>5,6</i>	<i>2,1</i>
<i>Áreas Urbanas ou Construídas</i>	<i>1,1</i>	<i>0,4</i>
<i>Açudes e Represas</i>	<i>0,3</i>	<i>0,1</i>
<i>Total</i>	<i>265,9</i>	<i>100</i>

[...]

POTENCIAL DE EROSIÃO

O potencial de erosão da região acima de 10 % de declividade, se enquadra entre severa e muito severa.

As regiões constituídas por talus, colúvios, rejeitos de mineração e os solos expostos são altamente susceptíveis à erosão, independentemente dos declives.

HIDROLOGIA

O ano hidrológico é caracterizado por dois períodos distintos: um período chuvoso, outubro/março, em que chove em média 80 % do valor total anual e um semestre seco, abril/setembro, com ocorrência de meses que não há qualquer precipitação.

A precipitação anual média, no período estudado foi de 1402,6 mm, variando entre o mínimo de 1087 mm ao máximo de 1701 mm. Os coeficientes de escoamento variaram entre $C = 0,188$ a $C = 0,408$.

O único local de medição de vazão do rio Serra Azul encontra-se à juzante da Barragem e não mais será representativa ao se iniciar o seu preenchimento.

[...] (COPASA, 1983, b. p. 4-6)

Nas fotos apresentadas no Anexo, no final do trabalho, podem ser observadas algumas das características acima descritas, em vistas parciais da bacia.

2.2 A Implantação da Rede Hidrométrica da Bacia Representativa de Juatuba

A implantação da rede hidrométrica na Bacia de Juatuba foi planejada para ser feita de forma progressiva. No período compreendido entre o ano de 1972, início de operação da rede, e o ano de 1975, haviam sido instaladas na bacia 11 estações fluviométricas, sendo 3 equipadas com linígrafos (Estações de Cândidos, Faz. Sobradinho e Mateus Leme) e 16 estações pluviométricas, das quais 4 estavam equipadas com pluviógrafos (Estações de Alto da Boa Vista, Juatuba, Mateus Leme e Queiroz). Entretanto, já no ano de 1981, por razões diversas, haviam sido extintas 9 estações fluviométricas, incluindo as 3 linigráficas, e 4 pluviométricas, uma das quais equipada com pluviógrafo (Queiroz). Neste mesmo período (1975-1981), foram instaladas outras 7 estações fluviométricas, uma das quais com linígrafo (Faz. Laranjeiras, instalada em Julho de 1979) e 5 novas estações pluviométricas, uma das quais (Bocaina) foi instalada em Dezembro de 1976 e extinta em Novembro de 1980. Ao final do ano de 1981, havia na bacia, portanto, 9 estações fluviométricas (1 linigráfica) e 16 pluviométricas (3 pluviográficas).

No início da década de 80, a COPASA construiu uma barragem no Ribeirão Serra Azul, localizada a aproximadamente 5 km a montante do encontro deste curso d'água com Ribeirão Mateus Leme. Por essa razão foram desativadas 2 estações linigráficas (Cândidos e Fazenda Sobradinho) e 2 linimétricas (Fazenda Curralinho e Vargem Grande), ali existentes.

Em função desse empreendimento, a COPASA desenvolveu uma série de estudos hidrológicos (utilizando, inclusive, *métodos indiretos* para determinar a cheia de projeto do vertedor) e levantamentos de dados na sub bacia do Ribeirão Serra Azul que visavam subsidiar não só o projeto da barragem, mas também o Plano de Gerenciamento da área do futuro reservatório (COPASA, 1977 e 1983 a, b). Como parte deste plano, a COPASA implantou, na sub bacia de Serra Azul, 10 estações fluviométricas (7 linimétricas e 3 linigráficas) e 1 estação climatológica. Em convênio com o DNAEE, a COPASA instalou um linígrafo na estação linimétrica de Jardim, que já existia no Ribeirão Serra Azul e equipou com um pluviógrafo a estação pluviométrica de Pedreiras, que se encontrava dentro da área de proteção da barragem. Posteriormente, esse pluviógrafo foi transferido para a estação pluviométrica de Fazenda Jardim, operada pelo DNAEE. As estações fluviométricas da COPASA entraram em operação em Setembro de 1983 e a estação climatológica, em Janeiro de 1985.

Na Tabela 1 e na Figura 2 que se seguem, são apresentadas informações sobre o período de funcionamento e as localizações, respectivamente, das estações fluviométricas da Bacia Representativa de Juatuba. Na Figura 2 e na Figura 3, na seqüência, são mostradas as mesmas informações referentes às estações pluviométricas

2.3 Obtenção dos dados disponíveis

Terminado o levantamento das estações hidrométricas existentes na bacia e dos respectivos períodos de observação, priorizou-se a obtenção dos dados das estações

TABELA 1 - Estações Fluviométricas da Bacia Representativa de Juatuba

Estação	Curso d'água	Data de Instalação	Data de Extinção	Orgão Responsável	Observações
Azurita	Rib. Sesmaria	04.09.72	12.07.82	DNAEE	
Azurita	Rib. Soledade	05.09.72	10.07.82	DNAEE	
Cândidos	Rib. Serra Azul	01.11.72	31.08.80	DNAEE	c/ linígrafo
Faz. Curralinho	Cór. Curralinho	12.09.72	17.08.79	DNAEE	
Faz. do Mosquito	Cór. Brumado	06.10.72	31.12.77	DNAEE	
Faz. do Roque	Rib. Diogo	02.09.72	31.12.77	DNAEE	
Faz. Sesmaria	Cór. Arrudas	05.09.72	30.04.79	DNAEE	
Faz. Sobradinho	Rib. Serra Azul	01.11.72	20.07.81	DNAEE	c/ linígrafo
Jusante Carrapato	Rib. Serra Azul	02.09.72	26.06.78	DNAEE	
Mateus Leme	Rib. Mateus Leme	02.11.72	09.08.79	DNAEE	c/ liníg. 10/73
Vargem Grande	Rib. Diogo	13.09.72	22.07.81	DNAEE	
Faz. Laranjeiras	Rib. Mato Frio	25.08.76		DNAEE	c/ liníg. 7/79
Faz. Pasto Grande	Rib. Serra Azul	24.05.78		DNAEE	
Jardim	Rib. Serra Azul	30.09.78		DNAEE/ COPASA	c/ liníg. 10/83
Varginha	Cór. Contendas	10.12.77	08.07.82	DNAEE	
Azurita	Rib. Cachoeira	22.09.79	01.07.88	DNAEE	
M. Leme Montante	Rib. Mateus Leme	09.08.79	09.07.82	DNAEE	
Suzana	Rib. Mateus Leme	19.01.80		DNAEE	
Sítio do Nazário	Cór. Curralinho	Out. 1983		COPASA	
Vicente Nunes	Rib. Jacu	Out. 1983		COPASA	
Vertedouro	Rib. Jacu	Out. 1983		COPASA	
Meio Fio	Cór. Brejo	Out. 1983		COPASA	
Nelson Pimenta	Cór. Pedreiras	Out. 1983		COPASA	
Hélio	Rib. Diogo	Out. 1983		COPASA	liníg. em 1991
Estância S. Azul	Rib. Diogo	Out. 1983	Mai 1988	COPASA	c/ linígrafo
Faz. Solar	Rib. Estiva	Out. 1983		COPASA	c/ linígrafo
Zenon	Cór. Potreiro	Out. 1983		COPASA	
Tomada d'água	Barragem S. Azul	Nov. 1983		COPASA	c/ linígrafo
Bom Jardim	Rib. Sesmaria	13.07.82		DNAEE	
M. Leme Aldeia	Rib. Mateus Leme	09.07.82		DNAEE	

TABELA 2 - Estações Pluviométricas da Bacia Representativa de Juatuba

Estação	Data de Instalação	Data de Extinção	Orgão Responsável	Observações
1. Alto da Boa Vista	01.10.72		DNAEE	c/ pluviógrafo
2. Barro Preto	20.05.70		DNAEE	
3. Calambau	20.05.70		DNAEE	
4. Faz. Água Limpa	21.05.70	29.02.88	DNAEE	
5. Faz. Coqueiros	09.04.74		DNAEE	
6. Faz. Curralinho	08.12.72		DNAEE	
7. Faz. do Mosquito	08.09.72	28.02.86	DNAEE	
7A. Esc. Veterinária	01.03.86		DNAEE	
8. Faz. Sesmaria	05.09.72	30.04.79	DNAEE	
9. Faz. Vista Alegre	21.05.70		DNAEE	
10. Juatuba	17.06.70		DNAEE	c/ pluviógrafo
11. Jusante Carrapato	08.12.70	26.06.78	DNAEE	
12. Mateus Leme I	24.03.41	31.12.76	DNAEE	
13. Mateus Leme II	13.09.72		DNAEE	c/ pluviógrafo
14. Queiroz	16.06.70	13.08.79	DNAEE	c/ pluvióg.(transf. p/ Pedreira em 79)
15. Pedreira	30.05.70	19.02.87	DNAEE	c/ pluvióg.(transf. p/ Jardim em 82)
16. Serra Azul	07.12.72		DNAEE	c/ pluvióg. em 87
17. Bocaina	21.12.76	04.11.80	DNAEE	
18. Estiva	29.12.76		DNAEE	
19. Faz. Laranjeiras	25.03.78		DNAEE	c/ pluvióg. em 91
20. Serra da Saudade	24.01.78		DNAEE	
21. Tijuco	23.12.76	25.07.82	DNAEE	
22. Jardim	27.12.82		DNAEE	c/ pluvióg. em 82
23. Faz. dos Cavalos	Jan. de 1985		COPASA	c/ pluviógrafo
24. Faz. Santa Rita	15.02.88		DNAEE	c/ pluviógrafo

TABELA 2 - Estações Pluviométricas da Bacia Representativa de Juatuba

Estação	Data de Instalação	Data de Extinção	Orgão Responsável	Observações
1. Alto da Boa Vista	01.10.72		DNAEE	c/ pluviógrafo
2. Barro Preto	20.05.70		DNAEE	
3. Calambau	20.05.70		DNAEE	
4. Faz. Água Limpa	21.05.70	29.02.88	DNAEE	
5. Faz. Coqueiros	09.04.74		DNAEE	
6. Faz. Curralinho	08.12.72		DNAEE	
7. Faz. do Mosquito	08.09.72	28.02.86	DNAEE	
7A. Esc. Veterinária	01.03.86		DNAEE	
8. Faz. Sesmaria	05.09.72	30.04.79	DNAEE	
9. Faz. Vista Alegre	21.05.70		DNAEE	
10. Juatuba	17.06.70		DNAEE	c/ pluviógrafo
11. Jusante Carrapato	08.12.70	26.06.78	DNAEE	
12. Mateus Leme I	24.03.41	31.12.76	DNAEE	
13. Mateus Leme II	13.09.72		DNAEE	c/ pluviógrafo
14. Queiroz	16.06.70	13.08.79	DNAEE	c/ pluvióg.(transf. p/ Pedreira em 79)
15. Pedreira	30.05.70	19.02.87	DNAEE	c/ pluvióg.(transf. p/ Jardim em 82)
16. Serra Azul	07.12.72		DNAEE	c/ pluvióg. em 87
17. Bocaina	21.12.76	04.11.80	DNAEE	
18. Estiva	29.12.76		DNAEE	
19. Faz. Laranjeiras	25.03.78		DNAEE	c/ pluvióg. em 91
20. Serra da Saudade	24.01.78		DNAEE	
21. Tijuco	23.12.76	25.07.82	DNAEE	
22. Jardim	27.12.82		DNAEE	c/ pluvióg. em 82
23. Faz. dos Cavalos	Jan. de 1985		COPASA	c/ pluviógrafo
24. Faz. Santa Rita	15.02.88		DNAEE	c/ pluviógrafo

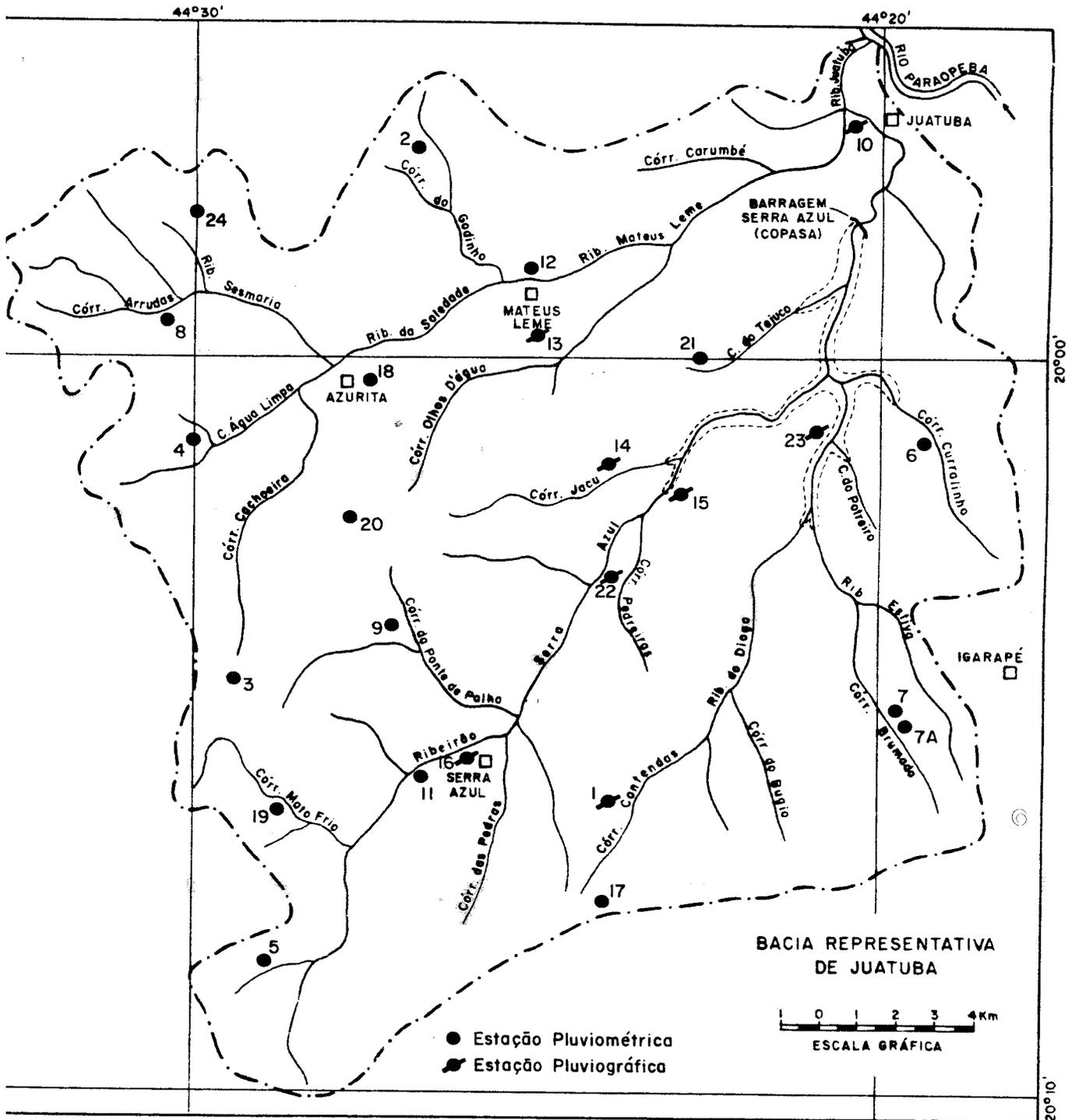


FIGURA 3 - Localização das Estações Pluviométricas e Pluviográficas

que dispunham de registro contínuo e cujos períodos de funcionamento fossem os maiores.

Considerando esses critérios, deu-se início à pesquisa nos arquivos do DNAEE, da COPASA e da CPRM (que passou a guardar os dados da rede do DNAEE obtidos a partir 1990, quando foi extinto o 5º Distrito), para escolher as estações que seriam utilizadas e para a obtenção dos respectivos dados. Foram examinados fichas descritivas e analíticas, históricos, boletins técnicos, relatórios de inspeção, listagem de dados e a situação em que se encontravam os registros das seguintes estações hidrométricas pré-selecionadas:

- **Estações Linigráficas:** Cândidos, Fazenda Sobradinho, Mateus Leme e Fazenda Laranjeiras, do DNAEE; e Fazenda Solar, Estância Serra Azul e Jardim, da COPASA.
- **Estações Pluviográficas:** Alto da Boa Vista, Juatuba, Mateus Leme, Serra Azul e Jardim, do DNAEE; e Fazenda dos Cavalos da COPASA.

Concluída a fase inicial da pesquisa, constatou-se uma série de dificuldades quanto a disponibilidade dos dados das estações pré-selecionadas que, como será visto adiante, terminaram por definir o direcionamento do trabalho.

Com relação aos dados das estações do DNAEE, as principais dificuldades foram o extravio de dados em razão das mudanças de depósito já mencionadas e o fato de os dados relativos ao período de 1986 a 1990 da maioria das estações do 5º Distrito, inclusive as linigráficas, terem sido enviados para tratamento na Companhia Auxiliar de Empresas Elétricas Brasileiras - CAEEB, em Brasília.

Para superar a dificuldade do extravio dos dados, contou-se com a boa vontade e o auxílio dos técnicos remanescentes do antigo 5º Distrito, atualmente lotados na Delegacia do Ministério de Minas e Energia, em Minas Gerais. Juntamente com esses técnicos, fez-se uma busca exaustiva nos arquivos do órgão, na tentativa, relativamente bem sucedida, de localizar os dados que interessavam para a realização deste trabalho.

Quanto aos dados enviados a Brasília, não foi possível apurar sequer se foram tratados, mesmo porque, com a política de "terra arrasada" do Governo Collor, a CAAEB também tinha sido extinta. Na tentativa de localizar esses dados, foram mantidos contactos com dirigentes do DNAEE em Brasília, os quais informaram que, com a extinção da CAEEB e mudanças havidas também nas instalações do próprio DNAEE em Brasília, encontrava-se em andamento, no final de 1993, um processo para recuperar e reorganizar os documentos ali existentes. Todavia, em meados de 1994 ainda não havia sido possível dispor-se desses dados.

No tocante aos dados da estação da COPASA, as dificuldades encontradas foram menores. Após um levantamento feito nos arquivos da Divisão de Captação e Adução - DVCA da Superintendência Metropolitana - SPMT, nos arquivos da Divisão de Controle e Monitoramento - DVCM da Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos - SPDR e nos arquivos da SCSO/SSA em Juatuba, foram localizadas as séries completas dos registros linigráficos das Estações Fazenda Solar, Estância Serra Azul e Jardim, além dos registros pluviográficos completos da Estação Climatológica denominada Fazenda dos Cavalos. Para executar esse levantamento, contou-se também com a boa vontade e a ajuda das equipes técnicas da COPASA lotadas nas unidades acima mencionadas.

Da mesma forma que havia ocorrido no DNAEE e na COPASA, também na CPRM contou-se com a solicitude e colaboração de seus técnicos para a obtenção das informações, referentes ao período 1990-1993, das estações da rede DNAEE/CPRM.

Terminado o levantamento da situação em que se encontravam os dados no final de 1993, delineou-se o quadro de disponibilidade dos dados, com o qual poderia-se contar para a realização do trabalho.

2.3.1 Dados Linigráficos

Como foi dito anteriormente, as estações linigráficas do DNAEE de Mateus Leme, Cândidos e Fazenda Sobradinho foram instaladas em 1972 e desativadas em 1979, 1980 e 1981, respectivamente. Contudo, em razão de falhas nos equipamentos e extravio de registros, as respectivas séries de linigramas limitavam-se a períodos de apenas 6 anos hidrológicos. Além destas três estações, o DNAEE instalou na sub bacia do Ribeirão Mato Frio, em Fazenda Laranjeiras, uma quarta estação, que entrou em funcionamento em Julho de 1979 e continuava em operação em meados de 1993. Embora o período de observações cobrisse 14 anos hidrológicos, foram localizados os linigramas correspondentes a apenas 10 anos.

Já as estações linigráficas da COPASA, foram instaladas em Outubro de 1983 e, com exceção da Estação de Estância Serra Azul desativada em 1988, continuavam em operação por ocasião do levantamento dos dados, em 1993. Como não houve interrupções de registro durante todo o período, pôde-se dispor das séries completas de linigramas das estações de Fazenda Solar e Jardim, que perfaziam um total de 10 anos hidrológicos de observações, em cada estação.

Deve-se observar que, apesar de ter extinto, em Maio de 1988, a estação de Estância Serra Azul, que se encontrava instalada no Ribeirão Diogo, a COPASA instalou, em 1991, outro linígrafo no mesmo curso d'água, na Estação Hélio, que funcionava anteriormente apenas com régua linimétrica. Em 1993, também esta estação continuava em funcionamento.

Na Tabela 3 mostrada a seguir, é apresentado um resumo das informações disponíveis sobre cada uma das estações linigráficas.

Considerando-se que o objetivo inicial proposto era o estudo de pequenas bacias e levando em conta os maiores períodos de observações disponíveis, assim como a qualidade dos dados, decidiu-se fixar os estudos nas estações de: **Fazenda Laranjeiras**, no Ribeirão Mato Frio, com área de drenagem de 10 km²; **Fazenda Solar**, no Ribeirão Estiva, com área de drenagem de 31,5 km² e **Jardim**, no Ribeirão Serra Azul, com área de drenagem de 112,5 km². Assim, dentro da faixa considerada como sendo de "pequenas bacias", teria-se uma gradação interessante para avaliar, inclusive, a influência da variação da área de drenagem da bacia, no fenômeno da cheia. Foram obtidos então, todos os dados disponíveis dessas estações e teve início o seu tratamento, visando a aplicação das metodologias para determinação de vazões de enchente, como será visto no capítulo seguinte.

TABELA 3 - Situação dos dados linigráficos da Bacia Representativa de Juatuba

Estação Linigráfica	Curso D'Água	Área de Drenagem	Órgão Responsável	Data de Instalação	Data de Extinção	Nº de anos c/ registro	Dados Disponíveis
Cândidos	Rib. Serra Azul	265 km ²	DNAEE	01.11.72	31.08.80	6 anos hidrológicos	Linigramas de set/73 a nov/79 c/ falhas de abr a jul de 1978
Faz. Sobradinho	Rib. Serra Azul	139 km ²	DNAEE	01.11.72	20.07.81	6 anos hidrológicos	Linigramas de set/73 a dez/79 c/ falhas em out/74 e abr, mai, dez/79
Mateus Leme	Rib. Mateus Leme	110 km ²	DNAEE	02.11.72	09.08.79	6 anos hidrológicos	Linigramas de out/73 a jul/79 c/ falhas em nov/78
Faz. Laranjeiras	Rib. Mato Frio	10 km ²	DNAEE	25.08.76		10 anos hidrológicos	Linigramas de jul/79 a jun/93 c/ falhas de nov/86 a mar/88, dez/88 a jan/89 e de set/89 a mar/90
Faz. Solar	Rib. Estiva	31 km ²	COPASA	Out. de 1983		10 anos hidrológicos	Linigramas de out/83 a jun/93
Estância S. Azul	Rib. Diogo	25 km ²	COPASA	Out. de 1983	Mai de 1988	5 anos hidrológicos	Linigramas de out./83 a mai/88
Hélio	Rib. Diogo	30 km ²	COPASA	Set. de 1991		2 anos hidrológicos	Linigramas de set/91 a jun/93
Jardim	Rib. Serra Azul	112 km ²	DNAEE/ COPASA	Out. de 1983		10 anos hidrológicos	Linigramas de out/83 a jun/93

2.3.2 Dados Pluviográficos

Com relação às seis estações pluviográficas que tinham os maiores períodos de observações - Juatuba, Mateus Leme, Alto da Boa Vista, Serra Azul, Jardim (DNAEE/CPRM) e Fazenda dos Cavalos (COPASA), foram selecionadas as quatro últimas em razão de estarem mais próximas às três sub bacias escolhidas para a realização do estudo.

Dessas quatro estações, a que tinha maior período de observações (21 anos hidrológicos) e que estava situada em posição estratégica, na parte mais a montante da sub bacia de Serra Azul, era a Estação Alto da Boa Vista. Contudo, concluída a pesquisa dos dados disponíveis, foram localizados os dados apenas do período de Novembro de 1990 a Junho de 1993, que estavam na CPRM. A parte restante dos dados (1972-1990) não foi encontrada nos arquivos do antigo 5º Distrito do DNAEE em Minas Gerais, tendo-se concluído, no final da pesquisa, ser provável que esses dados se encontrem em Brasília.

Quanto às outras duas estações pluviográficas do DNAEE, Serra Azul e Jardim, foram instaladas em Agosto de 1987 e Dezembro de 1982, respectivamente. Destas estações, foram localizados os pluviogramas referentes ao período de Novembro de 1990 a Junho de 1993, que estavam na CPRM e os pluviogramas relativos ao período de Janeiro de 1983 a Novembro de 1986, da Estação de Jardim. Com relação à Estação Fazenda dos Cavalos, operada pela COPASA, dispunha-se da série completa dos pluviogramas, abrangendo o período de Janeiro de 1985 a Junho de 1993.

Na Tabela 4 é apresentado um resumo da situação em que se encontravam os dados das principais estações pluviográficas da Bacia de Juatuba. Além desses dados pluviográficos, contava-se também com as alturas diárias de chuva, para todo o período correspondente aos registros linigráficos, das estações pluviométricas de Fazenda do Mosquito, Escola de Veterinária, Fazenda Coqueiros, Fazenda Laranjeiras e Fazenda Vista Alegre, situadas nas proximidades das sub bacias escolhidas.

Considerando a hipótese de que a parte faltante dos dados pudesse ser encontrada em Brasília, foi enviado um ofício aos dirigentes do órgão na Capital Federal, solicitando por empréstimo os pluviogramas que porventura lá estivessem, para que se pudesse realizar o estudo com a série completa dos dados. Em Dezembro de 1993, a Coordenadoria Geral de Recursos Hídricos - CGRH do DNAEE, em resposta a este ofício, informou estarem-se processando a recuperação e a reorganização dos dados que lá se encontravam. Como, em meados de 1994, ainda não era possível dispor-se desses dados, decidiu-se concluir o trabalho com base apenas nos dados já obtidos.

Embora não se dispusesse de séries completas de uma mesma estação pluviográfica, cobrindo todo o período correspondente aos registros das estações linigráficas escolhidas, o conjunto dos dados disponíveis, considerando as quatro estações pluviográficas, viabilizava a realização da parte principal do trabalho, que previa a comparação das metodologias dentro do universo dos dados observados. Apenas a segunda parte ficava prejudicada em razão da impossibilidade de dispor-se de séries históricas com período de observação suficiente para que se pudesse fazer, de forma consistente, as extrapolações estatísticas.

Assim sendo, após a obtenção dos pluviogramas de interesse para o estudo, procedeu-se ao tratamento dos mesmos, que será abordado no capítulo seguinte.

TABELA 4 - Situação dos Dados Pluviográficos da Bacia Representativa de Juatuba

Estação	Orgão Responsável	Data da Instalação	Data da Extinção	Nº de anos com registro	Dados Disponíveis
Alto da Boa Vista	DNAEE	01.10.72		21 anos hidrológicos	Pluviogramas de Nov./ 90 a Jun./ 93
Juatuba	DNAEE	17.06.70		23 anos hidrológicos	Pluviogramas de Nov./ 90 a Jun./ 93
Mateus Leme II	DNAEE	13.09.72		21 anos hidrológicos	Pluviogramas de Nov./ 90 a Jun./ 93
Queiroz	DNAEE	16.06.70	13.08.79	9 anos hidrológicos	---
Pedreira	DNAEE / COPASA	06.09.79	27.12.82	3 anos hidrológicos	---
Jardim	DNAEE	27.12.82		11 anos hidrológicos	Pluviogramas de Jan./83 a Nov/86 e deNov/90aJun/93
Serra Azul	DNAEE	01.08.87		6 anos hidrológicos	Pluviogramas de Nov./ 90 a Jun./ 93
Fazenda dos Cavalos	COPASA	Janeiro de 1985		8 anos hidrológicos	Pluviogramas de Jan./ 85 a Jun./ 93

3. ANÁLISE E PROCESSAMENTO DOS DADOS

Após a definição das estações pluvio-fluviográficas que seriam utilizadas no trabalho, foram realizadas duas visitas ao campo para o reconhecimento da bacia e das estações escolhidas. Uma vez obtidos os respectivos dados, teve início a fase referente à análise e ao processamento desses dados.

Foram examinados todos os linigramas disponíveis das estações de Fazenda Laranjeiras, Fazenda Solar, Jardim e pré-selecionados cerca de 300 linigramas com registros de cheias. Considerando-se que o objetivo era a determinação dos Hidrogramas Unitários, adotou-se como critério de escolha, os linigramas que apresentavam eventos de cheia de maiores magnitudes e que tinham ocorrido isoladamente.

Para a transformação dos linigramas (nível d'água x tempo) em hidrogramas (vazão x tempo) foram analisados também as séries de medição de vazão de cada estação, com vistas ao estabelecimento da relação entre os níveis d'água e as vazões (curva-chave).

Quanto aos dados pluviográficos, a análise visava, não só a seleção dos eventos de chuva que deram origem às cheias escolhidas para a realização do trabalho, mas também a seleção das ocorrências pluviométricas que pudessem ser caracterizadas como "Chuvas Intensas", tendo em vista o futuro estabelecimento de uma Equação Intensidade x Duração x Frequência para a Bacia de Juatuba.

Nesta fase do trabalho, contou-se com a colaboração do bolsista Webbert S. Caldeira, aluno do curso de graduação em Engenharia Civil da EEUFMG, no estabelecimento das curvas-chave das estações e para a extração das "Chuvas Intensas" nos pluviogramas disponíveis. A seguir são apresentados maiores detalhes sobre a análise e processamento dos dados e as conclusões obtidas no final desta fase.

3.1 Dados Fluviográficos

Conforme mencionado anteriormente, das oito estações fluviográficas já existentes na bacia, foram selecionadas três, em função de suas áreas de drenagem, do maior período de observações e considerando também a qualidade e a disponibilidade dos respectivos dados.

3.1.1 Estação de Fazenda Laranjeiras no Ribeirão Mato Frio

Esta estação, por ter menor área de drenagem (10 km²) e ter funcionado durante o maior período de observações (1979 - 1993), foi priorizada nesta fase do estudo (ver sua localização na Figura 2). Embora se dispusesse dos linigramas de apenas 10, dos 14 anos hidrológicos de registro, considerando a importância desta estação para o estudo (são raros os registros em bacias com áreas de drenagem deste porte),

continuou-se tentando obter a série completa de linigramas até que se constatasse duas dificuldades que inviabilizaram a utilização dos dados desta estação.

Após o exame de todos os linigramas disponíveis, foram pré-selecionados cerca de 130 registros de cheias. Na Figura 4 e na Tabela 5, mostradas a seguir, são apresentados, a título de exemplo, um linigrama e um trecho da lista com as características principais dos linigramas de cheia escolhidos.

Concluído este exame preliminar, constatou-se a primeira dificuldade. Os níveis máximos das maiores enchentes ocorridas no período não puderam ser registrados, em razão de terem superado os limites de registro do linígrafo, que estava regulado para um NA (nível d'água) máximo igual a 2,00 m. A Figura 5, na seqüência, mostra um exemplo de uma ocasião em que este fato ocorreu. Pode-se observar neste linigrama, inclusive, a ocorrência de interrupção no registro do NA causado, provavelmente, pela obstrução do sistema de esgotamento do poço do linígrafo. Isto ocorreu, nesta estação, com uma frequência relativamente grande, principalmente na parte descendente dos linigramas, prejudicando o registro perfeito dos eventos de cheia.

Embora esses fatos prejudicassem o estudo dos hidrogramas de enchente ali observados, essa dificuldade poderia ser contornada com a reconstituição dos registros defeituosos, através de comparação com outros eventos de cheia, registrados na própria estação de forma perfeita.

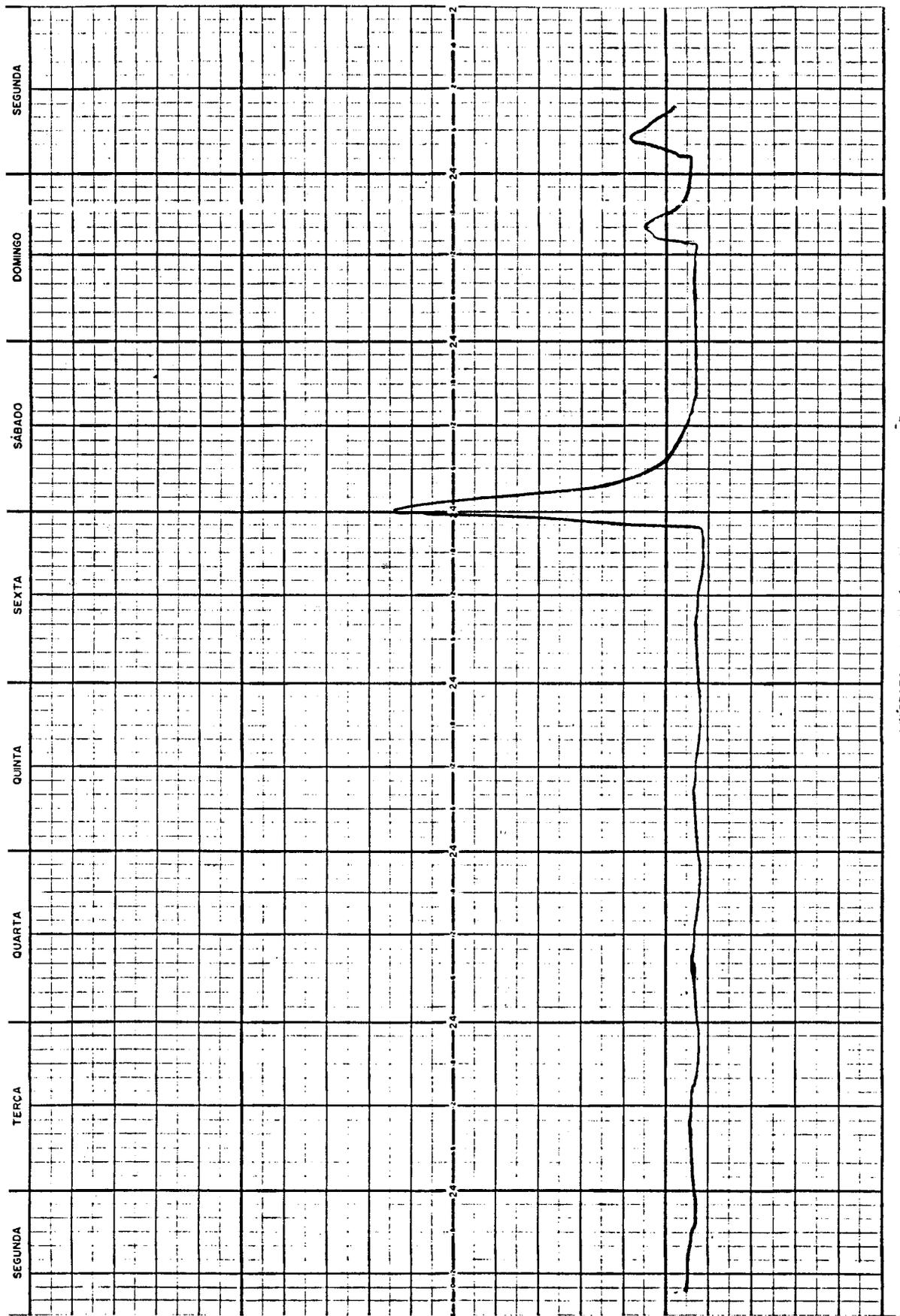
Contudo, após o exame da série de medições de vazão realizados na estação, para o estabelecimento da curva-chave, constatou-se outra dificuldade que praticamente inviabilizava a utilização dos dados desta estação, neste estudo. Apesar de dispor-se do resultado de 136 medições de vazão, realizadas no período de 1976 a 1993, estas medições foram feitas para valores do nível d'água entre 0,18 e 0,60 m, enquanto os níveis d'água máximos observados foram superiores a 2,00m. Este fato impedia o estabelecimento da curva-chave, de forma consistente, para o intervalo de ocorrência da grande maioria das cheias registradas na estação. Uma solução possível seria a realização de uma campanha de medições de vazão durante o período chuvoso. Entretanto, como estas dificuldades foram constatadas em meados de 1993, portanto em período seco, a solução demandaria, pelo menos, seis meses de espera. Assim sendo, optou-se por excluir esta estação do estudo, fixando-se apenas nas duas outras que eram operadas pela COPASA e cujos dados não apresentavam nenhum desses problemas.

