

112 382 - REPIDISCA

**IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ZONA
RIPÁRIA EM UMA MICROBACIA EXPERIMENTAL:
IMPLICAÇÕES NO MANEJO DE BACIAS
HIDROGRÁFICAS E NA RECOMPOSIÇÃO DE
FLORESTAS**

MARIA JOSÉ BRITO ZAKIA

Orientador : Antonio Marozzi Righetto

Tese apresentada ao programa de pós-graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, EESC - USP, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Ciências da Engenharia Ambiental.



DEDALUS - Acervo - EESC



31100016525

SÃO CARLOS
Estado de São Paulo - Brasil
Outubro de 1998

Class.	TESE - EESC
Cutt.	6352 ✓
Tombo	T278/98

31100016525

st 1004002

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca - EESC-USP**

Z22i Zakia, Maria José Brito
Identificação e caracterização da zona ripária em
uma microbacia experimental : implicações no
manejo de bacias hidrográficas e na recomposição de
florestas / Maria José Brito Zakia. -- São
Carlos, 1998.

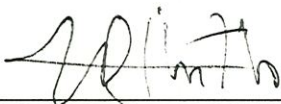
Tese (Doutorado) -- Escola de Engenharia de São
Carlos-Universidade de São Paulo, 1998.
Área: Ciências da Engenharia Ambiental.
Orientador: Prof. Dr. Antonio Marozzi Righetto.

1. Zona ripária. 2. Manejo de bacias
hidrográficas. 3. Modelagem hidrológica. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidata: Engenheira **MARIA JOSÉ BRITO ZAKIA**

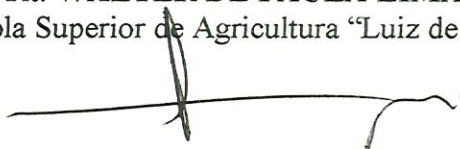
Tese defendida e aprovada em 09.10.1998
pela Comissão Julgadora:



Prof. Assoc. **ANTONIO MAROZZI RIGHETTO (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



Prof. Tit. **WALTER DE PAULA LIMA**
(Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Universidade de São Paulo)



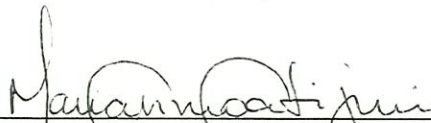
Prof. Tit. **FAZAL HUSSAIN CHAUDHRY**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



Profª. Dra. **GISELDA DURIGAN**
(Instituto Florestal de Assis)



Prof. Assoc. **PAULO YOSHIO KAGEYAMA**
(Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Universidade de São Paulo)



Profª. Doutora **MARIA DO CARMO CALIJURI**
Coordenadora da Área de Ciências da Engenharia Ambiental



JOSE CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

*À equipe pedagógica da Escola Comunitária
de Campinas, em especial à D. Amélia P.
Palermo*

Aos meus pais

Agradecimentos

- Ao professor Antonio Marozzi Righetto pela capacidade , segurança e paciência (muita paciência) que me dispensou na orientação deste trabalho.
- Ao Professor Walter de Paula Lima pela confiança , pela co-orientação e acima de tudo pelo privilégio de poder trabalhar ao seu lado.
- Ao professor Paulo Yoshio Kageyama pela capacidade de trabalhar em equipe, e pela amizade sincera que torna sempre agradável a realização de um trabalho.
- Aos amigos e colegas que participam do “Projeto Microbacias INPACEL”: Eng. Agr. MSc. Flávio Bertin Gandara Mendes, Graduando em Florestas Cássio G. Cesare, pela permanente ajuda com os dados de vegetação e pelas inúmeras horas que passamos discutindo a relação vegetação x hidrografia.
- A INPACEL S/A especialmente ao Eng . Marlus, ao Eng. Jason, ao Eng. Duda e a Eng. Aurea Nardelli, pelo entendimento e apoio do Projeto.
- Ao técnico florestal Bernardi da INPACEL, que coletou os dados e pelo entusiasmo em que sempre contribuiu para este trabalho. Definitivamente um profissional ímpar.
- A Norma, ao João Batista, ao Tadeu e ao Marcos do departamento de mapeamento da INPACEL, que fizeram mapas... mapas e mais mapas, enquanto testávamos as hipóteses deste trabalho.
- Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos Este agradecimento colocado assim de maneira tão “seca” , não reflete a importância da bolsa no momento de se fazer um curso de pós-graduação. Quero deixar claro que é MUITO obrigada pela bolsa!

- Ao Eng. Fernando Frosini Barros Ferraz (TRN) , que reforçado pelo nascimento do André, aproveitou as noites em claro , e me ajudou todo o tempo com o IDRISI e no preparo da metodologia simplificada para mapeamento da zona ripária.(Obrigada André!)
- Ao Eng Jorge Moraes (CENA) pela ajuda com nas modificações e adequações no do programa GRIDATB , que acompanha o TOPMODEL.
- Aos meus pais e amigos que tantas e tantas vezes tiveram que me ouvir dizendo: “Tese?! Nunca mais!...”; “Preciso terminar a tese,...”; “A Maria do Carmo me mata se eu não terminar a tese...”.E portanto agradeço muito e de maneira muito carinhosa à Maria do Carmo.
- À Claudete, secretária do programa de pós-graduação, pela atenção, pelo carinho e pelos agradáveis momentos de “fumar um cigarro, lá fora”.
- Ao Vítor pela digitação do texto, sempre com muita atenção e muita dedicação.
- Ao Eng. Agr. Alexandre (Arte & Ciência) pelo preparo dos slides.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	iv
RESUMO.....	v
ABSTRACT	vi
1.INTRODUÇÃO	01
2. OBJETIVOS	03
2.1. Objetivo Principal.....	03
2.2. Outros Objetivos.....	03
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	05
4. METODOLOGIA.....	28
4.1. A Área de Estudo.....	28
4.1.1. Aspectos Gerais da Fazenda São Nicolau.....	28
4.1.2. A Bacia Experimental.....	31
4.2. Determinação do Balanço Hídrico Anual.....	36
4.2.1. Medições da Vazão e da Precipitação.....	36
4.3. O Estudo da Vegetação.....	41
4.3.1. Levantamento dos Indivíduos Adultos	41
4.4. O Modelo MESS (conhecido a partir do TOPMODEL) para a Identificação da Área Variável de Afluência (Zona Ripária) e para a Simulação da Vazão ...	43
4.4.1. Conceituação e Fundamentação Teórica	43
4.4.2. Passos para a Execução do Modelo MESS.....	52
4.4.2.1. Parte 1 - Preparo do modelo digital do terreno, cálculo do Índice Topográfico (IT) e das Áreas de contribuição (ac _i).....	52
4.4.2.2. Simulação da vazão	54
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	56

5.1. Identificação da Zona Ripária: O Modelo Digital do Terreno x Levantamento da Vegetação.....	56
5.2. Aplicação do Modelo do escoamento subsuperficial – MESS	71
5.3. A Integração dos Resultados Hidrológicos e do Levantamento da Vegetação ...	74
5.4. Balanço Hídrico	77
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	88
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92

ANEXOS

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 -	Principais componentes do ciclo hidrológico em uma microbacia hidrográfica (a partir de CHORLEY, 1978)	07
FIGURA 2 -	Visualização do conceito de “área variável de afluência” (AVA) na geração do deflúvio em microbacias (HEWLETT & NUTTER, 1969)	11
FIGURA 3 -	Evolução da “área variável de afluência” no processo de geração do escoamento direto durante uma chuva sobre uma microbacia (HEWLETT & NUTTER, 1969)	12
FIGURA 4 -	Comparação entre o modelo tradicional e o de área de variável de afluência (HEWLETT, 1982)	15
FIGURA 5 -	Classificação de modelos hidrológicos (PASSOS, 1993)	16
FIGURA 6 -	Esquema comparativo entre os processos que influenciam na geração do deflúvio (DUNNE, 1978)	18
FIGURA 7 -	Esquema conceitual de uma área ripária (modificado a partir de LIKENS, 1992)	19
FIGURA 8 -	A integridade do ecossistema microbacia: perpetuação de seu funcionamento hidrológico (vazão, quantidade de água, qualidade da água), de seu potencial produtivo (biogeoquímica), e da diversidade ecológica ao longo da área (mata ciliar, zonas ripárias, reservas de vegetação natural) (LIMA, 1997)	27
FIGURA 9 -	Localização da fazenda São Nicolau, pertence à INPACEL S/A.....	29
FIGURA 10 -	Planta planialtimétrica da microbacia experimental da Onça.....	33
FIGURA 11 -	Curva hipsométrica da microbacia experimental da Onça	35
FIGURA 12 -	Vista geral, à montante, da estação limnimétrica	39
FIGURA 13 -	Detalhe do limnígrafo instalado.....	40

FIGURA 14 - Microbacia da Onça com a localização aproximada dos 3 transectos para estudos da vegetação.....	42
FIGURA 15 - (a) evolução do teor de umidade em uma recessão, (b) representação esquemática da zona não saturada. (Preparada por MORAES, 1998, a partir de BEVEN et al., 1995).....	49
FIGURA 16 - Mecanismos de geração de deflúvio (MORAES, 1998).....	50
FIGURA 17 - Esquema da bacia hidrográfica no modelo MESS e no TOPMODEL (Preparado por MORAES, 1998, a partir de SAULNIER, 1996).....	51
FIGURA 18 - Seqüência para identificação da zona ripária.....	56
FIGURA 19 - Imagem da microbacia da Onça, gerada em sistema vetorial, com a presença das 4 espécies nos transectos	60
FIGURA 20 - Modelo digital do terreno da microbacia da Onça obtido no sistema raster.....	61
FIGURA 21 - Mapeamento das áreas de contribuição, associadas às células de discretização da microbacia da Onça.....	62
FIGURA 22 - Índices topográficos obtidos para a microbacia experimental da Onça	63
FIGURA 23 - Imagem com as áreas de contribuição e a ocorrência/posição dos indivíduos da espécie vacum nos transectos. (Os indivíduos de vacum estão fora de escala)	65
FIGURA 24 - Imagem com as áreas de contribuição e a ocorrência/posição dos indivíduos da espécie gorocaia nos transectos. (Os indivíduos de gorocaia estão fora de escala)	66
FIGURA 25 - Imagem com as áreas de contribuição e a ocorrência/posição dos indivíduos da espécie cebolão nos transectos. (Os indivíduos de cebolão estão fora de escala)	67
FIGURA 26 - Ocorrência dos indivíduos das quatro espécies no transecto 3, margem esquerda	69
FIGURA 27 - Imagem de parte da microbacia da Onça com os transectos 2 e 3, com os indivíduos de vacum e com as curvas de nível	70

FIGURA 28 - Vazões observadas e vazões simuladas (m^3/s) de hora em hora, através do MESS no período estudado	72
FIGURA 29 - Esquema comparativo entre os processos que influenciam no deflúvio e conseqüências sobre presença de matas ciliares mais diferenciadas ou não da mata de terra firme (preparada a partir de CHORLEY, 1978)	75
FIGURA 30 - Comparação entre a modelagem da zona ripária (verde) e a delimitação da mata ciliar (vermelho) exigida pelo código florestal, delimitada em vermelho.....	76
FIGURA 31 - Balanço hídrico anual (94/95) para a microbacia da Onça.....	79
FIGURA 32 - Relação precipitação x vazão, com dados quinzenais, para microbacia da Onça (ano 94/95).....	81
FIGURA 33 - Relação precipitação (P) x vazão (Q) em mm, para o ano hídrico 94/95, na microbacia da Onça, (dados horários)	82
FIGURA 34 - Hidrograma e precipitação ocorridos na microbacia da Onça no período de 4 de novembro a 18 de novembro de 1994. (Escala de tempo não coincidentes)	83
FIGURA 35 - Hidrograma e precipitação ocorridos na microbacia da Onça no período de 5 de janeiro a 12 de janeiro de 1995. (Escala de tempo não coincidentes)	84
FIGURA 36 - Hidrograma e precipitação ocorridos na microbacia da Onça no período de 26 de janeiro a 09 de fevereiro de 1995. (Escala de tempo não coincidentes)	85
FIGURA 37 - Tentativa de caracterização numérica da influência da floresta sobre a relação precipitação x vazão quinzenal na microbacia da Onça.....	87

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Infiltração média em parcelas contendo diferentes condições de piso florestal (AREND, 1942)	10
TABELA 2 - Índice pluviométrico na faz. São Nicolau - Arapoti - PR.	31
TABELA 3 - Caracterização morfométrica da microbacia experimental da Onça...	34
TABELA 4 - Equações para o cálculo da vazão (Q) - l/s a partir da cota (h) - m	40
TABELA 5 - Espécies levantadas nos transectos de estudo de vegetação	58
TABELA 6 - Balanço hídrico da microbacia da Onça.....	78

RESUMO

Após um ano de estudos na microbacia da Onça (62 ha) , Arapoti, PR, que incluíram medição da vazão, precipitação e ainda estudo da distribuição horizontal de quatro espécies arbóreas: gorocaia (*Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan.); vacum, (*Allophyllus edulis* (St. Hil.) Radlk); guarana, (*Cordyline terminalis* Endli.) e cebolão , (*Phytolacca dioica* L.), em três transectos perpendiculares ao curso d'água principal da microbacia, pôde-se identificar a zona ripária desta microbacia.