Tendo em vista o futuro aproveitamento dos dados desta estação, recomenda-se, portanto, a realização de campanhas de medição de vazão por ocasião da ocorrência de cheias neste curso d'água, assim como a mudança de escala do linígrafo, de forma a permitir o registro dos valores extremos do nível d'água.

3.1.2 Estação de Fazenda Solar no Ribeirão Estiva

Esta estação linigráfica foi instalada pela COPASA, no final do mês de Setembro de 1983. Está localizada sob a ponte da estrada Igarapé - Mateus Leme, em um trecho do Ribeirão Estiva cuja área de drenagem é de cerca de 31,5 km² (ver a Figura 2, já apresentada, e as Fotos 5 e 6, no final do trabalho).

Conforme mencionado no capítulo anterior, foram obtidos todos os registros linigráficos desta estação, que operou ininterruptamente desde sua instalação. Após o exame desses linigramas, foram pré-selecionados, da mesma forma que havia sido feito

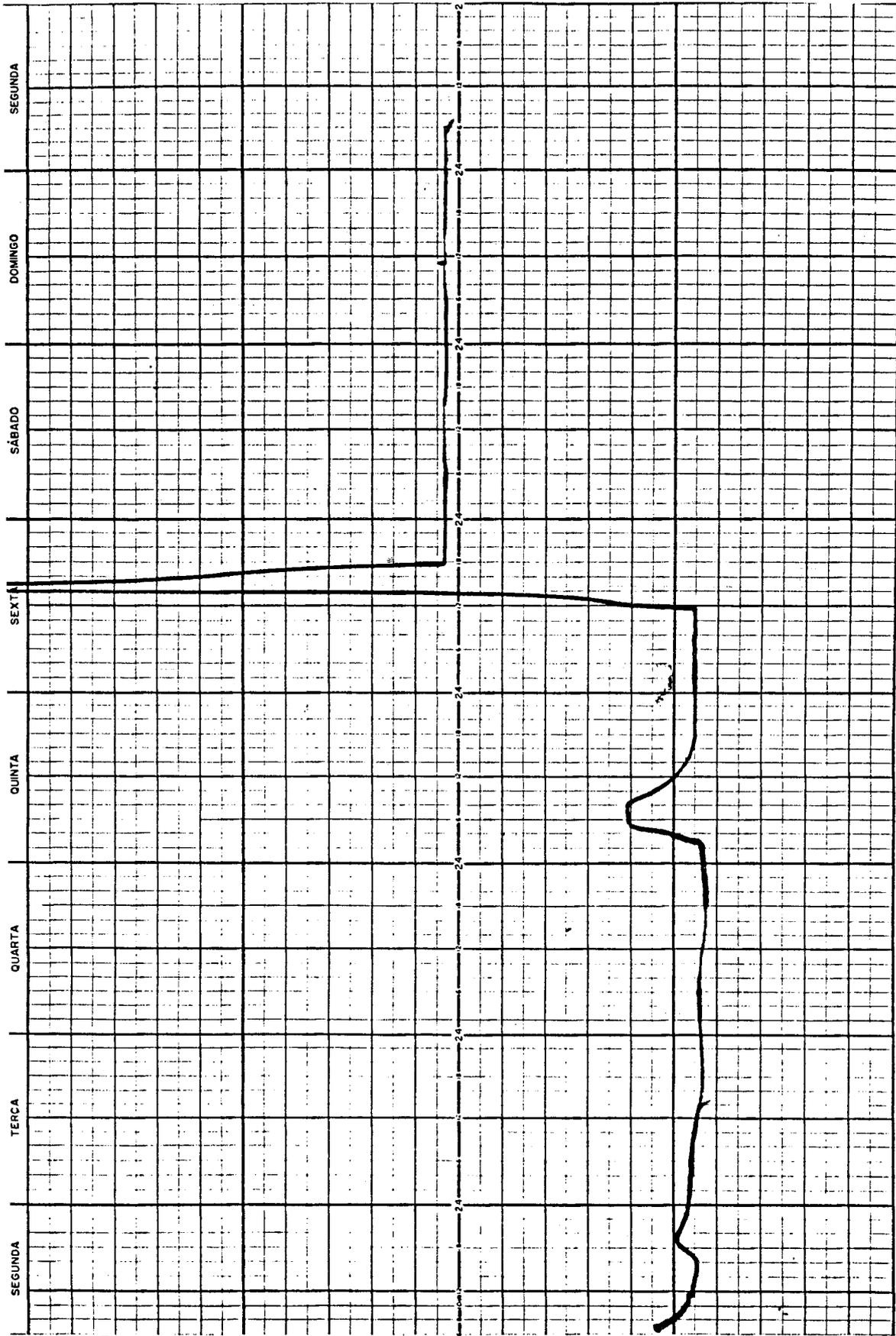


RIO - R. MATO F. RIO
 PÓSTO - F. Laranjeiras
 Nº _____
 COLOCADO EM 2/01/84 AS 9^h HORAS MRA 47.5
 RETIRADO EM 9/07/84 AS 9^h HORAS MRA 48.5
 OBSERVADOR *Almeida*
NIVEL D'ÁGUA EM METROS

FIGURA 4 - Linigrama de Cheia de 06.01.84 no Ribeirão Mato Frio em Fazenda Laranjeiras

TABELA 5 - Pré-seleção de Linigramas de Cheias do Ribeirão Mato Frio

Ano Hidrológico	Data	Cota Máxima (cm)	Cota Base (cm)	Tempo de Base (horas)	Observações
1982-83	25-26.12.82	192	30	15	Hmax
	02-03.01.83	153	50	12	linígrafo agarrado
	03-04.01.83	174	45	14	linígrafo agarrado
	19.01.83	175	40	?	hid.complexo
	21.01.83	165	?	?	linígrafo agarrado
	24.01.83	113	51	10	Boa Forma
	25.01.83	138	55	?	linígrafo agarrado
	10.02.83	158 e 154	50	?	hid. complexo
	01-02.03.83	171	45	20	hid. complexo
	22.03.83	168	51	10	
	10-11.04.83	178	40	?	linígrafo agarrado
1983-84	23.12.83	198	45	12	Hmax e Boa Forma
	23-24.12.83	104	50	10	
	06-07.01.84	114	42	14	Boa Forma
	10.01.84	102	42	12	
	04.04.84	137	40	14	Boa Forma
1984-85	20.11.84	135	35	20	
	08.12.84	>200	55	?	Hmax e linig.agarrado
	08.01.85	172	55	?	linig.desreg./agarrado
	26.01.85	?	?	10	linig.desregulado
	28.02.85	177	45	?	linígrafo agarrado
	08.03.85	>200	45	?	Hmax e linig.agarrado
	15.03.85	130	58	10	



LINÍGRAFO IH - Medido 5

RIO: Rio Mato Grosso
 Pósto: P. Borraçagem
 OBSERVADOR: Manoel Espavada Borraçagem
 Nível: 2,00 metros
 COLOCADO EM: 04/10/85 AS: 5 HORAS
 RETIRADO EM: 11/10/85 AS: 53 HORAS

FIGURA 5 - Exemplo de Cheia em que houve a superação do limite de registro do linígrafo, na Estação Faz. Laranjeiras do Rib. Mato Frio

para a estação de Fazenda Laranjeiras, cerca de 80 de registros de cheia, considerando-se sempre, como critério de seleção, as maiores cheias observadas e os eventos de ocorrência isolada. Na Figura 6, que se segue, é mostrado um dos linigramas, correspondente à cheia do dia 06.01.91, que foi uma das maiores observadas nesta estação.

Quanto a série de medições de vazão desta estação, dispunha-se do resultado de 74 medições, realizadas durante o período de Setembro de 1983 a Dezembro de 1993, cobrindo o intervalo do nível d'água de 1,35 a 2,88 m. Comparando este intervalo com aquele em que, efetivamente, ocorreram as variações de nível d'água durante os 10 anos de observação - de 1,30 a 3,98 m, pode-se dizer que a série de medições de vazão era suficiente para o estabelecimento da curva-chave da seção. Principalmente, quando se considera que muito raramente dispõe-se de medições de vazão no momento da ocorrência dos valores extremos dos níveis d'água e considerando também, o fato de que, na maioria das cheias pré-selecionadas, o nível d'água ficou abaixo de 3,00 m.

Procedeu-se então um estudo para o estabelecimento da curva-chave da estação, correlacionando os parâmetros, cota do NA e vazão, para o intervalo que se dispunha de medidas e, posteriormente, fazendo a extrapolação para os níveis d'água superiores a 2,88 m. Para o trecho com medições de vazão, foi feita uma análise de regressão para determinar-se a equação matemática que melhor se ajustava à série de pontos cota x vazão, cujo coeficiente de correlação era de 0,958. Foram feitas tentativas com métodos logarítmicos, mas o melhor ajuste foi obtido com a equação polinomial:

$$Q = -1,323 - 0,259 H + 0,779 H^2 \quad (3.1)$$

onde Q é a vazão, em m^3/s , e H a cota do nível d'água, em metros.

Para estabelecer-se a relação cota x vazão no trecho acima do nível de 2,88m foi feito um estudo utilizando os métodos de Chézy e Manning, que são usuais na Hidráulica para o cálculo de vazões em canais abertos (AZEVEDO NETTO e ALVAREZ, 1982). Como estes métodos levam em conta, principalmente, parâmetros como área da seção transversal e a declividade do canal, tornou-se necessário o levantamento destes dados. Para tanto, contou-se mais uma vez com a boa vontade da equipe técnica da Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos - SPDR da COPASA, que se prontificou a executar o levantamento topográfico da seção transversal, não só desta estação, como também da Estação de Jardim, no Ribeirão Serra Azul. Nas Figuras 7 e 8, que se seguem, são apresentadas a seção transversal do Ribeirão Estiva na Estação Fazenda Solar e seu perfil longitudinal a montante da estação, obtido com base na Folha SF - 23-X-A-11-1 (Igarapé) Escala 1:50.000 do IBGE.

De posse desses dados, procedeu-se o estudo para a extrapolação da curva-chave onde, além dos métodos mencionados, utilizou-se também o Método de Stevens (TUCCI, 1993, UEHARA e PORTO, 1980, SOUSA PINTO et al., 1976), baseado na fórmula de Chézy, que normalmente é utilizado para estimar as vazões quando há o extravazamento da calha do curso d'água. Como pode ser observado na Figura 7, isto ocorre, nesta seção do Ribeirão Estiva, ao redor da cota de 4,00 m. Feitos os cálculos utilizando o Método de Stevens, obteve-se a seguinte equação:

$$Q = 0,428 S \sqrt{h_m} \quad (3.2)$$

onde Q é a vazão, em m^3/s , S a área molhada da seção, em m^2 e h_m a profundidade média, em metros.

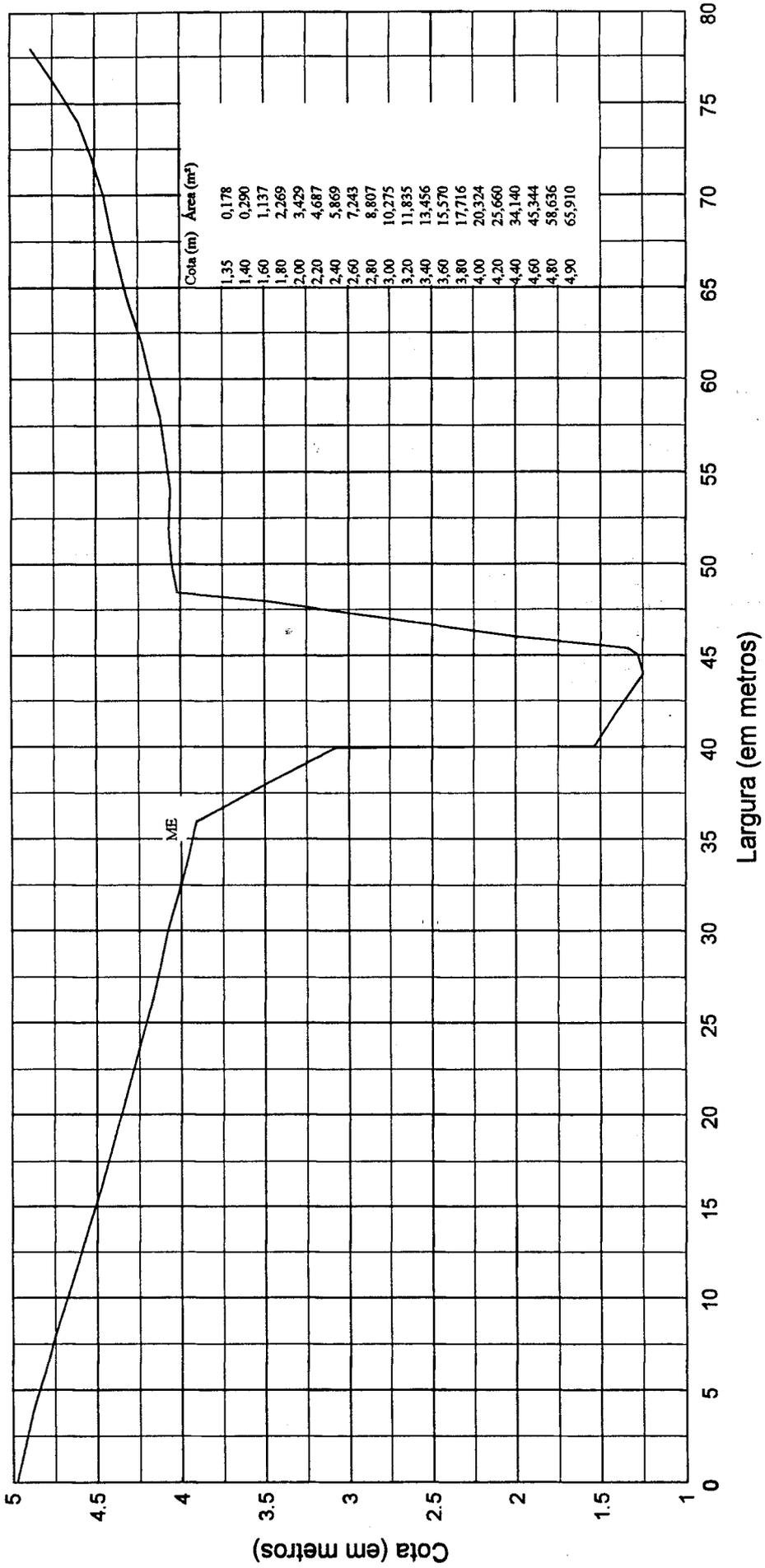


FIGURA 7 - Seção Tansversal do Ribeirão Estiva em Fazenda Solar

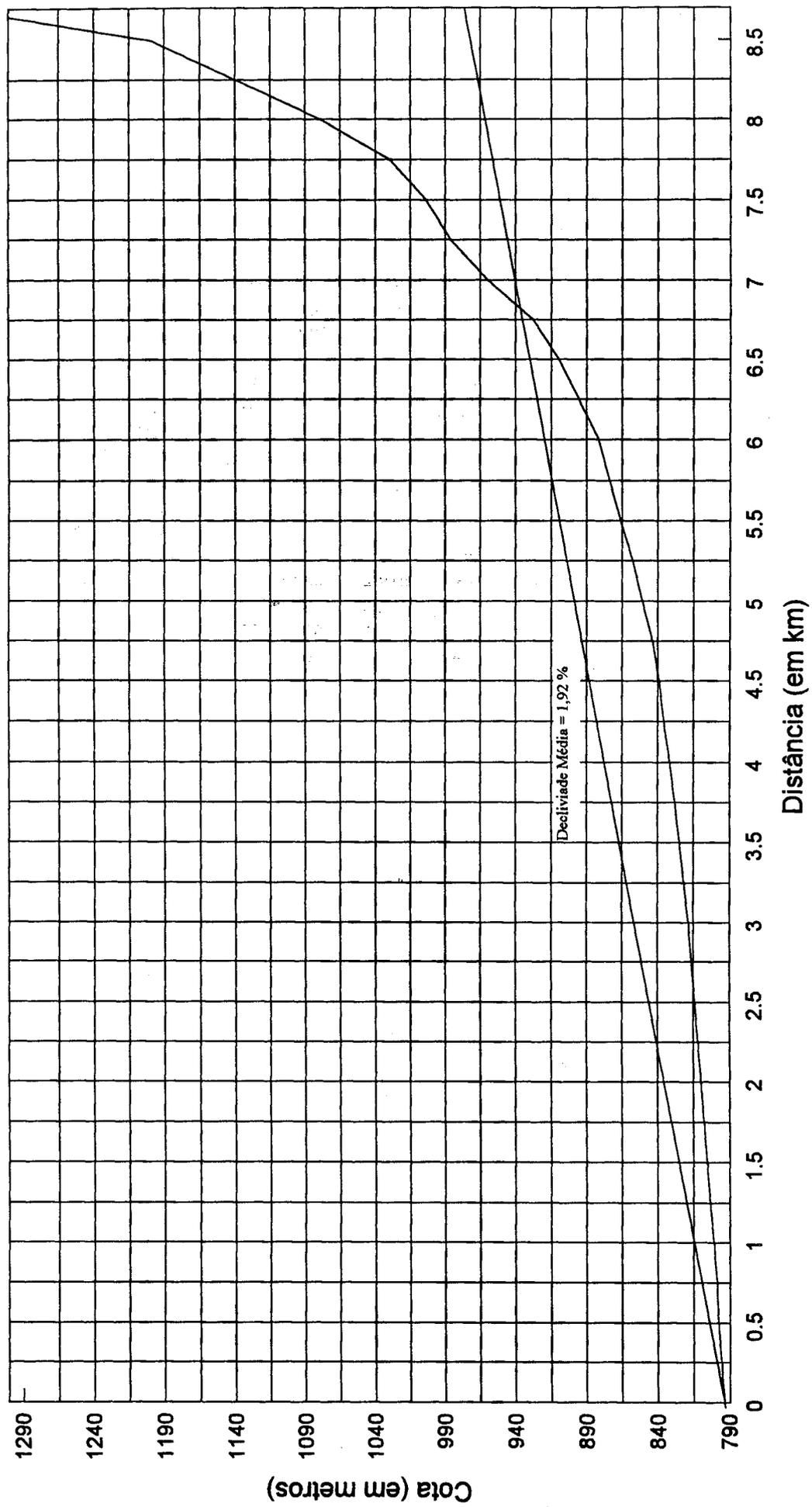


Figura 8 - Perfil Longitudinal do Ribeirão Estiva a montante da Est. Faz. Solar

Plotando a série de pontos obtidos com as diferentes metodologias, verificou-se haver uma melhor concordância entre a extensão da curva determinada com base na série de medições e a curva obtida através do Método de Stevens. Assim sendo, estabeleceu-se a curva-chave da estação, adotando a equação 3.1, para o intervalo $1,60\text{ m} < H < 4,00\text{ m}$, e a equação 3.2, para o intervalo $H > 4,50\text{ m}$.

Nos intervalos $1,30\text{ m} < H < 1,60\text{ m}$ e $4,00\text{ m} < H < 4,50\text{ m}$ foram feitas as concordâncias utilizando-se de processo gráfico.

Embora apenas o intervalo $1,60\text{ m} < H < 4,00\text{ m}$ da curva-chave já fosse suficiente para a transformação dos níveis d'água observados em vazão, julgou-se oportuno a montagem completa da curva-chave da estação de Fazenda Solar (ver a Figura 9) pois no futuro, quando forem realizados os estudos para a extrapolação das séries históricas, já se poderá dispor de uma curva-chave para transformação dos níveis d'água superiores aos já registrados neste período. Na Tabela 6, é apresentada a mesma curva-chave, em forma numérica.

Estabelecida a curva-chave, voltou-se novamente à análise dos linigramas, para a escolha, dentre os 80 pré-selecionados, daqueles que seriam utilizados para a determinação do Hidrograma Unitário da estação. Nesta escolha, além dos critérios de maiores enchentes e ocorrência isolada, foram também levados em consideração os conceitos básicos da Teoria do Hidrograma Unitário. Assim, foram escolhidos os 22 linigramas de cheia que apresentavam a melhor forma (ocorrência isolada), os maiores níveis d'água e que tinham os tempos de base (duração da cheia) semelhantes.

Considerando ainda a Teoria do Hidrograma Unitário, que será abordada no capítulo seguinte, estimou-se o período unitário da bacia, que deveria estar em torno de uma hora. Como este valor coincidia com o menor intervalo de leitura nos linigramas, foi adotado como intervalo para a transformação dos níveis d'água observados em vazão. Assim, os 22 linigramas foram transformados nos hidrogramas de cheias que seriam utilizados para a determinação do Hidrograma Unitário da seção. Na Figura 10 que se segue é mostrado, a título de exemplo, o hidrograma correspondente ao linigrama de cheia da Figura 6.

3.1.3 Estação de Jardim no Ribeirão Serra Azul

Esta estação foi implantada pelo DNAEE, no mês de Setembro de 1978 e funcionou durante cinco anos apenas com régua linimétrica. No final do mês de Setembro de 1983, a COPASA instalou ali um linígrafo semanal, que começou a operar no mês seguinte. A estação está localizada na margem direita do Ribeirão Serra Azul, a cerca de 150 m a jusante da barra do Córrego Taquaril (ver a Figura 2, já apresentada e as Fotos 7 e 8, no final do trabalho). A área de drenagem da bacia, a montante da estação, é de cerca de $112,5\text{ km}^2$.

Desde a instalação do linígrafo, a estação funcionou praticamente sem interrupções. Assim sendo, pôde-se dispor de linigramas registrados, de forma contínua, ao longo de 10 anos. Após um exame minucioso desses linigramas, foram pré-selecionados cerca de 90 que, em princípio, poderiam ser utilizados no trabalho. Posteriormente, considerando os mesmos critérios utilizados para a seleção dos linigramas do Ribeirão Estiva (magnitude, forma e duração da cheia), dentre os 90,

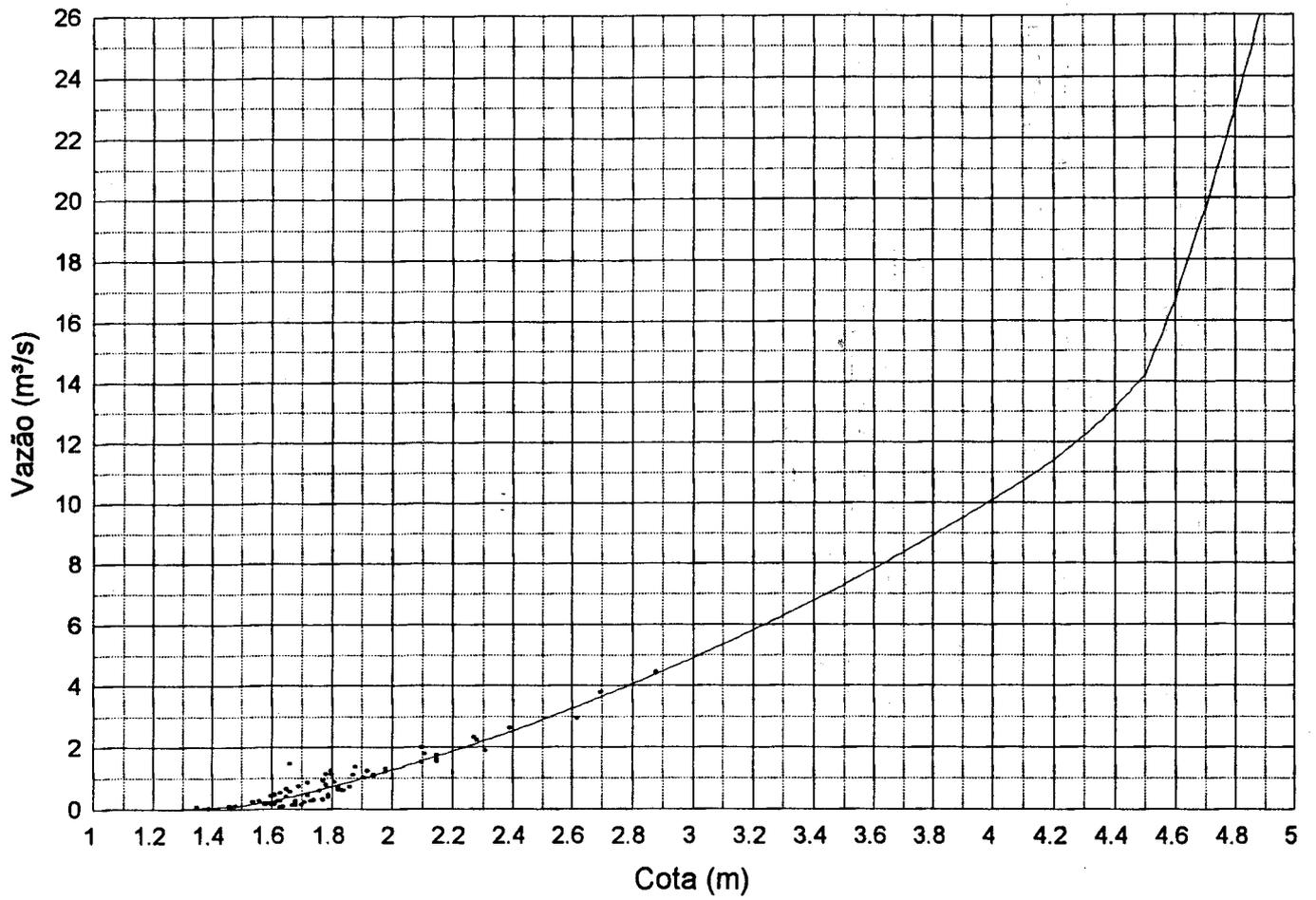


Figura 9 - Curva-Chave do Ribeirão Estiva em Fazenda Solar

Tabela 6 - Relação Cota x Vazão do Ribeirão Estiva em Fazenda Solar

Cota (m)	Vazão (m³/s)												
30	0	1,82	0,784	2,34	2,333	2,86	4,304	3,38	6,695	3,90	9,508	4,42	13,336
31	0,005	1,83	0,810	2,35	2,367	2,87	4,342	3,39	6,746	3,91	9,566	4,43	13,444
32	0,010	1,84	0,836	2,36	2,401	2,88	4,388	3,40	6,796	3,92	9,625	4,44	13,552
33	0,015	1,85	0,862	2,37	2,436	2,89	4,430	3,41	6,846	3,93	9,683	4,45	13,660
34	0,020	1,86	0,888	2,38	2,470	2,90	4,473	3,42	6,897	3,94	9,742	4,46	13,768
35	0,025	1,87	0,915	2,39	2,505	2,91	4,516	3,43	6,948	3,95	9,801	4,47	13,876
36	0,030	1,88	0,941	2,40	2,539	2,92	4,558	3,44	6,999	3,96	9,860	4,48	13,984
37	0,035	1,89	0,968	2,41	2,574	2,93	4,601	3,45	7,050	3,97	9,919	4,49	14,092
38	0,040	1,90	0,995	2,42	2,609	2,94	4,644	3,46	7,101	3,98	9,978	4,50	14,171
39	0,045	1,91	1,022	2,43	2,644	2,95	4,688	3,47	7,152	3,99	10,038	4,51	14,417
40	0,050	1,92	1,049	2,44	2,680	2,96	4,731	3,48	7,204	4,00	10,097	4,52	14,663
41	0,057	1,93	1,077	2,45	2,715	2,97	4,775	3,49	7,255	4,01	10,159	4,53	14,909
42	0,064	1,94	1,104	2,46	2,751	2,98	4,818	3,50	7,307	4,02	10,222	4,54	15,155
43	0,071	1,95	1,132	2,47	2,787	2,99	4,862	3,51	7,359	4,03	10,284	4,55	15,401
44	0,078	1,96	1,160	2,48	2,823	3,00	4,906	3,52	7,411	4,04	10,346	4,56	15,647
45	0,085	1,97	1,188	2,49	2,859	3,01	4,951	3,53	7,464	4,05	10,408	4,57	15,893
46	0,092	1,98	1,216	2,50	2,895	3,02	4,995	3,54	7,516	4,06	10,471	4,58	16,139
47	0,100	1,99	1,244	2,51	2,931	3,03	5,039	3,55	7,569	4,07	10,533	4,59	16,386
48	0,115	2,00	1,273	2,52	2,968	3,04	5,084	3,56	7,621	4,08	10,595	4,60	16,631
49	0,120	2,01	1,301	2,53	3,005	3,05	5,129	3,57	7,674	4,09	10,658	4,61	17,027
50	0,125	2,02	1,330	2,54	3,041	3,06	5,174	3,58	7,727	4,10	10,720	4,62	17,325
51	0,138	2,03	1,359	2,55	3,079	3,07	5,219	3,59	7,781	4,11	10,788	4,63	17,622
52	0,150	2,04	1,388	2,56	3,116	3,08	5,264	3,60	7,834	4,12	10,856	4,64	17,919
53	0,163	2,05	1,417	2,57	3,153	3,09	5,310	3,61	7,888	4,13	10,924	4,65	18,216
54	0,175	2,06	1,447	2,58	3,191	3,10	5,355	3,62	7,941	4,14	10,992	4,66	18,514
55	0,188	2,07	1,476	2,59	3,228	3,11	5,401	3,63	7,995	4,15	11,060	4,67	18,811
56	0,200	2,08	1,506	2,60	3,266	3,12	5,447	3,64	8,049	4,16	11,128	4,68	19,108
57	0,217	2,09	1,536	2,61	3,304	3,13	5,493	3,65	8,103	4,17	11,196	4,69	19,406
58	0,233	2,10	1,566	2,62	3,342	3,14	5,539	3,66	8,158	4,18	11,264	4,70	19,605
59	0,250	2,11	1,596	2,63	3,380	3,15	5,586	3,67	8,212	4,19	11,332	4,71	19,936
60	0,255	2,12	1,627	2,64	3,419	3,16	5,632	3,68	8,267	4,20	11,400	4,72	20,267
61	0,278	2,13	1,657	2,65	3,457	3,17	5,679	3,69	8,322	4,21	11,480	4,73	20,599
62	0,300	2,14	1,688	2,66	3,496	3,18	5,726	3,70	8,377	4,22	11,560	4,74	20,930
63	0,323	2,15	1,718	2,67	3,535	3,19	5,773	3,71	8,432	4,23	11,640	4,75	21,262
64	0,346	2,16	1,749	2,68	3,574	3,20	5,820	3,72	8,487	4,24	11,720	4,76	21,593
65	0,369	2,17	1,781	2,69	3,613	3,21	5,867	3,73	8,542	4,25	11,800	4,77	21,924
66	0,392	2,18	1,812	2,70	3,653	3,22	5,915	3,74	8,598	4,26	11,880	4,78	22,256
67	0,415	2,19	1,843	2,71	3,692	3,23	5,962	3,75	8,654	4,27	11,960	4,79	22,587
68	0,439	2,20	1,875	2,72	3,732	3,24	6,010	3,76	8,709	4,28	12,040	4,80	22,914
69	0,462	2,21	1,907	2,73	3,772	3,25	6,058	3,77	8,766	4,29	12,120	4,81	23,268
70	0,486	2,22	1,938	2,74	3,812	3,26	6,106	3,78	8,822	4,30	12,200	4,82	23,626
71	0,510	2,23	1,971	2,75	3,852	3,27	6,154	3,79	8,878	4,31	12,292	4,83	23,985
72	0,534	2,24	2,003	2,76	3,892	3,28	6,203	3,80	8,935	4,32	12,384	4,84	24,343
73	0,559	2,25	2,035	2,77	3,933	3,29	6,251	3,81	8,991	4,33	12,476	4,85	24,701
74	0,583	2,26	2,068	2,78	3,973	3,30	6,300	3,82	9,048	4,34	12,568	4,86	25,059
75	0,608	2,27	2,100	2,79	4,014	3,31	6,349	3,83	9,105	4,35	12,660	4,87	25,417
76	0,632	2,28	2,133	2,80	4,055	3,32	6,398	3,84	9,162	4,36	12,752	4,88	25,776
77	0,657	2,29	2,166	2,81	4,096	3,33	6,447	3,85	9,219	4,37	12,844	4,89	26,134
78	0,682	2,30	2,199	2,82	4,137	3,34	6,497	3,86	9,277	4,38	12,936		
79	0,707	2,31	2,233	2,83	4,179	3,35	6,546	3,87	9,334	4,39	13,028		
80	0,733	2,32	2,266	2,84	4,220	3,36	6,596	3,88	9,392	4,40	13,120		
81	0,750	2,33	2,300	2,85	4,262	3,37	6,646	3,89	9,450	4,41	13,228		

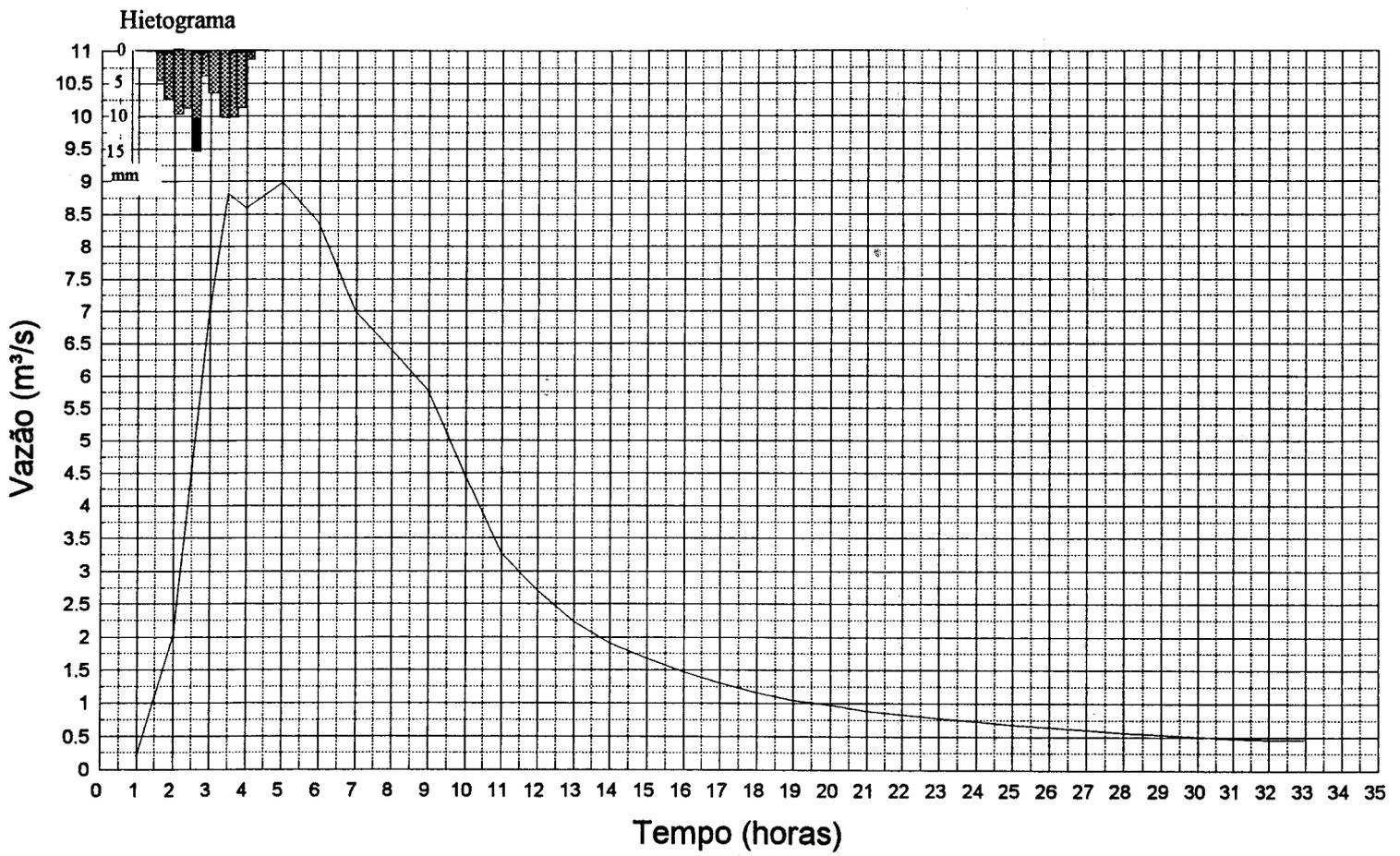


Figura 10 - Hidrograma do Rib. Estiva correspondente ao linigrama da cheia de 06.01.91

foram escolhidos 20 linigramas, visando a determinação do Hidrograma Unitário do Ribeirão Serra Azul.