A zona ripária foi identificada a partir da adaptação do programa DTM9501.EXE, que acompanha o TOPMODEL. A discretização da microbacia, em células 5mx5m, permitiu identificar a zona ripária e simular a vazão para um período de três meses de dados horários, através do modelo MESS, concebido a partir das premissas básicas do TOPMODEL; pôde-se, ainda, sobrepor o levantamento da vegetação às imagens geradas.

Concluiu-se que: a zona ripária da microbacia da Onça ocupa 10,4% da área total da bacia e que indivíduos de vacum e gorocaia com DAP médio acima de 7 cm são indicadores de zona ripária (mata ciliar), enquanto que o cebolão é indicador de terra firme. Por sua vez, a guarana é indiferente a estas situações.

O modelo MESS (modelo do escoamento subsuperficial), embora ainda necessite de aprimoramento, mostrou-se adequado para simular vazões, otimizando três parâmetros: condutividade hidráulica, coeficiente de runoff e fator de decaimento do hidrograma.

ABSTRACT

After a one year study period in a small catchment (62 ha), located in Arapoti-state of Paraná, which included continuous measurements of streamflow and precipitation, as well as the phytosociological survey of 4 tree species, “gorocaia” (*Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan.); “vacum” (*Allophyllus edulis* (St. Hil.) Radlk); “guarana”, (*Cordyline Terminalis* Endli.) e “cebolão” (*Phytolacca dioica* L.), in three transects perpendicular to the main stream channel of the catchment, the riparian zone of the catchment could be identified.

The riparian zone was identified through the adaptation of the program DTM9501.EXE, included in TOPMODEL. The catchment discretization in 5mx5m cells permitted the identification of the riparian zone and simulate the streamflow for a period of 3 months of hourly data, through the MESS model, created from the basic premisses of the TOPMODEL.

This method also permitted the overlay of the vegetation survey on the generated images in order to check the extension of the riparian zone.

We conclude that: the riparian zone of the catchment occupies 10,4% of the total catchment area; “vacum” and “gorocaia” tree species with mean DBH greater than 7 cm, are indicators of riparian zone (riparian forest); the “cebolão” tree species, on the other hand, is indicator of upland soil condition.

The Mess model, although lacking some improvements, is already adequate to simulate discharge, optimizing three parameters: hydraulic conductivity, runoff coefficient and recession limb of the hydrograph.

IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ZONA RIPÁRIA EM UMA MICROBACIA EXPERIMENTAL: IMPLICAÇÕES NO MANEJO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS E NA RECOMPOSIÇÃO DE FLORESTAS

1. INTRODUÇÃO

A microbacia hidrográfica oferece condições ideais para o desenvolvimento integrado de estudos ecológicos relacionados com a estrutura e a dinâmica do ecossistema florestal visando a simulação de manejo e conservação.

Em microbacias, tem sido demonstrado que a presença de vegetação ciliar nas zonas ripárias, que incluem as margens dos riachos e ribeirões, bem como as suas cabeceiras, além de outras áreas saturadas que podem ocorrer na microbacia, constitui condição básica, mas não suficiente, para garantir a manutenção da integridade dos processos hidrológicos e ecológicos.

As zonas ripárias, por sua vez, constituem parte importante da microbacia, tanto do ponto de vista estético, como ecológico, em termos de biodiversidade, e principalmente hidrológico. Caracterizam-se pela condição de saturação decorrente da proximidade do lençol freático na maior parte do ano, de sorte que nelas há o predomínio de espécies tipicamente adaptadas a essas condições edáficas.

A função hidrológica da vegetação ciliar ou ripária compreende sua influência em uma série de fatores importantes para a manutenção da estabilidade da microbacia, tais como: processo de geração do escoamento direto de uma chuva, atenuação do pico das cheias, dissipação de energia do escoamento superficial pela rugosidade das margens, equilíbrio térmico da água, estabilidade das margens e barrancas, ciclagem de nutrientes, controle da sedimentação, etc., desta forma influenciando, indiretamente, a qualidade da água e o habitat de peixes e de outras formas de vida aquática.

Apesar dessa importância, as matas ripárias têm sido alvo de pressões antrópicas, justamente pela proximidade com o curso d'água. O resultado dessas pressões é a ausência destas matas ao longo da maioria dos cursos d'água.

Em geral a vegetação ripária é bastante diversa, contendo um número relativamente grande de espécies, mas existe ainda uma carência enorme de conhecimento da ecologia da mata ciliar, não apenas no que diz respeito a sua fisionomia e florística, mas mais importante ainda, com relação à interação com as condições ambientais e , especialmente, hidrológicas, da microbacia.

As matas ciliares podem funcionar como corredores de fluxo gênico, interligando fragmentos florestais pouco ou não perturbados, com maior eficiência na conservação genética, desde que se conheça de fato a largura ideal de mata ao longo dos rios e que esta faixa contemple, não apenas as espécies típicas de zonas ripárias, mas também as de terra firme.

As pesquisas voltadas para o conhecimento mais detalhado do funcionamento hidrológico desta área crítica da microbacia, que é a zona ripária, evoluíram bastante desde o trabalho de HEWLETT & HIBBERT(1967), que introduziram o conceito de área variável de afluência (“variable source area”), até o ramo especializado atualmente referido como “hidrologia de vertentes”.

Todavia, são ainda raros os trabalhos que procuram associar a delimitação e a caracterização hidrológica da zona ripária com a análise da vegetação característica desta área, num enfoque integrado do chamado ecossistema ripário.

Tais estudos podem, sem dúvida, proporcionar informações úteis para nortear o manejo florestal/ambiental visando a manutenção da integridade e da saúde da microbacia, o que vem ao encontro de preceitos do manejo sustentável.

Por outro lado, tais informações são necessárias para a realização de programas de recuperação de matas ciliares no nosso meio, onde as fontes de sementes da vegetação ripária foram completamente destruídas, ou ainda, no enriquecimento de fragmentos ciliares, onde a presença de espécies funcionalmente importantes tenha sido drasticamente diminuída.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Principal

Antes de enfocar o objetivo do presente trabalho, é importante esclarecer que esta pesquisa faz parte de um projeto maior, ainda em andamento, denominado “Estudos ecológicos, hidrológicos e genéticos de longo prazo em Arapoti - PR”. cujo objetivo principal é o de “conhecer o funcionamento do ecossistema ripário e sua relação ao contexto da microbacia, através de estudos em uma microbacia hidrográfica experimental dotada de instrumental e dispositivos para o controle e monitoramento tanto das populações de espécies arbóreas quanto das variáveis hidrológicas da microbacia”.

Como parte deste projeto mais amplo, nesta tese, o objetivo principal é o de identificar e caracterizar a zona ripária da microbacia em estudo, desenvolvendo/adaptando uma metodologia que possa ser de fácil aplicação no planejamento do uso do solo.

2.2. Outros Objetivos

Aplicar o modelo MESS (modelo do escoamento subsuperficial) (RIGHETTO, 1997) concebido a partir do TOPMODEL (BEVEN et al., 1995 e BEVEN & KIRBY, 1978) para a simulação da vazão e com o auxílio do AVA.EXE (também derivado do TOPMODEL), determinar a área variável de afluência (A.V.A.); aferir o resultado obtido através do modelo com resultados do levantamento da vegetação;

definir espécies arbóreas indicadoras de mata ciliar, bem como de terra firme;

determinar o balanço hídrico anual ;

fornecer subsídios para os trabalhos de recomposição de matas ciliares e de manejo de bacias hidrográficas;

fornecer subsídios para o sistema de gestão ambiental da INPACEL S/A.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A bacia hidrográfica é um sistema geomorfológico aberto, que recebe energia e matéria através de agentes climáticos e perde através do deflúvio. A bacia hidrográfica, como sistema aberto, pode ser descrita em termos de variáveis interdependentes, que oscilam em torno de um padrão e desta forma, uma bacia, mesmo quando não perturbada por ações antrópicas, encontra-se em equilíbrio dinâmico (GREGORY & WALLING, 1973).

Portanto, caso venha a ocorrer qualquer modificação no recebimento ou na liberação de energia, ou uma modificação na forma do sistema, ocorrerá uma mudança compensatória que tende a minimizar o efeito da modificação e restaurar o estado de equilíbrio dinâmico (LEOPOLD et al., 1964; GREGORY & WALLING, 1973).

O conceito de microbacia é um tanto vago; primeiro, porque não há um limite de tamanho para a sua caracterização e, em segundo lugar, porque há que se fazer distinção entre dois critérios (LIMA, 1994):

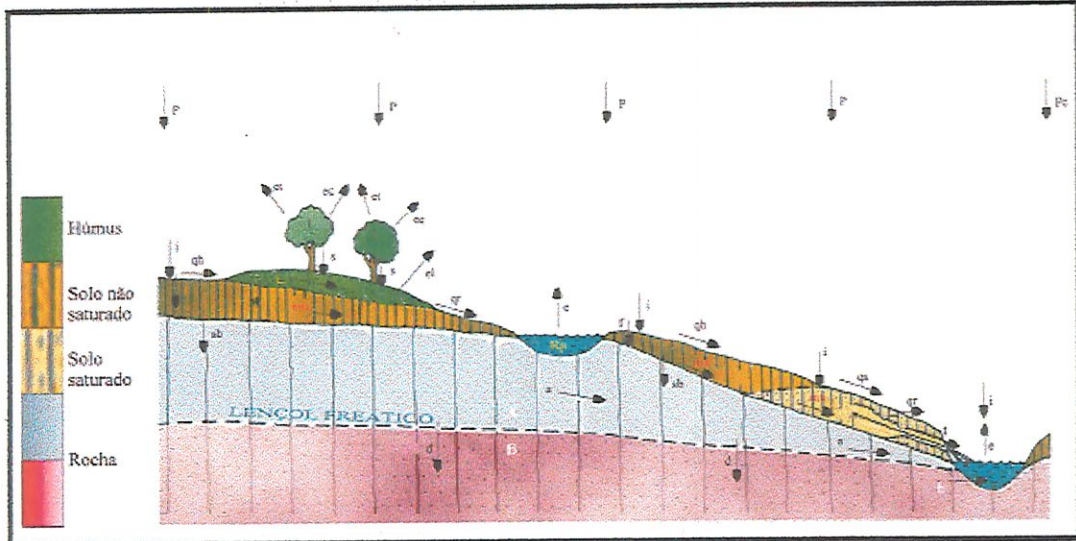
a) do ponto de vista hidrológico, as bacias hidrográficas são classificadas em grandes ou pequenas não com base em sua superfície total, mas nos efeitos de certos fatores dominantes na geração do deflúvio. Define-se “microbacia” como sendo aquela cuja área é tão pequena que a sensibilidade a chuvas de alta intensidade e às diferenças de uso do solo não é suprimida pelas características da rede de drenagem;

b) do ponto de vista de programas e políticas de uso do solo de recente estabelecimento no país - os programas de manejo de microbacias - o critério de caracterização da microbacia, neste caso, é eminentemente político e administrativo.

Os trabalhos de hidrologia florestal tiveram início em 1932 com HOYT & TROXELL em Whagon Whell Gap e em Hubbard Brook (citado em LIKENS et al.,

1977) e a partir de então, aconteceram inúmeras discussões sobre a representatividade destes estudos, conforme salientaram HEWLETT & NUTTER (1969) após as quais, parece não haver mais dúvidas sobre a importância da bacia hidrográfica experimental como unidade de estudo (REINHARDT, 1967 ; HEWLET & NUTTER 1969; RODIER (1976); WHITEHEAD & ROBINSON 1993) e como unidade de monitoramento de impactos ambientais (VITAL, 1997).

O ciclo hidrológico em uma bacia hidrográfica envolve os seguintes processos: Precipitação (P), Evapotranspiração (ET), Deflúvio (Q) e Armazenamento de água no solo (ΔS). Em cada um destes processos estão presentes vários outros sub-processos, representados, esquematicamente, na Figura 1:



Precipitação total	P	Escoamento hortoniano (superficial)	q_s
Precipitação no curso d'água	P_c	Escoamento superficial de áreas saturadas	q_b
Intensidade da chuva	i	Refluxo	q_r
Evapotranspiração	e_t	"Pipe flow"	t
Evaporação da água interceptada pelas copas	e_c	"Pipe storage"	T
Armazenamento de água nas copas	I	Escoamento subsuperficial não saturado	m_s
Escoamento pelo tronco e gotejamento	s	Escoamento subsuperficial saturado	m_i
Escoamento pelo litter	l	Armazenamento de água no solo	M
Evaporação da água interceptada pelo litter	e_l	Percolação para a camada rochosa	S_b
Armazenamento da água no litter	L	Fluxo na camada rochosa	a
Evaporação	e	Zona de aeração	A
Água armazenada nas depressões	R_p	Percolação profunda	d
Infiltração	f	Escoamento base	B

FIGURA 1 – Principais componentes do ciclo hidrológico em uma microbacia hidrográfica (a partir de CHORLEY, 1978).

A área da microbacia tem influência sobre a quantidade de água produzida (deflúvio). A forma e o relevo, por outro lado, atuam sobre a taxa, ou sobre o regime desta produção de água, assim como sobre a taxa de sedimentação. O padrão de drenagem afeta a disponibilidade de sedimentos e a taxa de formação do deflúvio. Muitas das características físicas da bacia hidrográfica são, em grande parte, controladas ou influenciadas pela sua estrutura geológica.

Por sua vez, a infiltração da água no solo é o processo que determina a entrada da água no solo ou seja, quanto de água da chuva penetra no solo e quanto escoar superficialmente, enquanto que o movimento da água dentro do perfil é comumente referido como percolação. Estes dois processos estão intimamente ligados, já que a infiltração não pode se manter se não houver percolação da água no solo.

O conceito de infiltração no ciclo hidrológico foi introduzido por HORTON (1933), que definiu “capacidade de infiltração” (f_c) como sendo a taxa máxima com que um solo, em determinadas condições, pode absorver água. Quando a intensidade da chuva é inferior ao valor de f_c , então, a infiltração ocorre a uma taxa menor, referida como “taxa real de infiltração” ou, simplesmente, infiltração (f).

Segundo este conceito “Hortoniano”, sempre que a intensidade da chuva for maior que a capacidade de infiltração (f_c), ocorre escoamento superficial. Por outro lado, quando a intensidade da chuva for menor que o valor de f_c , toda a água se infiltra (f), não aparecendo o escoamento superficial.

A partir de condições de solo seco, a infiltração apresenta uma taxa inicial alta, a qual diminui gradativamente durante uma chuva prolongada, até que atinge um valor constante (f_c), de acordo com a seguinte equação (HORTON, 1940):

$$f = f_c + (f_0 - f_c).e^{-kt} \quad (1)$$

onde: f = taxa real de infiltração
 f_c = capacidade máxima de infiltração
 f_0 = capacidade inicial de infiltração
 e = base do logaritmo natural
 k = constante para cada solo
 t = tempo a partir do início da chuva

De acordo com MUSGRAVE & HOLTAN (1964), a infiltração da água no solo apresenta as seguintes fases:

- a) entrada de água pela superfície;
- b) transmissão da água através do perfil do solo; e
- c) depleção da capacidade de armazenamento da água do solo.

Em condições de cobertura de floresta natural não perturbada, a taxa de infiltração é normalmente mantida em seu máximo. Nestas condições, raramente ocorre a formação de escoamento superficial, a não ser em locais afetados pelas atividades relacionadas com a exploração da floresta (PIERCE, 1967).

As características do piso florestal constitui-se em uma das condições principais para a manutenção da infiltração e da transmissão da água no solo. TRIMBLE & WEITZMAN (1954) mostraram que a intensidade da chuva registrada sob floresta de latifoliadas mistas é muito similar à intensidade da chuva registrada em terreno aberto. Desta forma, a proteção do solo contra o impacto das gotas de chuva deve-se mais pelo piso florestal do que pelas copas das árvores.

LAWS (1941) mostrou que as gotas de chuva atingem 95 % de sua velocidade terminal quando caem de cerca de 8 metros; portanto, se o dossel ultrapassa esta altura, o efeito protetor da cobertura florestal sobre a velocidade de queda das gotas é mínimo.

O efeito do piso florestal sobre a infiltração pode ser melhor entendido através dos resultados obtidos por AREND (1942), que comparou a infiltração em diferentes tratamentos quanto às condições do piso florestal, encontrando os resultados mostrados na Tabela 1.

TABELA 1 - Infiltração média em parcelas contendo diferentes condições de piso florestal (AREND, 1942).

<i>TRATAMENTO</i>	<i>INFILTRAÇÃO (mm/h)</i>
Piso florestal intacto	59,9
Piso removido mecanicamente	49,3
Piso queimado anualmente	40,1
Pastagem degradada	24,1

A análise destes resultados, assim como de vários outros disponíveis na literatura (TRIMBLE & LULL, 1956), (LULL, 1964), (KITREDGE, 1948), (HEWLETT & NUTTER, 1969), (PIERCE, 1967), permitem concluir que de maneira geral, a taxa de infiltração é tanto maior quanto maior for a cobertura florestal, sendo também maior em florestas adultas do que em florestas mais jovens.

A compactação do solo reduz a sua porosidade total, principalmente a porosidade não-capilar (macroporos), e é responsável pelo fato das áreas cultivadas apresentarem menor infiltração do que áreas adjacentes florestadas. A importância da macroporosidade na produção de água em bacias hidrográficas está bem discutida em GERMAN, 1990.

Diante do exposto, é de se esperar que o processo de geração de escoamento direto, produzido por uma chuva, em uma microbacia florestada seja diferente daquele que ocorre em bacias não florestadas.

No início dos anos 60, o estudo de hidrogramas de microbacias experimentais de regiões montanhosas permitiu o estabelecimento do conceito de “área variável de afluência”(A.V.A.) (HEWLETT & HIBBERT, 1967). O desenvolvimento deste conceito surgiu a partir do fato de que em microbacias, com boa cobertura florestal, o escoamento direto não é produzido ao longo de toda a superfície da microbacia. Pelo contrário, o escoamento direto, nestas condições, está sob a influência de uma área de origem dinâmica, uma vez que sofre expansões e contrações (daí o nome “área variável”); que comumente constitui-se de uma fração pequena da área total da microbacia (Figura 2), correspondendo, em média, a 10% da área total da bacia, podendo variar de 1% a 50%, dependendo da quantidade e intensidade da precipitação (DICKINSON & WHITELEY, 1970).

Durante uma chuva, a área da microbacia que contribui para a formação do deflúvio, é constituída dos terrenos que margeiam a rede de drenagem, sendo que nas porções mais altas da encosta a água da chuva tende principalmente a infiltrar-se e escoar até o canal mais próximo através do escoamento sub-superficial.

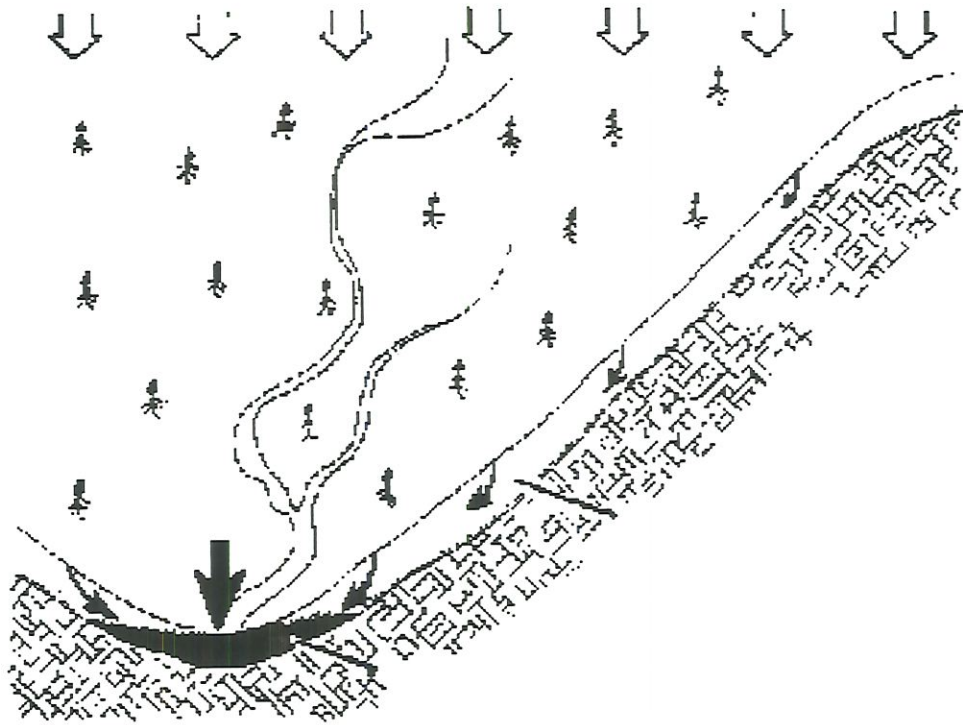


FIGURA 2 - Visualização do conceito de “área variável de afluência” (AVA) na geração do deflúvio em microbacias. (HEWLETT & NUTTER, 1969)

Com a persistência da chuva, essas áreas tendem a se expandir, não apenas em decorrência da expansão da rede de drenagem, como também pelo fato de que áreas críticas da microbacia, tais como áreas saturadas, áreas de solo mais raso, começam também a participar da geração do escoamento direto.

A seqüência apresentada na Figura 3 permite uma melhor visualização deste processo dinâmico do conceito da área variável de afluência, relacionando o hidrograma (canto superior direito da figura) com a expansão da área saturada.