Na Figura 11 que se segue, é apresentado, a título de exemplo, o linigrama da mesma cheia de 06.01.91, uma das maiores, registrada também nesta estação.

Quanto à série de medições de vazão desta estação, dispunha-se, na verdade, de duas séries. Uma do DNAEE, que iniciou as campanhas de medições em Setembro de 1978, quando da implantação da estação, prosseguindo com as mesmas até o mês de Setembro de 1989, quando já haviam sido realizadas 105 medições; e outra da COPASA, que realizou um total de 82 medições no período de Setembro de 1983 a Abril de 1988.

Para a determinação da curva-chave da estação dispunha-se, portanto, do resultado de 187 medições de vazão, no intervalo de níveis d'água desde 0,05 m até 2,85 m. Considerando que o maior nível d'água registrado, no período de 10 anos, atingiu a marca de 3,50 m e que, na grande maioria dos eventos de cheia pré-selecionados, o nível máximo se manteve abaixo dos 2,85 m, concluiu-se que a série de medições era suficiente para determinar, de forma consistente, a relação cota x descarga na estação.

Efetuada a análise de regressão com os dados, que tinham um coeficiente de correlação igual a 0,984, o melhor ajuste foi obtido também com uma curva descrita por uma equação polinomial, com a seguinte expressão:

$$Q = 0,133 + 3,77 H + 1,16 H^2 \quad (3.3)$$

sendo Q , a vazão em m^3/s e H , a cota do nível d'água em metros.

Para fazer a extrapolação da curva para valores do nível d'água superiores a 2,85m, procedeu-se da mesma maneira que na Estação de Fazenda Solar. Após a obtenção, junto à COPASA, do levantamento topográfico da seção transversal no local da estação e do perfil longitudinal do Ribeirão Serra Azul a montante da estação, com base na Folha de Igarapé (ver Figuras 12 e 13, na seqüência), realizou-se um estudo com a utilização dos mesmos métodos. Outra vez, o Método de Stevens foi o que melhor adaptou-se aos dados, no trecho superior da curva-chave. Feitos os cálculos, este método forneceu a seguinte equação de correlação:

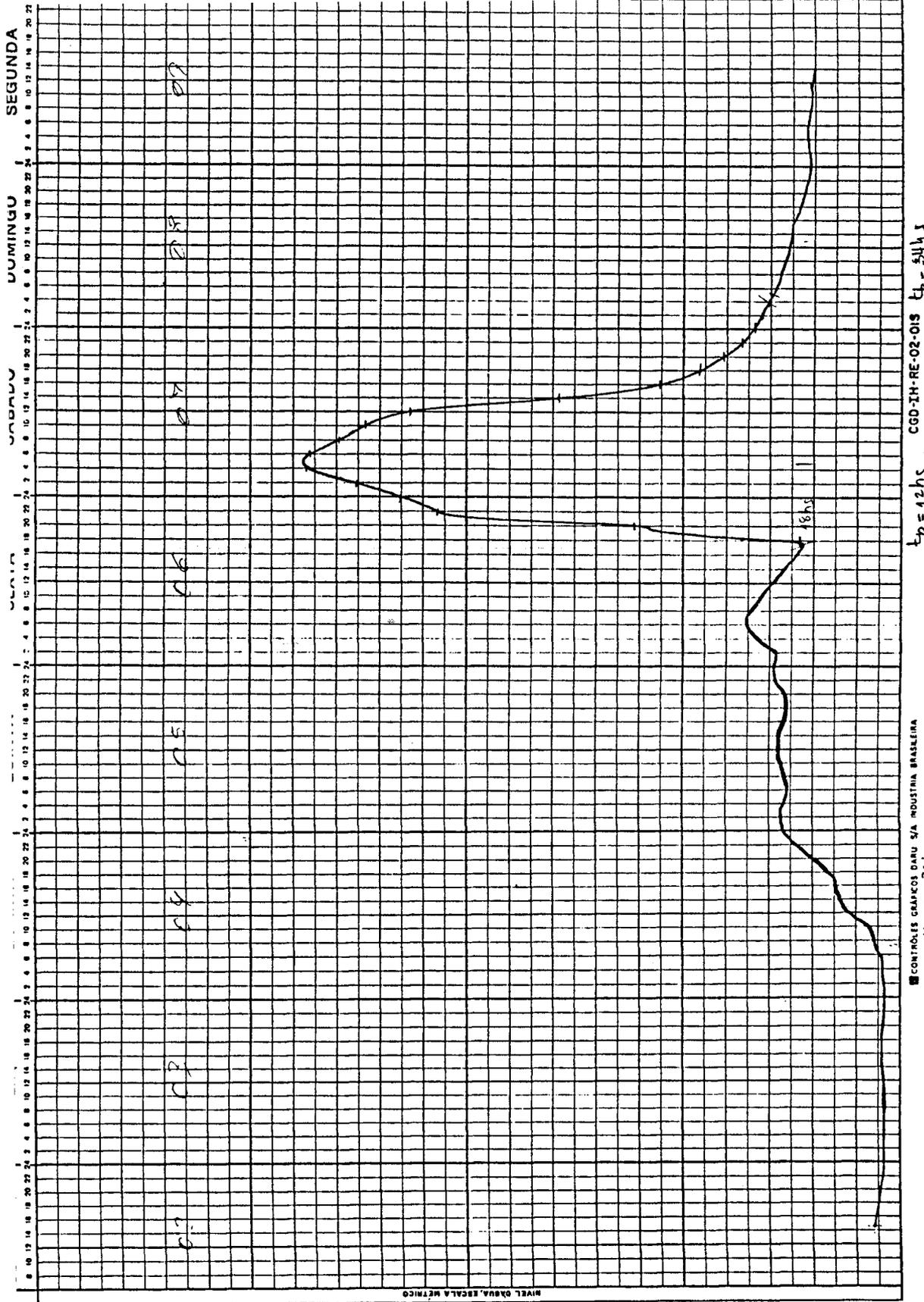
$$Q = -0,38 + 0,53 S \sqrt{h_m} \quad (3.4)$$

onde Q é a vazão, em m^3/s , S a área molhada da seção, em m^2 e h_m a profundidade média, em metros.

Os resultados obtidos com esta equação apresentavam uma coerência bastante grande com a curva descrita pela equação polinomial, havendo a necessidade de fazer apenas uma concordância gráfica em um pequeno trecho. No final deste estudo, portanto, a curva-chave ficou estabelecida como sendo a equação 3.3 para o intervalo $0 < H < 2,60$ m ; a equação 3.4 para o intervalo $H > 2,90$ m ; e uma interpolação gráfica no intervalo $2,60$ m $< H < 2,90$ m.

Na Figura 14 é apresentada a forma final da curva-chave e na Tabela 7, a sua forma numérica.

Uma vez estabelecida a curva-chave da estação, tornou-se possível a conversão dos níveis d'água registrados em vazões. Antes porém, fez-se uma estimativa do período unitário a ser adotado para a Estação de Jardim, tendo-se concluído que o



CGD-IM-RE-02-015 $t_p = 12hs$

CONTORES GRAFICOS D'AGUA S/A INDUSTRIA BRASILEIRA

FIGURA 11 - Lingrama da Cheia de 06.01.91 no Ribeirão Serra Azul em Jardim

POSTO SERRA AZUL Nº _____
 COLOCADO EM 02/01/91
 AS 15:05 HORAS POR Guil. Alves
 RETIRADO EM 09/01/91
 AS 15:50 HORAS POR Guil. Alves

COMPARAÇÃO		DIFERENÇA DE HORA	
INÍCIO	011	LEITURA DA REGUA	039
FIM	011	LEITURA DO LINIGRAFO	040
		DIFERENÇA DE	001
		LEITURA	

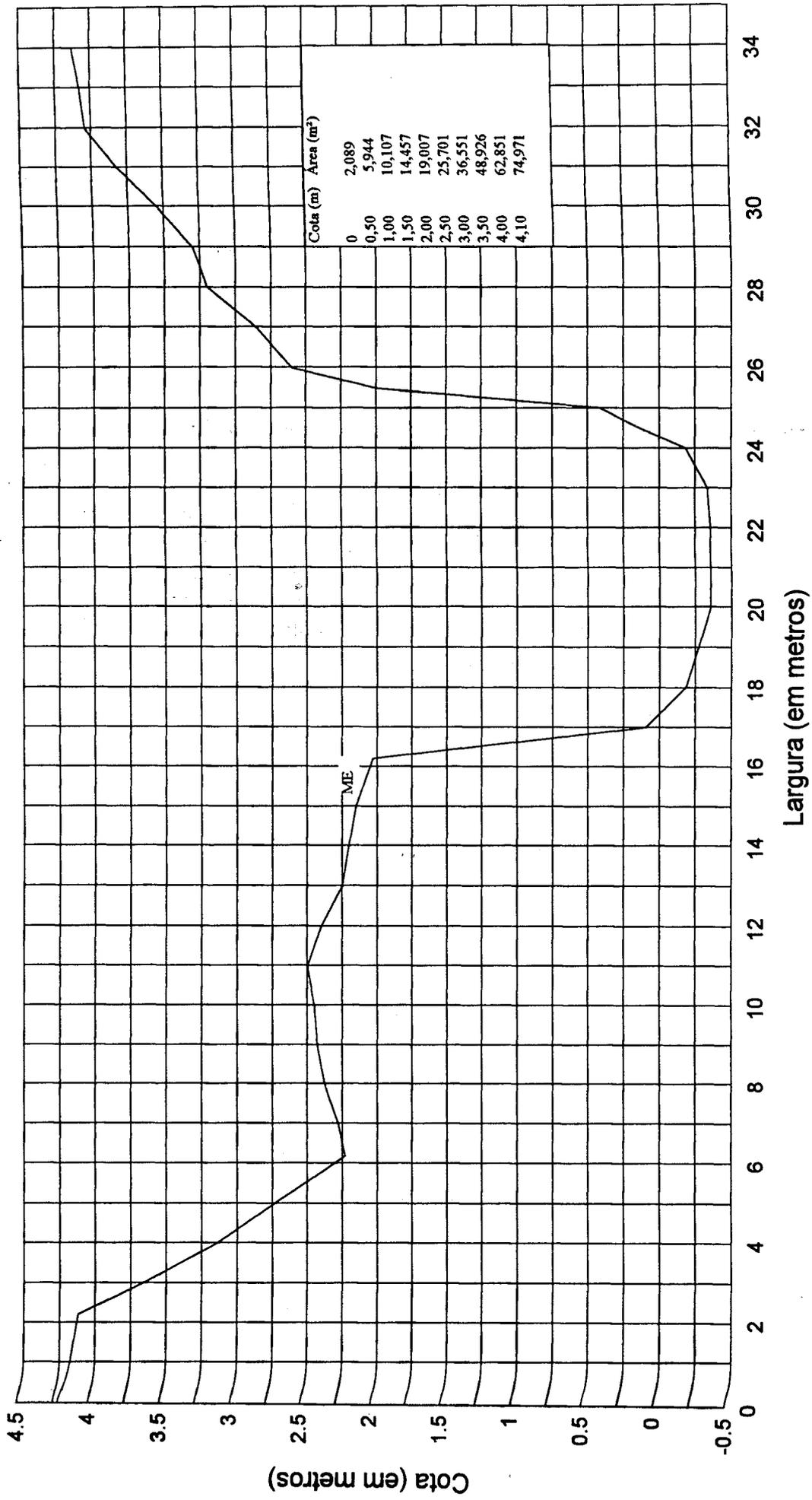


Figura 12 - Seção Transversal do Ribeirão Serra Azul na Estação de Jardim

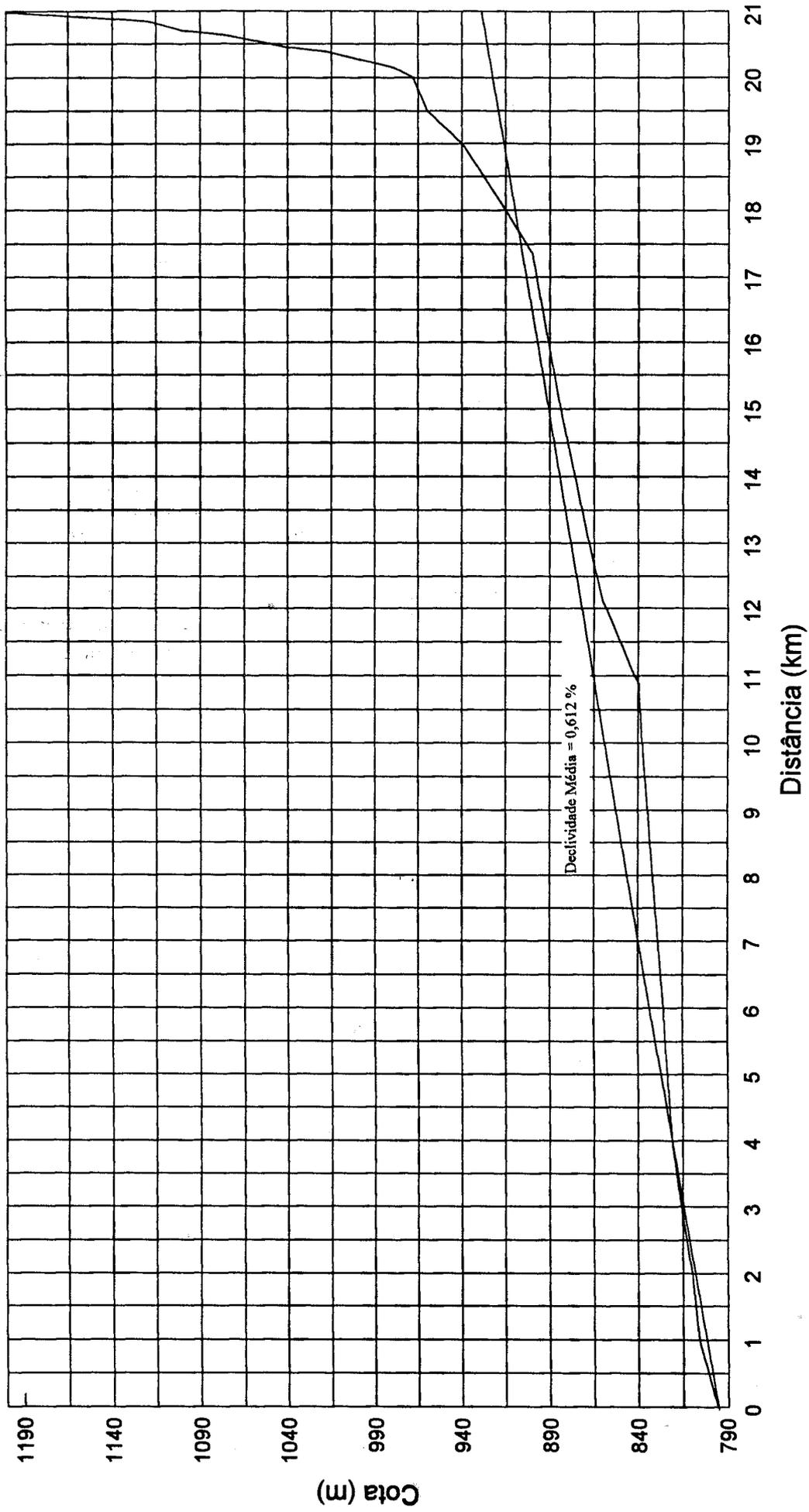


Figura 13 - Perfil Longitudinal do Ribeirão Serra Azul a montante da Est. Jardim

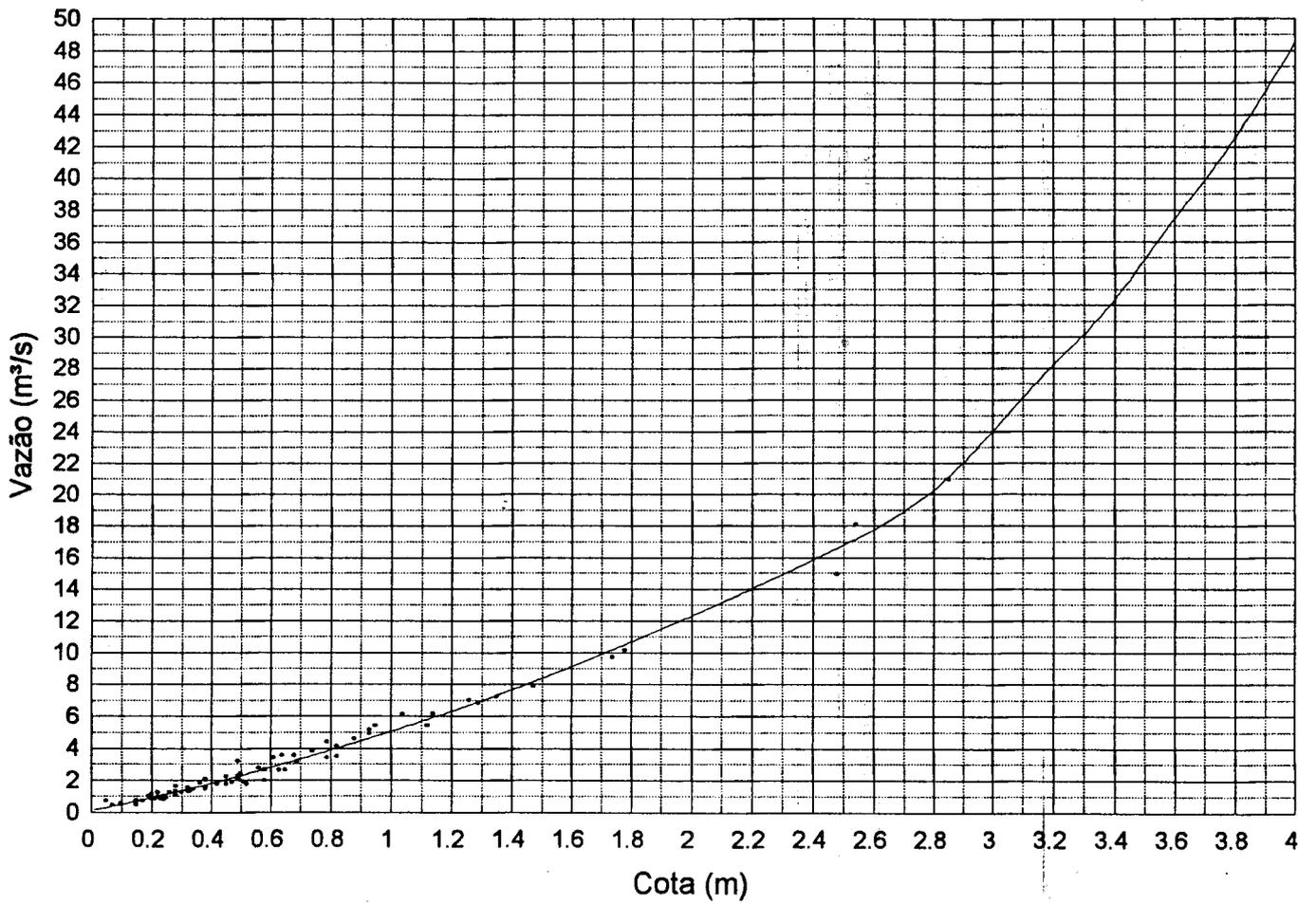


Figura 14 - Curva-Chave do Ribeirão Serra Azul em Jardim

tabela 7 - Relação Cota x Vazão do Ribeirão Serra Azul em Jardim

Cota (m)	Vazão (m³/s)	Cota (m)	Vazão (m³/s)	Cota (m)	Vazão (m³/s)	Cota (m)	Vazão (m³/s)	Cota (m)	Vazão (m³/s)						
0,01	0,171	0,51	2,357	1,01	5,124	1,51	8,471	2,01	12,400	2,51	16,900	3,01	24,250	3,51	35,140
0,02	0,209	0,52	2,407	1,02	5,185	1,52	8,544	2,02	12,480	2,52	16,994	3,02	24,461	3,52	35,400
0,03	0,247	0,53	2,457	1,03	5,247	1,53	8,617	2,03	12,570	2,53	17,088	3,03	24,672	3,53	35,660
0,04	0,286	0,54	2,507	1,04	5,308	1,54	8,690	2,04	12,650	2,54	17,182	3,04	24,883	3,54	35,920
0,05	0,324	0,55	2,557	1,05	5,370	1,55	8,763	2,05	12,740	2,55	17,276	3,05	25,094	3,55	36,180
0,06	0,363	0,56	2,608	1,06	5,433	1,56	8,837	2,06	12,820	2,56	17,370	3,06	25,305	3,56	36,440
0,07	0,403	0,57	2,659	1,07	5,495	1,57	8,911	2,07	12,910	2,57	17,464	3,07	25,516	3,57	36,700
0,08	0,442	0,58	2,710	1,08	5,558	1,58	8,985	2,08	12,990	2,58	17,558	3,08	25,727	3,58	36,960
0,09	0,482	0,59	2,761	1,09	5,620	1,59	9,060	2,09	13,080	2,59	17,652	3,09	25,938	3,59	37,220
0,10	0,522	0,60	2,813	1,10	5,684	1,60	9,135	2,10	13,170	2,60	17,750	3,10	26,150	3,60	37,480
0,11	0,562	0,61	2,864	1,11	5,747	1,61	9,210	2,11	13,250	2,61	17,865	3,11	26,360	3,61	37,720
0,12	0,602	0,62	2,916	1,12	5,811	1,62	9,285	2,12	13,340	2,62	17,980	3,12	26,570	3,62	37,960
0,13	0,643	0,63	2,969	1,13	5,874	1,63	9,360	2,13	13,430	2,63	18,095	3,13	26,780	3,63	38,200
0,14	0,684	0,64	3,021	1,14	5,938	1,64	9,436	2,14	13,510	2,64	18,210	3,14	26,990	3,64	38,440
0,15	0,725	0,65	3,074	1,15	6,003	1,65	9,512	2,15	13,600	2,65	18,325	3,15	27,200	3,65	38,680
0,16	0,766	0,66	3,126	1,16	6,067	1,66	9,588	2,16	13,690	2,66	18,440	3,16	27,410	3,66	38,920
0,17	0,807	0,67	3,180	1,17	6,132	1,67	9,664	2,17	13,780	2,67	18,555	3,17	27,620	3,67	39,160
0,18	0,849	0,68	3,233	1,18	6,197	1,68	9,741	2,18	13,860	2,68	18,670	3,18	27,830	3,68	39,400
0,19	0,891	0,69	3,287	1,19	6,262	1,69	9,817	2,19	13,950	2,69	18,785	3,19	28,040	3,69	39,640
0,20	0,933	0,70	3,340	1,20	6,327	1,70	9,894	2,20	14,040	2,70	18,900	3,20	28,250	3,70	39,890
0,21	0,976	0,71	3,396	1,21	6,393	1,71	9,972	2,21	14,130	2,71	19,035	3,21	28,440	3,71	40,150
0,22	1,019	0,72	3,449	1,22	6,459	1,72	10,049	2,22	14,220	2,72	19,170	3,22	28,630	3,72	40,410
0,23	1,061	0,73	3,503	1,23	6,525	1,73	10,127	2,23	14,310	2,73	19,305	3,23	28,820	3,73	40,670
0,24	1,105	0,74	3,558	1,24	6,591	1,74	10,205	2,24	14,400	2,74	19,440	3,24	29,010	3,74	40,930
0,25	1,148	0,75	3,613	1,25	6,658	1,75	10,283	2,25	14,490	2,75	19,575	3,25	29,200	3,75	41,190
0,26	1,192	0,76	3,668	1,26	6,725	1,76	10,361	2,26	14,580	2,76	19,710	3,26	29,390	3,76	41,440
0,27	1,235	0,77	3,724	1,27	6,792	1,77	10,440	2,27	14,670	2,77	19,845	3,27	29,580	3,77	41,720
0,28	1,280	0,78	3,779	1,28	6,859	1,78	10,519	2,28	14,760	2,78	20,980	3,28	29,770	3,78	42,000
0,29	1,324	0,79	3,835	1,29	6,927	1,79	10,598	2,29	14,850	2,79	20,115	3,29	29,960	3,79	42,280
0,30	1,368	0,80	3,891	1,30	6,994	1,80	10,677	2,30	14,940	2,80	20,250	3,30	30,140	3,80	42,630
0,31	1,413	0,81	3,948	1,31	7,062	1,81	10,757	2,31	15,030	2,81	20,425	3,31	30,360	3,81	42,840
0,32	1,458	0,82	4,004	1,32	7,131	1,82	10,837	2,32	15,120	2,82	20,600	3,32	30,580	3,82	43,120
0,33	1,503	0,83	4,061	1,33	7,199	1,83	10,917	2,33	15,210	2,83	20,775	3,33	30,800	3,83	43,400
0,34	1,549	0,84	4,118	1,34	7,268	1,84	10,997	2,34	15,310	2,84	20,950	3,34	31,020	3,84	43,680
0,35	1,595	0,85	4,176	1,35	7,337	1,85	11,078	2,35	15,400	2,85	21,125	3,35	31,240	3,85	43,960
0,36	1,641	0,86	4,233	1,36	7,406	1,86	11,158	2,36	15,490	2,86	21,300	3,36	31,460	3,86	44,240
0,37	1,687	0,87	4,291	1,37	7,475	1,87	11,239	2,37	15,580	2,87	21,475	3,37	31,800	3,87	44,520
0,38	1,733	0,88	4,349	1,38	7,545	1,88	11,321	2,38	15,680	2,88	21,650	3,38	31,900	3,88	44,850
0,39	1,780	0,89	4,407	1,39	7,615	1,89	11,402	2,39	15,770	2,89	21,825	3,39	32,120	3,89	45,150
0,40	1,827	0,90	4,466	1,40	7,685	1,90	11,484	2,40	15,860	2,90	22,000	3,40	32,360	3,90	45,450
0,41	1,874	0,91	4,524	1,41	7,755	1,91	11,565	2,41	15,960	2,91	22,204	3,41	32,610	3,91	45,750
0,42	1,921	0,92	4,583	1,42	7,825	1,92	11,648	2,42	16,050	2,92	22,408	3,42	32,860	3,92	46,050
0,43	1,969	0,93	4,642	1,43	7,896	1,93	11,730	2,43	16,140	2,93	22,612	3,43	33,110	3,93	46,350
0,44	2,016	0,94	4,702	1,44	7,967	1,94	11,813	2,44	16,240	2,94	22,816	3,44	33,360	3,94	46,650
0,45	2,064	0,95	4,761	1,45	8,038	1,95	11,895	2,45	16,330	2,95	23,020	3,45	33,610	3,95	46,950
0,46	2,113	0,96	4,821	1,46	8,110	1,96	11,978	2,46	16,430	2,96	23,224	3,46	33,860	3,96	47,250
0,47	2,161	0,97	4,881	1,47	8,182	1,97	12,062	2,47	16,520	2,97	23,428	3,47	34,110	3,97	47,550
0,48	2,210	0,98	4,942	1,48	8,253	1,98	12,145	2,48	16,620	2,98	23,632	3,48	34,360	3,98	47,850
0,49	2,259	0,99	5,002	1,49	8,326	1,99	12,229	2,49	16,710	2,99	23,836	3,49	34,610	3,99	48,150
0,50	2,308	1,00	5,063	1,50	8,398	2,00	12,313	2,50	16,810	3,00	24,040	3,50	34,880	4,00	48,460

mesmo deveria estar ao redor de duas horas. Isto facilitou a transformação dos linigramas em hidrogramas, visto que o menor intervalo entre os traços nos linigramas era de, exatamente, duas horas. Assim, com base na curva-chave e adotando-se um intervalo de duas horas, foi feita a transformação dos 20 linigramas escolhidos para a determinação do Hidrograma Unitário, em hidrogramas. Na Figura 15, que se segue, é mostrado o hidrograma obtido com a transformação do linigrama apresentado na Figura 11.

3.2 Dados Pluviográficos e Pluviométricos

Após uma análise preliminar dos dados de precipitação da Bacia de Juatuba, observou-se que, apesar de se tratar de uma bacia de pequeno porte, há uma variação significativa na distribuição espacial dos eventos de precipitação que ali ocorrem. Assim sendo e considerando que a distribuição uniforme da chuva é uma das premissas básicas do Método do Hidrograma Unitário, procurou-se trabalhar apenas com as estações pluviográficas que estivessem situadas, se não no interior das duas sub bacias escolhidas, pelo menos em locais mais próximos.

Considerando este critério, o período de funcionamento das estações e a disponibilidade dos dados, foram selecionadas, além das quatro estações pluviográficas já mencionadas, quatro estações pluviométricas (Fazenda do Mosquito/Escola de Veterinária, Fazenda Coqueiros, Fazenda Laranjeiras e Fazenda Vista Alegre), cujos dados serviram de apoio, para caracterizar a distribuição espacial dos eventos de chuva, que ocasionaram as cheias a serem estudadas. O fato de poder-se dispor das alturas diárias de chuva nestas quatro estações, para todo o período correspondente aos registros linigráficos, de certa maneira, compensou a descontinuidade nos períodos de que se dispunha de pluviográficos. A seguir são mostrados os dados de precipitação que estavam disponíveis, no final de 1993 e que foram utilizados neste estudo:

Estações*	Dados Disponíveis
Alto da Boa Vista	Pluviogramas de Nov de 90 a Jun de 93
Jardim	Pluviogramas de Jan de 83 a Nov de 86 e Nov de 90 a Jun de 93
Serra Azul	Pluviogramas de Nov de 90 a Jun de 93
Faz. dos Cavalos	Pluviogramas de Jan de 85 a Jun de 93
Faz. do Mosquito/Esc. de Veterinária	Alturas Diárias de Chuva de Jan de 83 a Jun de 93
Faz. Coqueiros	Alturas Diárias de Chuva de Jan de 83 a Jun de 93
Faz. Laranjeiras	Alturas Diárias de Chuva de Jan de 83 a Jun de 93
Faz. Vista Alegre	Alturas Diárias de Chuva de Jan de 83 a Jun de 93

* Ver as respectivas localizações na Figura 3 e as Fotos de 9 a 12, no final do trabalho.

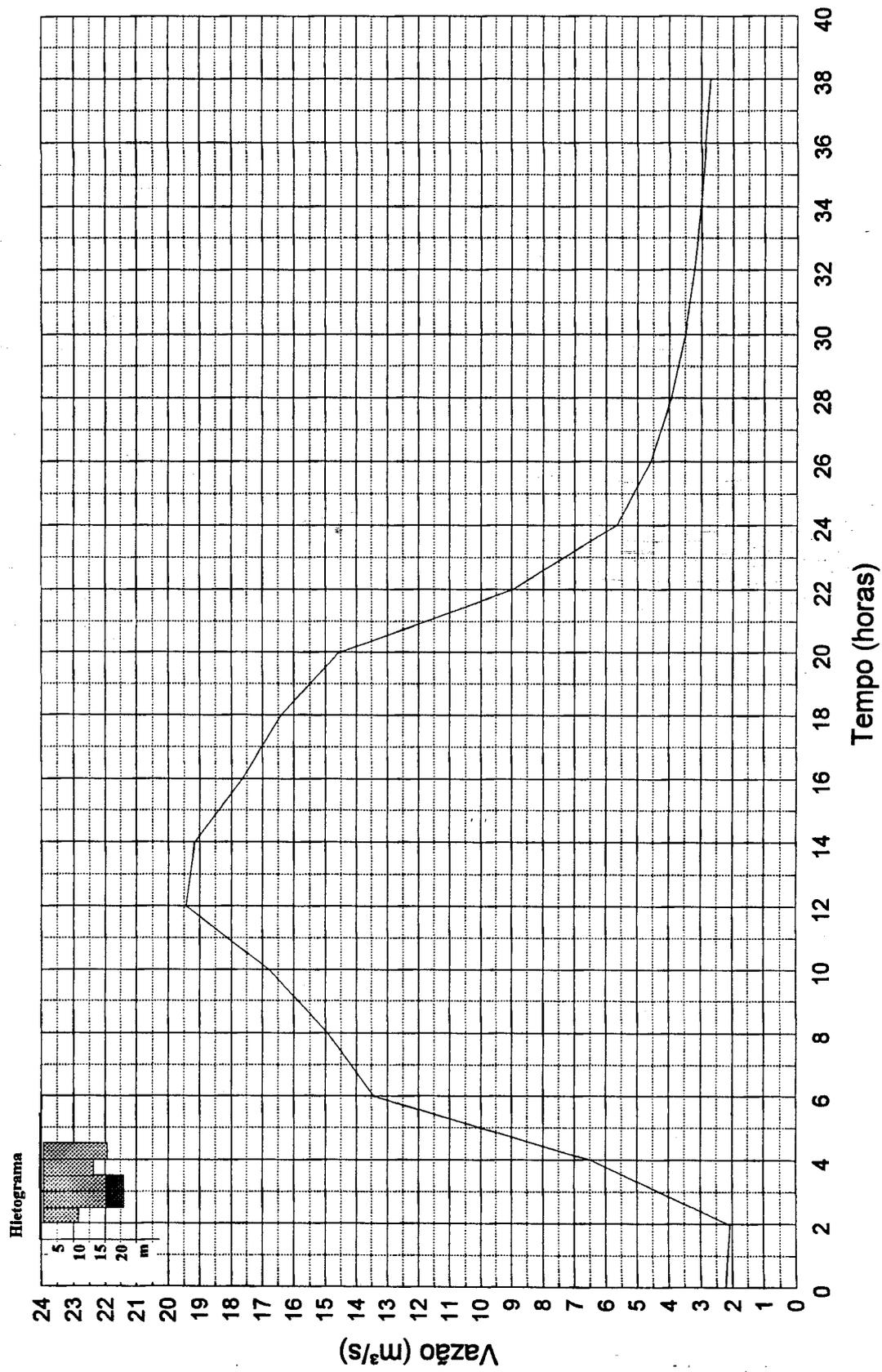


Figura 15 - Hidrograma do Rib. Serra Azul correspondente ao linigrama da cheia de 06.01.91

3.2.1 Eventos de Precipitação Associados aos Hidrogramas de Cheia Escolhidos

Por terem sido escolhidos para a determinação do Hidrograma Unitário apenas eventos de cheia de ocorrência isolada, com origem, portanto, em eventos de chuva também isolados, foi possível estabelecer-se uma correspondência entre os totais diários de chuvas das estações pluviométricas, com os registros pluviográficos das outras estações, através da comparação dos respectivos valores observados no mesmo intervalo de tempo. Desta forma, pôde-se estimar, com razoável precisão, a variação temporal das ocorrências de chuva também nas estações pluviométricas.

Assim, para cada um dos hidrogramas escolhidos, foram identificadas as ocorrências pluviométricas correspondentes, com as respectivas variações temporal e espacial.

Nas Figuras 16 e 17, que se seguem, são apresentados os registros, em cada uma das estações pluviográficas, da chuva do dia 06.01.91, que deu origem aos hidrogramas de cheia, já apresentados nas Figuras 10 e 15.

Para avaliar a área de influência de cada estação, adotou-se o Método de Thiessen (LINSLEY, KOHLER e PAULHUS, 1975, SOUSA PINTO et al., 1976, UEHARA e PORTO, 1980), normalmente usado para calcular a chuva média sobre uma dada bacia.

Na Figura 18, na seqüência, é mostrado o resultado obtido com a aplicação deste método, utilizando-se a Folha de Igarapé, 1: 50.000, do IBGE.

Como se pode observar nesta figura, a Estação Pluviométrica de Fazenda do Mosquito/Escola de Veterinária (a primeira foi extinta no final do mês de fevereiro de 1986 e substituída pela segunda), é a única estação existente no interior da sub bacia do Ribeirão Estiva e tem uma área de influência, que cobre toda a superfície desta sub bacia. Assim sendo, após a identificação dos eventos de chuva de interesse, fez-se a comparação das alturas diárias de chuva desta estação, com os registros pluviográficos das estações circunvizinhas. Esta comparação permitiu a discretização dos totais diários para a construção dos hietogramas, que foram utilizados no estudo da sub bacia do Rib. Estiva.

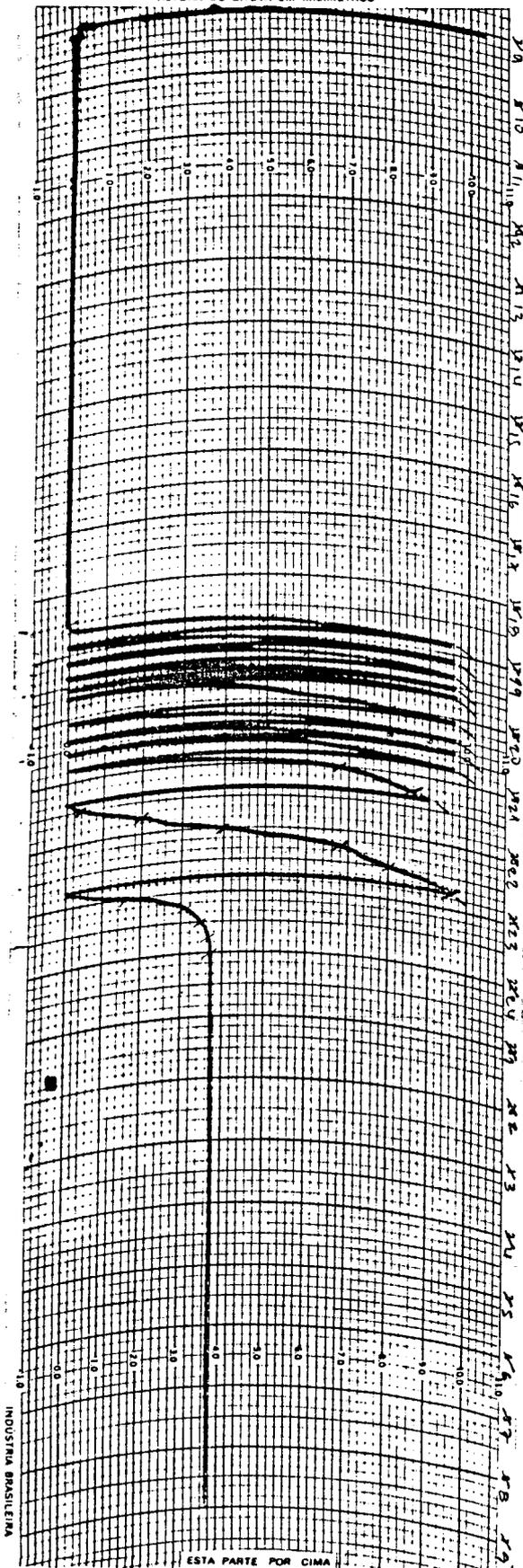
Na tentativa de determinar-se a duração da chuva efetiva (um dos parâmetros básicos da Teoria do Hidrograma Unitário), essa discretização foi feita, no caso desta sub bacia, com intervalos de 15 minutos, em função das Chuvas Efetivas terem apresentado ali um valor muito baixo. Na Figura 10, já mostrada, pode-se observar o hietograma correspondente ao hidrograma de cheia ali apresentado.

Quanto à sub bacia do Ribeirão Serra Azul, existiam em seu interior três estações pluviográficas (Alto da Boa Vista, Serra Azul e Jardim) e três pluviométricas (Fazenda Coqueiros, Fazenda Laranjeiras e Fazenda Vista Alegre).

Após a aplicação do Método de Thiessen, ficou definida a área de influência de cada uma destas estações, em relação à área total da sub bacia (112,5 km²). Os valores encontrados foram:

PLUVIÓGRAFO DE Alto Boa Vista
 COLOCADO DIA 06/01/91 AS 09:00 HORAS
 RETIRADO DIA 07/01/91 AS 08:00 HORAS
 OPERADOR _____

02044021-0
 ALTURA DE CHUVA EM MILÍMETROS



PLUVIÓGRAFO DE Luva Azul
 COLOCADO DIA 06/01/91 AS 08:30 HORAS
 RETIRADO DIA 07/01/91 AS 07:00 HORAS
 OPERADOR _____

02044054-0
 ALTURA DE CHUVA EM MILÍMETROS

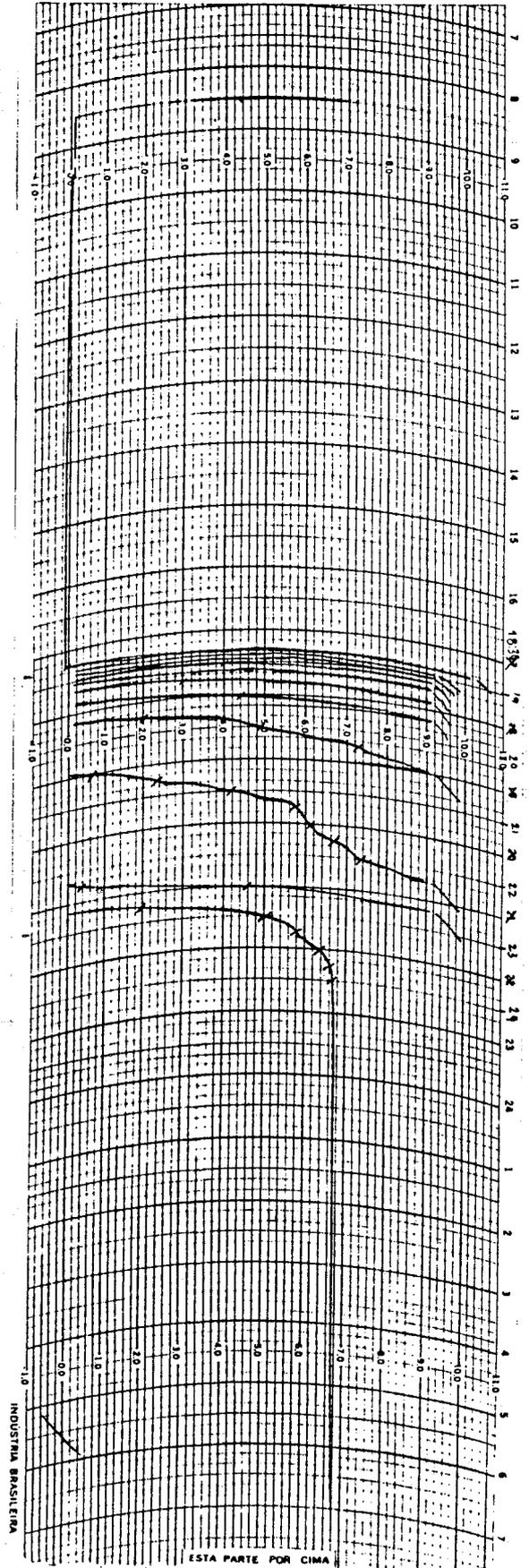
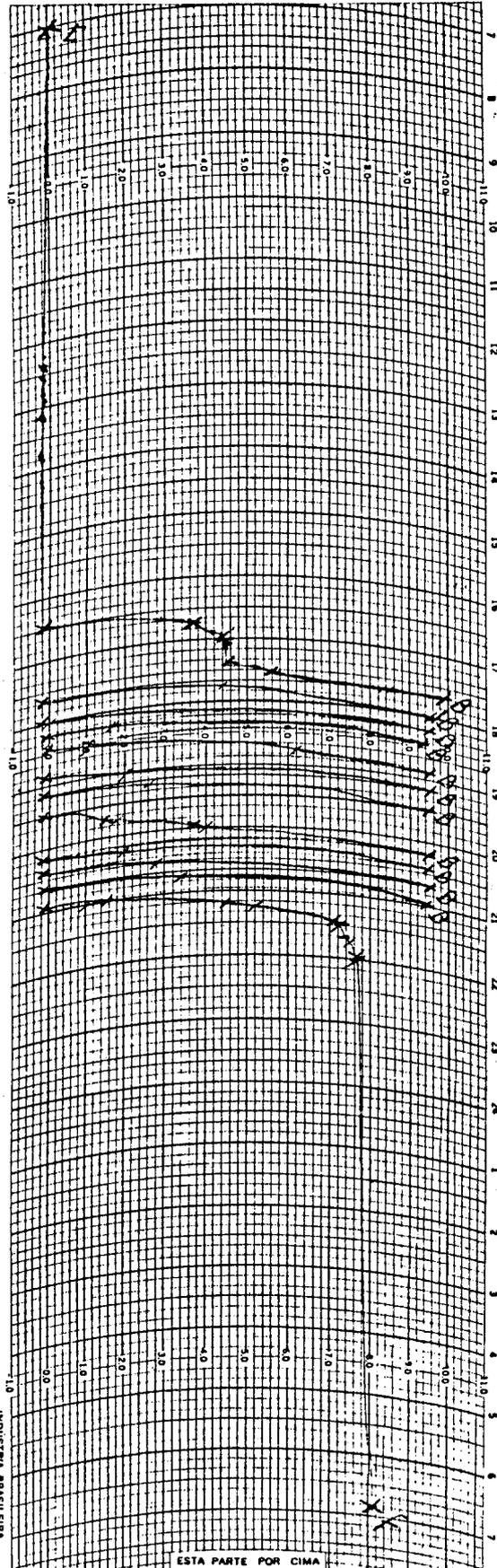


FIGURA 16 - Pluviogramas da Chuva de 06.01.91 nas Estações de Serra Azul e Alto Boa Vista

PLUVIÓGRAFO DE J. Jardim
 COLOCADO DIA 06/01/91 AS 07:00 HORAS
 RETIRADO DIA 07/01/91 AS 07:00 HORAS
 OPERADOR _____

08044052.0
 ALTURA DE CHUVA EM MILÍMETROS



ESTACÃO SERRA AZUL
 PLUVIÓGRAFO _____ Nº _____

COMPARAÇÃO	INÍCIO	FIM
MEDIDO COM PLUVIÔMETRO	00	132
LEITURA DO PLUVIÓGRAFO	00	132
DIFERENÇA DE LEITURA		
DIFERENÇA DE HORA		

COLOCADO EM 06/01/91 POR J. Jardim
 RETIRADO EM 07/01/91 POR J. Jardim

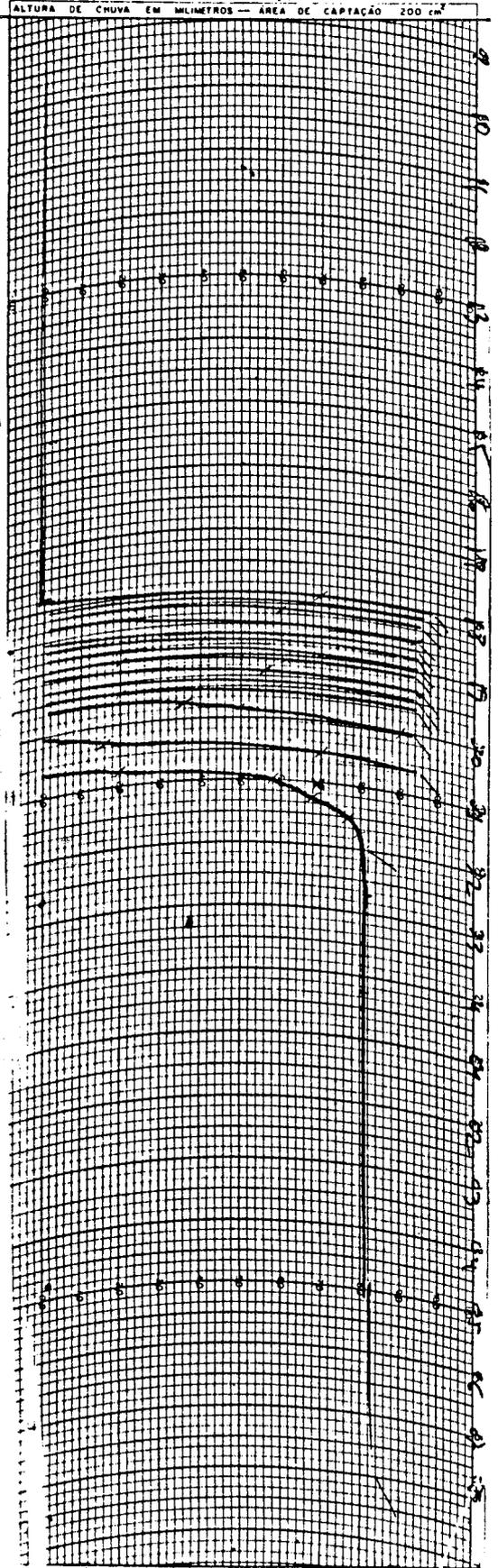


FIGURA 17 - Pluviogramas da Chuva de 06.01.91 nas Estações de Fazenda dos Cavalos e Jardim

Estação	Área de Influência (em km ²)	Porcentagem do total
Alto da Boa Vista	14,8	13,2 %
Serra Azul	26,6	23,6 %
Jardim	8,2	7,3 %
Faz. Coqueiros	21,1	18,8 %
Faz. Laranjeiras	20,6	18,3 %
Faz. Vista Alegre	21,2	18,8 %
Total	112,5	100 %

Considerando-se estes fatores de ponderação, foi calculada, para cada hidrograma de cheia escolhido na sub bacia, a chuva média correspondente. Para fazer a discretização temporal do valor médio encontrado, comparou-se as formas dos registros pluviográficos disponíveis com a forma do hidrograma, visando definir a forma mais adequada para a distribuição temporal. Adotou-se então um intervalo de 30 minutos, considerando que, também nesta sub bacia, as Chuvas Efetivas apresentavam-se com baixos valores. Na Figura 15 já apresentada, pode-se observar um dos hietogramas utilizados nesta bacia.

3.2.2 Seleção de Chuvas Intensas

Mesmo tendo-se decidido não realizar a segunda parte do trabalho, onde estava previsto a extrapolação das séries históricas dos dados pluviométricos, decidiu-se aproveitar o trabalho de manipulação dos pluviogramas das estações escolhidas, para anotar os registros de chuvas intensas que seriam, posteriormente, utilizados para a determinação da Equação Intensidade x Duração x Freqüência (IDF), da bacia. Para tanto, adotou-se as durações e as alturas pluviométricas preconizadas por PFAFSTETTER (1957), como limites acima dos quais as chuvas seriam consideradas intensas, ou seja:

Duração	5'	15'	30'	1 h	2 h	4 h	8 h	14 h	24 h	48 h
Alt. Pluviométrica (mm)	> 8	> 15	>20	>25	>30	> 35	> 40	> 47	> 55	> 70

Após a análise dos pluviogramas das estações selecionadas, foram extraídos os valores de chuvas intensas. Os maiores valores observados em cada estação foram:

Estação\Duração	5'	15'	30'	1 h	2 h	4 h	8 h	14 h	24 h	48 h	Período de observação
Faz. dos Cavalos	11,2	29,8	53,8	78,4	115,6	132,8	132,8	132,8	132,8	161,0	Jan/85 a Jun/93
Jardim	11,0	31,2	36,4	39,2	67,8	103,4	113,2	113,2	113,2	122,4	Jan/83 a Nov/86 Nov/90 a Jun/93
Alto Boa Vista	11,0	25,6	39,4	50,4	80,8	104,8	108,8	108,8	108,8	160,2	Nov/90 a Jun/93
Serra Azul	12,1	25,1	30,6	42,8	46,6	52,9	55,7	59,6	63,4	90,5	Nov/90 a Jun/93

Pode-se notar que, a Estação de Fazenda dos Cavalos foi a que apresentou os maiores valores para as chuvas intensas, como era de se esperar, visto que dispunha do maior período de observações. Deve-se observar, entretanto, que esta estação dispunha de apenas oito anos de observações, ao passo que a de Alto da Boa Vista funcionou ininterruptamente durante 21 anos.

Esta última, além de estar situada entre as duas sub bacias escolhidas para o estudo, localiza-se também próximo às nascentes dos cursos d'água que as formam, em região de maior ocorrência de chuvas intensas devido ao efeito orográfico. Pode-se perceber, portanto, que esta estação assumia uma importância fundamental para dar a consistência pretendida à realização da segunda etapa do trabalho. Foi considerando esta importância, que se fizeram várias tentativas para a obtenção da série completa de pluviogramas desta estação. Contudo, como em meados de 1994 ainda não tinha sido possível a obtenção dos pluviogramas, decidiu-se pela não realização desta parte, que previa o tratamento estatístico dos dados.

De toda forma, cumprida a primeira etapa, que era a parte principal do trabalho, acredita-se que, em futuro próximo, poder-se-á dispor, não só da série completa de pluviogramas de Alto da Boa Vista, como também de resultados de medições de descarga na Estação Linigráfica de Fazenda Laranjeiras. Aí então, será possível dar prosseguimento ao estudo, para sua realização na forma originalmente idealizada.

O levantamento dos eventos de chuvas intensas, dentro do universo de dados então disponíveis, ensejou a realização de um estudo preliminar, visando a determinação de uma versão prévia daquela que seria a Equação IDF da bacia do Ribeirão Serra Azul (CALDEIRA, DRUMOND e BAPTISTA, 1994), a ser apresentado no VIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, em Belo Horizonte, 1994.

4. DETERMINAÇÃO DOS HIDROGRAMAS UNITÁRIOS

A metodologia do Hidrograma Unitário tem sido largamente utilizada, no Brasil e em outros países, para a determinação de vazões de enchente. Em que pese ser baseada em conclusões obtidas empiricamente e considerar a relação chuva-vazão de forma linear, esta metodologia, desenvolvida por Leroy K. Sherman em 1932, continua sendo muito adotada, por sua simplicidade e por apresentar resultados bastante satisfatórios, principalmente em bacias de pequeno porte (CHOW, 1988 e 1964, SINGH, 1992, TUCCI, 1993, UEHARA e PORTO, 1980, WILKEN, 1978, SOUSA PINTO et al., 1976, PFAFSTETTER, 1976, LINSLEY et al., 1975 e 1972, SEREBRENICK, 1966, DRUMOND, 1977).

Analisando um grande número de hidrogramas de cheias, Sherman observou uma certa regularidade na sucessão de vazões de enchente, o que o levou a estabelecer os princípios da Teoria do Hidrograma Unitário. A idéia básica é de que a bacia hidrográfica pode ser comparada a um *sistema linear*, onde a Chuva Efetiva (chuva total precipitada sobre a bacia menos as perdas por retenção superficial, evaporação e infiltração) seria considerada como a *entrada* e o Escoamento Superficial (descarga total menos as descargas devidas aos escoamentos subsuperficial e subterrâneo), a *saída*. O hidrograma de escoamento superficial seria, portanto, a resposta da *bacia/sistema* a um "pulso", caracterizado pela chuva efetiva.

Supondo que a bacia hidrográfica se comporte de forma linear, pode-se considerar que haja a proporcionalidade e a superposição dos efeitos, neste processo. Assim, foram estabelecidos os princípios básicos desta teoria, ou seja, considerando-se chuvas de intensidade constante, com distribuição uniforme sobre toda a bacia, tem-se:

1º) *Princípio da Constância do Tempo de Base* - Chuvas efetivas de igual duração dão origem a hidrogramas de escoamento superficial de mesma duração (mesmo Tempo de Base);

2º) *Princípio da Proporcionalidade das Descargas* - Chuvas efetivas de igual duração e volumes (intensidades) diferentes dão origem a hidrogramas de escoamento superficial com o mesmo tempo de base e ordenadas, em tempos correspondentes, proporcionais aos respectivos volumes totais escoados; e

3º) *Princípio da Superposição ou da Aditividade dos Efeitos* - O tempo de escoamento superficial de uma determinada chuva independe da ocorrência de chuvas anteriores. Dois ou mais eventos consecutivos de chuvas efetivas dão origem a um hidrograma total, cujas ordenadas podem ser obtidas somando-se as ordenadas, em tempos correspondentes, dos hidrogramas de escoamentos superficiais gerados por cada uma das chuvas.

Assim sendo, se for conhecido o hidrograma resultante de uma chuva efetiva unitária, este hidrograma pode ser aplicado a outras chuvas e fornecer as vazões de enchente por elas provocadas. A duração desta chuva efetiva é definida então como sendo o Período Unitário. Como, por definição, a duração da chuva efetiva está

associado o tempo de base do hidrograma resultante, este valor é definido, para fins práticos, como um múltiplo do primeiro, ou seja, o período unitário fica sendo o menor intervalo de tempo entre duas ordenadas consecutivas do hidrograma. Para facilitar também a operação, adota-se a altura da chuva efetiva igual à unidade (1cm, 1mm, 1pol, etc.) e ao hidrograma resultante dá-se o nome de Hidrograma Unitário (HU).

O Hidrograma Unitário construído para uma dada seção de um curso d'água, é considerado como uma constante da bacia hidrográfica a montante da seção, refletindo, portanto, suas características de escoamento, que englobam as características físicas e os efeitos de infiltração e de retenção superficial.

Quando se dispõe de registros pluvio-fluviográficos adequados da bacia em estudo, pode-se construir, com relativa facilidade, o Hidrograma Unitário da mesma. Entretanto, como na maioria dos casos não se dispõe destes dados, adotam-se métodos sucedâneos, desenvolvidos a partir da Teoria do Hidrograma Unitário. Estes métodos, geralmente denominados Hidrogramas Unitários Sintéticos (HUS), foram desenvolvidos, na sua maioria, por autores norte-americanos, com base em um grande número de informações de bacias dos Estados Unidos, correlacionando estatisticamente a forma e os componentes (ver Figura 19) de hidrogramas unitários ali observados, com as características físicas (área; dimensões, declividade e rugosidade do canal; densidade da rede de drenagem; forma; recobrimento vegetal; tipo de solo; etc.) das respectivas bacias. Assim, quando não se dispõe de dados hidrológicos de uma seção da mesma bacia, ou de outra bacia com características semelhantes, estas características são utilizadas para estimar os componentes básicos do que seria o HU, naquele local. Estes componentes básicos, como se pode observar na Figura 19, são: a Duração da Chuva Efetiva (tr), que deu origem ao hidrograma; o Tempo de Retardo ou Tempo de Pico (tp), definido pelo intervalo de tempo entre o centro de massa da chuva efetiva (coincidente com o início do escoamento superficial) e o instante em que ocorre a vazão máxima; o Tempo de Base (tb), definido pela duração do escoamento superficial e a própria vazão máxima ou Vazão de Pico (Qp).

Deve-se ressaltar que este procedimento é recomendado apenas para os casos em que as características físicas das bacias são semelhantes, uma vez que os coeficientes de correlação determinados para uma dada bacia são resultantes do conjunto de suas características. Diversos autores realizaram estudos visando estabelecer estas correlações. Entre outros, estão os estudos de Bernard, McCarthy, Snyder, Clark, Taylor e Schwarz, Commons, United States Soil Conservation Service - U.S.S.C.S., Mitchell, Getty e McHughs, Dooge, e Warnock, citados por SOUSA PINTO et al. (1976) e o de I-Pai Wu (WU, 1963). A grande maioria destes estudos foi realizada nos EUA, levando em consideração, portanto, as características das bacias ali situadas. Apesar disto, os métodos têm sido, freqüentemente, utilizados no Brasil, sem que haja uma adaptação ou uma verificação se os coeficientes originalmente adotados se aplicam às condições locais.

Dentre todos os métodos, os mais conhecidos e utilizados no Brasil, e particularmente em Minas Gerais, são o de Snyder e o do U.S.S.C.S.. Por esta razão, foram escolhidos, não só para serem objeto da análise comparativa, mas também com o objetivo de avaliar se os coeficientes que têm sido adotados na aplicação destes métodos, realmente, se adequam às condições locais.

Deve-se observar que, excluída a segunda parte do trabalho, a comparação das vazões de enchente obtidas com as diferentes metodologias se restringiu à análise comparativa apenas dos hidrogramas unitários obtidos com cada metodologia, uma vez

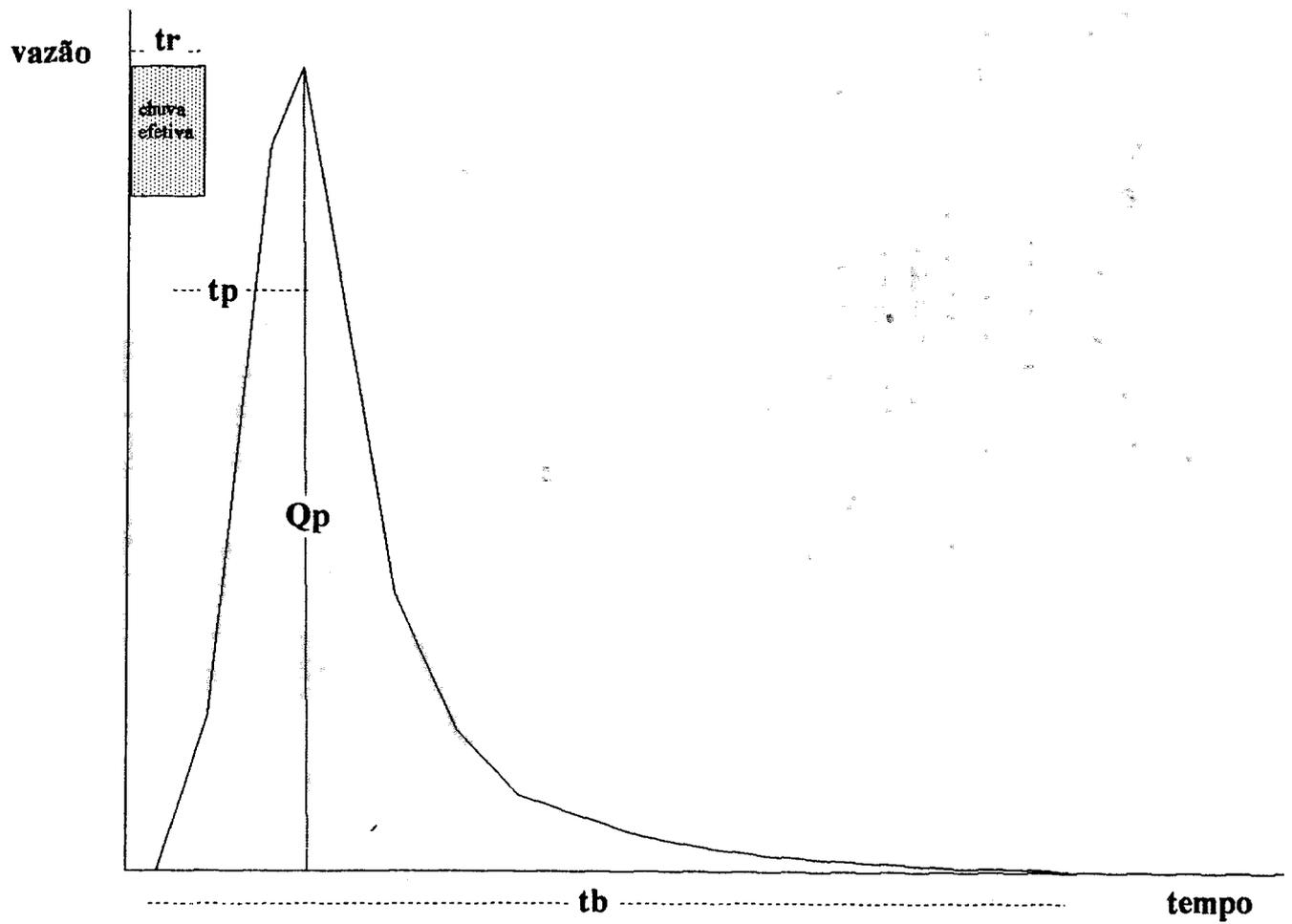


FIGURA - 19 Principais Parâmetros de um Hidrograma Unitário

que as diferenças percentuais nas vazões de pico, que porventura houvessem, não se modificariam com a aplicação dos HU's a uma mesma chuva.

Neste capítulo são apresentados os estudos realizados para a determinação dos HU's reais, dos HUS's de Snyder (utilizando os coeficientes determinados pelo próprio autor e os determinados por Linsley) e do U.S.S.C.S., com vistas à comparação dos diferentes métodos entre si e à comparação dos coeficientes atualmente adotados, com os obtidos para as duas bacias selecionadas.

4.1 Hidrogramas Unitários Obtidos com Linigramas da Bacia de Juatuba

Como já visto nos sub itens 3.1.2 e 3.1.3, dentro da série de 10 anos de registros linigráficos contínuos das Estações de Fazenda Solar e Jardim, foram selecionados 22 eventos de cheia no Ribeirão Estiva e 20 no Ribeirão Serra Azul, com as chuvas correspondentes, para o estabelecimento dos respectivos hidrogramas unitários.

Teoricamente, bastaria apenas um evento em cada estação com as condições ideais (chuva com intensidade constante distribuída uniformemente sobre toda a bacia) para que se pudesse estabelecer os hidrogramas unitários. Entretanto, na prática, o comportamento das bacias hidrográficas não é propriamente linear e as condições ideais muito raramente ocorrem. Considerando estes fatos e visando dar maior consistência ao estudo, procurou-se trabalhar com o maior número possível de eventos de cheia, selecionando-se somente aqueles que mais se aproximassem das condições ideais. Isto feito, poderia-se visualizar a variação dos HU's determinada pelas incertezas mencionadas e, ao mesmo tempo, definir um HU médio, que pudesse ser adotado com segurança, para cada estação.

4.1.1 Hidrograma Unitário do Ribeirão Estiva em Fazenda Solar

Utilizando os 22 hidrogramas escolhidos entre os 80 pré-selecionados no Ribeirão Estiva, conforme o mencionado no sub item 3.1.2, seguiu-se os passos usuais para a determinação do HU, em se tratando de eventos simples, ou seja:

a) Determinação dos Volumes Escoados Superficialmente

Considerando que praticamente todos os hidrogramas de cheia selecionados apresentavam os trechos de recessão (descarga base) bem definidos e que a adoção de métodos mais sofisticados não alteraria os resultados de forma significativa, decidiu-se adotar, como critério de separação do escoamento superficial, o traçado de um segmento de reta desde o ponto do início da subida do nível d'água (sempre bem definido), até o ponto que caracterizava o fim do escoamento superficial.

Para definir este último, adotou-se o critério que leva em consideração o fato do trecho descendente do hidrograma de cheia seguir, aproximadamente, uma lei exponencial (PFAFSTETTER, 1976, p.123, TUCCI, 1993, p.397). Assim, foram plotados em escala mono-log todos os hidrogramas selecionados, com as descargas no

eixo logarítmico, e definidos os pontos onde havia mudança de declividade, caracterizando o fim do escoamento superficial (ver Figura 20).

Uma vez excluída a parte referente ao escoamento subterrâneo (descarga de base), calculou-se para cada hidrograma de escoamento superficial, o volume escoado através da planimetria da área sob a curva. Posteriormente, verificou-se que este cálculo poderia ser feito através de método aritmético (soma das ordenadas multiplicada pelo intervalo de tempo), sem prejuízo da precisão dos cálculos, pois a diferença observada nos resultados era insignificante (aproximadamente 1%).

b) Determinação das Alturas de Chuvas Efetivas e dos Coeficientes de Escoamento Superficial

De posse dos volumes escoados superficialmente, foram calculados as alturas de chuvas efetivas e os coeficientes de escoamento superficial (relação entre o volume escoado superficialmente e o volume total precipitado sobre a bacia) de cada evento de cheia.

As chuvas efetivas (P_{ef}) foram obtidas dividindo-se os volumes escoados superficialmente pela área de drenagem da bacia hidrográfica ($31,5 \text{ km}^2$) e os coeficientes de escoamento superficial (CES), obtidos dividindo-se as alturas das chuvas efetivas pelas alturas das chuvas totais (P_{tot}) correspondentes. Deve-se observar que, no caso do Ribeirão Estiva, adotou-se como altura da chuva total os valores observados na Estação de Fazenda Mosquito/Escola de Veterinária, conforme mencionado no sub item 3.2.1.

Ao final destes cálculos, verificou-se que, excluindo a cheia do dia 02.03.86 em razão de um possível erro de leitura do total precipitado na Estação de Escola de Veterinária neste dia (a estação tinha entrado em operação na véspera), os coeficientes de escoamento superficial dos hidrogramas estavam no intervalo $3 \% < CES < 17,8 \%$, sendo o valor médio igual a 7,8 %. Embora estes valores estejam dentro do intervalo de variação de CES's tabelados para bacias com as mesmas características ($5 \% < CES < 20 \%$) segundo Wilken (1978, p.132), conclui-se que a bacia do Ribeirão Estiva apresenta coeficientes de escoamento superficial relativamente baixos.

c) Escolha do Período Unitário (t_r)

Considerando que o menor valor de tempo lido com precisão razoável nos linigramas do Ribeirão Estiva é de 1 hora e que esse valor está dentro do intervalo $t_p/6 < t_r < t_p/3$ (os hidrogramas observados no Rib. Estiva têm $2 \text{ h} < t_p < 5 \text{ h}$) recomendado pela maioria dos autores (SINGH, 1992, p.520, PFAFSTETTER, 1976, p.121, WILKEN, 1978, p.168, TUCCI, 1993, p.417) para a escolha do período unitário, decidiu-se adotá-lo para a determinação dos hidrogramas unitários.

Para verificar a adequação deste valor foram estimadas as durações teóricas das chuvas efetivas que deram origem às cheias. Para tanto, foram contruídos os hietogramas das chuvas totais para cada evento com intervalos de 15 minutos, visto que as alturas das chuvas efetivas apresentavam valores muito pequenos. Em seguida, as alturas de chuvas efetivas foram marcadas sobre as parcelas dos hietogramas que apresentavam as maiores alturas de chuva e determinadas então as respectivas durações (ver o hietograma da Figura 10).

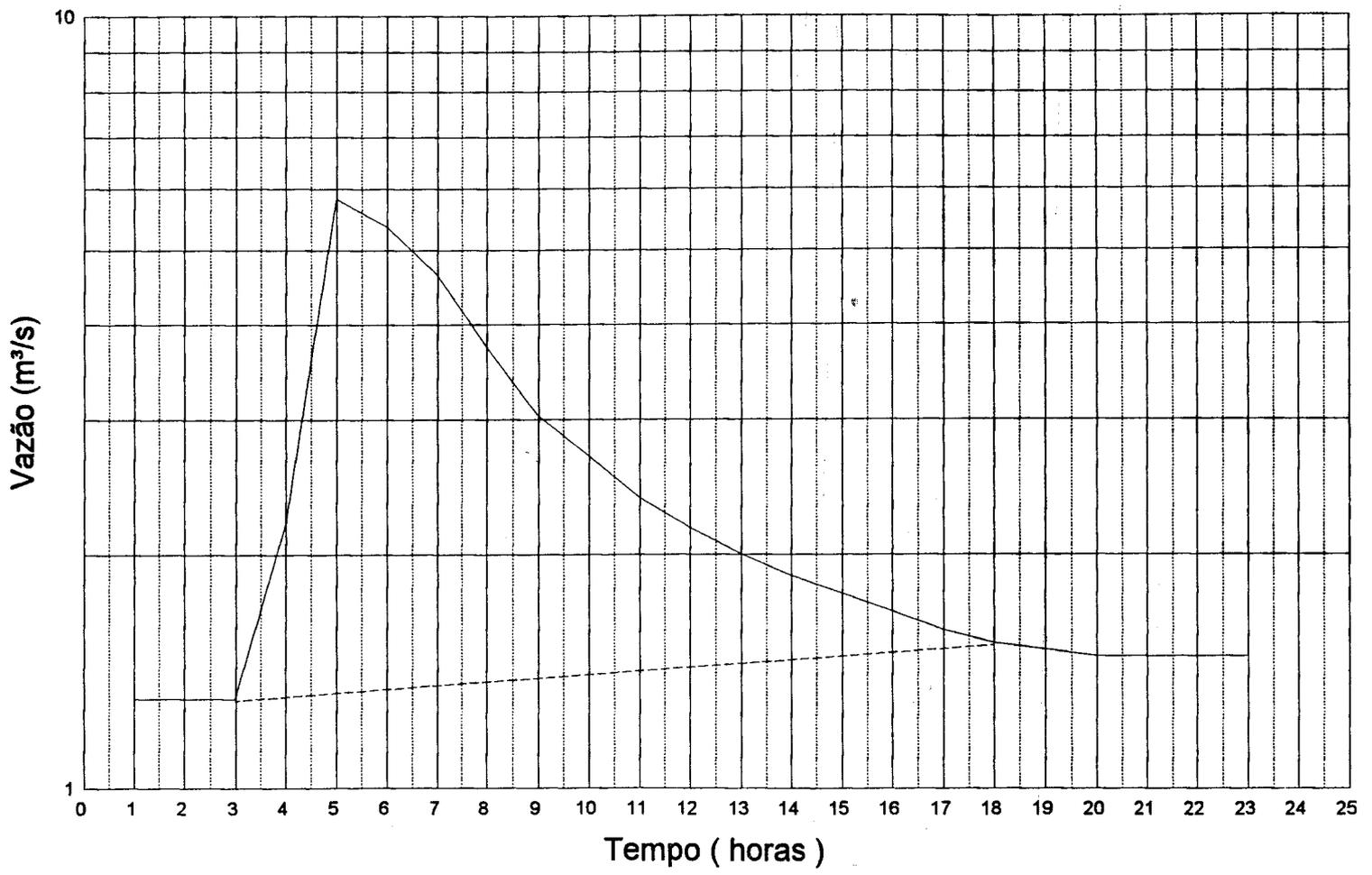


FIGURA 20 - Critério utilizado para separação da parte referente ao Escoamento Superficial



Os valores encontrados ficaram entre 15 e 45 minutos, abaixo portanto do valor de 1 hora adotado como período unitário. Assim sendo, os eventos de cheia puderam ser tratados como eventos simples (CHOW, 1988, p.217 e TUCCI, 1993, p.418), ou seja, causados por apenas um "pulso" de chuva com a duração de 1 hora, o que, de certa maneira, veio confirmar o acerto na escolha feita, na fase de seleção dos eventos de cheia isolados.

d) Estimativa da Taxa de Perdas Média (Índice Φ)

A parte da chuva total que não esco superficialmente, ou seja, as parcelas referentes à retenção superficial, à evaporação e à infiltração, são consideradas como "perdas", do ponto de vista de escoamento superficial.