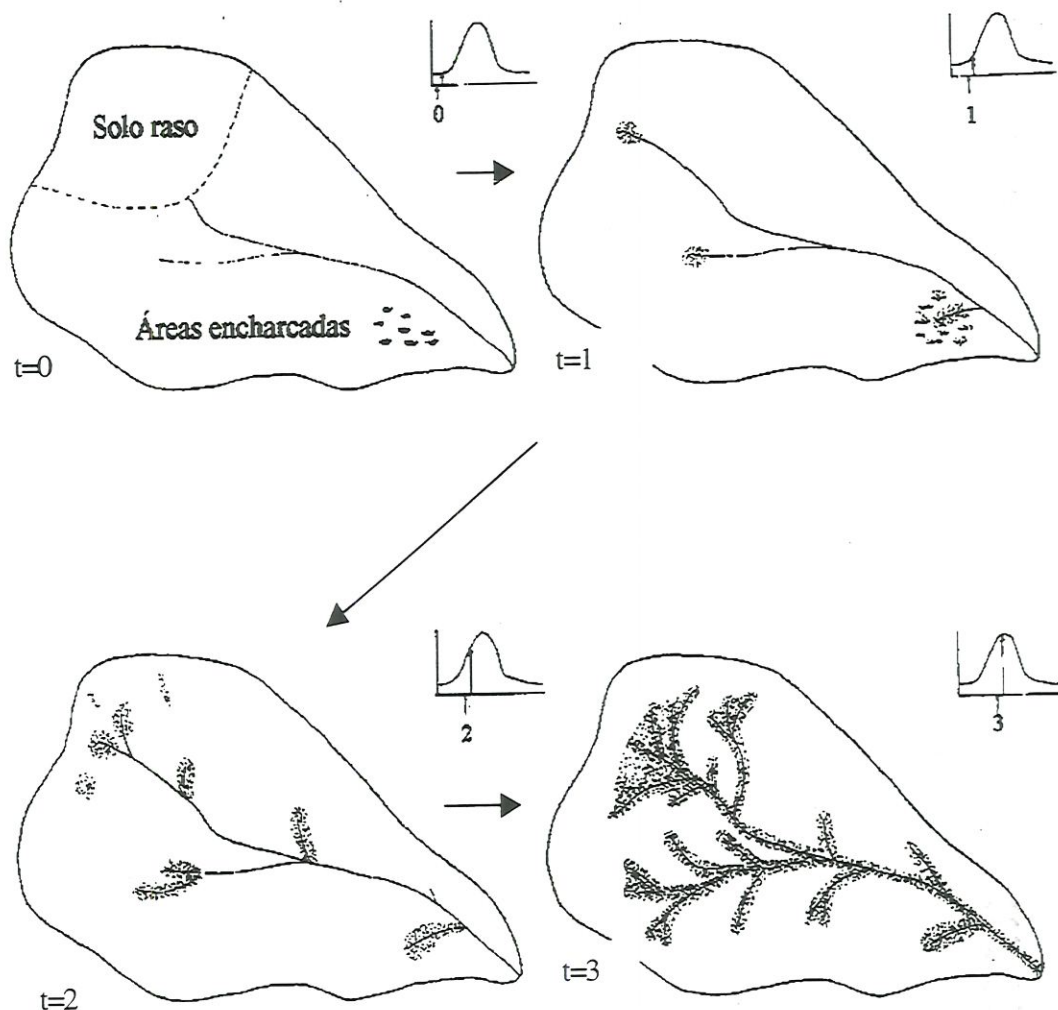


FIGURA 3 - Evolução da "área variável de afluência" no processo de geração do escoamento direto durante uma chuva sobre uma microbacia. (HEWLETT & NUTTER, 1969)

Em microbacias de clima úmido, em boas condições de cobertura florestal, o escoamento superficial "hortoniano" raramente ocorre, a não ser em partes isoladas da microbacia, onde existem condições de baixa infiltração. Nas partes da microbacia mostradas nas ilustrações das duas figuras anteriores, ou seja, ao longo da área variável de afluência, que se encontra, normalmente, em condições de saturação, ocorre o chamado escoamento superficial de áreas saturadas.

Nas demais partes da microbacia, a água da chuva tende a se infiltrar, alimentando o escoamento sub-superficial, o qual, por ser relativamente rápido, participa também do escoamento direto.

Desde os trabalhos pioneiros de Horton, publicados a partir de 1933 (HORTON, 1940), prevaleceu a teoria de que o escoamento direto era basicamente produzido pelo escoamento superficial que ocorre toda vez que a intensidade da chuva excede a capacidade de infiltração do solo, e que toda a água da chuva que se infiltra no terreno alimenta o lençol freático, para, depois, deixar a microbacia na forma de escoamento base. Ainda, segundo esta teoria, o escoamento superficial assim gerado (hoje referido como escoamento superficial hortoniano) provinha de todas as partes da microbacia (CHORLEY, 1978), (LIMA, 1995).

O modelo de Horton funciona para microbacias de regiões semi-áridas, com solos rasos, de baixa infiltração e com pouca cobertura vegetal. Porém, é inadequado para quantificar o escoamento direto em microbacias de clima úmido. BETSON (1964), usando o modelo de Horton para a predição do escoamento direto em microbacias de clima úmido, verificou que o modelo só se ajustava com a multiplicação dos resultados por um fator de correção que variou de 0,056 a 0,858 e, então, concluiu que esta correção mostrava que o escoamento hortoniano ocorria apenas numa fração da microbacia, calculado entre 5,6% a 85,8%, e usou a expressão “área parcial” para este fenômeno (CHORLEY, 1978).

De fato, tem sido verificado que a área parcial não é fixa, mas varia com a duração e a intensidade da chuva, e com as condições de umidade antecedente, sugerindo-se que a expressão mais adequada seria “área variável parcial de contribuição” (LIMA, 1995).

Ainda LIMA(1995), em trabalho de revisão sobre hidrologia de matas ciliares, destaca que nas áreas com boas condições de cobertura vegetal, a ocorrência de escoamento superficial hortoniano ao longo de todas as partes da microbacia é rara ou mesmo ausente. Por outro lado, algumas áreas parciais da microbacia podem produzir escoamento superficial mesmo quando a intensidade da chuva é inferior à capacidade de infiltração média para a microbacia como um todo. Estas áreas são as seguintes:

a) zonas saturadas que margeiam os cursos d'água e suas cabeceiras, as quais podem se expandir durante chuvas prolongadas (zonas ripárias);

b) concavidades do terreno, para as quais convergem as linhas de fluxo, como as concavidades freqüentemente existentes nas cabeceiras (também parte da zona ripária);

c) áreas de solo raso, com baixa capacidade de infiltração.

Nas situações (a) e (b) o processo é denominado de "escoamento superficial de áreas saturadas", o qual ocorre mesmo que a intensidade da chuva seja inferior à capacidade de infiltração do solo. Parte deste processo pode ocorrer na forma de interfluxo lateral e, portanto, não se trata de escoamento hortoniano. (CHORLEY, 1978).

HEWLETT (1982), já com a preocupação de modelar o escoamento em microbacias, apresentou um diagrama (Figura 4) comparativo entre o modelo tradicional de produção do escoamento e o modelo da área variável de afluência, destacando que a principal diferença entre estes modelos está na infiltração da água no solo e sua distribuição.

MODELOS TRADICIONAIS

MODELOS COM ÁREA VARIÁVEL DE AFLUÊNCIA

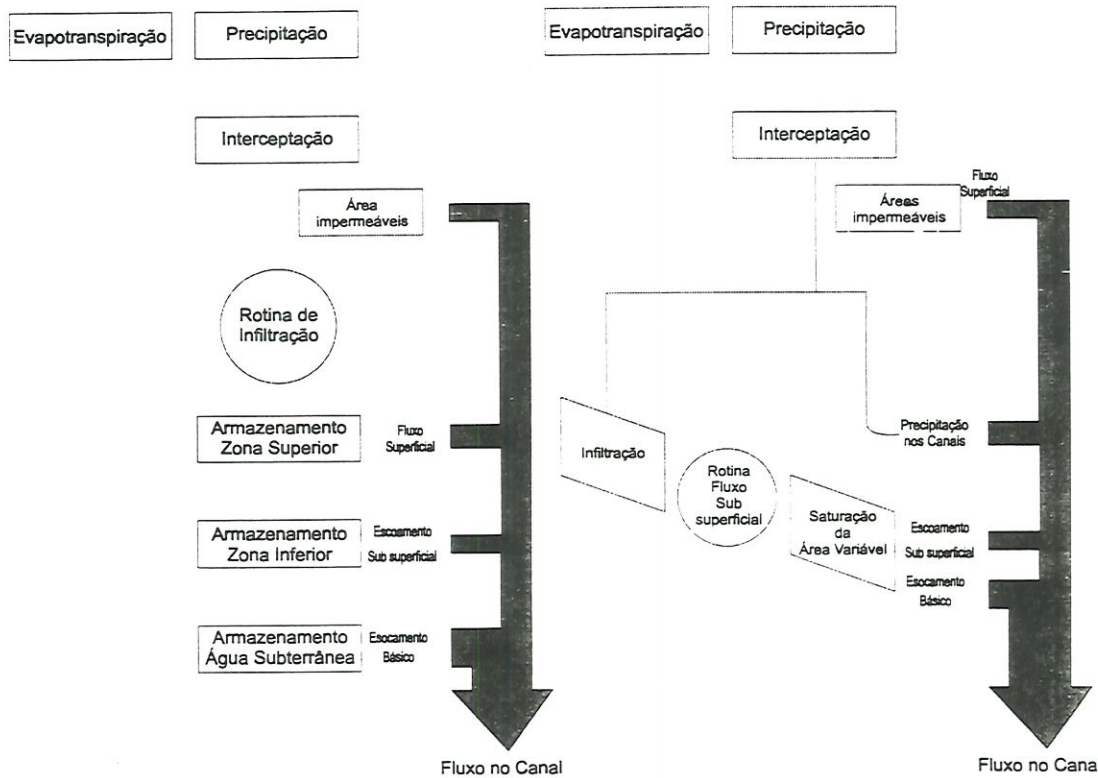


FIGURA 4 - Comparação entre o modelo tradicional e o de área variável de afluência. (HEWLETT, 1982)

O modelo da área variável de afluência, que ainda necessita de refinamento, e que só é válido para microbacias, define que para qualquer ponto na hidrógrafa do escoamento direto, a vazão instantânea pode ser estimada pela seguinte equação (HIBBERT & TROENDLE, 1988):

$$q(t) = [A_1(t) \cdot K \frac{dH}{dx}] + [A_2(t) \cdot P(t)] + [A_3(t) \cdot P(t)] \quad (2)$$

onde: $q(t)$ = descarga no instante "t" (l/s)

$A_1(t)$ = áreas saturadas da microbacia (área variável de afluência = zona ripária)

$A_2(t)$ = espelho d'água (largura do canal x comprimento do canal)

$A_3(t)$ = áreas impermeáveis (escoamento hortoniano)

$P(t)$ = chuva até o instante "t"

K = condutividade hidráulica saturada ao longo da área A_1

dH/dx = diferença de carga hidráulica ao longo da distância x .

Existem vários modelos hidrológicos envolvendo uma mistura de processos, podendo ser classificados conforme a Figura 5 (PASSOS, 1993 citando Clarke, 1984).