Quando se dispõe de registros pluvio-fluviográficos do evento de cheia, torna-se possível fazer uma estimativa da taxa de perdas ocorrida. Um método relativamente simples de fazer esta estimativa é o denominado Índice Φ , que considera as perdas ocorrendo a uma taxa constante (CHOW, 1988 e LINSLEY et al., 1972 e 1975).

O procedimento deste método é o mesmo utilizado para estimar a duração da chuva efetiva, ou seja, marcando-se o hietograma da chuva efetiva sobre o hietograma da chuva total. Esta marcação é feita inicialmente sobre o maior acréscimo do hietograma da chuva total até o limite do segundo maior acréscimo. A partir deste limite, passa-se a distribuir uniformemente a altura da chuva efetiva sobre os dois maiores acréscimos, até o limite do terceiro maior. Prossegue-se assim por diante até a distribuição total da chuva efetiva. Feita a marcação do hietograma da chuva efetiva, calcula-se o índice Φ , considerando-se apenas os acréscimos do hietograma original em que houve a sobreposição. Este cálculo é feito dividindo-se a altura de chuva residual, após a subtração da chuva efetiva, pelo intervalo de tempo correspondente aos acréscimos utilizados.

Este índice, normalmente, é utilizado para estimar a chuva efetiva, quando não se dispõe de registros fluviométricos. No caso deste trabalho, como se dispunha dos dados de vazão, a determinação dos HUs não dependia da definição da taxa de perdas. Contudo, decidiu-se calcular os índices Φ , para os 16 eventos em que isto era possível, com o objetivo de estimar-se uma taxa de perdas média para a bacia. Os valores do índice Φ encontrados para a bacia do Ribeirão Estiva ficaram no intervalo $13 \text{ mm/h} < \Phi < 69 \text{ mm/h}$, com um valor médio igual a 35 mm/h .

e) Determinação dos Hidrogramas Unitários

Uma vez definidos os hidrogramas de escoamento superficial, as alturas das chuvas efetivas e o período unitário, os hidrogramas unitários foram determinados adotando-se a altura da chuva unitária como sendo de 1 cm. Assim, utilizando o *Princípio da Proporcionalidade das Descargas*, foram calculadas as ordenadas dos hidrogramas unitários (Q_{HU}), dividindo-se as ordenadas dos hidrogramas de escoamento superficial ($Q_{esc.sup.}$) pelas alturas de chuvas efetivas (P_{ef}) de cada evento ($Q_{esc.sup.} / P_{ef} = Q_{HU} / 1 \text{ cm}$).

Ao final, fez-se a comparação entre os volumes escoados obtidos com cada HU e o volume da chuva unitária ($31,5 \text{ km}^2 \times 1 \text{ cm}$) para certificar-se da correção dos cálculos.

Na Tabela 8, mostrada a seguir, é apresentado um resumo dos resultados obtidos, com os principais valores envolvidos no cálculo dos hidrogramas unitários do Ribeirão Estiva.

f) Cálculo do Hidrograma Unitário Médio

Antes de calcular o HU médio do Ribeirão Estiva, foi feita uma análise dos resultados obtidos. Comparando-se os 22 HU's, observou-se que aqueles de números 2, 3 e 17, obtidos com as cheias dos dias 11.12.84, 13.02.88 e 20.12.89 respectivamente, apresentavam as características básicas (t_b , t_p e QHU_{max}) discrepantes em relação aos outros 19 HU's. Considerando a hipótese, desta diferença ser devida à não uniformidade nas distribuições temporal e espacial das chuvas correspondentes àqueles eventos, decidiu-se por excluí-los da série a ser utilizada no trabalho.

Calculou-se então, o HU médio com base nos outros 19 HU's, posicionando-os de forma a fazer coincidir os picos (TUCCI, 1993, p.426) e calculando as médias das ordenadas para cada intervalo de tempo. Definido o HU médio, fez-se o ajuste final para que seu volume unitário ficasse igual a 315.000 m³ (31,5 km² x 1 cm). Na Figura 21, que se segue, são apresentados os 19 HU's e o HU médio obtido para o Ribeirão Estiva.

4.1.2 Hidrograma Unitário do Ribeirão Serra Azul em Jardim

Para a determinação do HU do Ribeirão Serra Azul, conforme mencionado no sub ítem 3.1.3, foram escolhidos 20 hidrogramas de cheia dentre os 90 pré-selecionados. Uma vez definidos os hidrogramas que seriam utilizados, procedeu-se da mesma forma que no Ribeirão Estiva, ou seja:

a) Determinação dos Volumes Escoados Superficialmente

Para fazer a separação da parte do hidrograma de cheia referente ao escoamento superficial, utilizou-se o mesmo critério adotado para o Ribeirão Estiva. Traçou-se um segmento de reta entre o início do escoamento, que estava sempre bem definido nos hidrogramas escolhidos, e o ponto onde o final do escoamento superficial ficava caracterizado pela mudança de declividade no trecho descendente do hidrograma, retificado pela plotagem das descargas em escala logarítmica. Separados os hidrogramas de escoamento superficial, calculou-se os volumes totais escoados pelo processo aritmético, multiplicando-se a soma das ordenadas pelo intervalo de tempo entre estas.

b) Determinação das Alturas das Chuvas Efetivas e dos Coeficientes de Escoamento Superficial

Calculados os volumes de escoamento superficial, os mesmos foram transformados em chuvas efetivas, dividindo-se os respectivos valores pela área da bacia de drenagem (112,5 km²).

Os coeficientes de escoamento superficial foram obtidos, dividindo-se as alturas de chuva efetiva pelas alturas de chuvas totais correspondentes, sendo que os

TABELA 8 - Resumo dos Resultados Obtidos na Determinação dos Hidrogramas Unitários do Ribeirão Estiva

Hidrograma	Data	tb (horas)	tp (horas)	Q max (m ³ /s)	Q base (m ³ /s)	Q esc (m ³ /s)	P tot (mm)	Duração (horas)	V esc (m ³)	P ef (mm)	tr (min)	CES (%)	Índ. Φ (mm/h)	QHU max (m ³ /s)
1	07.01.84	14	2	5,8	1,3	4,5	68	1 (?)	33.800	2,34	15 (?)	3,4	(?)	19,11
2	11.12.84	12	4	3,7	0,7	3,0	17	1	39.500	1,25	15	7,4	34	23,52
3	13.02.88	9	1,5	6,6	0,7	5,9	67	2	54.100	1,72	15	2,6	69	33,87
4	03.12.84	15	3	5,0	0,7	4,3	43	(?)	85.800	2,73	(?)	6,3	(?)	15,93
5	29.03.85	14	4	6,5	1,4	5,1	60	1 (?)	94.500	3,00	(?)	5,0	(?)	17,00
6	21.01.87	16	3	3,8	0,4	3,4	43	2	68.100	2,16	30	5,0	31	15,56
7	09.01.89	15	4	4,1	0,4	3,7	12	1	56.100	1,78	15	14,1	15	20,83
8	07.02.89	15	4,5	3,3	0,3	3,0	32	1	55.900	1,78	15	5,5	45	16,88
9	15.11.91	14	3	2,5	0,1	2,4	21	1	37.300	1,18	15	5,6	24	20,47
10	26.02.89	15	2,5	4,5	0,3	4,2	64	2	74.500	2,37	15	3,7	58	17,74
11	27.02.93	14	3,5	4,5	0,5	4,0	40	1	81.700	2,59	30	6,5	24	15,47
12	06.01.91	18	2,5	8,8	0,3	8,5	50	1,5	171.400	5,44	15	10,9	40	15,69
13	06.12.83	17	3	9,8	1,4	8,4	113	(?)	167.600	5,32	15 (?)	5,0	(?)	15,79
14	02.03.86	15	2	6,9	0,7	6,2	13 (?)	1,5	114.700	3,64	30	28,0 (?)	13	17,11
15	07.12.87	17	3,5	8,9	0,6	8,3	43	2	148.400	4,71	30	10,9	32	17,60
16	07.03.89	18	4	6,6	0,5	6,1	44	3	130.500	4,14	30	9,5	20	14,94
17	20.12.89	22	9	10,0	1,6	8,4	60	2,5	209.100	6,64	45	11,0	43	12,56
18	27.12.92	18	4	7,5	0,6	6,9	41	3	140.600	4,46	15	11,0	32	15,57
19	08.01.88	15	4	6,1	0,8	5,3	38	4	96.700	3,17	30 (?)	8,4	(?)	16,67
20	11.01.88	15	4	7,4	1,2	6,2	20	(?)	111.300	3,53	(?)	17,8	(?)	17,69
21	11.12.90	16	4	4,2	0,1	4,1	55	2,5	72.200	2,31	30	4,2	39	17,83
22	18.02.91	16	4	4,8	0,5	4,3	26	1,5	90.400	2,87	15	10,9	36	14,84
Valores Médios		15h 27'	3h 35'								22	7,8	35	17,8

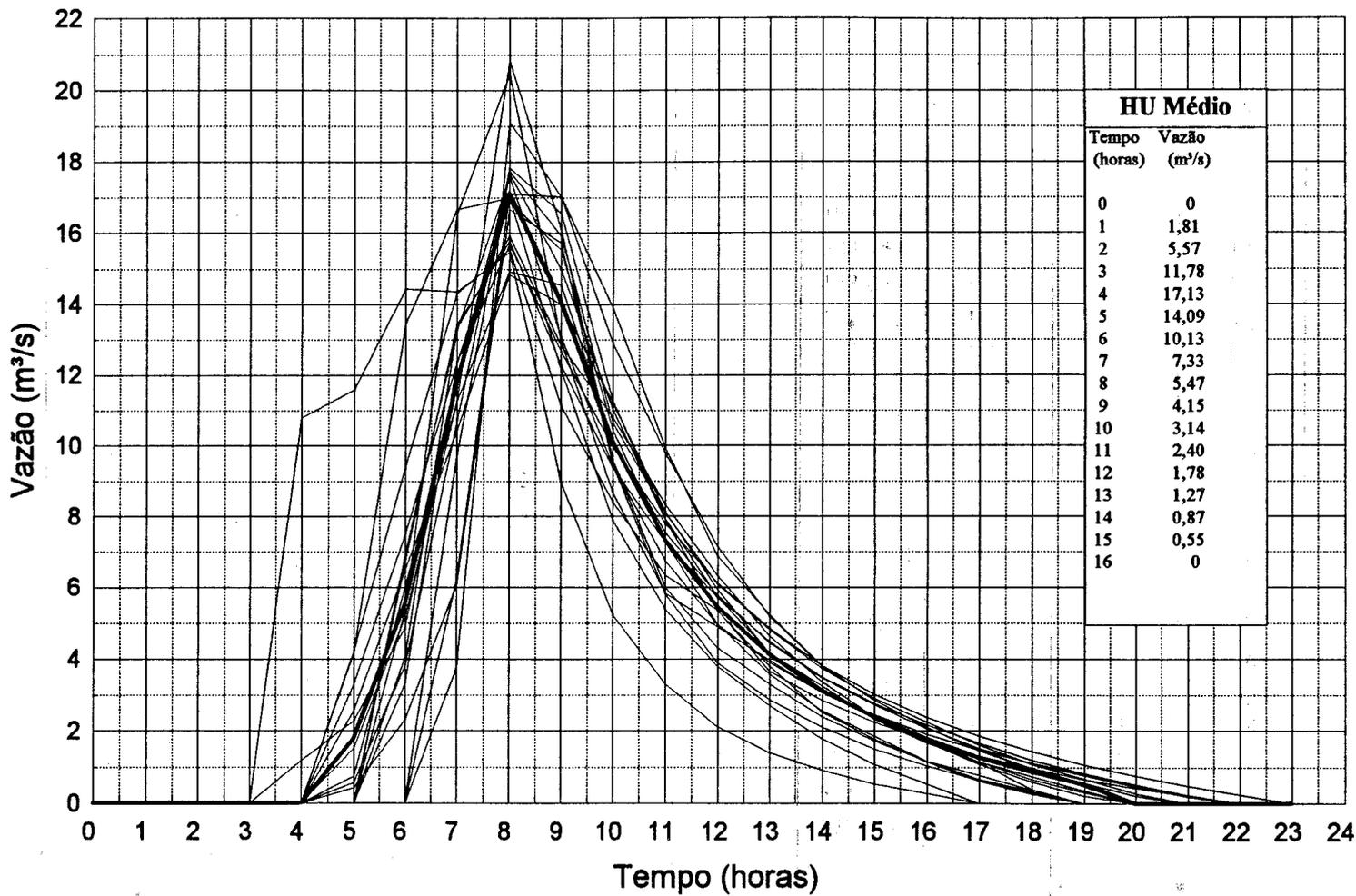


FIGURA 21 - Hidrograma Unitário Médio do Ribeirão Estiva em Fazenda Solar

valores destas foram obtidos, conforme mencionado no sub item 3.2.1, calculando-se a chuva média na bacia, através do Método de Thiessen. Os valores de CES encontrados para os 20 hidrogramas de cheia ficaram no intervalo $4\% < \text{CES} < 10\%$, com o valor médio igual a 6,9%. Estes valores, de certo modo, vieram confirmar os valores de CES obtidos para o Ribeirão Estiva, sugerindo que as sub bacias que compõem a bacia do Ribeirão Serra Azul realmente apresentam baixos escoamentos superficiais. Deve-se observar também que estes valores são bem inferiores aos mencionados no estudo feito para o gerenciamento da bacia hidrográfica do Ribeirão Serra Azul (COPASA, 1983, b), que baseou-se apenas nos dados da Estação Linigráfica de Cândidos, localizada a jusante da barragem, já nas proximidades do encontro com o Ribeirão Mateus Leme.

c) Escolha do Período Unitário

Considerando o intervalo de variação dos tempos de pico (t_p) dos 20 hidrogramas de cheia escolhidos para a determinação do HU do Ribeirão Serra Azul, $6 \text{ h} < t_p < 14 \text{ h}$, e o intervalo geralmente recomendado para a escolha do período unitário ($t_p/6 < t_r < t_p/3$), concluiu-se que o valor de t_r mais razoável para o caso do Ribeirão Serra Azul seria de 2 horas. Este valor, inclusive, coincidia com o intervalo normal de leitura dos linigramas, facilitando a construção dos hidrogramas.

Para fazer a verificação do valor escolhido, procedeu-se também como no Ribeirão Estiva, ou seja, foi feita uma estimativa dos valores teóricos das durações das chuvas efetivas, tendo-se concluído que os mesmos estariam entre 15 minutos e 1 hora. Assim, adotando-se a duração da chuva efetiva (período unitário) igual a 2 horas, poderia-se tratar as cheias como eventos simples, causados por um único "pulso" de chuva.

d) Estimativa da Taxa de Perdas Média (Índice Φ)

Visando estimar a taxa de perdas média também na bacia do Ribeirão Serra Azul, foram marcados os hietogramas de chuvas efetivas sobre os hietogramas de chuvas totais, para os 11 eventos em que isto era possível, e calculados os índices Φ destes eventos, utilizando-se o método já descrito.

Os valores encontrados ficaram no intervalo $20 \text{ mm/h} < \Phi < 68 \text{ mm/h}$, com o valor médio igual a 41 mm/h.

Como se pode observar, estes valores estão bem próximos daqueles obtidos para a bacia do Ribeirão Estiva. Essa coerência entre os resultados, assim como a coerência entre os resultados obtidos para o coeficiente de escoamento superficial, indicam haver uma certa uniformidade no comportamento das duas bacias, quanto às perdas por retenção superficial, infiltração e evaporação.

e) Determinação dos Hidrogramas Unitários

Determinados os hidrogramas de escoamento superficial e as alturas de chuvas efetivas dos 20 eventos de cheia escolhidos, calculou-se os HU's correspondentes, utilizando o período unitário previamente definido (2 horas) e a altura da chuva unitária igual a 1 cm. Para tanto, procedeu-se da mesma forma que no Ribeirão Estiva, comparando-se, no final dos cálculos, os volumes escoados de cada HU, com o volume definido pela chuva unitária e a área de drenagem da bacia ($1.125.000 \text{ m}^3$).

Na Tabela 9, que se segue, é apresentado um resumo dos resultados obtidos, com os principais valores envolvidos no cálculo dos HU's do Ribeirão Serra Azul.

f) Cálculo do Hidrograma Unitário Médio

Analisando os resultados obtidos na determinação dos 20 HU's do Ribeirão Serra Azul, observou-se que o HU de número 5 (cheia de 15.11.91) apresentava valores para a vazão e o tempo de pico discrepantes em relação aos demais. Este fato, muito provavelmente, se deve à não uniformidade na distribuição espacial da chuva que deu origem àquele evento de cheia, visto que as alturas pluviométricas registradas nas Estações de Alto da Boa Vista e Serra Azul foram cerca de 3,5 vezes maiores que as observadas nas outras quatro estações situadas na bacia. Assim sendo, optou-se por excluir este HU da série que seria utilizada para calcular HU médio.

Para determinar o HU médio, foram plotados os outros 19 HU's, fazendo coincidir os picos e calculando-se as médias das ordenadas correspondentes. No final, foram feitos pequenos ajustes para que o volume unitário ficasse igual a 1.125.000 m³.

A Figura 22, mostrada na seqüência, apresenta o gráfico com os 19 HU's e o HU médio obtido. Comparando os HU's médios obtidos para as duas bacias, percebe-se ter havido um "alargamento" na forma do HU médios do Ribeirão Serra Azul, em relação ao do Ribeirão Estiva. Isto se deve ao amortecimento natural da onda de cheia, causado pela maior capacidade de armazenamento da bacia do Ribeirão Serra Azul, que tem uma área cerca de 3,5 vezes maior, com uma declividade média do talvegue principal cerca de 3 vezes menor, em relação à bacia do Ribeirão Estiva.

4.2 Hidrogramas Unitários Sintéticos de Snyder

Snyder foi um dos primeiros autores, se não o primeiro (SINGH,1992, p.549) a estabelecer um conjunto de fórmulas, relacionando as características físicas da bacia aos componentes básicos do HU. Para tanto, em 1938, realizou um estudo baseado em 20 bacias hidrográficas, com áreas de drenagem de 25 a 25.000 km², situadas na região dos Montes Apalaches, no leste dos EUA. Neste estudo, Snyder adotou como parâmetro básico o tempo de pico (tp), que é o intervalo de tempo decorrido entre o centro de massa da chuva efetiva unitária e o pico do hidrograma unitário (ver Figura 19, já apresentada). Os demais componentes do HU foram relacionados com tp através de equações estabelecidas de forma empírica.

Inicialmente Snyder definiu como sendo HU padrão, o HU cujo tempo de pico é igual a 5,5 vezes a duração da chuva efetiva unitária, ou seja:

$$t_p = 5,5 t_r \quad (4.1)$$

Para este HU padrão estabeleceu uma equação, correlacionando o tempo de pico, com duas características físicas da bacia: o comprimento do canal principal, desde o ponto mais a montante até a seção em estudo (L); e a distância entre a seção em estudo e o ponto do canal principal mais próximo do centro de gravidade da bacia (Lc). A equação proposta por Snyder foi:

TABELA 9 - Resumo dos Resultados Obtidos na Determinação dos Hidrogramas Unitários do Ribeirão Serra Azul

Hidrograma	Data	tb (horas)	tp (horas)	Q max (m³/s)	Q base (m³/s)	Q esc (m³/s)	P tot (mm)	V esc (m³)	P ef (mm)	tr (min)	CES (%)	Índ. Φ (mm/h)	QHU max (m³/s)
1	18.03.86	20	10	7,3	2,2	5,1	24,3	188.554	1,68	?	6,9	?	30,29
2	21.01.87	20	8	8,7	2,4	6,3	19,6	185.861	1,65	?	8,4	?	37,57
3	10.03.87	22	12	11,6	4,2	7,4	53,4	284.951	2,53	?	4,7	?	29,39
4	13.02.89	18	6	7,0	2,3	4,7	20,3	143.034	1,27	30	6,3	41	36,81
5	15.11.91	20	6	9,6	1,4	8,2	37,3	172.339	1,53	15	4,1	68	53,25
6	20.01.93	20	8	8,9	3,1	5,8	23,5	182.783	1,63	30	6,9	43	35,66
7	20.12.86	24	8	8,7	1,5	7,2	39,3	236.863	2,11	?	5,4	?	34,10
8	29.01.87	24	10	11,2	2,2	9,0	30,8	302.905	2,69	?	8,7	?	33,51
9	18.02.87	24	8	7,1	2,0	5,1	27,2	194.839	1,73	?	6,4	?	29,41
10	09.01.93	24	8	8,8	2,7	6,1	21,4	184.552	1,64	30	7,7	20	37,43
11	07.01.84	26	14	11,0	3,7	7,3	39,2	342.674	3,05	30	7,8	42	23,98
12	24.02.93	26	12	11,8	2,9	8,9	43,0	355.680	3,16	30	7,4	27	28,06
13	14.01.85	28	12	11,5	3,3	8,2	36,5	392.174	3,49	?	9,6	?	23,58
14	31.01.88	26	10	8,8	2,5	6,3	39,6	252.429	2,24	?	5,7	?	28,32
15	08.12.91	26	8	6,3	1,5	4,8	35,8	218.072	1,94	30	5,4	25	24,78
16	03.12.84	28	10	10,7	2,4	8,3	36,1	404.356	3,59	?	10,0	?	23,01
17	07.02.89	26	8	9,9	2,4	7,5	36,5	304.985	2,71	15	7,4	40	27,58
18	21.01.91	28	10	10,0	2,9	7,1	31,5	275.425	2,45	30	7,8	44	29,18
19	28.02.85	28	12	18,4	4,3	14,1	62,1	651.655	5,79	30	9,3	56	24,41
20	19.02.91	30	14	9,9	2,5	7,4	39,0	377.604	3,36	60	8,6	40	22,14
Valores Médios		24h 25'	9h 42'							30	6,9	41	30,6

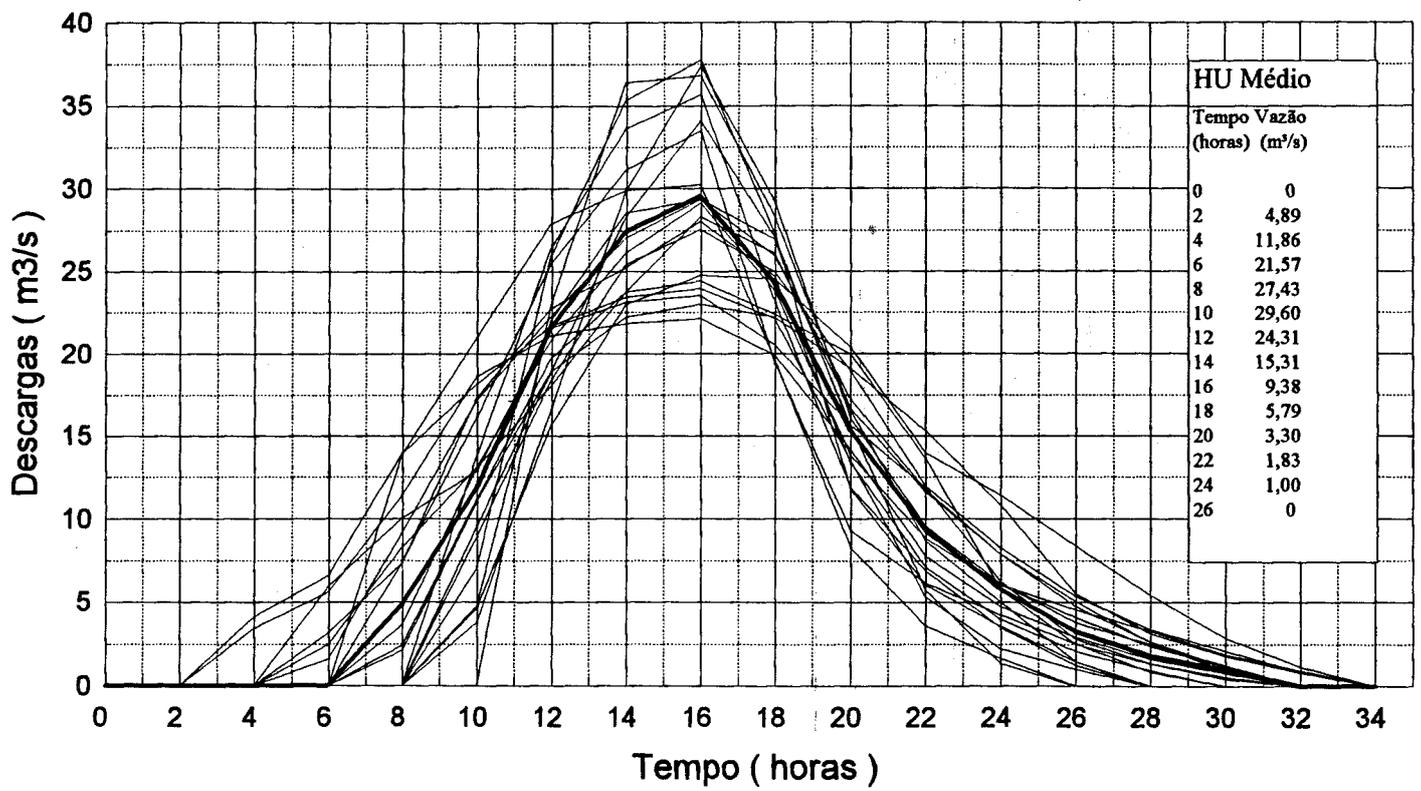


FIGURA 22 - Hidrograma Unitário Médio do Ribeirão Serra Azul em Jardim

$$t_p = 0,75.C_t.(L.L_c)^{0,3} \quad (4.2)$$

sendo t_p em horas, L e L_c em km e C_t , um coeficiente adimensional, próprio da região para a qual o estudo foi feito. No caso das bacias estudadas pelo autor do método, os valores deste coeficiente variavam no intervalo de 1,8 a 2,2 .

Quando se tem uma duração de chuva efetiva diferente da duração da chuva efetiva do HU padrão ($t_{rH} \neq t_p/5,5$), torna-se necessário fazer uma correção no tempo de pico. Para tanto, foi proposta a seguinte equação:

$$t_{pH} = t_p + \frac{t_{rH} - t_r}{4} \quad (4.3)$$

onde t_{pH} e t_{rH} são o tempo de pico e a duração da chuva efetiva do HU em questão e t_p e t_r , o mesmo do HU padrão.

Uma vez definido o tempo de pico, a vazão máxima do HUS, ou vazão de pico (Q_p), para uma chuva efetiva unitária de duração t_r e altura igual a 1cm, pode ser obtida através da seguinte equação:

$$Q_p = \frac{2,75.C_p.A}{t_p} \quad (4.4)$$

onde, Q_p é a vazão de pico em m^3/s , A é a área de drenagem da bacia em km^2 , t_p o tempo de pico em horas e C_p , um coeficiente adimensional característico da região, a ser adotado para a bacia em estudo. Para as bacias estudadas por Snyder, foram encontrados valores de C_p no intervalo de 0,56 a 0,69.

Para determinar o tempo de base do HU (sendo t_b em dias), Snyder propôs a equação:

$$t_b = 3 + 3(t_p / 24). \quad (4.5)$$

Como esta equação não se aplica a pequenas bacias, visto que o menor valor que ela fornece seria de 3 dias, normalmente adota-se o recurso de considerar o HU como tendo a forma de um triângulo, cuja base é t_b , a altura Q_p e a área, o volume unitário do HU ($A \times 1cm$). Assim, o valor de t_b pode ser obtido através de: $t_b = 2(A \times 1cm)/Q_p$. Para $P_{ef} = 1cm$, A em km^2 , Q_p em m^3/s e t_b em horas, tem-se:

$$t_b = \frac{5,56.A}{Q_p} \quad (4.6)$$

Obtidos os três parâmetros básicos (t_p , Q_p e t_b), pode-se esboçar o HU na sua forma triangular. Para tentar aproximar este HU da sua forma real, geralmente utiliza-se um método desenvolvido pelo U.S. Army Corps of Engineers (CHOW, 1988, p.224 e SINGH, 1992, p.551), que relaciona as larguras correspondentes às vazões iguais a 75% e 50% de Q_p , com a própria vazão de pico e a área da bacia, através das seguintes fórmulas:

$$W_{75} = \frac{1,22}{\left(\frac{Q_p}{A}\right)^{1,08}} \quad \text{e} \quad W_{50} = \frac{2,14}{\left(\frac{Q_p}{A}\right)^{1,08}} \quad (4.7 \text{ e } 4.8)$$

sendo W_{75} e W_{50} , em horas, Q_p em m^3/s e A em km^2 . Determinados estes valores, os mesmos são marcados no HU, de forma a que um terço da largura fique antes de Q_p e dois terços depois. O HU é então redesenhado, com estas larguras, procurando-se manter o volume unitário.

Deve-se observar que um ponto muito importante da aplicação deste método é a definição dos coeficientes a serem adotados, visto que cada bacia, ou conjunto de bacias, apresenta coeficientes próprios. Como foi mencionado, diversos autores realizaram estudos visando a determinação destes coeficientes. Singh (1992, p.550) menciona os seguintes estudos já realizados para a obtenção dos coeficientes C_t e C_p :

Autores	Número de bacias estudadas	Áreas das bacias (em km^2)	Local das bacias estudadas	C_t	C_p
Miller et alli (1983)	27	-	Pensilvania	1,01 a 4,33	0,23 a 0,67
Bull (1968)	25	-	Kansas e Missouri	1 a 4	-
Hudlow/Clark (1969)	13	1,28 a 192,0	Texas	0,40 a 2,26	0,31 a 1,22
Linsley (1943)	-	-	NO dos EUA Califórnia	0,3 a 0,7 0,7 a 1,0	- 0,35 a 0,59
Cordery (1968)	12	0,05 a 635,0	Austrália	0,4 a 2,4	0,4 a 1,1

No Brasil, em um estudo realizado pelo Professor Kokei Uehara da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (WILKEN, 1978, p.191), foram obtidos os valores de C_t , para duas sub bacias do Rio Paraíba do Sul, em São Paulo. Na primeira, Ribeirão dos Motas em Tamandaré ($A = 101,4 km^2$, $L = 30 km$, $L_c = 15 km$ e $t_p = 4,5$ horas), encontrou-se $C_t = 0,82$; e na segunda, Ribeirão Taboão no Haras Mondesir ($A = 76,5 km^2$, $L = 30 km$, $L_c = 15 km$ e $t_p = 3,5$ horas), obteve-se $C_t = 0,83$.

Considerando o propósito inicial deste trabalho, que é uma comparação das metodologias mais utilizadas no Brasil, e especificamente em Minas Gerais, optou-se por calcular os HUS's de Snyder utilizando os coeficientes normalmente aqui adotados. Não obstante este objetivo principal, a realização deste estudo ensejou a possibilidade de fazer-se uma estimativa dos coeficientes C_t e C_p para as bacias dos Ribeirões Estiva e Serra Azul, como será visto mais adiante.

No país, a aplicação do Método de Snyder, geralmente é feita utilizando os próprios coeficientes determinados por Snyder, para a região dos Montes Apalaches, nos EUA, ou seja, $1,8 < C_t < 2,2$ e $0,56 < C_p < 0,69$. Para alguns casos, são adotados os coeficientes determinados por Linsley na Região da Serra Nevada, na Califórnia, ou seja, $0,7 < C_t < 1,0$ e $0,35 < C_p < 0,50$. Assim, para estabelecer a comparação, optou-se por determinar o HUS de Snyder para as duas sub bacias, utilizando os coeficientes obtidos

por ambos autores e considerando os valores extremos e o valor médio obtidos em cada método. Neste ítem, são apresentados os resultados obtidos com os coeficientes de Snyder e no ítem seguinte (4.3), os HUS's que foram denominados Snyder/Linsley, por terem sido obtidos com os coeficientes de Linsley.

4.2.1 HUS's de Snyder para o Ribeirão Estiva

Para determinar as características físicas da bacia do Ribeirão Estiva, utilizou-se a carta do IBGE, escala 1: 50.000, folha de Igarapé, a partir da qual foram obtidos a área de drenagem ($A = 31,5 \text{ km}^2$) e o comprimento do talvegue principal ($L = 8,6 \text{ km}$) a montante da Estação de Fazenda Solar. Para calcular a distância L_c , determinou-se o Centro de Gravidade da bacia, recortando-se sua forma num cartão e suspendendo-se o mesmo, sucessivamente, por dois ou mais pontos. A interseção das verticais, tiradas dos pontos de suspensão com um fio de prumo, forneceu a posição do centro de gravidade da bacia (PFAFSTETTER, 1976, p.128). O valor obtido foi de 4,6 km.

Definidos os valores de A , L e L_c , calculou-se o tempo de pico em função de C_t , ou seja:

$$t_p = 0,75 \times C_t (8,6 \times 4,6)^{0,3} \rightarrow t_p = 2,26 C_t \quad (4.9)$$

Com esta fórmula foram calculados t_p e t_r ($t_p/5,5$) para os valores extremos e médio de C_t , obtendo-se os seguintes valores:

para $C_t = 2,2 \rightarrow t_p = 4,97 \text{ h}$ e $t_r = 0,90 \text{ h}$;
 para $C_t = 2,0 \rightarrow t_p = 4,52 \text{ h}$ e $t_r = 0,82 \text{ h}$;
 para $C_t = 1,8 \rightarrow t_p = 4,07 \text{ h}$ e $t_r = 0,74 \text{ h}$.

Visando uniformizar os HU's para a comparação dos resultados obtidos com cada metodologia, adotou-se como duração da chuva efetiva no método de Snyder, o mesmo período unitário adotado quando da determinação dos HU's reais do Ribeirão Estiva, ou seja, 1 hora. Assim, foi necessário corrigir os valores de t_p , através da equação 4.3. Considerando $t_rH = 1$ hora, foram obtidos os novos valores para o tempo de pico:

para $t_p = 4,97 \text{ h}$, $t_r = 0,90 \text{ h}$ e $t_rH = 1 \text{ h} \rightarrow t_{pH} = 5,00 \text{ h}$;
 para $t_p = 4,52 \text{ h}$, $t_r = 0,82 \text{ h}$ e $t_rH = 1 \text{ h} \rightarrow t_{pH} = 4,57 \text{ h}$;
 para $t_p = 4,07 \text{ h}$, $t_r = 0,74 \text{ h}$ e $t_rH = 1 \text{ h} \rightarrow t_{pH} = 4,14 \text{ h}$.

Para o cálculo da vazão de pico foram considerados os valores de C_p e t_p , que forneciam as vazões de pico máxima, média e mínima, ou seja:

$$Q_p = \frac{2,75 \times C_p \times 31,5}{t_p} \rightarrow Q_p = 86,63 \frac{C_p}{t_p} \quad (4.10)$$

para $C_p = 0,69$ e $t_p = 4,14$ h $\rightarrow Q_{pmax} = 14,44$ m³/s;
 para $C_p = 0,62$ e $t_p = 4,57$ h $\rightarrow Q_{pmed} = 11,75$ m³/s;
 para $C_p = 0,56$ e $t_p = 5,00$ h $\rightarrow Q_{pmin} = 9,70$ m³/s.

Os tempos de base foram calculados, considerando $A = 31,5$ km² e os valores de Q_p obtidos, ou seja:

$$t_b = \frac{5,56 \times 31,5}{Q_p} \rightarrow t_b = \frac{175,14}{Q_p} \quad (4.11)$$

para $Q_{pmax} = 14,44$ m³/s $\rightarrow t_b = 12,13$ h;
 para $Q_{pmed} = 11,75$ m³/s $\rightarrow t_b = 14,91$ h;
 para $Q_{pmin} = 9,70$ m³/s $\rightarrow t_b = 18,06$ h.

As larguras do HU correspondentes a 75 % e 50 % de Q_p foram calculadas para $A = 31,5$ km² e os valores de Q_p obtidos, através das fórmulas:

$$W_{75} = \frac{1,22}{\left(\frac{Q_p}{31,5}\right)^{1,08}} \rightarrow W_{75} = \frac{50,64}{Q_p^{1,08}} \quad (4.12)$$

$$W_{50} = \frac{2,14}{\left(\frac{Q_p}{31,5}\right)^{1,08}} \rightarrow W_{50} = \frac{88,84}{Q_p^{1,08}} \quad (4.13)$$

para $Q_{pmax} \rightarrow W_{75} = 2,83$ h e $W_{50} = 4,97$ h;
 para $Q_{pmed} \rightarrow W_{75} = 3,54$ h e $W_{50} = 6,21$ h;
 para $Q_{pmin} \rightarrow W_{75} = 4,35$ h e $W_{50} = 7,64$ h.

Após estes cálculos, definiu-se a faixa de variação dos HUS's do Ribeirão Estiva, com $t_r = 1$ hora, para os coeficientes de Snyder, ou seja:

	Ct	Cp	tp (h)	Qp (m ³ /s)	tb (h)	W75 (h)	W50 (h)
HUSmax	1,8	0,69	4,14	14,44	12,13	2,83	4,97
HUSmed	2,0	0,62	4,57	11,75	14,91	3,54	6,21
HUSmin	2,2	0,56	5,00	9,70	18,06	4,35	7,64

Na Figura 23, que se segue, estes HU's são apresentados na sua forma gráfica, após a distribuição das larguras W_{75} e W_{50} , com os ajustes para a manutenção do volume unitário. Plotou-se também neste gráfico o HU médio observado, para que se possa visualizar a diferença entre este e os HUS's obtidos com o Método de Snyder.

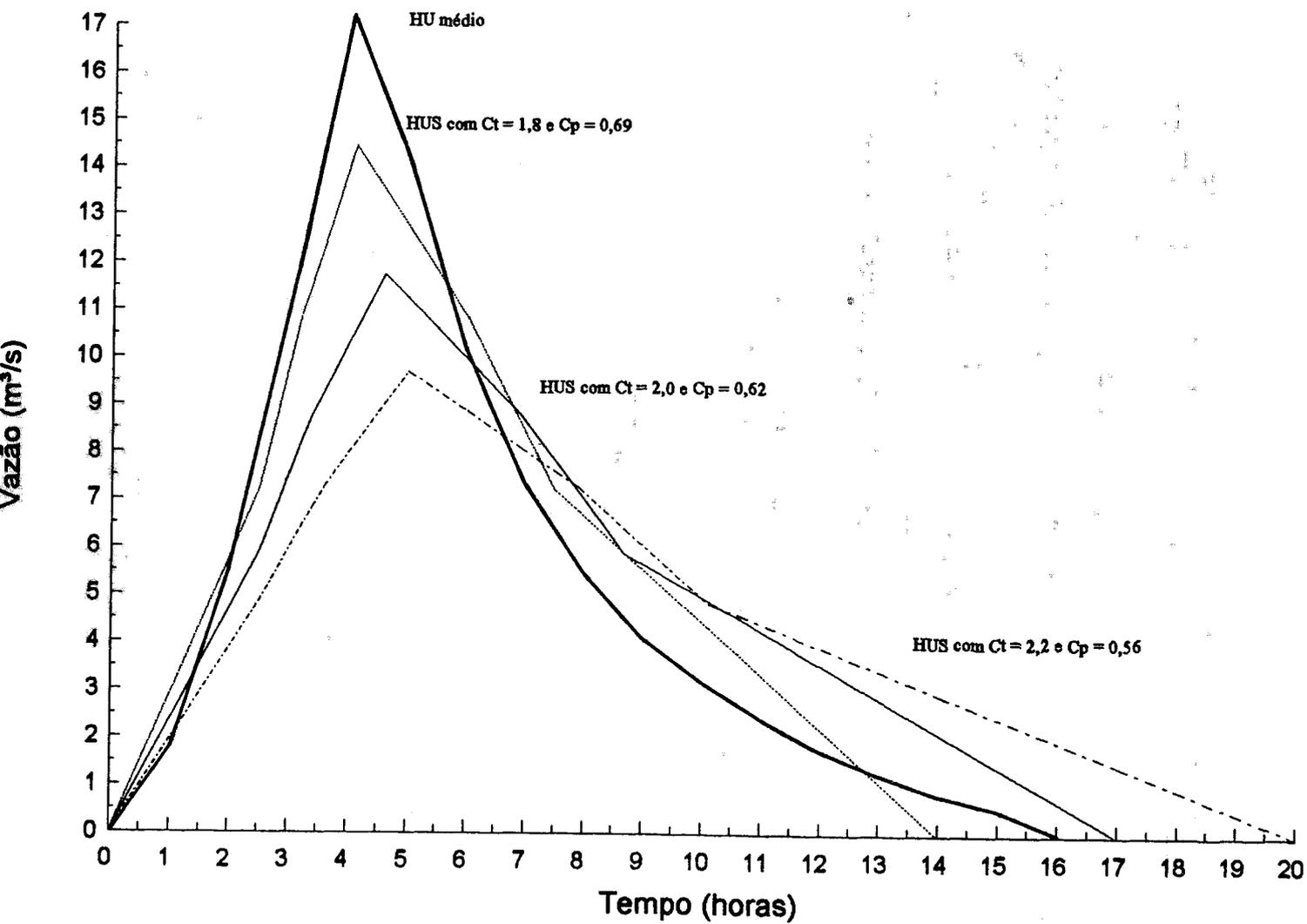


FIGURA 23 - Hidrogramas Unitários Sintéticos de Snyder x HU médio para o Ribeirão Estiva

4.2.2 HUS's de Snyder para o Ribeirão Serra Azul

As características básicas da bacia do Ribeirão Serra Azul foram obtidas da mesma forma já descrita para o Ribeirão Estiva. Os valores encontrados foram: $A = 112,5 \text{ km}^2$, $L = 21,3 \text{ km}$ e $L_c = 11,6 \text{ km}$. Com base nestes valores foram definidas as fórmulas para o cálculo dos HUS's de Snyder desta bacia, ou seja:

$$t_p = 0,75 \times C_t (21,3 \times 11,6)^{0,3} \rightarrow t_p = 3,92 C_t \quad (4.14)$$

$$Q_p = \frac{2,75 \times C_p \times 112,5}{t_p} \rightarrow Q_p = 309,38 \frac{C_p}{t_p} \quad (4.15)$$

$$t_b = \frac{5,56 \times 112,5}{Q_p} \rightarrow t_b = \frac{625,50}{Q_p} \quad (4.16)$$

$$W_{75} = \frac{1,22}{\left(\frac{Q_p}{112,5}\right)^{1,08}} \rightarrow W_{75} = \frac{200,26}{Q_p^{1,08}} \quad (4.17)$$

$$W_{50} = \frac{2,14}{\left(\frac{Q_p}{112,5}\right)^{1,08}} \rightarrow W_{50} = \frac{351,28}{Q_p^{1,08}} \quad (4.18)$$

Visando determinar a faixa de variação dos HUS's com os coeficientes de Snyder para esta bacia, foram calculados os valores extremos e médio dos HUS's, da mesma forma que foi feita para o Ribeirão Estiva.

Os tempos de pico e de duração da chuva efetiva obtidos inicialmente foram:

$$\begin{aligned} \text{para } C_t = 2,2 &\rightarrow t_p = 8,62 \text{ h e } t_r = 1,57 \text{ h;} \\ \text{para } C_t = 2,0 &\rightarrow t_p = 7,84 \text{ h e } t_r = 1,43 \text{ h e} \\ \text{para } C_t = 1,8 &\rightarrow t_p = 7,06 \text{ h e } t_r = 1,28 \text{ h.} \end{aligned}$$

Considerando que o período unitário (t_r) adotado para a obtenção dos HU's observados nesta bacia - 2 horas - era diferente das durações de chuva efetiva obtidas, procedeu-se a correção do valor de t_p , para equalizar os valores de t_r dos HU's a serem comparados. Para tanto, utilizou-se a equação 4.3, obtendo-se os seguintes valores para os t_p 's corrigidos:

$$\begin{aligned} \text{para } t_p = 8,62 \text{ h, } t_r = 1,57 \text{ h e } t_{rH} = 2 \text{ h} &\rightarrow t_{pH} = 8,73 \text{ h;} \\ \text{para } t_p = 7,84 \text{ h, } t_r = 1,43 \text{ h e } t_{rH} = 2 \text{ h} &\rightarrow t_{pH} = 7,98 \text{ h e} \\ \text{para } t_p = 7,06 \text{ h, } t_r = 1,28 \text{ h e } t_{rH} = 2 \text{ h} &\rightarrow t_{pH} = 7,25 \text{ h.} \end{aligned}$$

Os valores máximo, médio e mínimo da vazão de pico obtidos com C_t e t_p foram:

para $C_p = 0,69$ e $t_p = 7,25$ h $\rightarrow Q_{pmax} = 29,44$ m³/s;
 para $C_p = 0,62$ e $t_p = 7,98$ h $\rightarrow Q_{pmed} = 24,04$ m³/s e
 para $C_p = 0,56$ e $t_p = 8,73$ h $\rightarrow Q_{pmin} = 19,85$ m³/s.

Os tempos de base encontrados para estas vazões de pico foram:

para $Q_{pmax} = 29,44$ m³/s $\rightarrow t_b = 21,25$ h;
 para $Q_{pmed} = 24,04$ m³/s $\rightarrow t_b = 26,02$ h e
 para $Q_{pmin} = 19,85$ m³/s $\rightarrow t_b = 31,51$ h.

As larguras dos HUS's, nas alturas de 75 % e 50 % de Q_p , encontradas foram:

para $Q_{pmax} \rightarrow W_{75} = 5,19$ h e $W_{50} = 9,10$ h;
 para $Q_{pmed} \rightarrow W_{75} = 6,46$ h e $W_{50} = 11,33$ h e
 para $Q_{pmin} \rightarrow W_{75} = 7,94$ h e $W_{50} = 13,93$ h.

A faixa de variação dos HUS's com os coeficientes de Snyder e $t_r = 2$ horas, para o Ribeirão Serra Azul, ficou resumida da seguinte maneira:

	C_t	C_p	t_p (h)	Q_p (m ³ /s)	t_b (h)	W_{75} (h)	W_{50} (h)
HUSmax	1,8	0,69	7,25	29,44	21,25	5,19	9,10
HUSmed	2,0	0,62	7,98	24,04	26,02	6,46	11,33
HUSmin	2,2	0,56	8,73	19,85	31,51	7,94	13,93

Na Figura 24 apresentada a seguir, são mostrados estes HUS's, na forma gráfica, após a distribuição das larguras W_{75} e W_{50} , com os ajustes dos respectivos volumes unitários, juntamente com o HU médio observado no Ribeirão Serra Azul.

4.3 Hidrogramas Unitários Sintéticos de Snyder/Linsley

Uma vez definidos os HUS's com os coeficientes de Snyder, utilizou-se as equações já estabelecidas para as duas sub bacias, com o objetivo de determinarem-se os HUS's, com os coeficientes de Linsley ($0,7 < C_t < 1,0$ e $0,35 < C_p < 0,50$). Para isto, procedeu-se da mesma forma que no item anterior, ou seja, calculando os valores extremos e médio, para cada bacia.

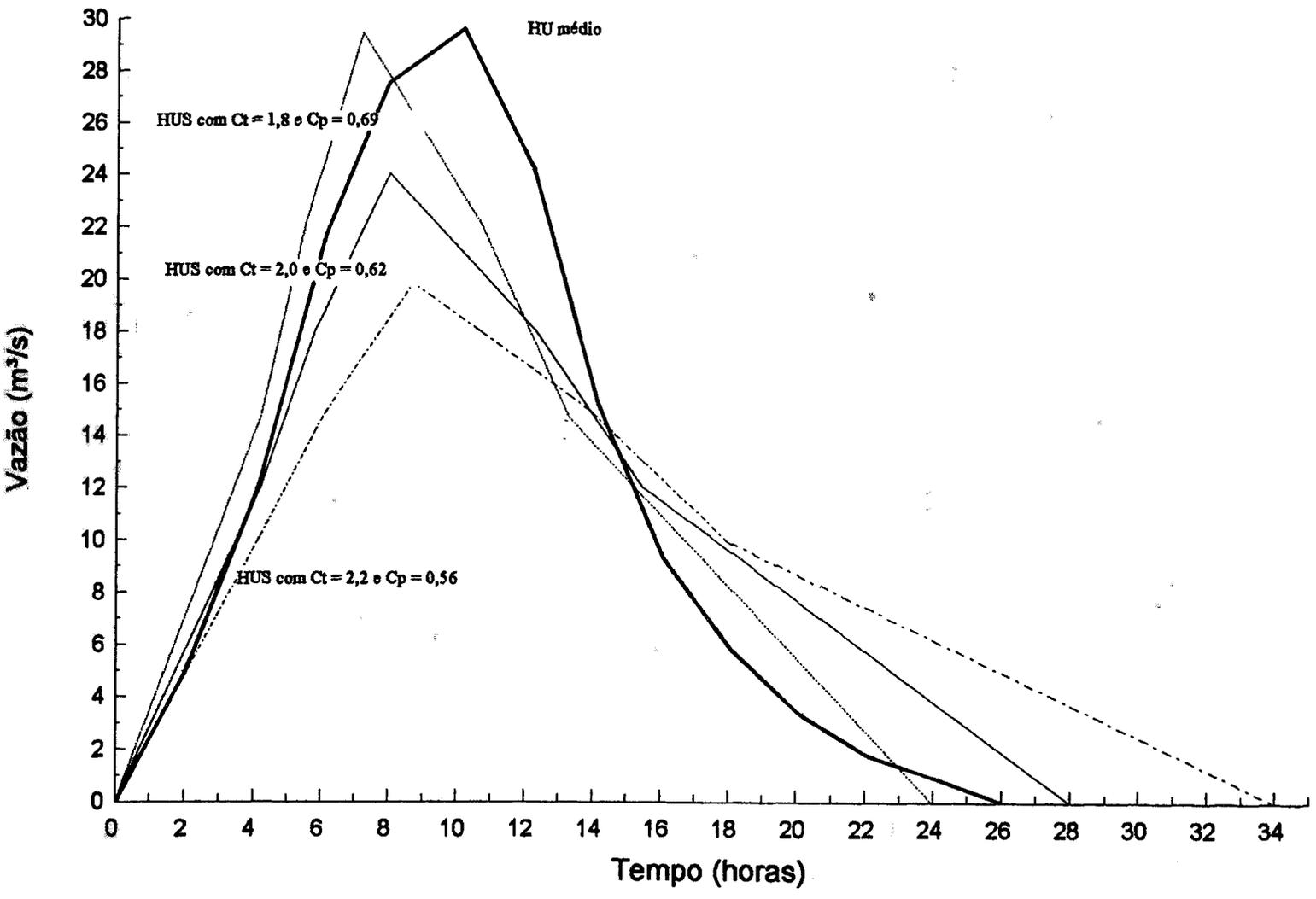


FIGURA 24 - Hidrogramas Unitários Sintéticos de Snyder x HU médio para o Ribeirão Serra Azul

4.3.1 HUS's de Snyder/Linsley para o Ribeirão Estiva

Com base nas equações de 4.9 a 4.13 determinadas para o Ribeirão Estiva, foram calculados os HUS's com os valores extremos e médio de Q_p , para $t_r = 1$ hora, adotando-se os coeficientes de Linsley. Os valores obtidos foram:

	Ct	Cp	tp (h)	Qp (m ³ /s)	tb (h)	W75 (h)	W50 (h)
HUSmax	0,70	0,50	1,76	24,61	7,12	1,59	2,79
HUSmed	0,85	0,43	2,08	17,91	9,78	2,24	3,94
HUSmin	1,00	0,35	2,41	12,58	13,92	3,29	5,77

Na Figura 25, que se segue, estes HUS's são apresentados na sua forma gráfica, após a distribuição da larguras W_{75} e W_{50} , com os ajustes necessários para a manutenção do volume unitário. Nesta figura é apresentado também o HU médio observado no Ribeirão Estiva, para facilitar a comparação dos resultados obtidos.

4.3.2 HUS's de Snyder/Linsley para o Ribeirão Serra Azul

Aplicando os coeficientes de Linsley às equações de 4.14 a 4.18, para a obtenção dos HUS's do Ribeirão Serra Azul, foram encontrados os seguintes valores para $t_r = 2$ horas:

	Ct	Cp	tp (h)	Qp (m ³ /s)	tb (h)	W75 (h)	W50 (h)
HUSmax	0,70	0,50	3,12	49,58	12,62	2,96	5,18
HUSmed	0,85	0,43	3,68	36,15	17,30	4,16	7,29
HUSmin	1,00	0,35	4,24	25,54	24,49	6,05	10,61

Na Figura 26, na seqüência, estes HUS's são apresentados nas suas formas finais, após a distribuição das larguras W_{75} e W_{50} , com os ajustes para a manutenção do volume unitário, juntamente com o HU médio observado no Ribeirão Serra Azul.

4.4 Hidrogramas Unitários Sintéticos do U.S. Soil Conservation Service

O U.S. Soil Conservation Service (SCS) desenvolveu um HUS, com base na observação de numerosos hidrogramas de cheias de cursos d'água de pequeno porte nos EUA. Este HUS tem forma triangular e seus componentes principais são determinados a partir do tempo de concentração (t_c) da bacia. O SCS verificou que, nas bacias estudadas, o tempo de pico (t_p) equivalia a, aproximadamente, 60 % do tempo de concentração, ou seja, $t_p = 0,6 t_c$ (CHOW, 1988, p.229, SINGH, 1992, p.557, PFAFSTETTER, 1976, p.129 e TUCCI, 1993, p.435).

O SCS observou também que o volume escoado no intervalo de tempo correspondente ao trecho ascendente do HU (t_p) era, na maioria dos hidrogramas, igual a 37,5 % do volume total escoado superficialmente (SINGH, 1992, p.554), de onde

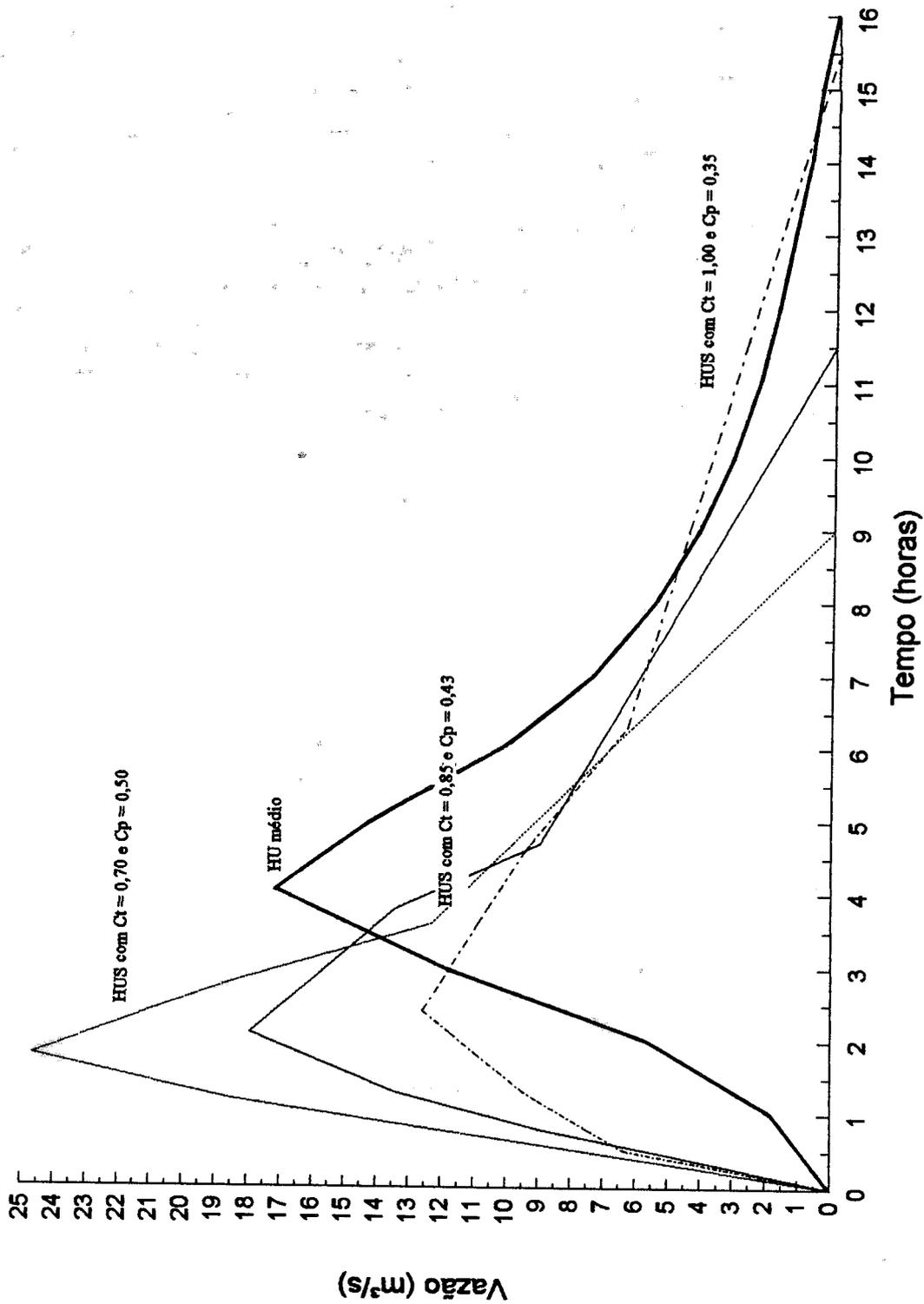


FIGURA 25 - Hidrogramas Unitários Sintéticos de Snyder/Linsley x HU médio para o Ribeirão Estiva

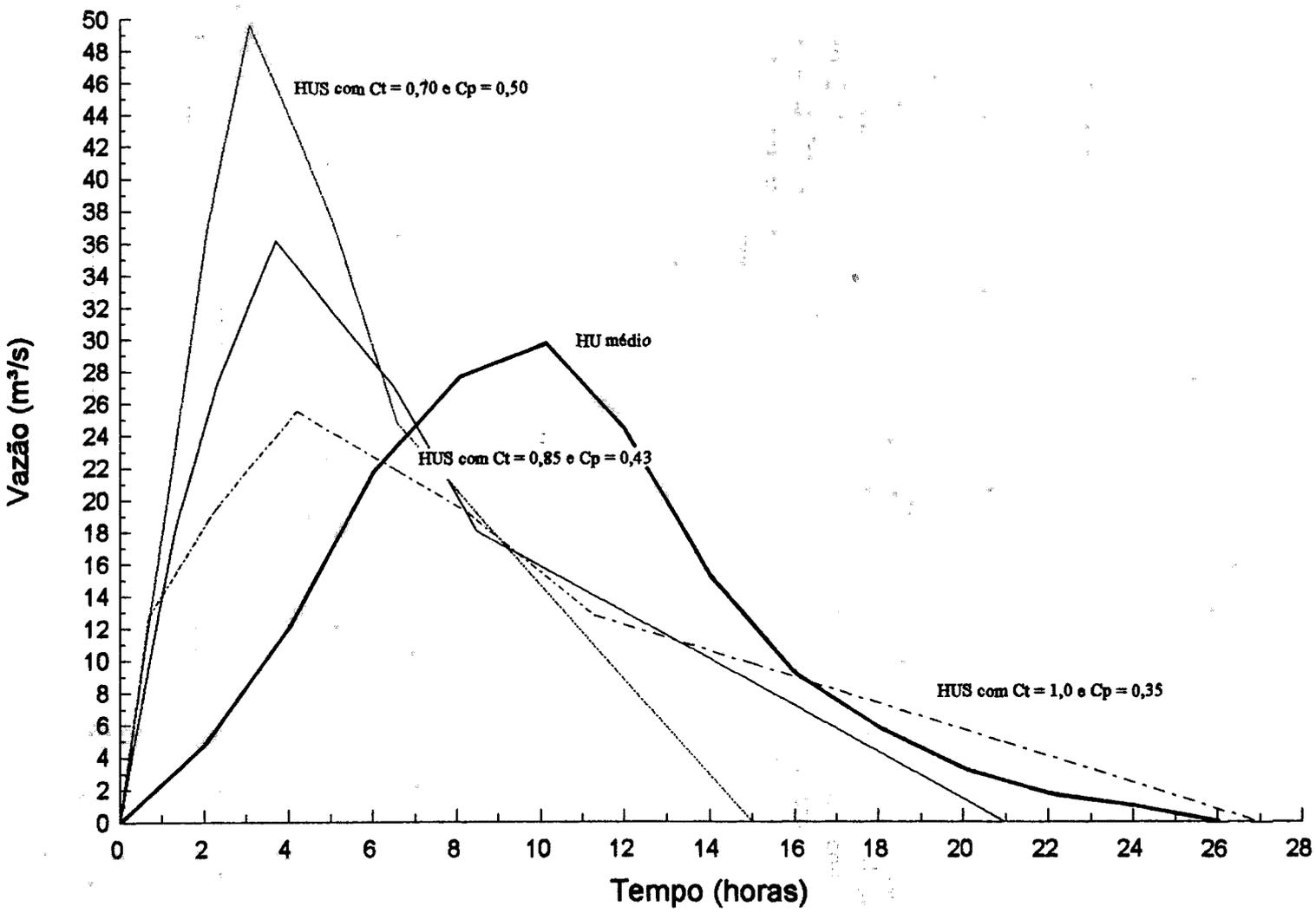
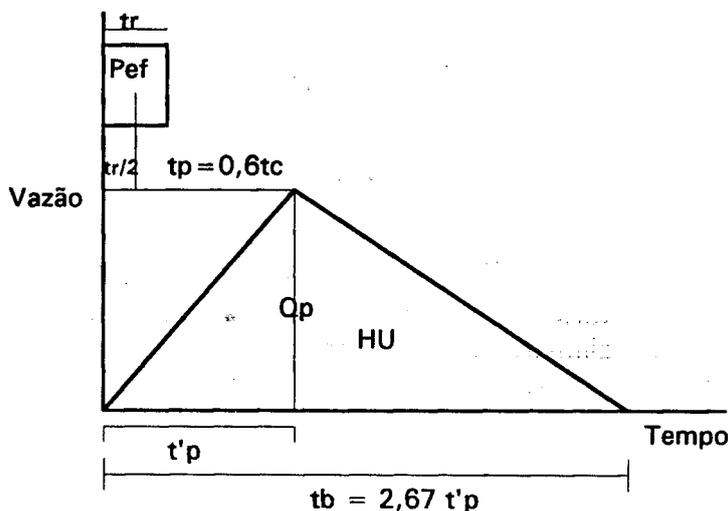


FIGURA 26 - Hidrogramas Unitários Sintéticos de Snyder/Linsley x HU médio para o Ribeirão Serra Azul

concluiu-se que o tempo de base era de aproximadamente 2,67 vezes o tempo de ascensão, ou seja, $t_b = 2,67 t'_p$.

Deve-se observar que, enquanto no Método de Snyder considera-se o início do HU coincidente com o centro de massa da chuva efetiva, no Método do SCS, o início do hidrograma coincide com o início da chuva efetiva. Assim, neste método, ao tempo de pico, como considerado no Método de Snyder, deve ser somada a metade da duração da chuva efetiva, ou seja, $t'_p = t_p + t_r/2$. O HUS triangular do SCS tem, portanto, as seguintes características:



A vazão de pico (altura do triângulo) é definida então como sendo o dobro do volume unitário (área do triângulo) dividido pelo tempo de base, ou seja: $Q_p = 2(A \times 1 \text{ cm}) / 2,67 t'_p$.

Considerando t'_p , t_c , t_r e t_b em horas, Q_p em m^3/s , A em km^2 e $P_{ef} = 1 \text{ cm}$, tem-se o seguinte conjunto de fórmulas para determinar o HUS do SCS:

$$t'_p = \frac{t_r}{2} + 0,6 t_c \quad (4.19)$$

$$Q_p = \frac{2,08 \times A}{t'_p} \quad (4.20)$$

$$t_b = 2,67 t'_p \quad (4.21)$$

Observando estas equações, pode-se notar que o tempo de concentração da bacia é o parâmetro básico do método. O tempo de concentração relativo a uma dada seção do curso d'água é definido, teoricamente, como sendo o intervalo de tempo equivalente à duração do escoamento de uma partícula de água, desde o ponto de montante mais afastado, até a seção. Assim, quando se tem uma chuva com duração

igual ou maior que t_c , este intervalo de tempo caracteriza o momento a partir do qual, toda a bacia estará contribuindo para o escoamento superficial.

Como muito raramente é possível determinar-se o tempo de concentração através de observações diretas, um grande número de equações foram desenvolvidas, empiricamente, para este fim. Esta variedade de fórmulas mostra, por si só, a dificuldade em determinar-se, de forma indireta, este parâmetro tão importante para os estudos das cheias. Em um trabalho realizado por PAPADAKIS e KAZAN (1986), onde foram comparados resultados obtidos com a aplicação de 11 destas fórmulas, observou-se, para uma mesma bacia e para um mesmo evento de chuva, variações superiores a 500%.

O SCS desenvolveu dois procedimentos para o cálculo de t_c . No primeiro, utiliza-se uma fórmula desenvolvida para bacias com áreas de drenagem inferiores a 8 km². No segundo, t_c é determinado somando-se os tempos de percurso em trechos do curso d'água principal, que tenham características semelhantes. Após a identificação destes trechos, os tempos de percurso (t_i) são calculados, dividindo-se a extensão (L_i) pela velocidade (V_i) em cada trecho. Para o cálculo da velocidade, o SCS correlacionou, com base nos dados observados, este parâmetro com a declividade (S) e o tipo de cobertura superficial da bacia (PAPADAKIS e KAZAN, 1986, p.5), através da expressão:

$$V = \frac{\sqrt{S}}{C_v} \quad (4.22)$$

Para V em m/s e S em m/m, os coeficientes C_v são os seguintes:

Tipo de Cobertura Superficial	C_v
Superfície pavimentada	0,164
Canais gramados	0,197
Solo quase nu	0,328
Pastos e relva	0,459
Terra de pousio ou com pouca lavoura	0,689
Floresta com espessa camada de humos	1,312

Assim sendo, o tempo de concentração pode ser calculado através da seguinte expressão:

$$t_c = \sum_{i=1}^n 0,278 \times C_{v_i} \times \frac{L_i}{S_i^{0,5}} \quad (4.23)$$

sendo t_c , em horas; L_i o comprimento de cada trecho, em km; S_i a declividade de cada trecho, em m/m; e C_{v_i} o coeficiente correspondente ao tipo de cobertura de cada trecho.

Mesmo adotando o Método do SCS, muitos profissionais da Hidrologia preferem calcular o tempo de concentração, utilizando fórmulas de outros autores. Em razão disto, decidiu-se determinar o HUS do SCS para as bacias em estudo, utilizando

três destas outras fórmulas (CHOW, 1988, p.500 e PFAFSTETTER, 1976, p.117), que são:

$$\text{Fórmula de Kirpich: } t_c = 0,0663 \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}} \quad (4.24)$$

$$\text{Fórmula de Ventura: } t_c = 0,127 \frac{A^{0,5}}{S^{0,5}} \quad (4.25)$$

$$\text{Fórmula de Pasini: } t_c = 0,107 \frac{(AL)^{0,333}}{S^{0,5}} \quad (4.26)$$

sendo t_c , em horas; L , em km; A , em km^2 ; e S , em m/m.

Utilizando as equações adotadas pelo SCS para o cálculo do HUS e as fórmulas para o cálculo de t_c mencionadas acima, foram determinados os HUS's para as sub bacias dos Ribeirões Estiva e Serra Azul, como será mostrado em seguida.

4.4.1 HUS's do SCS para o Ribeirão Estiva

Para determinar t_p (equação 4.19), adotou-se a mesma duração de chuva efetiva utilizada nos outros métodos (1 hora) e os tempos de concentração obtidos através das fórmulas já mencionadas (equações de 4.23 a 4.26).

Aplicando-se o Método do SCS, o Ribeirão Estiva foi dividido em três trechos, que foram considerados como tendo características bem definidas:

1º Trecho: **Alto da Serra** - trecho com cerca de 1,75 km, com altitudes variando de 930 a 1200 m, praticamente sem cobertura vegetal. Neste trecho, adotou-se $C_v = 0,328$ (solo quase nu) e considerando a declividade média igual a 0,1543 m/m, encontrou-se um tempo de percurso (t_1) igual a 0,41 h.

2º Trecho: **Sopé da Serra** - trecho com cerca de 2,25 km, com altitudes entre 840 e 930 m e um tipo de cobertura que considerou-se como sendo equivalente àquele para o qual $C_v = 0,689$ (terra de pousio ou com pouca lavoura). Utilizando estes valores encontrou-se o tempo de percurso (t_2) igual a 2,15 h.

3º Trecho: **Vale** - trecho com cerca de 4,50 km e altitudes entre 840 e 795m. Considerando as características da cobertura neste trecho da bacia, adotou-se $C_v = 0,459$, resultando num tempo de percurso (t_3) igual a 5,74 h.

Deve-se observar que, embora a área de drenagem do primeiro trecho (Alto da Serra) fosse menor que 8 km^2 , a adoção da fórmula do SCS para estas condições não alteraria o resultado final de forma significativa, principalmente em razão do valor de t_c nos dois primeiros trechos terem sido muito maiores.

O tempo de concentração foi então calculado pela soma dos tempos de percurso em cada trecho, ou seja: $t_c = t_1 + t_2 + t_3 = 0,41 + 2,15 + 5,74 = 8,30$ h.

Considerando-se os valores de $L = 8,5$ km, $A = 31,5$ km² e $S = 0,0192$ m/m da sub bacia do Ribeirão Estiva, e utilizando as outras três fórmulas, foram obtidos os seguintes resultados para o tempo de concentração:

$$\text{Kirpich: } t_c = 0,0663 \frac{8,5^{0,77}}{0,0192^{0,385}} = 1,58 \text{ h}$$

$$\text{Ventura: } t_c = 0,127 \frac{31,5^{0,5}}{0,0192^{0,5}} = 5,14 \text{ h}$$

$$\text{Pasini: } t_c = 0,107 \frac{(31,5 \times 8,5)^{0,333}}{0,0192^{0,5}} = 4,97 \text{ h}$$

Como se pode observar as duas últimas fórmulas forneceram valores praticamente iguais, enquanto que a diferença entre os resultados obtidos com as duas primeiras foi de cerca de 425 %. Assim sendo, decidiu-se utilizar as três primeiras, com o objetivo de estabelecer-se uma faixa de variação, que poderia ocorrer na determinação do HUS pelo Método do SCS, em função das fórmulas adotadas para o cálculo de t_c .