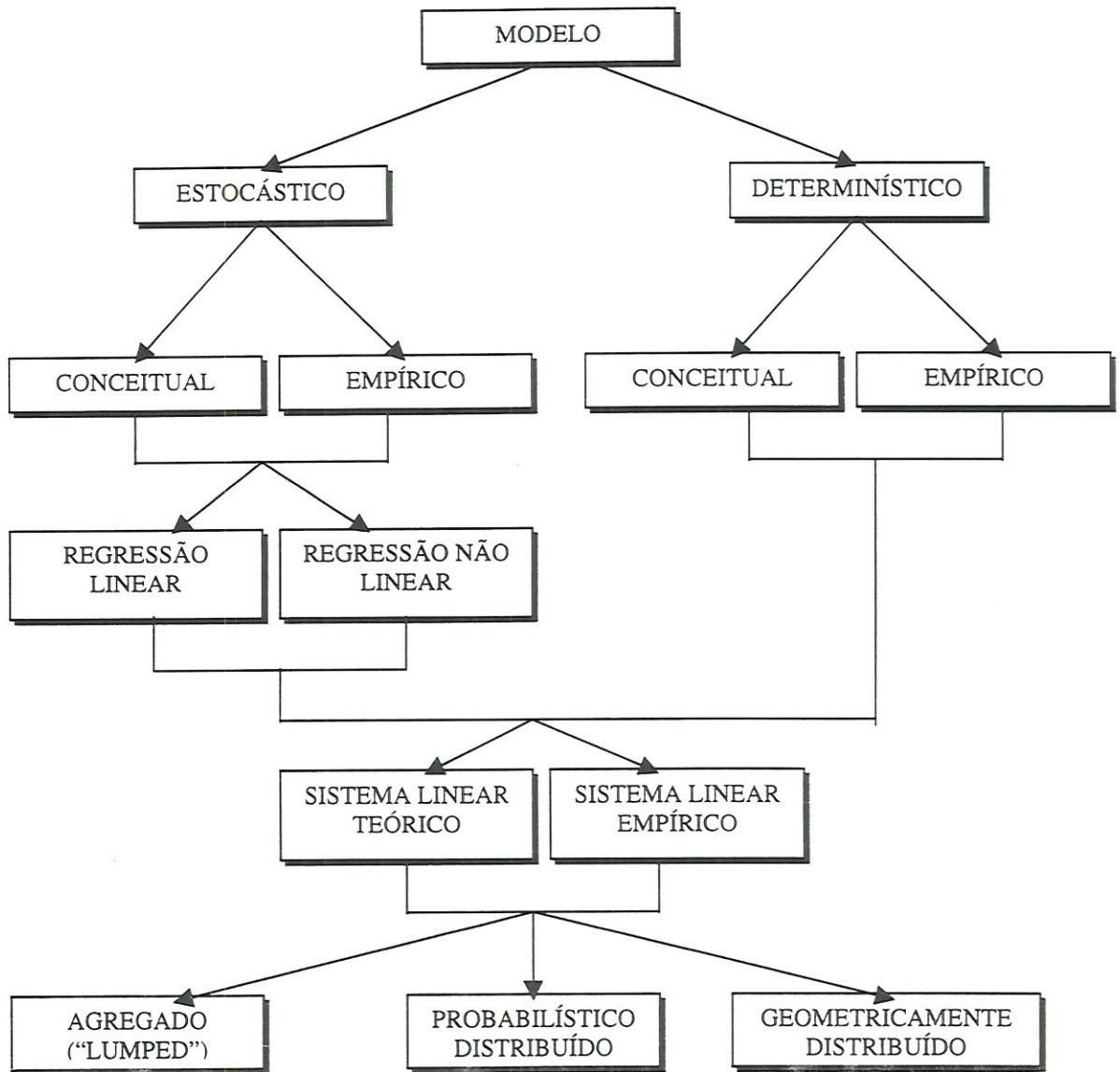


FIGURA 5 - Classificação de modelos hidrológicos (PASSOS, 1993).

O assunto tem sido bastante estudado e já apresenta um volume razoável de publicações entre os quais vale destacar o trabalho de BEVEN & KIRBY (1978) que

desenvolveram um modelo conceitual com base física, denominado TOPMODEL, para simular o comportamento de microbacias da Grã-Bretanha, e que incorpora em sua base conceitual, o conceito da área variável de afluência (A.V.A.) Este modelo vem sendo aprimorado a cada ano, estando no momento na versão 95.02 (BEVEN et al., 1995). Além disso, a partir da base conceitual do TOPMODEL, vários outros modelos vêm sendo desenvolvidos para diferentes situações. Entre estes modelos derivados do TOPMODEL, pode-se destacar o TOPSIMPL, que é uma versão mais simples, com menos parâmetros e desenvolvido para ambiente Windows. Estes modelos encontram-se disponíveis na rede mundial de computadores - INTERNET.

Considerando microbacias onde o uso da terra não tenha provocado o aparecimento de áreas compactadas ou impermeáveis, nas quais poderia ocorrer escoamento superficial hortoniano durante as chuvas, as zonas ripárias desempenham papel hidrológico fundamental na geração do escoamento direto.

Em resumo, o escoamento direto (Q_d) de uma chuva em microbacias com cobertura florestal de clima úmido é basicamente o resultado dos seguintes processos (LIMA, 1993):

- a) precipitação direta nos canais;
- b) escoamento superficial "Hortoniano";
- c) escoamento superficial de áreas saturadas;
- d) escoamento sub-superficial; e
- e) expansão da área variável de afluência.

A Figura 6 apresenta um esquema mostrando as condições em que o deflúvio é influenciado mais pelo processo "hortoniano" ou pela "A.V.A.".

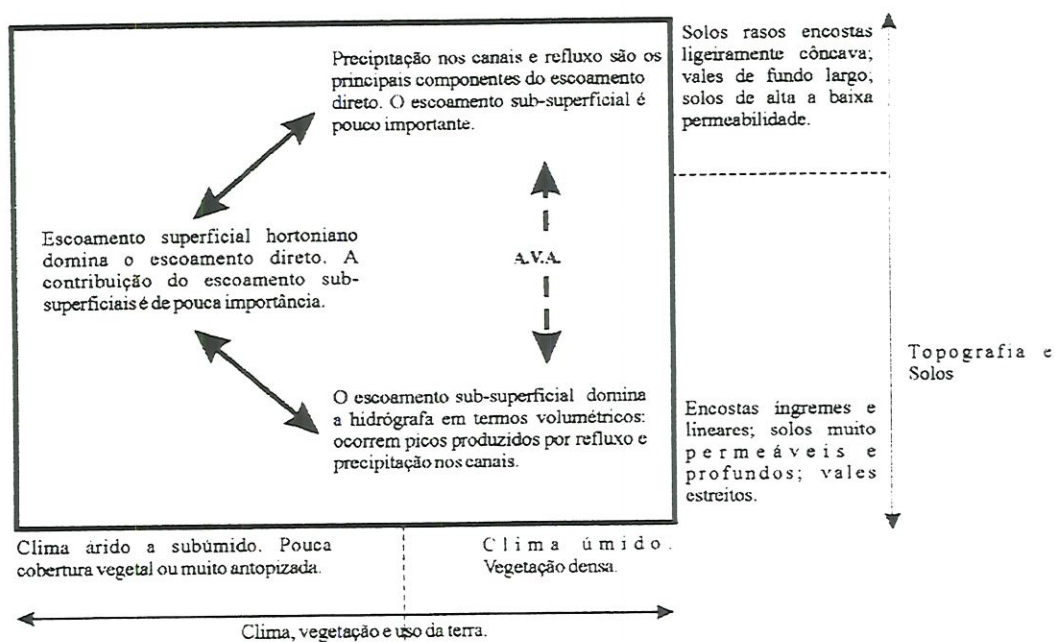


FIGURA 6 - Esquema comparativo entre os processos que influenciam a geração do deflúvio (DUNNE, 1978)

Nas áreas saturadas da microbacia, tanto ao longo das margens da rede de drenagem, quanto nas cabeceiras e mesmo em manchas de áreas saturadas que podem ser encontradas até em locais mais elevados da encosta, o que prevalece é o escoamento superficial de áreas saturadas.

Estas áreas ripárias desempenham, desta forma, papel importante na resposta hidrológica da microbacia a um evento de chuva. Por outro lado, devido à sua condição permanente de saturação, propicia, também, a chamada vegetação ripária. Esta associação, por sua vez, está, também, intimamente relacionada com as condições do próprio curso d'água, numa cadeia de inter-relações, que tem sido denominada "ecossistema ripário", conforme ilustra a Figura 7 (LIKENS, 1992).

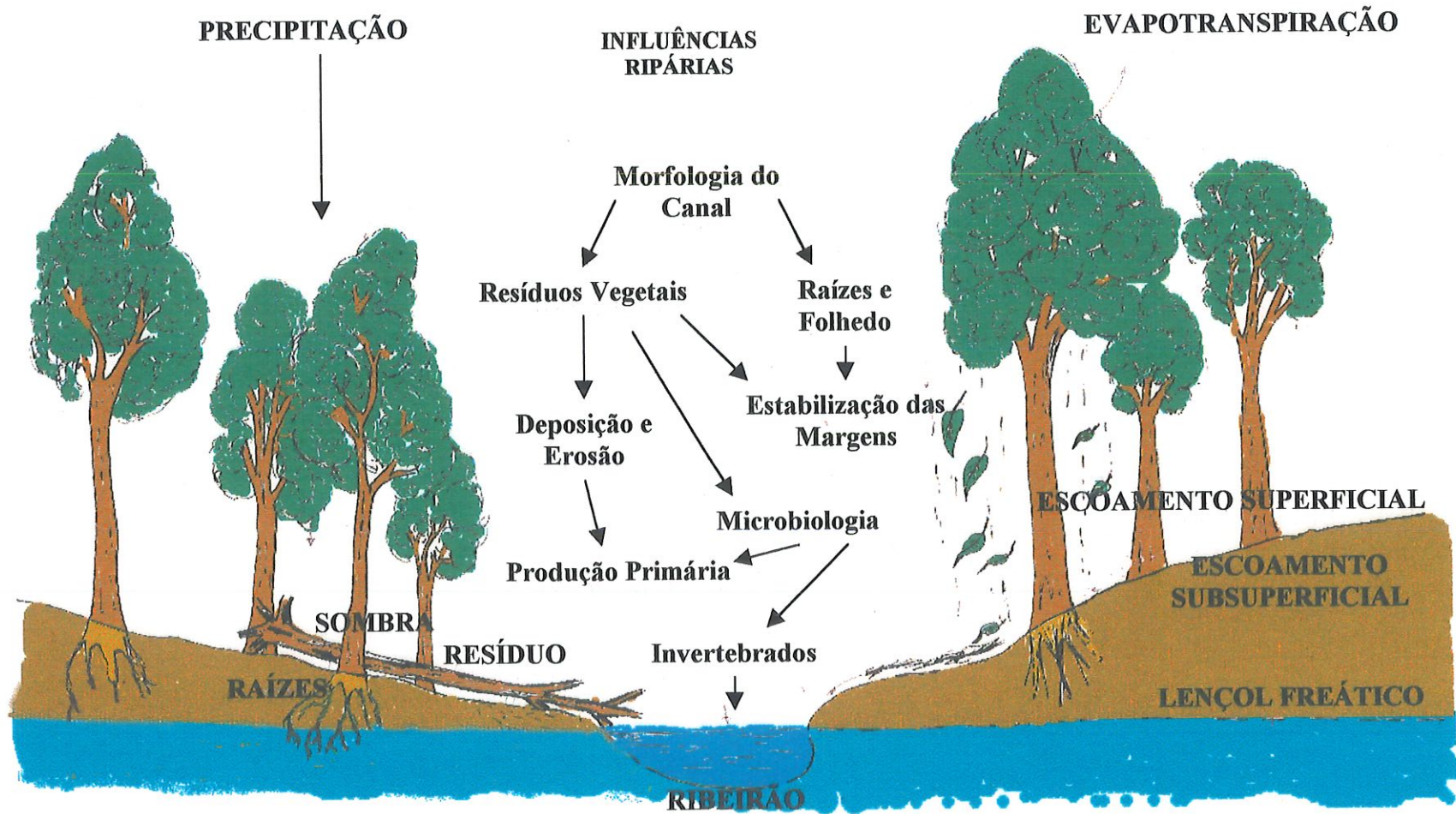


FIGURA 7 - Esquema conceitual de uma área ripária (modificado a partir de LIKENS, 1992)

É interessante notar que tem havido certa confusão entre forma e função das matas ripárias, que se reflete na variedade de nomenclatura e definições existentes para estas matas associadas aos cursos d'água, tais como mata ciliar, floresta-galeria, veredas, mata de várzea, entre outros(MANTOVANI(1989), existindo problemas conceituais na definição e na delimitação deste tipo de vegetação (CATHARINO,1989, RODRIGUES, 1991).