Assim, foram obtidos os seguintes valores para o tempo de ascensão do HUS:

$$t'p_{scs} = 0,6 \times 8,30 + 1/2 = 5,48 \text{ h;}$$

$$t'p_{Kirpich} = 0,6 \times 1,58 + 1/2 = 1,45 \text{ h e}$$

$$t'p_{Ventura} = 0,6 \times 5,14 + 1/2 = 3,58 \text{ h.}$$

Com estes valores de $t'p$, foram calculados as vazões de pico e os tempos de base do HUS, através das fórmulas já apresentadas, obtendo-se os seguintes resultados:

$$Qp_{scs} = 2,08 \times 31,5 / 5,48 = 11,956 \text{ m}^3/\text{s} \text{ e } tb = 2,67 \times 5,48 = 14,63 \text{ h;}$$

$$Qp_{Kirpich} = 2,08 \times 31,5 / 1,45 = 45,186 \text{ m}^3/\text{s} \text{ e } tb = 2,67 \times 1,45 = 3,87 \text{ h e}$$

$$Qp_{Ventura} = 2,08 \times 31,5 / 3,58 = 18,302 \text{ m}^3/\text{s} \text{ e } tb = 2,67 \times 3,58 = 9,56 \text{ h.}$$

Em resumo, os HUS's do SCS obtidos para o Ribeirão Estiva ficaram com as seguintes características:

HUS	t_c (horas)	$t'p$ (horas)	Qp (m ³ /s)	tb (horas)
Com t_c do SCS	8,30	5,48	11,96	14,63
Com t_c de Kirpich	1,58	1,45	45,19	3,87
Com t_c de Ventura	5,14	3,58	18,31	9,56

Na Figura 27, que se segue, são apresentadas as formas gráficas destes HUS's, assim como o HU médio observado no Ribeirão Estiva.

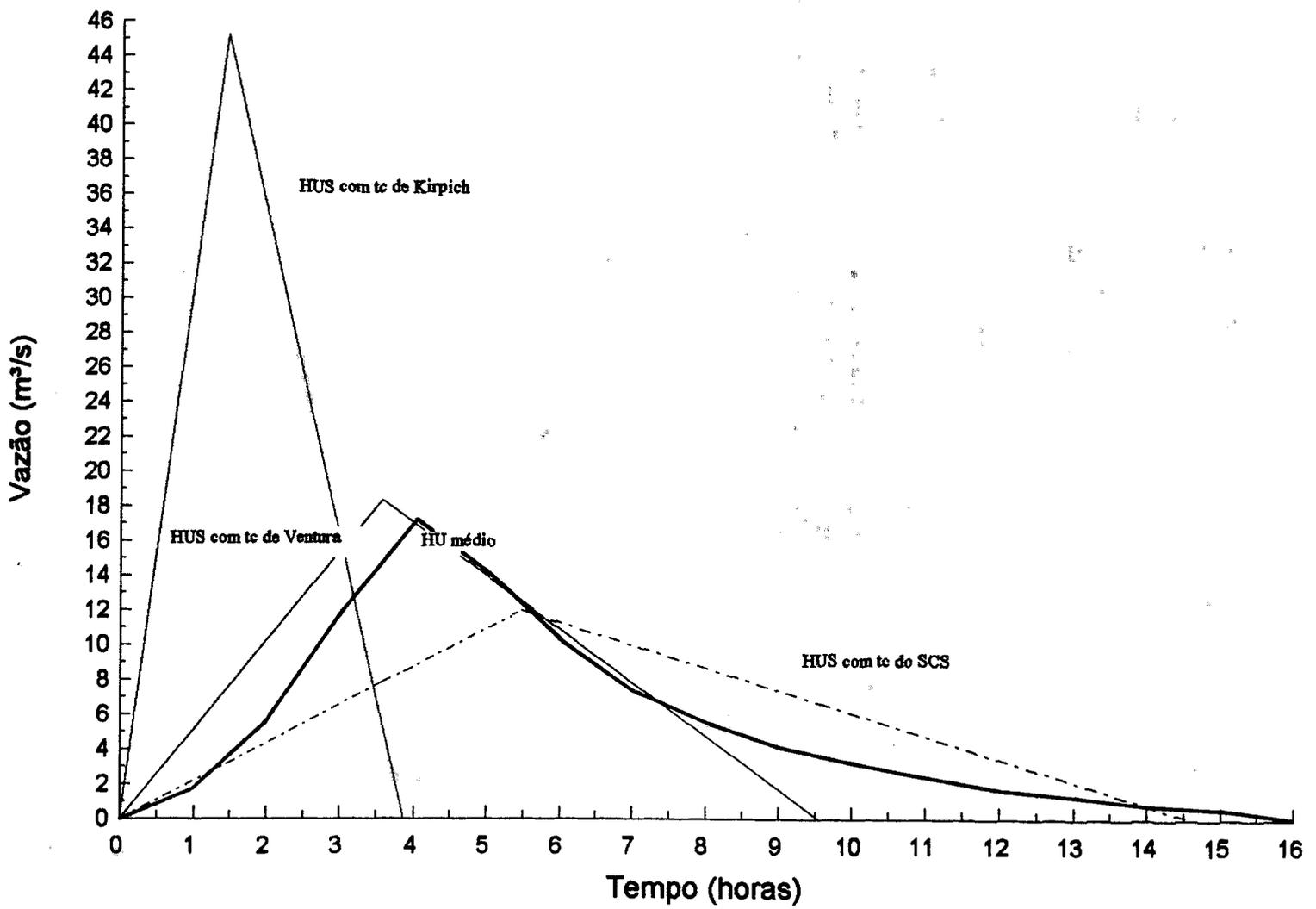


FIGURA 27 - Hidrogramas Unitários Sintéticos do SCS x HU médio para o Ribeirão Estiva

4.4.2 HUS's do SCS para o Ribeirão Serra Azul

Para determinar o t_c do Ribeirão Serra Azul, através do Método do SCS, procedeu-se da mesma maneira que no ítem anterior. O curso principal foi dividido em três trechos, cujas características de cobertura eram semelhantes àquelas do Ribeirão Estiva. Foram calculados os tempos de percurso para cada trecho, considerando-se o seguinte:

1° Trecho: **Alto da Serra** - Para $L = 3,65$ km, $S = 0,0712$ m/m e $C_v = 0,328$, tem-se: $t_1 = 0,278 \times 0,328 \times 3,65 / \sqrt{0,0712} = 1,25$ h;

2° Trecho: **Sopé da Serra** - Para $L = 6,45$ km, $S = 0,0093$ m/m e $C_v = 0,689$, tem-se: $t_2 = 0,278 \times 0,689 \times 6,45 / \sqrt{0,0093} = 12,81$ h e

3° Trecho: **Vale** - Para $L = 10,90$ km, $S = 0,0040$ m/m e $C_v = 0,459$, tem-se: $t_3 = 0,278 \times 0,459 \times 10,90 / \sqrt{0,0040} = 21,99$ h.

Somando-se os tempos de percurso parciais obtém-se o tempo de concentração igual a **36,05 h**.

Considerando as características desta bacia, $A = 112,5$ km², $L = 21,0$ km e $S = 0,00612$ m/m, foram obtidos os seguintes resultados, com as outras fórmulas usadas para calcular t_c :

$$\text{Kirpich: } t_c = 0,0663 \frac{21,0^{0,77}}{0,00612^{0,385}} = \mathbf{4,92 \text{ h}};$$

$$\text{Ventura: } t_c = 0,127 \frac{112,5^{0,5}}{0,00612^{0,5}} = \mathbf{17,22 \text{ h e}}$$

$$\text{Pasini: } t_c = 0,107 \frac{(112,5 \times 21,0)^{0,333}}{0,00612^{0,5}} = \mathbf{18,17 \text{ h.}}$$

As fórmulas de Ventura e Pasini, mais uma vez forneceram valores de t_c próximos, principalmente considerando-se o intervalo de variação dos outros dois métodos, que foi superior a 600 %. Assim, optou-se por calcular os HUS's com os t_c 's obtidos com as mesmas fórmulas adotadas no Ribeirão Estiva. Os resultados encontrados, considerando a duração da chuva efetiva igual a 2 horas, se resumiram no seguinte:

HUS	t_c (horas)	t'_p (horas)	Q_p (m ³ /s)	t_b (horas)
Com t_c do SCS	36,05	22,63	10,34	60,42
Com t_c de Kirpich	4,92	3,95	59,24	10,55
Com t_c de Ventura	17,22	11,33	20,65	30,25

Na Figura 28, mostrada a seguir, são apresentados estes HUS's com suas formas gráficas, juntamente com o HU médio observado.

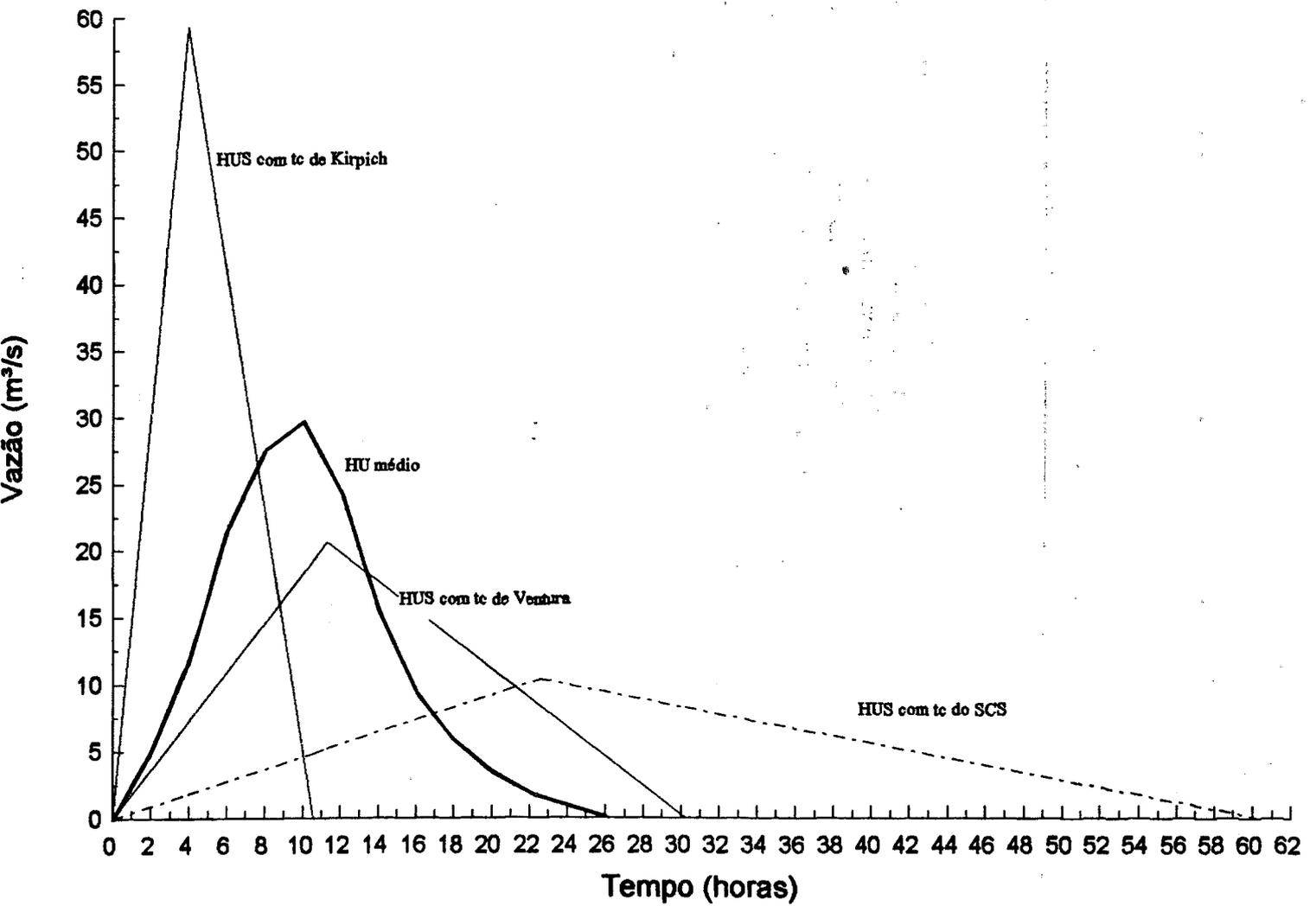


FIGURA 28 - Hidrogramas Unitários Sintéticos do SCS x HU médio para o Ribeirão Serra Azul

5. ANÁLISE E COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

Concluída a determinação dos hidrogramas unitários das duas bacias utilizando os métodos escolhidos, pôde-se então realizar a análise comparativa, que era o objetivo principal deste trabalho. Esta análise não só permitiu avaliar o desempenho de cada método, como também ensejou a determinação de parâmetros e coeficientes hidrológicos que poderão ser adotados para a Bacia Representativa de Juatuba e outras que tenham características semelhantes, como será visto neste capítulo.

5.1 Comparação dos Resultados

Excluída a parte do trabalho que previa a comparação dos resultados a serem obtidos com a aplicação de métodos estatísticos, a análise comparativa se restringiu à comparação dos HU's obtidos com os diversos métodos baseados na Teoria do Hidrograma Unitário.

Considerando as incertezas inerentes a esta teoria e a impossibilidade de ter-se um evento de cheia ocorrendo exatamente nas condições ideais previstas na teoria do método, procurou-se, como foi visto, trabalhar com o maior número possível dos eventos de cheia que mais se aproximavam das condições ideais, para a definição dos HU's médios de cada bacia. Uma vez determinados estes HU's, com base nos dados hidrológicos ali observados, os mesmos foram assumidos como sendo os verdadeiros HU's, para as durações de chuva efetiva unitária escolhidas. Assim sendo, foram adotados como referência, para a comparação dos resultados obtidos com os *métodos indiretos* mais usados na determinação de vazões de enchente.

Com relação a estes métodos, procurou-se trabalhar com uma possível faixa de variação dos resultados, em função dos coeficientes e parâmetros normalmente adotados em cada método. Após a obtenção dos intervalos de variação dos HUS's, procedeu-se à comparação das vazões máximas (Q_p) e dos parâmetros t_p , t_b , W_{50} e W_{75} (que definem a forma dos hidrogramas), com os valores dos HU's adotados como padrão em cada bacia.

5.1.1 Comparação das Vazões Máximas

a) Bacia do Ribeirão Estiva

Como foi visto, considerando uma chuva efetiva unitária com duração de 1 hora e altura igual a 1 cm, a vazão máxima esperada para o Ribeirão Estiva, na Estação de Fazenda Solar, seria: $Q_p = 17,13 \text{ m}^3/\text{s}$. Comparando este valor com aqueles obtidos com os *métodos indiretos*, tem-se o seguinte quadro:

Método de Snyder	Método de Snyder/Linsley	Método do SCS
$Q_{pmax} = 14,44 \text{ m}^3/\text{s}$ (15,7% menor)	$Q_{pmax} = 24,61 \text{ m}^3/\text{s}$ (43,7 % maior)	$Q_{p(c/ tc \text{ de Kirpich})} = 45,19 \text{ m}^3/\text{s}$ (163,8 % maior)
$Q_{pmed} = 11,75 \text{ m}^3/\text{s}$ (31,4 % menor)	$Q_{pmed} = 17,91 \text{ m}^3/\text{s}$ (4,6 % maior)	$Q_{p(c/ tc \text{ de Ventura})} = 18,31 \text{ m}^3/\text{s}$ (6,9 % maior)
$Q_{pmin} = 9,70 \text{ m}^3/\text{s}$ (43,3 % menor)	$Q_{pmin} = 12,58 \text{ m}^3/\text{s}$ (26,6 % menor)	$Q_p (c/ tc \text{ do SCS}) = 11,96 \text{ m}^3/\text{s}$ (30,2 % menor)

Como se pode observar, em se adotando o método de Snyder e os coeficientes encontrados para os Montes Apalaches, as vazões de pico obtidas, no caso do Ribeirão Estiva, seriam sempre inferiores àquela observada, variando entre $0,57 Q_p$ e $0,85 Q_p$, com o valor médio igual a $0,69 Q_p$.

Caso se adotasse os coeficientes encontrados por Linsley, em Serra Nevada, a vazão de pico estaria no intervalo entre $0,73 Q_p$ e $1,44 Q_p$. O valor médio seria igual $1,05 Q_p$, aproximando-se bastante da vazão de pico observada. Este resultado sugere, portanto, que a bacia do Ribeirão Estiva tenha características semelhantes àsquelas estudadas por Linsley.

Adotando-se o Método do SCS e as fórmulas para o cálculo de t_c do SCS e de Kirpich, as vazões de pico seriam $0,70 Q_p$ e $2,64 Q_p$, respectivamente. O valor da vazão de pico obtido com a fórmula de t_c desenvolvida por Ventura foi de cerca $1,07 Q_p$, sendo, portanto, o que mais se aproximou do valor observado. Este fato parece indicar que a fórmula de Ventura seria a mais apropriada para o cálculo de t_c , uma vez que o procedimento do SCS forneceu um valor de t_c superestimado, ao passo que a fórmula de Kirpich o subestimou, como será visto mais adiante.

Considerando os resultados de uma maneira global, conclui-se que os *métodos indiretos*, aplicados à bacia do Ribeirão Estiva, poderiam fornecer hidrogramas unitários sintéticos com vazões de pico desde **43 % menores**, até **164 % maiores** que a vazão de pico do HU médio observado.

b) Bacia do Ribeirão Serra Azul

O Hidrograma Unitário Médio do Ribeirão Serra Azul, para uma chuva efetiva unitária de duração igual a 2 horas e altura igual a 1 cm, apresenta a vazão de pico: $Q_p = 29,60 \text{ m}^3/\text{s}$.

Adotando-se este valor como padrão para a comparação dos resultados obtidos com os *métodos indiretos* analisados, obtém-se o seguinte quadro:

Método de Snyder	Método de Snyder/Linsley	Método do SCS
$Q_{pmax} = 29,44 \text{ m}^3/\text{s}$ (~ igual)	$Q_{pmax} = 49,58 \text{ m}^3/\text{s}$ (67,5 % maior)	$Q_p \text{ (c/ tc de Kirpich)} = 59,24 \text{ m}^3/\text{s}$ (100,1 % maior)
$Q_{pmed} = 24,04 \text{ m}^3/\text{s}$ (18,8 % menor)	$Q_{pmed} = 36,15 \text{ m}^3/\text{s}$ (22,1 % maior)	$Q_p \text{ (c/ tc de Ventura)} = 20,65 \text{ m}^3/\text{s}$ (30,2 % menor)
$Q_{pmin} = 19,85 \text{ m}^3/\text{s}$ (32,9 % menor)	$Q_{pmin} = 25,54 \text{ m}^3/\text{s}$ (13,7 % menor)	$Q_p \text{ (c/ tc do SCS)} = 10,34 \text{ m}^3/\text{s}$ (65,1 % menor)

Este quadro comparativo mostra que o Método de Snyder com os coeficientes obtidos para os Montes Apalaches forneceria, também para bacia do Ribeirão Serra Azul, valores de vazão de pico inferiores ao observado. Apenas o valor máximo encontrado (para $C_t = 1,8$ e $C_p = 0,69$) coincidiria com o valor real de Q_p , ou seja, os resultados obtidos estariam no intervalo entre $0,67 Q_p$ e $1,00 Q_p$, com um valor médio igual a $0,81 Q_p$.

Adotando-se os coeficientes de Linsley, a situação se inverteria, uma vez que as vazões de pico obtidas com a maioria das combinações de C_t e C_p possíveis seriam superiores ao seu valor real. Os valores encontrados estariam no intervalo de $0,87 Q_p$ a $1,68 Q_p$, com um valor médio igual a $1,22 Q_p$.

Comparando-se as variações dos resultados obtidos com o Método de Snyder, em relação aos valores de Q_p registrados nas duas bacias, observa-se que os coeficientes de Linsley forneceram valores mais próximos de Q_p na bacia do Estiva, que na bacia do Serra Azul. Já os coeficientes de Snyder forneceram valores mais próximos do real na bacia do Serra Azul, em comparação com a bacia do Estiva. Isto parece indicar que os coeficientes de Linsley se adaptam melhor às bacias com as características do Ribeirão Estiva, ou seja, bacias com pequenas áreas de drenagem e maiores declividades; ao contrário dos coeficientes de Snyder, que se adaptariam melhor às bacias com maiores áreas de drenagem e menores declividades. Esta conclusão é parcialmente confirmada pela referência feita por SINGH (1992, p.550), que menciona haver indicações de que o valor de C_t decresce com o aumento da declividade.

Já WILKEN (1978, p.188), menciona conclusões contrárias, obtidas por SCHULZ (1973), de que "o valor de C_t está ligado à importância relativa do escoamento intermediário no volume do caudal de cheia. Quanto mais importante for esta parcela, maior será o valor de C_t . Esta situação existiria nas partes altas das bacias montanhosas. Nas áreas menos íngremes, o valor de C_t cai a 0,72, segundo Schulz".

Considerando o fato de que, em condições iguais, maiores declividades implicam maiores velocidades e, portanto, menores tempos de pico, é de se esperar que, como indica a própria formulação matemática da equação de t_p , maiores declividades impliquem menores valores de C_t .

No tocante aos resultados obtidos com o Método do SCS aplicado à bacia do Ribeirão Serra Azul, observou-se que os valores da vazão de pico foram de $0,35 Q_p$, $0,70 Q_p$ e $2,01 Q_p$, para o t_c calculado com as fórmulas do SCS, Ventura e Kirpich,

respectivamente. Mais uma vez o resultado que mais se aproximou do valor real foi obtido com a fórmula de Ventura. Deve-se observar, entretanto, que a variação em relação a descarga de pico real (30 %) foi bem maior que a observada no Ribeirão Estiva (7 %).

Quanto as duas outras fórmulas, observou-se que a de Kirpich continuou subestimando o valor de t_c e a do SCS continuou superestimando este valor. Observou-se também que a diferença, em relação ao valor real de Q_p , obtida com a fórmula de Kirpich para o Ribeirão Serra Azul (101 %) diminuiu em relação ao Ribeirão Estiva (165 %); enquanto que a diferença em relação a Q_p obtida com o t_c do SCS (65 %) aumentou em relação à bacia do Estiva (30 %).

Analisando os resultados obtidos para a bacia do Serra Azul de uma forma global, observa-se que os *métodos indiretos* estudados, no caso desta bacia, poderiam fornecer hidrogramas unitários sintéticos com vazões de pico desde **65 % menores**, até **101 % maiores** que a vazão de pico do HU médio observado.

5.1.2 Comparação das Formas dos Hidrogramas Unitários

Como se sabe, a forma do hidrograma também tem grande importância no estudo das cheias, uma vez que ela representa a evolução das vazões de enchente, localizando no tempo, portanto, o volume total escoado.

Os parâmetros t_p , t_b , W_{50} e W_{75} , juntamente com Q_p , como se viu, fornecem um esboço do hidrograma unitário. Cumpre lembrar também que o volume de escoamento unitário (área sob a curva do HU) é o mesmo para todos os hidrogramas da mesma bacia. Assim sendo, para estabelecer uma comparação entre as formas dos HUS's obtidos com os *métodos indiretos* e a forma do HU médio observado, foram cotejados os valores dos parâmetros mencionados, para cada bacia.

a) Bacia do Ribeirão Estiva

Na Tabela 10, mostrada a seguir, é apresentado um quadro comparativo dos valores obtidos com cada método e os valores referentes ao HU médio observado no Ribeirão Estiva. Nas Figuras 23, 25 e 27, já apresentadas, pode-se visualizar as diferenças existentes entre os hidrogramas.

Como se pode notar, o Método de Snyder, com os coeficientes usados pelo próprio autor, que apresentou valores de Q_p inferiores aos observados (ver Figura 23), forneceu valores de t_p e t_b relativamente próximos aos do HU médio. A compensação para a manutenção do volume unitário se deu na forma de um "alargamento" dos trechos intermediários dos HUS's, resultando, portanto, em valores de W_{50} e W_{75} bem maiores que os do HU médio.

Já o mesmo método, com os coeficientes usados por Linsley (ver Figura 25), provocou um "estreitamento" na forma dos HUS's, com valores de t_p e t_b bem inferiores aos observados e valores de W_{50} e W_{75} variando em torno daqueles registrados no HU médio. Deve-se notar que, embora tenha apresentado diferenças significativas nos valores de t_p e t_b , a forma geral do HUS médio obtido com os coeficientes de Linsley se aproximou, razoavelmente, da forma do HU médio observado no Ribeirão Estiva.

Quanto aos hidrogramas triangulares obtidos pelo Método do SCS (ver Figura 27), pode-se notar que o grande aumento da vazão de pico em função da adoção

TABELA 10 - Comparação das Formas dos Hidrogramas Unitários obtidos para o Ribeirão Estiva

Parâmetro	HU medio observado	HUS Snyder			HUS Snyder/Linsle y			HUS S.C.S.		
		Max	Med	Min	Max	Med	Min	Max	Med	Min
Qp (m³/s)	17,13	14,44 (15,7% <)	11,75 (31,4% <)	9,70 (43,1% <)	24,6 (43,4% >)	17,91 (4,6% >)	12,58 (26,6% <)	45,19 (163,8% >)	18,31 (6,9% >)	11,96 (30,2% <)
tp (h)	4	4,1 (2,5% >)	4,6 (15,0% >)	5,0 (25,0% >)	1,8 (55,0% <)	2,1 (47,5% <)	2,4 (40,0% <)	1,5 (62,5% <)	3,6 (10,0% <)	5,5 (37,5% >)
tb (h)	16	14 (14,0% <)	17 (6,0% >)	20 (25,0% >)	9 (44,0% <)	11,5 (28,0% <)	15,5 (3,0% <)	3,9 (76,0% <)	9,6 (40,0% <)	14,6 (9,0% <)
W₅₀ (h)	4	5,0 (25,0% >)	6,2 (55,0% >)	7,6 (90,0% >)	2,8 (30,0% <)	3,9 (2,5% <)	5,8 (45,0% >)	2,0 (50,0% <)	4,8 (20,0% >)	7,3 (82,5% >)
W₇₅ (h)	2	2,8 (40,0% >)	3,5 (75,0% >)	4,4 (120,0% >)	1,6 (20,0% <)	2,2 (10,0% >)	3,3 (65,0% >)	1,0 (50,0% <)	2,4 (20,0% >)	3,7 (85,0% >)

da Fórmula de Kirpich, resultou no "estreitamento" do HUS de tal forma, que todos os demais parâmetros (t_p , t_b , W_{50} e W_{75}) ficaram inferiores aos observados.

Já o HUS obtido utilizando a Fórmula de Ventura, se aproxima bastante do HU médio observado, caso se desconsidere as diferenças devidas à t_p e t_b .

Quando se adotou o procedimento do próprio SCS para calcular t_c , a forma do HUS obtido com este método apresentou um "alargamento" no trecho médio (maiores valores de W_{50} e W_{75}), como compensação dos valores de Q_p e t_b , que foram menores que os observados.

Desta comparação deduz-se que, para o Ribeirão Estiva, os HUS's que mais se aproximaram do HU médio observado foram, o obtido com o Método de Snyder, usando os coeficientes médios de Linsley, e o obtido através do Método do SCS, com t_c calculado pela Fórmula de Ventura, como já se previa após a comparação das vazões de pico.

b) Bacia do Ribeirão Serra Azul

O quadro comparativo dos valores de t_p , t_b , W_{50} e W_{75} obtidos para a bacia do Ribeirão Serra Azul é apresentado na Tabela 11, na seqüência. Nas Figuras 24, 26 e 28, já apresentadas, pode-se comparar visualmente as formas dos HUS's obtidos através dos métodos indiretos com a forma do HU médio observado no Ribeirão Serra Azul.

Nesta bacia, os valores de t_p obtidos com o Método de Snyder, usando os coeficientes do próprio autor (ver Figura 24), foram sempre inferiores ao observado, assim como os valores de Q_p . Quanto aos outros três parâmetros, não houve uma variação muito significativa em relação aos valores registrados para o HU médio. Deve-se notar que, em se desconsiderando a defasagem provocada pela diferença entre os tempos de pico, a forma do HUS obtido com $C_t = 1,8$ e $C_p = 0,69$ (HUS_{max}) se aproxima bastante do HU médio.

O "estreitamento" dos HUS's provocado pela adoção dos coeficientes de Linsley foi ainda mais pronunciado, no caso do Ribeirão Serra Azul (ver Figura 26). Os valores de t_p , t_b , W_{50} e W_{75} foram (com exceção de W_{50} e t_b para o HUS_{min}) inferiores aos registrados para o HU médio, compensando os valores superestimados de Q_p . Deve-se observar que, no caso do tempo de pico, as reduções ficaram em torno de 65 %, acarretando uma diferença significativa na forma final dos HUS's, quando comparados com o HU médio.

Com relação ao Método do SCS, verificou-se uma variação nas formas dos HUS's semelhante à observada no Ribeirão Estiva (ver Figura 28). A adoção da Fórmula de Kirpich para o cálculo de t_c resultou no "estreitamento" dos HUS de tal modo, que os respectivos tempos de base ficaram menores que o tempo de pico do HU médio observado, como já havia ocorrido no Ribeirão Estiva.

Adotando-se a Fórmula do próprio SCS, o HUS sofre um "achatamento" ainda maior que o verificado no Ribeirão Estiva. O valor de W_{50} , por exemplo, é de cerca de 3 vezes o valor observado, enquanto o valor de Q_p é cerca de um terço do valor registrado para o HU médio.

Finalmente, observando-se o HUS obtido com o Método do SCS e a Fórmula de Ventura para o cálculo de t_c , nota-se que os valores de t_p e t_b se aproximam bastante dos valores do HU médio, enquanto que o valor de Q_p é de cerca de 30 % menor. Esta redução na vazão de pico é compensada pelo aumento nos valores de W_{50} e W_{75} .

TABELA 11 - Comparação das Formas dos Hidrogramas Unitários obtidos para o Ribeirão Serra Azul

Parâmetro	HU medio observado	HUS Snyder			HUS Snyder/Linsley			HUS S.C.S.		
		Max	Med	Min	Max	Med	Min	Max	Med	Min
Qp (m³/s)	29,60	29,44 (~ igual)	24,04 (18,8% <)	19,85 (32,9% <)	49,58 (67,5% >)	36,15 (22,1% >)	25,54 (13,7% <)	59,24 (100,1% >)	20,65 (30,2% <)	10,34 (65,1% <)
tp (h)	10	7,3 (27,0% <)	8,0 (20,0% <)	8,7 (13,0% <)	3,1 (69,0% <)	3,7 (63,0% <)	4,2 (58,0% <)	4,0 (60,0% <)	11,3 (13,0% >)	22,6 (126,0% >)
tb (h)	26	24 (8,0% <)	28 (8,0% >)	34 (31,0% >)	15 (42,0% <)	21 (19,0% <)	27 (4,0% >)	10,6 (59,0% <)	30,3 (17,0% >)	60,4 (132,0% >)
W50 (h)	9,6	9,1 (5,2% <)	11,3 (17,7% >)	13,9 (44,8% >)	5,2 (45,8% <)	7,3 (24,0% <)	10,6 (10,4% >)	5,3 (44,8% <)	15,2 (58,3% >)	30,2 (214,6% >)
W75 (h)	6,3	5,2 (17,5% <)	6,5 (3,2% >)	7,9 (25,4% >)	3,0 (52,4% <)	4,2 (33,3% <)	6,1 (3,2% <)	2,7 (57,1% <)	7,6 (20,6% >)	15,1 (139,7% >)

Esta comparação dos HUS's obtidos para o Ribeirão Serra Azul indica que, em se adotando os *métodos indiretos* analisados para determinar o HU desta bacia, os HUS's que mais se aproximariam do HU real seriam, o obtido através do Método de Snyder, com os coeficientes $C_t = 1,8$ e $C_p = 0,69$, e o obtido através do Método do SCS, com t_c calculado pela Fórmula de Ventura, embora este fornecesse uma vazão de pico cerca de 30 % menor que o real.

Esta análise comparativa dos resultados demonstra a importância de uma escolha criteriosa dos coeficientes e fórmulas, quando se adotam os *métodos indiretos* para calcular vazões de enchente.

5.2 Coeficientes e Parâmetros Hidrológicos Obtidos para as Bacias dos Ribeirões Estiva e Serra Azul

Como já foi visto até aqui, o estudo dos hidrogramas unitários permitiu a determinação dos valores do coeficiente de escoamento superficial, (CES), da taxa de perdas média (Índice Φ), do tempo de base (t_b), do tempo de pico (t_p), das larguras a 50 % e 75 % (W_{50} e W_{75}) e da vazão de pico (Q_p), para as duas bacias em estudo.

Visando complementar este estudo, procurou-se determinar também os valores de C_t , C_p , C_v e t_c , que são os parâmetros básicos dos *métodos indiretos* analisados, para as duas bacias.

Para a determinação destes parâmetros, utilizou-se as mesmas fórmulas adotadas em cada método, apenas invertendo o sentido, uma vez que agora dispunha-se dos valores de t_p , t'_p , t_b e Q_p e pretendia-se determinar os valores de C_t , C_p , C_v e t_c . Assim, para o Método de Snyder (CHOW, 1988, p.225) tem-se:

Quando $t_{pH} = 5,5 t_r$, tem-se:

$$t_p = 0,75 C_t (LxL_c)^{0,3} \rightarrow C_t = \frac{t_p}{0,75 (LxL_c)^{0,3}} \quad (5.1)$$

$$Q_p = \frac{2,75 C_p A}{t_p} \rightarrow C_p = \frac{Q_p \cdot t_p}{2,75 A} \quad (5.2)$$

Quando $t_{pH} \neq 5,5 t_r$, tem-se:

$$t_p = 5,5 t_r \text{ e}$$

$$t_{pH} = t_p + \frac{t_{rH} - t_r}{4}$$

resolvendo este sistema de equações, obtem-se:

$$t_p = 1,0476 \left(t_{pH} - \frac{t_{rH}}{4} \right) = 0,75 C_i (L \cdot L_c)^{0,3} \rightarrow C_i = \frac{1,0476 \left(t_{pH} - \frac{t_{rH}}{4} \right)}{0,75 (L \cdot L_c)^{0,3}} \quad (5.3)$$

$$Q_p = \frac{2,75 \cdot C_p \cdot A}{1,0476 \left(t_{pH} - \frac{t_{rH}}{4} \right)} \rightarrow C_p = \frac{Q_p \cdot 1,0476 \left(t_{pH} - \frac{t_{rH}}{4} \right)}{2,75 \cdot A} \quad (5.4)$$

Para estimar os valores de t_c e C_v , baseado nas fórmulas do SCS, tem-se:

$$t'_p = \frac{t_r}{2} + 0,6 t_c \rightarrow t_c = \frac{1}{0,6} \left(t'_p - \frac{t_r}{2} \right) \quad (5.5)$$

$$t_c = 0,278 \cdot C_v \cdot \frac{L}{S^{0,5}} \rightarrow C_v = \frac{t_c \cdot S^{0,5}}{0,278 \cdot L} \quad (5.6)$$

Deve-se observar que o valor de C_v determinado a partir dos HU's representa o tipo de cobertura superficial da bacia, a montante da seção em estudo, como um todo. Mesmo não sendo possível determinar-se o valor de C_v para cada um dos trechos (como considerado no cálculo de t_c), decidiu-se estimar seu valor global, com o objetivo de verificar a adequação da metodologia do SCS para o cálculo de t_c , às duas bacias.

Para verificar o intervalo de variação e estabelecer um valor médio de C_t , C_p , t_c e C_v , os parâmetros característicos dos 19 HU's utilizados em cada bacia foram aplicados às equações acima, como será visto a seguir.

5.2.1 Bacia do Ribeirão Estiva

Analisando os 19 HU's utilizados para esta bacia, observa-se que, em todos os casos em que foi possível determinarem-se as durações das chuvas efetivas, tinha-se $t_p \neq 5,5$ tr. Assim, utilizou-se as equações 5.3 e 5.4 que, no caso desta bacia, ficaram:

$$C_i = \frac{1,0476 \left(t_{pH} - \frac{t_{rH}}{4} \right)}{0,75 \cdot (8,6 \cdot 4,6)^{0,3}} \rightarrow C_i = 0,4634 \cdot \left(t_{pH} - \frac{t_{rH}}{4} \right) \quad (5.7)$$

$$C_p = \frac{Q_p \cdot 1,0476 \cdot \left(t_{pH} - \frac{t_{rH}}{4} \right)}{2,75 \cdot 31,5} \rightarrow C_p = 0,0121 \cdot Q_p \cdot \left(t_{pH} - \frac{t_{rH}}{4} \right) \quad (5.8)$$

Considerando-se que os valores de t_r encontrados foram muito baixos e que, quando divididos por 4, não alterariam significativamente os resultados finais, decidiu-se adotar o valor médio de t_r observado (22 minutos) para os casos em que não foi possível a determinação do valor deste parâmetro. Assim, foram calculados os valores de C_t e C_p da bacia do Ribeirão Estiva na forma apresentada na Tabela 12, que se segue.