Recentemente, tem havido um grande esforço para relacionar a mata ripária (ou mata ciliar) e as espécies que nela ocorrem com a proximidade dos cursos d'água, com a flutuação do lençol freático e ainda com o ecossistema circundante (BERTONI & MARTINS, 1987; GIBBS & LEITÃO FILHO, 1978; DURIGAN, 1994).

O termo área ripária ou área ciliar tem sido utilizado para caracterizar tanto a porção do terreno que inclui a ribanceira do rio e também a planície de inundação, com suas condições edáficas próprias e a vegetação que aí ocorre, a mata ciliar ou mata ripária.

O resultado direto do papel desempenhado pela mata ciliar na hidrologia da microbacia hidrográfica pode ser verificado, com mais facilidade, em termos da qualidade da água do deflúvio. Ocupando normalmente as áreas mais sensíveis da bacia, como as margens da rede hidrográfica, ao redor de nascentes e áreas saturadas, sua presença concorre tanto para diminuir a ocorrência de escoamento superficial, que pode causar erosão e arraste de nutrientes e de sedimentos para os cursos d'água, quanto para desempenhar um efeito de filtragem superficial e sub-superficial da água que flui para os canais. Este é um aspecto prático de aplicação do conceito de área variável de afluência no manejo de microbacias (KUNKLE, 1974).

Não se deve, todavia, concluir que a mera presença da mata ciliar seja suficiente para sanar todos os problemas da poluição decorrente da atividade agrícola em uma microbacia, a menos que outras medidas complementares de manejo adequado de uso do solo sejam tomadas. OMERNIK et al. (1981) selecionaram várias microbacias com diferentes graus de existência de mata ciliar e analisaram, por regressão, os dados da concentração de N e P no deflúvio destas bacias. Os



resultados não mostraram correlação entre o grau de presença de mata ciliar e concentração de nutrientes no deflúvio.

KARR & SCHLOSSER (1978), pela análise de seis microbacias agrícolas contendo diferentes níveis de mata ciliar, mostraram que a presença de mata ciliar em microbacias intensamente cultivadas é responsável pela manutenção de menor concentração de sedimentos no deflúvio. Também DELITTI, (1989) e BAKER, (1984) confirmaram a função filtro das matas ripárias.

LOWRANCE et al. (1984) desenvolveram um modelo matemático para o processo de filtragem superficial e sub-superficial dos nutrientes pelo ecossistema ripário. As medições em campo consistiram na coleta de amostras de água da precipitação e do deflúvio em uma microbacia contendo mata ciliar, como também amostras do escoamento superficial ao longo do declive, em pontos situados antes e depois da mata ciliar. As amostras foram analisadas para N, P, K, Mg e Cl e as conclusões obtidas foram as seguintes:

a) a manutenção da qualidade da água em microbacias agrícolas depende da mata ciliar;

b) a remoção da mata ciliar resulta num aumento do aporte dos nutrientes estudados ao curso d'água;

c) parte deste efeito benéfico é devido ao processo de absorção de nutrientes do escoamento sub-superficial pelo ecossistema ripário, e a manutenção deste processo de absorção pode ser conseguida pelo corte seletivo periódico de indivíduos da mata ciliar.

Rhodes et al. (1985), citado em LIMA, 1986, realizaram ensaios para verificação do efeito da mata ciliar sobre a manutenção da qualidade da água em microbacias. Os resultados mostraram que entre a entrada de NO_3 , via chuva, e a saída, via deflúvio, ocorreu uma remoção de 99% do nitrato, a maior parte devido a processos operantes no ecossistema ripário, principalmente, em termos de:

a) transformações bioquímicas por ação de bactérias denitrificadoras presentes nas condições anaeróbias de áreas saturadas da zona ripária;

b) absorção pela vegetação ciliar.

Os autores argumentaram que o efeito bioquímico de transformação do nitrato característico da zona ripária suplanta, inclusive, o efeito adicionador de NO_3^- por espécies fixadoras de nitrogênio, comumente existentes na mata ciliar. Desta forma, concluíram que a mata ciliar funciona como importante mecanismo de remoção de NO_3^- , ou de controle do aporte de nitrato ao curso d'água, e, conseqüentemente, da poluição das águas.

Outro interessante trabalho, que evidencia a função do ecossistema ripário na proteção da qualidade da água na microbacia, é o de PETERJOHN & CORREL (1984), que realizaram um experimento em uma microbacia de 18,3 ha, sendo 10,4 ha com cultura de milho e o restante com mata ripária (mata ciliar) e encontraram o seguinte balanço para o nitrogênio total:

- a) entrada via precipitação: 14 Kg/ha.ano;
- b) da área cultivada para a zona ripária (via escoamento superficial): 18 kg/ha.ano;
- c) da área cultivada para a zona ripária (via escoamento sub-superficial): 51 kg/ha.ano;
- d) da zona ripária para o curso d'água (via escoamento superficial): 2,3 kg/ha.ano;
- e) absorção/transformação na vegetação ciliar: 77 kg/ha.ano
- f) da zona ripária para o curso d'água(via escoamento sub-superficial): 6,9 kg/ha.ano
- g) saída da bacia hidrográfica (via deflúvio): 14 kg/ha.ano

EMMETT et al. (1994) verificaram que a área ripária em microbacia com floresta reduziu em 38% a concentração de N que chega ao curso d'água, em 94% o fosfato e em 42% o fósforo dissolvido. Os autores destacam que a redução do N foi um pouco abaixo da expectativa, alertando para um limite na capacidade de imobilização deste elemento pela zona ripária.

HILL (1996) chamou a atenção para o papel da zona ripária na remoção do nitrato, destacando que os mecanismos que colaboram nesta redução precisam ser melhor identificados, e sugeriu que os estudos futuros contemplem o clima e a

hidrogeologia de onde se encontra a zona ripária. Isto permitiria uma melhor compreensão do processo, permitindo a extrapolação de resultados para o manejo da paisagem.

Atualmente existem esforços para a recomposição de matas ciliares em todo o Brasil, esforços estes iniciados na década de 60 na Usina Ester, em Cosmópolis (NOGUEIRA, 1977), tomando impulso nos anos 70 com os trabalhos da CESP às margens de seus reservatórios (SALVADOR, 1987).

É muito importante lembrar que em 1985 foi feita uma modificação no Código Florestal Brasileiro (BRASIL LEI 4771, 15/09/65), que até então previa, em seu artigo 2º, a largura mínima para as matas ciliares de 5m para cursos d'água de até 10 m de largura. Com a modificação no texto do artigo 2º, no trecho pertinente às matas ciliares, a largura mínima passou a ser de 30 m.

O texto do art. 2º que está atualmente em vigor é o seguinte:

*Já passou a
na Lei
Lei 7511 de
8 julho de 1986
publicado em
diário oficial*

Artigo 2º - Consideram-se de preservação permanente, pelo só efeito desta Lei, as florestas e demais formas de vegetação natural situadas:

a) ao longo dos rios ou de outro qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima seja:

- 1) de 30 (trinta) metros para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;
- 2) de 50 (cinquenta) metros para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;
- 3) de 100 (cem) metros para os cursos d'água que tenham 50 (cinquenta) metros a 200 (duzentos) metros de largura;
- 4) de 200 (duzentos) metros para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros;
- 5) de 500 (quinhentos) metros para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros;

b) ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios d'água, naturais ou artificiais;

c) nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados “olhos d’água”, qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 (cinquenta) metros de largura;

Parágrafo único - No caso de áreas urbanas, assim entendidas as compreendidas nos perímetros urbanos definidos por lei municipal, e nas regiões metropolitanas e aglomerações urbanas, em todo o território abrangido, observar-se-á o disposto nos respectivos planos diretores e leis de uso do solo, respeitados os princípios e limites a que se refere este artigo.

Esta modificação surge como conseqüência do reconhecimento da importância das matas ciliares, e, conseqüentemente inúmeros trabalhos surgiram sobre a composição florística, estrutura da vegetação e sobre a sucessão secundária em matas ciliares, com os de KAGEYAMA et al (1990), DURIGAN, (1990), DURIGAN, (1994), JOLY, (1992), entre outros.

Ainda sobre legislação, existe a lei 7.754/Br de 14/04/1989, transcrita a seguir, que torna obrigatória a revegetação das nascentes

Artigo 1º - São consideradas de preservação permanente, na força da Lei 4.771, de 15 de Setembro de 1965, as florestas e demais formas de vegetação natural existentes nas nascentes dos rios.

Artigo 2º - Para os fins do disposto no artigo anterior, será constituída, nas nascentes dos rios, uma área em forma de paralelograma, denominada Paralelograma de Cobertura Florestal, na qual são vedadas a derrubada de árvores e qualquer forma de desmatamento.

§ 1º - Na hipótese em que, antes da vigência desta Lei, tenha havido derrubada de árvores e desmatamento na área integrada no Paralelograma de Cobertura Florestal, deverá ser imediatamente efetuado o reflorestamento, com espécies vegetais nativas da região.

O manejo sustentável é aquele que possibilita a utilização dos recursos naturais de maneira tal que não seja destruída a integridade do ecossistema. Esta

integridade é quantificada em termos da manutenção de seu funcionamento ecológico, que engloba basicamente os seguintes aspectos chaves do ecossistema:

- a) perpetuação de seus processos hidrológicos;
- b) perpetuação de sua capacidade natural de suporte
- c) perpetuação de sua diversidade biológica;
- d) resiliência;
- e) estabilidade.

O manejo sustentável implica na existência de uma ligação mútua e interativa entre o uso do solo e os demais elementos do ecossistema.. O manejo sustentável baseia-se no entendimento dessas inter-relações e interações, e na busca de práticas que visem manter a integridade do ecossistema, (LIMA, (1989), POGGIANI, (1985), LIMA, (1995a), LIMA, (1995b), BARGALI & SINGH, (1991), FRANKLIN, (1989), GREGORY et al., (1991), HILL, (1996).

Nesta busca do manejo sustentável, o monitoramento passa a ser fundamental, estando seu objetivo, no caso, voltado para a identificação e o teste de indicadores ambientais, ou seja, de parâmetros que, similarmente aos já conhecidos indicadores econômicos, possam sinalizar, de forma rápida e competitiva, as condições e as tendências do ambiente causadas pelas atividades de manejo (WALKER et al., 1996).

O monitoramento ambiental em microbacias tem como meta a identificação e a verificação de indicadores da saúde da microbacia, tanto em termos de indicadores de condição (ou seja, do estado atual do sistema microbacia, relativamente a uma condição ideal), como de indicadores de tendência (ou seja, de medida das mudanças que ocorrem no sistema)(LIMA et al,1998).

A integridade da microbacia reflete a condição decorrente da evolução natural do ecossistema, ou seja, é o resultado da integração natural da microbacia na paisagem ao longo do processo evolutivo. Fornece, desta forma, a base ou a referência para a comparação das mudanças ocorridas. A saúde, por sua vez, deve ser entendida como uma condição viável, um estado sustentável, de equilíbrio dinâmico, que seja compatível com a necessidade de uso dos recursos florestais pela sociedade.

A saúde da microbacia, desta forma, é mais do que a sua simples integridade biofísica, pois inclui, também, a possibilidade de ocorrência de mudanças em seu estado original, desde que seja garantida a sua sustentabilidade (manejo sustentável) (LIMA et al., 1998).

A saúde da microbacia pode ser avaliada em relação à sua capacidade de se sustentar, concomitantemente, com o uso dos recursos naturais pelo homem (a produção florestal, por exemplo), pelo menos através dos seguintes atributos indicadores:

- a quantidade e qualidade da água (indicador da manutenção dos processos hidrológicos);
- a biogeoquímica (indicador da manutenção da capacidade de suporte do solo);
- a biodiversidade (indicador da resiliência do ecossistema).

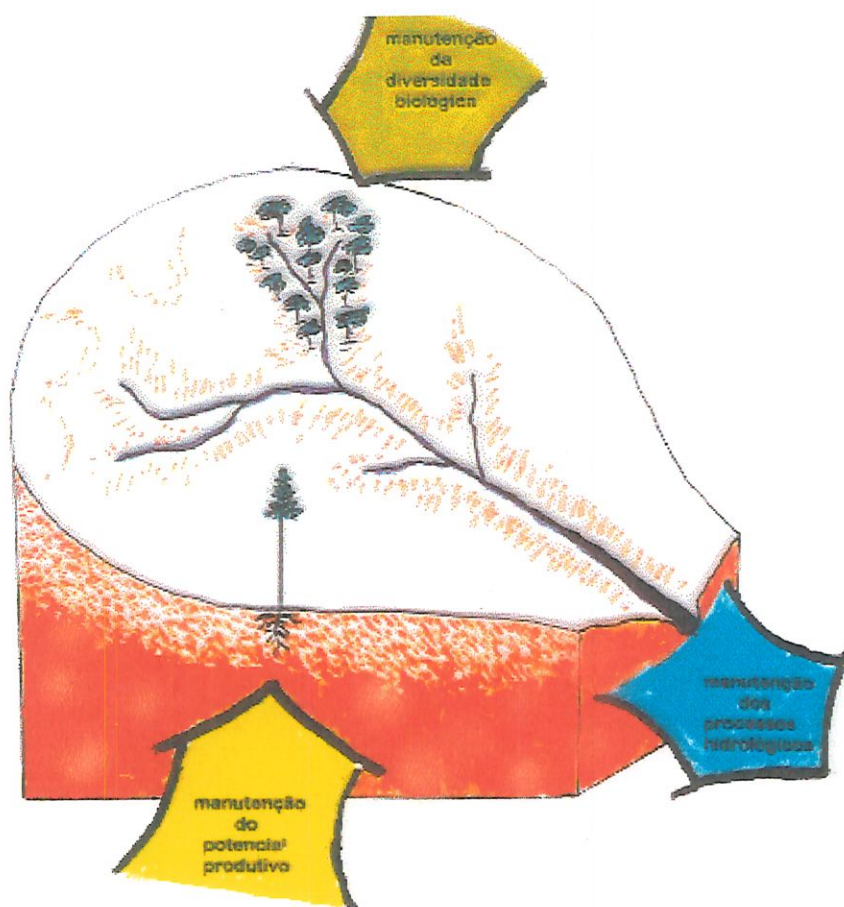


FIGURA 8 - A integridade do ecossistema microbacia: perpetuação de seu funcionamento hidrológico (vazão, quantidade de água, qualidade da água), de seu potencial produtivo (biogeoquímica), e da diversidade ecológica ao longo da área (mata ciliar, zonas ripárias, reservas de vegetação natural) (LIMA, 1997).

O monitoramento em microbacias experimentais permite o desenvolvimento e a validação de modelos físicos preditivos, os quais permitem não apenas o entendimento de processos complexos que operam no ecossistema, como também a extrapolação de resultados (SWANK & JOHNSON, 1994; BRICKER et al., 1994).

4. METODOLOGIA

4.1. A Área de Estudo

4.1.1. Aspectos Gerais da Fazenda São Nicolau

a) Localização - Os estudos estão sendo desenvolvidos no município de Arapoti, Estado do Paraná, em área pertencente à INPACEL - Indústria de Papel e Celulose Arapoti S/A, atualmente INPACEL Agroflorestral S/A (fazenda São Nicolau), cuja localização é apresentada na figura 9.

b) Geologia - Segundo estudos anteriormente realizados na fazenda São Nicolau são três as unidades litoestratigráficas existentes. Na porção nor-noroeste, onde se encontra a bacia experimental, entre a PR-239 e o rio Arrozal, estão as litologias do Grupo Itararé, cuja parte basal consiste em sedimentos glaciais e outros, variando desde tilitos, arenitos e siltitos fluviais até argilitos e folhelhos. Sobrepostas a estas litologias encontram-se camadas de arenitos finos e siltitos. Os solos aí desenvolvidos são predominantemente podzólicos vermelho-amarelos de textura média/argilosa em meio a solos eutróficos como as terras roxas estruturadas e os latossolos vermelho-escuros.

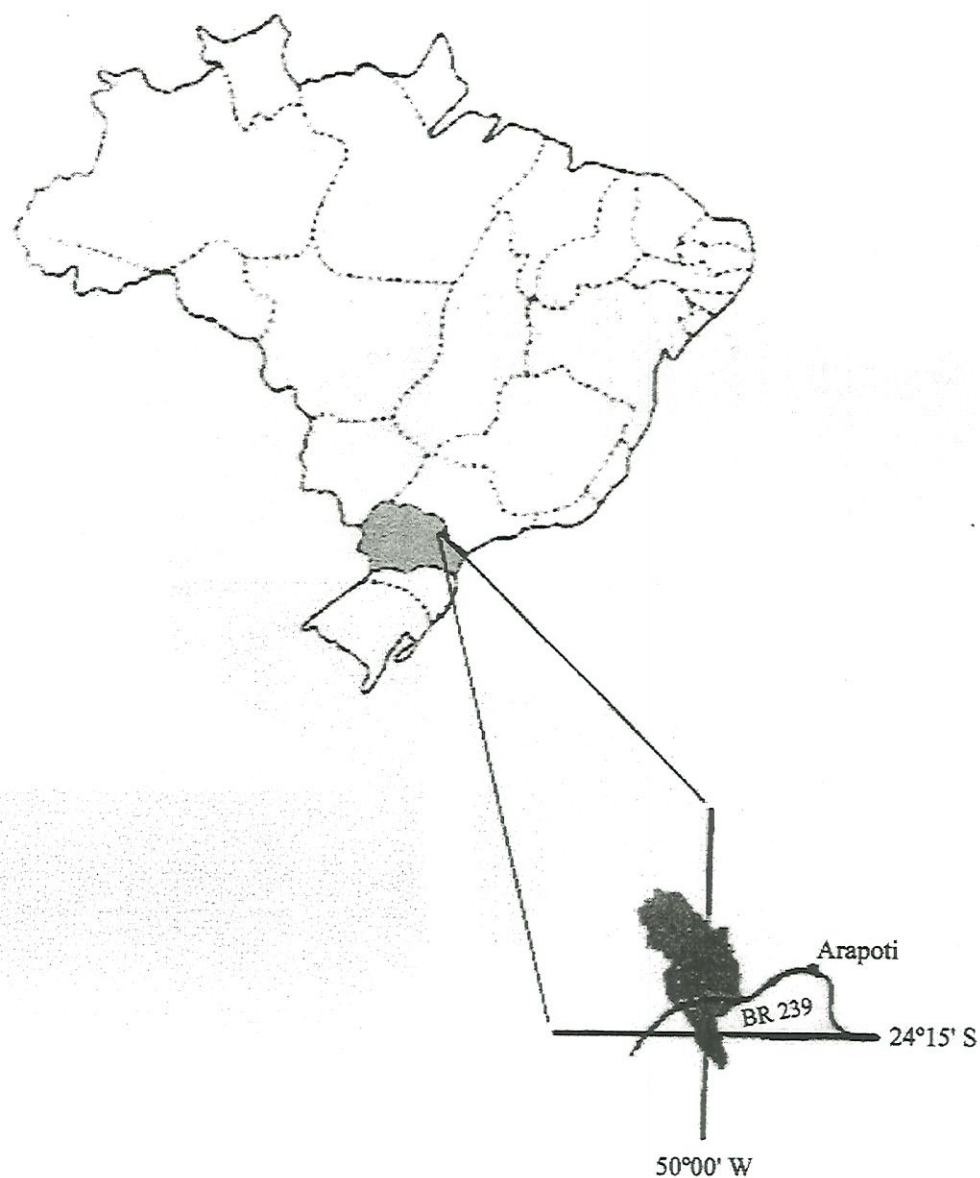


FIGURA 9 - Localização da fazenda São Nicolau (verde), pertencente à INPACEL S/A.

Na porção central da fazenda predomina a Formação Ponta Grossa, que se estende para nordeste, quase que integralmente cortada pela PR-239. Tratam-se de folhelhos e siltitos cinzentos escuros, localmente betuminosos, com intercalações de arenitos muito finos e esbranquiçados. Os solos aí desenvolvidos são

dominantemente latossolos vermelho-escuros e cambissolos, ambos de textura argilosa a muito argilosa.

A formação Furnas abrange a porção sul da área, tratando-se de arenitos médios a grosseiros subordinadamente arenitos conglomeráticos e siltitos, esbranquiçados, originando solos de textura média a argilosa que compõem os latossolos vermelho-amarelos.

c) Geomorfologia - De acordo com a divisão regional do estado do Paraná, a área em estudo está localizada no segundo planalto ou planalto de Ponta Grossa, com altitudes que variam de 600 a 1000 m.

As estruturas monoclinais, os falhamentos, os fraturamentos e intrusões de rochas eruptivas básicas fazem com que o Segundo Planalto Paranaense ofereça variados aspectos geomorfológicos e topográficos desenvolvidos em função do comportamento das rochas face aos processos morfogenéticos, que encontram ambiente adequado para uma ampla e variada problemática de erosão diferencial.

Na porção sul, sobre as rochas da Formação Furnas, o relevo é predominantemente constituído por uma superfície plana com declives entre 0 % e 5% , e amplitudes entre 800 e 1000 metros, sendo dissecada apenas ao longo dos vales do córrego Santo Antonio e dos rios das Cinzas e Caxambu, onde as vertentes de forma convexas têm declives variáveis entre 5% - 15%. Em alguns trechos destas vertentes a friabilidade dos solos e o declive do relevo favorecem a vulnerabilidade à erosão, que merece estudos detalhados para compreensão da morfodinâmica.

Na porção centro-oeste o relevo é constituído por rampas, lombadas, colinas e morros, com vertentes de declives variados em função das ondulações dos sedimentos subjacentes ou dos diques de diabásio, que geralmente dão origem a relevos acidentados. Este trecho da área, posicionado numa altitude entre 600 e 900 metros, é drenado predominantemente pelos afluentes de primeira, segunda e terceira ordens do rio das Cinzas, que constitui o limite leste da fazenda São Nicolau. Na porção noroeste a drenagem faz parte do Rio Arrozal.

d) Clima - De acordo com a carta climática do estado do Paraná, pela classificação de Köppen a fazenda São Nicolau estaria em uma transição entre o tipo climático Cfa, que é um clima mesotérmico, sem estação seca e com verões quentes,

e o tipo climático Cfb, que é também um clima mesotérmico úmido a subúmido, sem estação seca mas com verões frescos.