Para determinar o valor de t_c e C_v , foram considerados os valores $L = 8,6$ km e $S = 0,0192$ m/m da bacia do Ribeirão Estiva que, aplicados à equação 5.6, forneceram:

$$C_v = \frac{t_c \cdot 0,0192^{0,5}}{0,278 \cdot 8,6} \rightarrow C_v = 0,0580 t_c \quad (5.9)$$

Adotando-se também o valor de $t_r = 22$ minutos para os eventos em que não foi possível determinar-se a duração da chuva efetiva, foram calculados os valores de t_c (equação 5.5) e C_v como pode ser observado na Tabela 13, na seqüência.

Os valores dos quatro parâmetros obtidos para a bacia do Ribeirão Estiva se resumem no seguinte:

$$C_t: 0,87 < C_t < 2,06 \text{ com o valor médio} = 1,53$$

$$C_p: 0,39 < C_p < 0,99 \text{ com o valor médio} = 0,68$$

$$t_c: 2,92\text{h} < t_c < 7,29 \text{ h com o valor médio} = 5,36 \text{ h}$$

$$C_v: 0,169 < C_v < 0,423 \text{ com o valor médio} = 0,311$$

Deve-se observar que os valores destes parâmetros obtidos com base apenas no HU médio observado seriam ligeiramente diferentes dos valores médios obtidos, em razão dos pequenos ajustes finais feitos no HU médio para a equalização do volume unitário, ou seja: $C_t = 1,81$, $C_p = 0,81$, $t_c = 6,36$ h e $C_v = 0,369$.

5.2.2 Bacia do Ribeirão Serra Azul

Considerando-se os 19 HU's desta bacia, observa-se que, naqueles eventos em que foi possível definir a duração da chuva efetiva, tinha-se também $t_p \neq 5,5$ tr. Assim sendo, para determinarem-se os coeficientes C_t e C_p , foi necessário utilizar as equações 5.3 e 5.4 que, aplicadas a esta bacia, ficaram:

$$C_t = \frac{1,0476 (t_{pH} - \frac{t_{rH}}{4})}{0,75 \cdot (21,3 \cdot 11,6)^{0,3}} \rightarrow C_t = 0,2675 (t_{pH} - \frac{t_{rH}}{4}) \quad (5.10)$$

$$C_p = \frac{Q_p \cdot 1,0476 (t_{pH} - \frac{t_{rH}}{4})}{2,75 \cdot 112,5} \rightarrow C_p = 0,0034 \cdot Q_p \cdot (t_{pH} - \frac{t_{rH}}{4}) \quad (5.11)$$

TABELA 12 - Cálculo de Ct e Cp para a Bacia do Ribeirão Estiva

HU	t _{pH} (horas)	t _{rH} (horas)	t _{pH} -t _{rH} /4	Q _p	C _t	C _p
1	2	0,25	1,938	19,11	0,90	0,45
4	3	0,37	2,908	15,93	1,35	0,56
5	4	0,37	3,908	17,00	1,81	0,80
6	3	0,50	2,875	15,56	1,33	0,54
7	4	0,25	3,938	20,83	1,82	0,99
8	4,5	0,25	4,438	16,88	2,06	0,91
9	3	0,25	2,938	20,47	1,36	0,73
10	2,5	0,25	2,438	17,74	1,13	0,52
11	3,5	0,50	3,375	15,47	1,56	0,63
12	2,5	0,25	2,438	15,69	1,13	0,46
13	3	0,25	2,938	15,79	1,36	0,56
14	2	0,50	1,875	17,11	0,87	0,39
15	3,5	0,50	3,375	17,60	1,56	0,72
16	4	0,50	3,875	14,94	1,80	0,70
18	4	0,75	3,813	15,57	1,77	0,72
19	4	0,50	3,875	16,67	1,80	0,78
20	4	0,37	3,908	17,69	1,81	0,84
21	4	0,50	3,875	17,83	1,80	0,84
22	4	0,25	3,938	14,84	1,82	0,71
Médias					1,53	0,68

TABELA 13 - Cálculo de tc e Cv para a Bacia do Ribeirão Estiva

HU	t' _p (horas)	t _r (horas)	t' _p -t _r /2	t _c (horas)	C _v
1	2	0,25	1,875	3,13	0,182
4	3	0,37	2,815	4,69	0,272
5	4	0,37	3,815	6,36	0,369
6	3	0,50	2,750	4,58	0,266
7	4	0,25	3,875	6,46	0,375
8	4,5	0,25	4,375	7,29	0,423
9	3	0,25	2,875	4,79	0,278
10	2,5	0,25	2,375	3,96	0,230
11	3,5	0,50	3,250	5,42	0,314
12	2,5	0,25	2,375	3,96	0,230
13	3	0,25	2,875	4,79	0,278
14	2	0,50	1,750	2,92	0,169
15	3,5	0,50	3,250	5,42	0,314
16	4	0,50	3,750	6,25	0,363
18	4	0,25	3,875	6,46	0,375
19	4	0,50	3,750	6,25	0,363
20	4	0,37	3,815	6,36	0,369
21	4	0,50	3,750	6,25	0,363
22	4	0,25	3,875	6,46	0,378
Médias				5,36	0,311

Uma vez que a parcela referente a t_r nestas fórmulas não alterariam os resultados de forma significativa, também aqui adotou-se o valor médio das durações de chuva efetiva (30 minutos), para o cálculo de C_t e C_p relativos àqueles eventos em que não foi possível determinar-se t_r . Os valores dos coeficientes foram então calculados e são apresentados na Tabela 14, mostrada a seguir.

Levando em conta os valores $L = 21,3$ km e $S = 0,00612$ m/m da bacia do Ribeirão Serra Azul, em Jardim, a equação 5.6 fica:

$$C_v = \frac{t_c \cdot 0,00612^{0,5}}{0,278 \cdot 21,3} \rightarrow C_v = 0,0132 \cdot t_c \quad (5.12)$$

Considerando-se também o valor médio de t_r (30 minutos) para os eventos em que não foi possível determinar-se a duração da chuva efetiva, foram calculados os valores de t_c (equação 5.5) e C_v , como pode ser observado na Tabela 15, mostrada na seqüência.

Os parâmetros básicos dos dois métodos utilizados neste estudo, para a bacia do Ribeirão Serra Azul se resumem, portanto, em:

$$C_t: 1,57 < C_t < 3,71 \quad \text{com um valor médio} = 2,61$$

$$C_p: 0,66 < C_p < 1,19 \quad \text{com um valor médio} = 0,95$$

$$t_c: 9,58 \text{ h} < t_c < 22,92 \text{ h} \quad \text{com um valor médio} = 16,06 \text{ h}$$

$$C_v: 0,126 < C_v < 0,303 \quad \text{com um valor médio} = 0,212$$

No caso desta bacia os valores médios encontrados são praticamente iguais aos que seriam obtidos caso se utilizasse apenas o HU médio observado, ou seja: $C_t = 2,68$, $C_p = 0,99$, $t_c = 16,25$ e $C_v = 0,214$.

Como se pôde observar, os coeficientes médios do Método de Snyder obtidos para as duas bacias ($C_t = 1,53$ e $C_p = 0,68$, para o Ribeirão Estiva e $C_t = 2,61$ e $C_p = 0,95$, para o Ribeirão Serra Azul), não só estão fora dos intervalos encontrados pelo autor do método e por Linsley (geralmente utilizados), como são bem diferentes entre si. Considerando que as duas bacias estudadas encontram-se dentro da Bacia Representativa de Juatuba e que, portanto, têm várias características físicas em comum como, por exemplo, o tipo de solo, o recobrimento vegetal, a forma e a densidade de drenagem (COPASA, 1983, a), a diferença entre os coeficientes obtidos parece indicar que estes parâmetros estão fortemente relacionados com a declividade e com as dimensões da bacia hidrográfica e que, quanto maior a declividade, menor será o valor de C_t , como se previa.

A variação encontrada vem, também, reforçar a importância de uma escolha criteriosa destes parâmetros, quando se adota o Método de Snyder para calcular vazões de enchente.

TABELA 14 - Cálculo de Ct e Cp para a Bacia do Ribeirão Serra Azul

HU	t _{pH} (horas)	t _{rH} (horas)	t _{pH} -t _{rH} /4	Q _p	Ct	Cp
1	10	0,5	9,875	30,29	2,64	1,02
2	8	0,5	7,875	37,77	2,11	1,01
3	12	0,5	11,875	29,39	3,18	1,19
4	6	0,5	5,875	36,81	1,57	0,74
6	8	0,5	7,875	35,66	2,11	0,95
7	8	0,5	7,875	34,10	2,11	0,91
8	10	0,5	9,875	33,51	2,64	1,13
9	8	0,5	7,875	29,41	2,11	0,79
10	8	0,5	7,875	37,43	2,11	1,00
11	14	0,5	13,875	23,98	3,71	1,13
12	12	0,5	11,875	28,06	3,18	1,13
13	12	0,5	11,875	23,58	3,18	0,95
14	10	0,5	9,875	28,32	2,64	0,95
15	8	0,5	7,875	24,78	2,11	0,66
16	10	0,5	9,875	23,01	2,64	0,77
17	8	0,25	7,875	27,58	2,12	0,74
18	10	0,5	9,875	29,18	2,64	0,98
19	12	0,5	11,875	24,41	3,18	0,99
20	14	1,0	13,750	22,14	3,68	1,04
Médias					2,61	0,95

TABELA 15 - Cálculo de tc e Cv para a Bacia do Ribeirão Serra Azul

HU	t' _p (horas)	t _r (horas)	t' _p -t _r /2	t _c (horas)	Cv
1	10	0,5	9,75	16,25	0,215
2	8	0,5	7,75	12,92	0,171
3	12	0,5	11,75	19,58	0,258
4	6	0,5	5,75	9,58	0,126
6	8	0,5	7,75	12,92	0,171
7	8	0,5	7,75	12,92	0,171
8	10	0,5	9,75	16,25	0,215
9	8	0,5	7,75	12,92	0,171
10	8	0,5	7,75	12,92	0,171
11	14	0,5	13,75	22,92	0,303
12	12	0,5	11,75	19,58	0,258
13	12	0,5	11,75	19,58	0,258
14	10	0,5	9,75	16,25	0,215
15	8	0,5	7,75	12,92	0,171
16	10	0,5	9,75	16,25	0,215
17	8	0,25	7,875	13,125	0,173
18	10	0,5	9,75	16,25	0,215
19	12	0,5	11,75	19,58	0,258
20	14	1,0	13,50	22,50	0,297
Médias				16,06	0,212

Quanto ao t_c , observou-se que os valores encontrados para as duas bacias com a fórmula de Ventura ficaram mais próximos dos observados. Os valores médios de C_v encontrados para as duas bacias mostram que, em se adotando o Método do SCS para o cálculo de t_c , os resultados se aproximariam dos observados apenas se se considerasse a cobertura superficial como sendo do tipo *Solo quase nu*, para a bacia do Estiva e *Canais gramados*, para a bacia do Serra Azul. Considerando-se que estas classificações não correspondem ao tipo de cobertura das bacias como um todo, confirma-se a conclusão de que este método, realmente não seria adequado para o cálculo de t_c nestas bacias, pois fornece valores subestimados para este parâmetro.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Ao término deste trabalho, os resultados obtidos conduziram a conclusões importantes, tanto no que se refere às práticas hidrológicas mais usadas para determinação de vazões de enchente, quanto à gestão do sistema de aquisição e conservação de dados hidrométricos no Estado de Minas Gerais.

A primeira conclusão a que se chegou, ainda na fase inicial do trabalho, se refere ao aspecto político-institucional do principal problema enfrentado pelos hidrólogos, ou seja, da carência de dados hidrológicos confiáveis. Não bastasse a dificuldade encontrada pelos órgãos responsáveis pela implantação e manutenção da rede hidrométrica no país e no estado, há que se enfrentar, também, o descaso das autoridades constituídas com o acervo de dados acumulado às duras penas, com os escassos recursos públicos disponíveis e graças ao idealismo de alguns profissionais abnegados.

Este problema se agrava em se tratando do Estado de Minas Gerais, que tem a maior parte do sistema de aquisição de dados hidrológicos vinculada ao Governo Federal, dificultando bastante o seu controle, como se viu, na fase de levantamento e obtenção dos dados. Torna-se necessário, portanto, não só rever a política atual de obtenção e conservação dos dados, mas promover uma reestruturação do sistema, particularmente em Minas Gerais, de forma a convergir os esforços e recursos disponíveis para uma Instituição que possa garantir a aquisição a manutenção e o processamento do acervo de dados e, ao mesmo tempo, que esteja, tanto quanto possível, isenta das intempéries e injunções políticas.

Estas medidas se fazem urgentes, não só para resgatar os investimentos já feitos, mas também para recompor as equipes existentes com um número suficiente de profissionais atualizados com a moderna técnica de aquisição e processamento de dados hidrológicos. Não basta apenas coletar e acumular os dados como vem sendo feito ao longo das últimas décadas. É preciso investir também no processamento (análise, tratamento e publicação) dos dados, de modo a permitir, inclusive, um controle de qualidade e a necessária retroalimentação do sistema, para as correções que se fizerem necessárias.

No âmbito modesto deste trabalho, pôde-se perceber, com clareza, como a questão político-institucional pode inviabilizar a evolução dos estudos hidrológicos, senão no país, pelo menos em Minas Gerais. Os exemplos das estações pluviográfica de Alto da Boa Vista e linigráfica de Fazenda Laranjeiras são ilustrativos. Os investimentos que possibilitaram o funcionamento destas estações durante muitos anos (fato raro, é preciso que se diga) não foram suficientes para garantir a utilização dos dados ali obtidos. No caso da estação pluviográfica, os registros foram enviados à Brasília, onde permanecem até hoje, pela impossibilidade de serem tratados aqui. No caso da estação linigráfica, a falta de recursos para uma manutenção adequada da rede fez com que pequenos detalhes invabilizassem a utilização dos dados, como se viu. Caso existisse, no âmbito estadual, um órgão preparado para exercer o papel de gestor do sistema de aquisição e processamento de dados, certamente estes fatos não ocorreriam.

A segunda conclusão é decorrente da primeira, visto que se se pudesse dispor de um banco de dados razoável, poder-se-ia avaliar melhor a adequação às condições locais das metodologias desenvolvidas em outros países, evitando inclusive a

adoção generalizada de métodos indiretos que, muitas vezes, levam a resultados muito distantes da realidade.

Em se tratando do estudo de enchentes, as conseqüências são, ou a execução de obras superdimensionadas, com desperdício de recursos, ou a execução de obras subdimensionadas, resultando em inundações com prejuízos humanos e materiais.

Concluído o trabalho, pôde-se constatar que, no caso das bacias estudadas, as vazões de pico dos hidrogramas unitários sintéticos poderiam ser desde 1/3 até cerca de 2,5 vezes as vazões de pico dos hidrogramas unitários observados.

A análise comparativa veio demonstrar a importância da realização de estudos, com base em dados observados na região em questão, e o cuidado que se deve ter na adoção dos *métodos indiretos*, assim como na escolha dos principais parâmetros e coeficientes adotados em cada método. Como se viu, mesmo em se tratando de duas sub bacias com características físicas semelhantes, verificou-se uma variação significativa, tanto nos coeficientes do Método de Snyder, quanto nos resultados referentes ao tempo de concentração, obtidos com uma mesma fórmula, para a aplicação do Método do SCS.

No caso das bacias estudadas, pôde-se observar que os coeficientes de Linsley se adaptaram melhor à bacia do Ribeirão Estiva, enquanto os de Snyder forneceram HU's mais próximos aos reais, para a bacia do Ribeirão Serra Azul. Este fato parece indicar que os coeficientes de Linsley se adaptariam melhor às bacias com pequenas áreas de drenagem e de maior declividade, ao passo que os coeficientes de Snyder seriam mais adequados para bacias menos íngremes e com maiores áreas de drenagem.

Quanto ao Método do SCS, a conclusão mais importante se refere ao tempo de concentração, que é o parâmetro básico do método. Observou-se que a Fórmula de Ventura, dentre as fórmulas estudadas para o cálculo de t_c , foi a que forneceu HUS's mais próximos aos HU's médios observados nas duas bacias. Assim sendo, concluiu-se que, na impossibilidade de se medir diretamente t_c , em se adotando esta fórmula, principalmente em bacias com características semelhantes às do Ribeirão Estiva, obtem-se resultados mais próximos dos reais.

Deve-se ressaltar, entretanto, o caráter preliminar destas conclusões, uma vez que o estudo se restringiu a apenas duas sub bacias. Para a consolidação das conclusões aqui obtidas e uma melhor caracterização da Bacia Representativa de Juatuba, sugere-se a extensão deste estudo a outras sub bacias como, por exemplo, as dos Ribeirões Mato Frio e Diogo, que têm áreas de drenagem e declividades diferentes e cujos dados poderão estar disponíveis, em futuro próximo. Quanto ao Ribeirão Mato Frio, providências relativamente simples, como a realização de campanhas de medições de vazão no período das cheias e a mudança na escala do linígrafo já seriam suficientes para viabilizar a utilização de seus dados.

Outra sugestão para a continuidade destes estudos seria o prosseguimento das tentativas para obtenção dos dados das estações pluviográficas da Bacia Representativa de Juatuba (especialmente a de Alto da Boa Vista), para viabilizar não só o estabelecimento da Equação IDF, com base em dados de longo período, como também outras pesquisas sobre o regime de chuvas no local.

O resgate parcial dos dados da Bacia Representativa de Juatuba feito através deste trabalho, além da análise comparativa realizada, viabilizou também a obtenção de resultados que, certamente, trazem alguma contribuição para a caracterização hidrológica desta bacia, que representa a região central do estado.

Inicialmente, pode-se mencionar o estabelecimento de curvas-chave para os níveis d'água máximos já registrados nos Ribeirões Estiva e Serra Azul, que poderão ser utilizadas pelos órgãos que operam as estações hidrométricas na bacia.

Pode-se mencionar também, o levantamento dos eventos de chuvas intensas ocorridos na bacia do Ribeirão Serra Azul, que viabilizou o estabelecimento de uma versão preliminar da equação IDF para esta bacia.

Outro resultado que merece menção, é a obtenção do coeficiente de escoamento superficial (CES) e da taxa de perdas média (Índice Φ), para as duas bacias estudadas. Estes parâmetros, como se sabe, traduzem de uma forma global o comportamento hidrológico da bacia, quanto à capacidade de produção de escoamento superficial, e podem ser utilizados para uma avaliação da chuva efetiva, que é um dos parâmetros fundamentais no estudo das cheias.

Os valores do CES e do Índice Φ encontrados ficaram bastante próximos para as duas bacias, apresentando também uma coerência entre si. Na bacia do Ribeirão Estiva obteve-se um CES médio de cerca de 8 % e um Índice Φ médio de 35 mm/h, enquanto que na bacia do Ribeirão Serra Azul, os valores médios obtidos foram de 7 % e 41 mm/h, respectivamente. Estes resultados indicam que as bacias apresentam elevados índices de perdas por infiltração, retenção superficial e evaporação e, portanto, baixos coeficientes de escoamento superficial. Deve-se observar ainda, que estes valores são bem inferiores aos coeficientes de escoamento superficial, 18,8 % a 40,8 %, encontrados no estudo feito para o gerenciamento da bacia hidrográfica do Ribeirão Serra Azul (COPASA, 1983, b. p. 6). Mesmo considerando a hipótese de que a utilização de apenas eventos isolados possa ter contribuído para a redução dos Coeficientes de Escoamento Superficial encontrados, a conclusão final é de que esta contribuição é relativamente pequena e que as bacias estudadas, realmente, apresentam baixos CES's.

O estudo dos hidrogramas unitários observados nas duas bacias, além de viabilizar a comparação das metodologias mais usadas para determinação das vazões de enchente, permitiu também que se determinassem os principais parâmetros do HU médio de cada bacia, para uma chuva efetiva igual a 1 cm, ou seja:

Parâmetro	Ribeirão Estiva	Ribeirão Serra Azul
Qp	17,13 m ³ /s	29,60 m ³ /s
tp	4 h	10 h
tb	16 h	26 h
W50	4 h	9,6 h
W75	2 h	6,3 h

Comparando-se as vazões máximas específicas (0,54 m³/s.km², para o Ribeirão Estiva e 0,26 m³/s.km², para o Ribeirão Serra Azul) e os demais parâmetros que definem a forma do HU, percebe-se facilmente o efeito do amortecimento da onda de cheia na bacia do Serra Azul, em função da sua maior capacidade de armazenamento. Sua área é cerca de 3,5 vezes maior e a declividade do talvegue cerca de 3 vezes menor, em relação à bacia do Ribeirão Estiva.

Ainda com relação aos hidrogramas unitários médios obtidos, deve-se lembrar que os mesmos poderão ser utilizados em estudos posteriores como, por exemplo, o estudo comparativo das vazões de enchente a serem obtidas, com os métodos estatísticos.

Outro resultado importante obtido com a realização deste trabalho, foi a determinação de valores médios dos coeficientes do Método de Snyder e do tempo de concentração médio, baseado no Método do SCS, para as duas bacias, ou seja:

Parâmetro	Ribeirão Estiva	Ribeirão Serra Azul
Ct	1,53	2,61
Cp	0,68	0,95
tc	5,4 h	16,1 h

Pode-se constatar que, os coeficientes do Método de Snyder encontrados para as duas bacias são bem diferentes daqueles encontrados pelo autor do método e também por Linsley, embora os valores tenham ficado dentro de intervalos encontrados por outros autores (Muller, et al., 1983, Bull, 1968, Hudlow e Clark, 1969 e Cordery, 1968). Este fato vem reforçar a importância de uma escolha criteriosa destes parâmetros, quando se adota o Método de Snyder, para calcular vazões de enchente.

Deve-se observar também que a diferença significativa entre os valores encontrados para as duas bacias, provavelmente, está relacionado com a diferença, nas características de dimensões e de declividade, existente entre as duas bacias. Os valores referentes a Ct parecem indicar que, quanto mais íngreme for a bacia, menor será o valor de Ct.

Quanto aos valores do tempo de concentração encontrados, como se viu, ficaram próximos àqueles fornecidos pela Fórmula de Ventura, indicando que esta fórmula seria a mais adequada para o cálculo de tc, no caso das bacias estudadas.

Finda a análise dos resultados obtidos, deve-se ressaltar o potencial dos dados da Bacia Representativa de Juatuba para a realização de outros estudos hidrológicos. O resgate completo destes dados, além de possibilitar a continuação deste trabalho, viabilizará outras pesquisas como, por exemplo, os estudos para o estabelecimento de leis que descrevam a evolução, no tempo e no espaço, dos eventos de chuva, ou os estudos para a caracterização dos processos de perdas por infiltração e evaporação na bacia. Estas e outras pesquisas de realização relativamente simples na Bacia de Juatuba como, por exemplo, a determinação experimental do tempo de concentração através da utilização de traçadores, certamente trariam maiores contribuições para o desenvolvimento das técnicas hidrológicas correntes e para sua adequação à realidade local.

Finalmente, deve-se ressaltar que, em estado com a relevância estratégica, do ponto de vista hidrológico, como o Estado de Minas Gerais, além de fundamentais, são urgentes os investimentos para, a implantação de sistemas mínimos de aquisição de dados, como o da Bacia Representativa de Juatuba, em outras regiões e a manutenção de uma Instituição preparada para operar a rede hidrométrica e processar as informações obtidas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 AZEVEDO NETTO, J. M. e ALVAREZ G. A. **Manual de hidráulica**. 7 ed. atual.e ampl. São Paulo: Edgard Blücher, 1982. 2v.
- 2 BULL, J. A. **Unit graphs for nonuniform rainfall distribution**; Journal of Hydraulics Division, Proceeding of the American Society of Civil Engineers, 1968. p.235-257 apud SINGH, V. P. **Elementary hydrology**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1992. 973p.
- 3 CALDEIRA, W. S., DRUMOND, M.M., BAPTISTA, M.B. Estabelecimento de equações de chuvas intensas na bacia representativa de juatuba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 8, 1994, Belo Horizonte. **Anais...** . Belo Horizonte: SBMET, 1994. 2v.
- 4 CHOW, V. T. **Handbook of applied hydrology**. New York: McGraw-Hill, 1964
- 5 CHOW, V. T., MAIDMENT, D. R., MAYS, L. W. **Applied hydrology**. New York: McGraw-Hill, 1988. 572 p.
- 6 COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS, Belo Horizonte. **Barragem de serra azul**; relatório leme engenharia. Belo Horizonte: COPASA, 1977.
- 7 COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS, Belo Horizonte. **Gerenciamento da bacia hidrográfica**; reservatório serra azul; 1º relatório lucio gomide. Belo Horizonte: COPASA, 1983. 215 p.
- 8 COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS, Belo Horizonte. **Gerenciamento da bacia hidrográfica**; reservatório serra azul; 3º relatório lucio gomide. Belo Horizonte: COPASA, 1983. 139 p.
- 9 CORDERY, I. **Synthetic unit graphs for small catchments in Eastern New SouthWales**; Civil Engineering Transactions. Australia: Institution of Engineers, 1968. p. 47-58 apud SINGH, V. P. **Elementary hydrology**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1992. 973 p.
- 10 DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. 5º Distrito. **Bacia representativa de juatuba**; série E-02 (dados atualizados até 1975). Brasília: DNAEE, 1981. 364 p.
- 11 DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. 5º Distrito. **Bacia representativa de juatuba**; série E-03 (dados do período 1976-1980). Brasília: DNAEE, 1986, 497 p.

- 12 DRUMOND, M. M. **Estudos hidrológicos de uma região para localização de uma instalação nuclear; o hidrograma unitário.** Belo Horizonte: NUCLEBRÁS/IPR, Universidade Federal de Minas Gerais, 1977. 103 p. (Monografia, Especialização em Tecnologia Nuclear)
- 13 EUCLYDES, P. H. **Regionalização de vazões máximas e mínimas para a bacia do rio Juatuba - MG.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1992. 66 p. (Dissertação, Mestrado em Engenharia Agrícola).
- 14 GENOVEZ, A. M. Estudo comparativo dos métodos de estimação das vazões de pico para pequenas bacias rurais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 10, 1993, Gramado - RS. **Anais ...**. Porto Alegre: ABRH, 1993. 5 v. 3v, p. 343 - 352.
- 15 HUDLOW M. D. and CLARK R. A. **Hydrological synthesis by digital computer;** Journal of the Hydraulics Division, Proceeding of the American Society of Civil Engineers. 1969. p. 839-860 apud SINGH, V. P. **Elementary hydrology.** Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1992. 973 p.
- 16 LINSLEY, R. K. **Application to the synthetic unit graph in Western Mountain States.** Transactions, American Geophysical Union, 1943. p. 581-587 apud SINGH, V. P. **Elementary hydrology.** Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1992. 973p.
- 17 LINSLEY, R. K., FRANZINI, J. B. **Water resources engineering.** 2 ed. New York: McGraw-Hill, 1972. 690 p.
- 18 LINSLEY, R. K., KOHLER, M. A., PAULHUS, J. L. H. **Applied hydrology.** New Delhi: McGraw-Hill, 1975. 689 p.
- 19 MILLER, A. C., KERR, S. N. and SPAEDER, D. J. **Calibration of Snyder coefficients for Pennsylvania;** water resources bulletin. 1983. p. 625-630 apud SINGH, V. P. **Elementary hydrology.** Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1992. 973 p.
- 20 PAPADAKIS, C., KAZAN, N. **Time of concentration in small rural watersheds.** Cincinnati, Ohio: University of Cincinnati College of Engineering, 1986. 56p.
- 21 PFAFSTETTER, O. **Chuvas intensas do Brasil.** Rio de Janeiro: DNOS, 1957. 419 p.
- 22 PFAFSTETTER, O. **Deflúvio superficial.** Rio de Janeiro: DNOS, 1976. 144p.
- 23 SCHULZ, E. F. **Problems in applied hydrology.** Fort Collins: Water Resources Publications, 1973 apud WILKEN, P. S. **Engenharia de drenagem superficial.** São Paulo: CETESB, 1978. 477 p.

- 24 SEREBRENICK, R. **Hidrograma unitário**; definições, finalidade, estabelecimento e aplicação da técnica do hidrograma unitário para uma bacia hidrográfica. Rio de Janeiro: DNAE, 1966. p. 29 - 91.
- 25 SINGH, V. P. **Elementary hydrology**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1992. 973 p.
- 26 SOUSA PINTO, N. L. et al. **Hidrologia básica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1976. 278 p.
- 27 TORRICO, J. T. **Práticas hidrológicas**. Rio de Janeiro: TRANSCON, 1974. 120 p.
- 28 TUCCI, C. E. M. (Org.) **Hidrologia**; ciência e aplicação. Porto Alegre: Ed. da Universidade / EDUSP / ABRH, 1993. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos; v. 4). 943 p.
- 29 UEHARA, K. e PORTO, R. L. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1980. Apostilas.
- 30 WILKEN, P. S. **Engenharia de drenagem superficial**. São Paulo: CETESB, 1978. 478 p.
- 31 WU, I - PAI, **Design hydrographs for small watersheds in Indiana**. In: Proceeding of the American Society of Civil Engineers, 1963, S.L. p. 35 - 65.

ANEXO

FOTOGRAFIAS



Foto 1 - Vista parcial da sub bacia do Ribeirão Serra Azul. No centro da foto, a mata ciliar existente no trecho médio deste curso d'água.



Foto 2 - Vista da sub bacia do Córrego Pedreira, afluente da margem direita do Ribeirão Serra Azul



Fotos 3 e 4 - Vistas da barragem construída pela COPASA no Ribeirão Serra Azul, em 1982. À esquerda da Foto 3, pode-se observar o vertedor da barragem e à direita da Foto 4, a tomada d'água.



Foto 5 - Vista do Ribeirão Estiva a jusante da ponte da estrada Igarapé - Mateus Leme

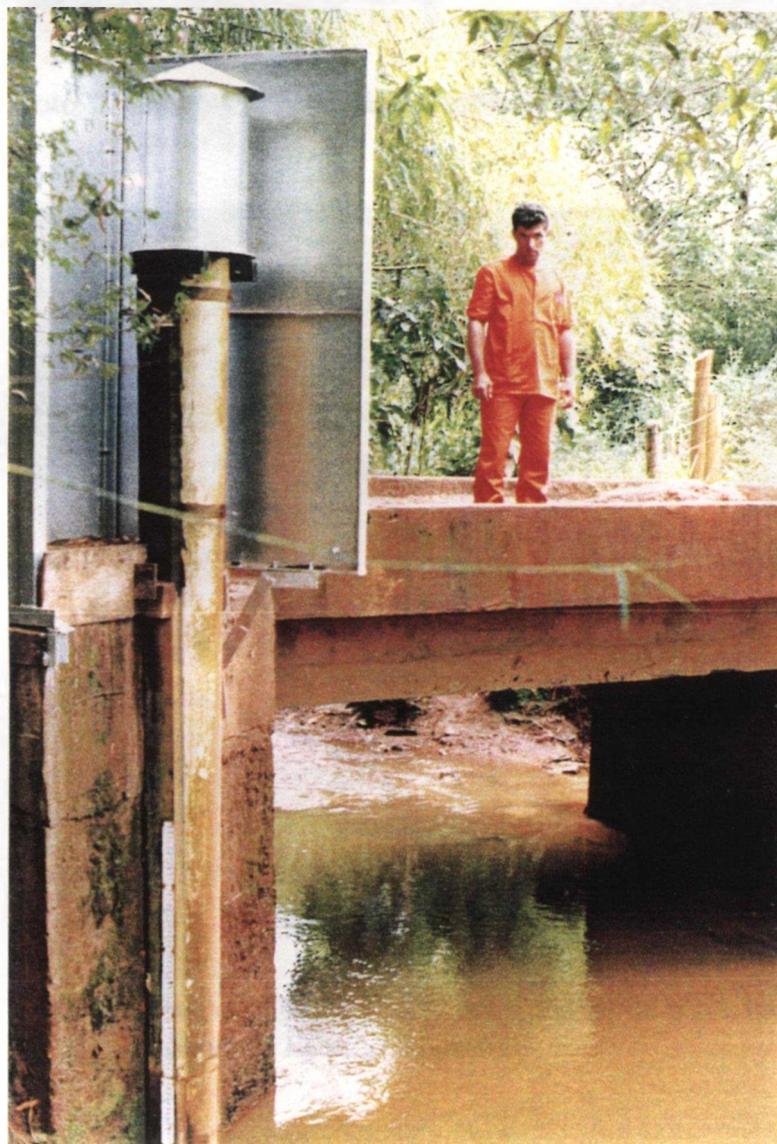


Foto 6 -
Estação Linigráfica de
Fazenda Solar no
Ribeirão Estiva, operada
pela COPASA, instalada
junto à ponte da Foto
anterior.



Foto 7 - Estação linigráfica de Jardim, no Ribeirão Serra Azul, operada pela Copasa e pela CPRM.



Foto 8 - Vista do Ribeirão Serra Azul, abaixo da ponte localizada a cerca de 500 m a jusante da Estação de Jardim.



Foto 9 - Vista da Estação Pluviográfica de Alto da Boa Vista, operada pelo DNAEE / CPRM. Ao fundo, pode-se observar o trecho superior da sub bacia do Ribeirão Serra Azul.



Foto 10 - Estação Pluviográfica de Serra Azul, operada pelo DNAEE / CPRM.



Foto 11 - Estação Pluviográfica de Jardim, operada pelo DNAEE / CPRM, localizada nas proximidades da estação linigráfica com o mesmo nome.

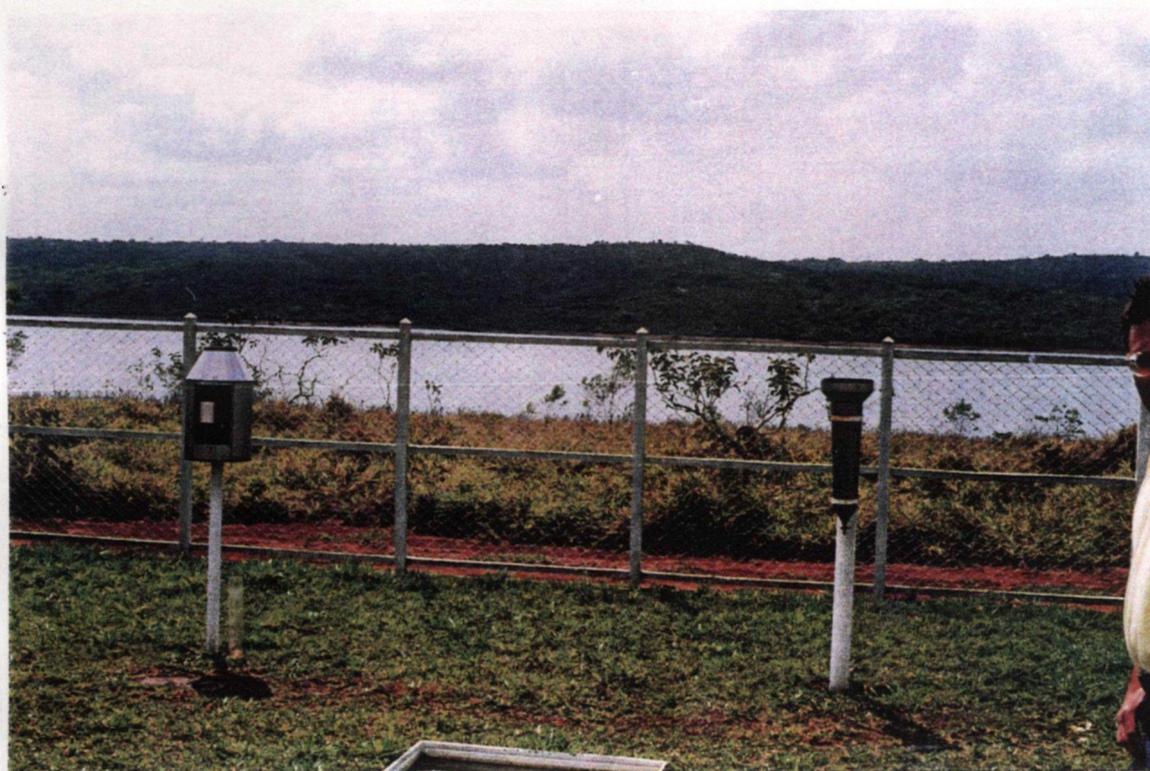


Foto 12 - Estação Pluviográfica de Fazenda dos Cavalos, operada pela COPASA, situada às margens da Represa de Serra Azul.