Os dados pluviométricos registrados na fazenda São Nicolau nos últimos catorze anos (1983 a 1996) são apresentados na tabela 2. A precipitação média anual é de 1465 mm, com uma variação importante entre o total precipitado no ano de 1986, 961 mm, e aquele no ano de 1989, 1891 mm.

TABELA 2 - Índice pluviométrico na faz. São Nicolau - Arapoti - PR

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Tot
1983	193	119	168	203	291	300	45	0	240	127	57	100	1843
1984	128	74	63	109	65	18	50	164	170	45	164	156	1206
1985	94	108	105	140	99	24	46	16	45	61	97	126	961
1986	111	206	157	77	0	0	3	143	62	45	150	333	1287
1987	65	359	56	46	306	161	28	35	85	102	175	147	1565
1988	66	175	63	122	248	64	4	0	42	112	49	188	1133
1989	457	218	110	48	15	118	170	49	139	82	76	409	1891
1990	425	40	82	127	133	54	229	125	141	101	82	137	1676
1991	103	131	213	141	86	113	27	40	125	93	132	234	1438
1992	101	146	232	138	261	18	53	67	94	157	128	131	1526
1993	258	273	172	68	122	105	66	13	201	108	39	162	1587
1994	186	115	69	141	118	163	61	0	13	85	192	154	1298
1995	444	197	143	98	44	142	96	40	195	155	29	167	1751
1996	253	225	150	110	21	60	17	54	189	169	70	187	1506

Quanto às temperaturas médias anuais, os dados registrados em Arapoti no período de 1984 - 1993 indicam que o período de novembro a março é o mais quente, com temperaturas médias entre 22,3°C e 23,6°C. Já as temperaturas mais baixas registradas variam de 2°C a 13°C, com destaque para o período de julho a agosto, com temperaturas mínimas médias entre 2°C e 3°C.

4.1.2. A Bacia Experimental

a) Critério de escolha

Foi escolhida uma microbacia hidrográfica de 62 há, localizada na área de reserva florestal (reserva "matão") da fazenda São Nicolau. Nesta microbacia,

denominada microbacia experimental da Onça (figura 10) foi instalada uma estação limnimétrica (vertedor e limnógrafo), para contínua medição do deflúvio e também demarcados três transectos para estudos de vegetação.

Os principais critérios adotados para a escolha da microbacia experimental foram:

- a) área mínima de 50 ha, para permitir os estudos propostos para a vegetação;
- b) acesso que permitisse a construção de vertedores e a leitura de instrumentos, pelo menos , a cada 15 dias .
- c) área com vegetação nativa, com baixo grau de perturbação.

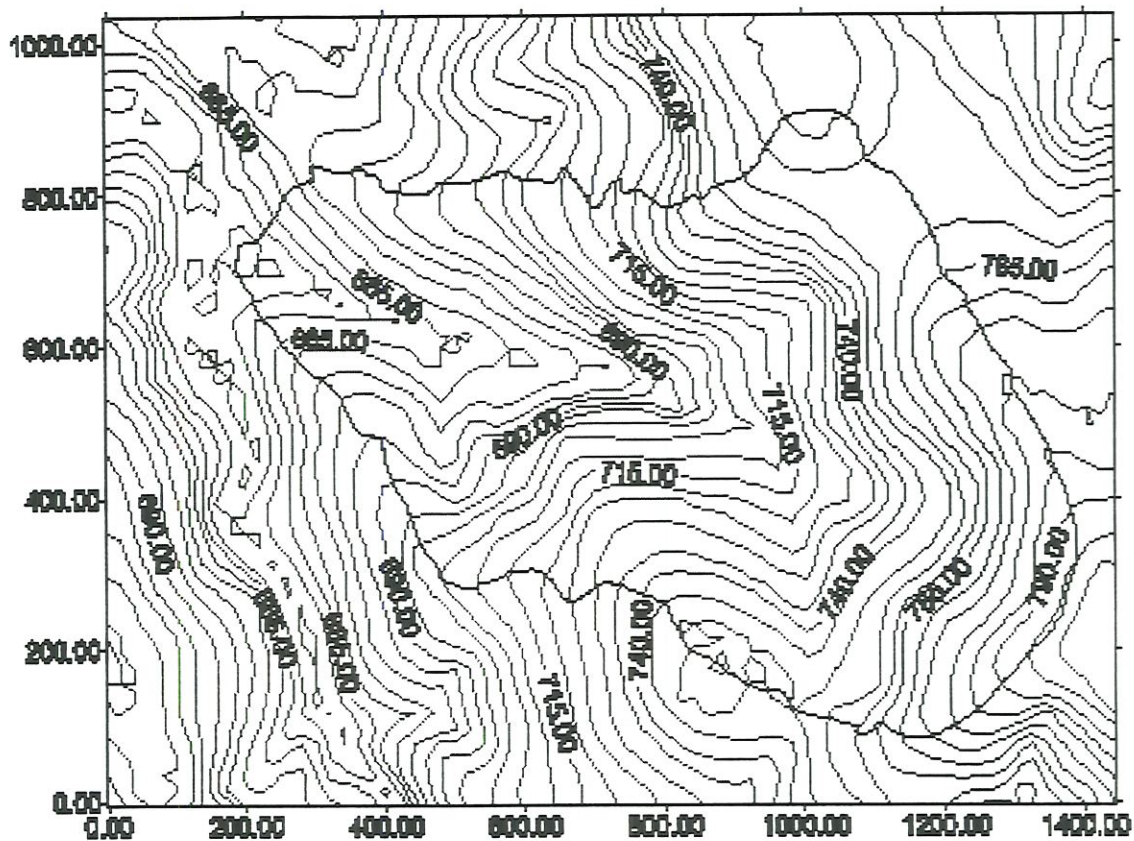


FIGURA 10 - Planta planialtimétrica da microbacia experimental da Onça.

b) Características morfométricas da microbacia da Onça

Os materiais e métodos utilizados para a caracterização morfométrica da microbacia experimental da Onça, feita a partir da planta planialtimétrica digitalizada no MICROSTATION, analisada no MGE e MGA (INTERGRAPH), bem como os dados obtidos, estão na tabela 3, enquanto que a curva hipsométrica está na figura 11.

TABELA 3 - Caracterização morfométrica da microbacia experimental da Onça.

CARACTERÍSTICA	MATERIAL/MÉTODO	RESULTADO
Área (A)	Medição por computador (MGE)	62 ha
Perímetro (P)	Medição por computador (MGE)	3400 m
Ordem	Método de STRHALER (1957)	2
Comprimento do canal principal (L)	Medição por computador (MGE)	1200
Comprimento do eixo principal (Le)	Medição por computador (MGE)	1250
Comprimento total dos canais(Lt)	Medição por computador (MGE)	1730
Densidade de drenagem (DD)	$DD = Lt/A$	$2.99 \cong 3 \text{ km/km}^2$
Forma da bacia (FF)	$FF = A/Le^2$	0.37
Índice de circularidade (IC)	$IC = 12.57 * A / P^2$	0.63
Declividade média (%)	$Dm = (Lcn * d/A) * 100$	18.3%
Comprimento total das curvas de nível (Lcn)	MGE	21.290 m
Distancia entre curvas (d)	Planta planialtimétrica	5 m
Curva hipsométrica	MGE	Figura 11
Orientação	Planta planialtimétrica	NO

Curva hipsométrica da microbacia experimental da onça

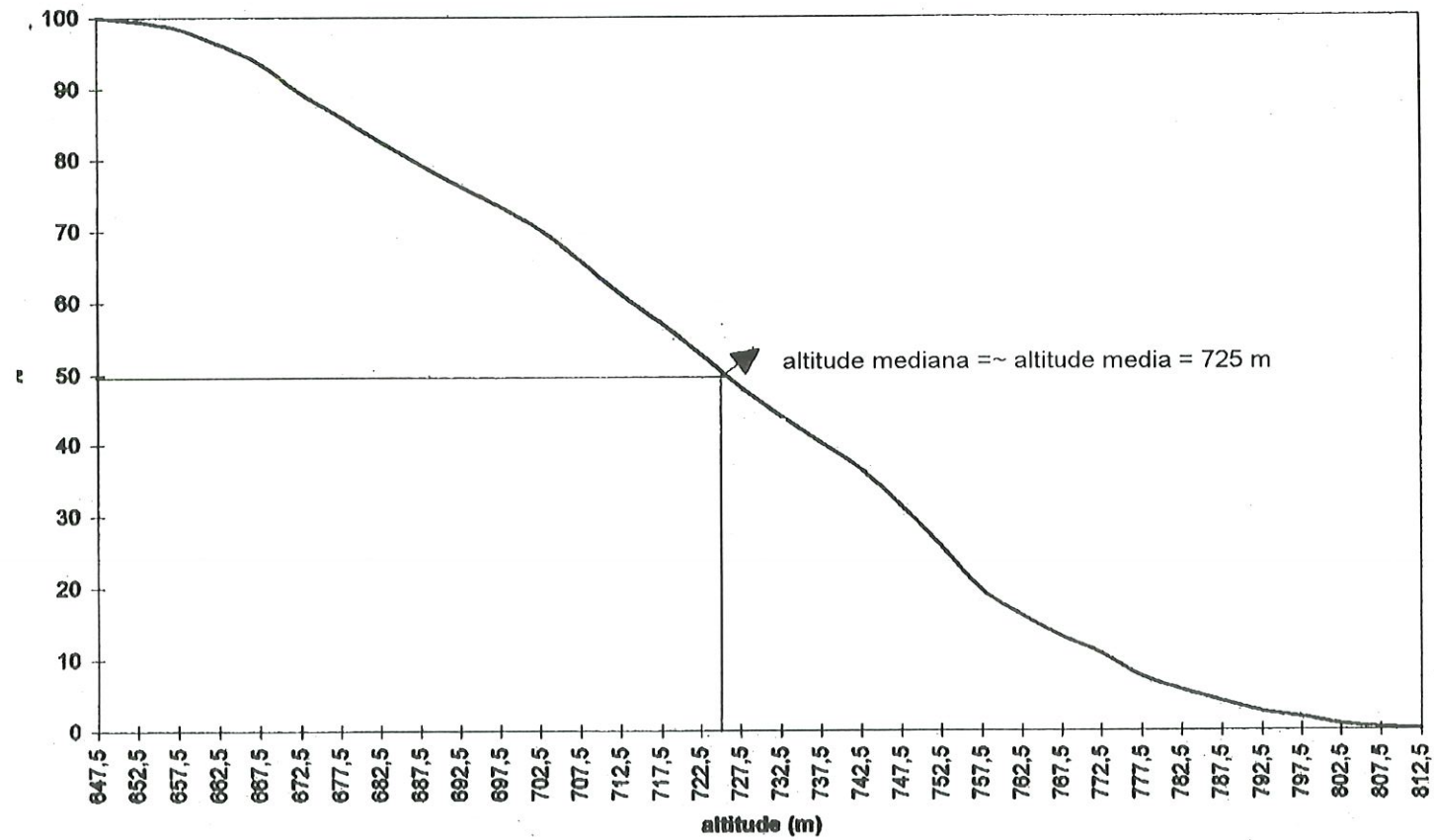


FIGURA 11 - Curva hipsométrica da microbacia experimental da Onça.

Vale chamar a atenção sobre a curva hipsométrica, que mostra uma distribuição bem uniforme das declividades, com uma declividade média de 18%, o que pode ser um indicativo de se poder usar modelos que priorizam o escoamento subsuperficial na geração do escoamento direto.

4.2. Determinação do Balanço Hídrico Anual

A equação geral do balanço hídrico em uma bacia hidrográfica é:

$$P - Q - ET \pm \Delta S = 0 \quad (3)$$

onde: P = precipitação

Q = vazão

ET = evapotranspiração

ΔS = variação da umidade do solo; no período de um ano $\Delta S = 0$

Considerando o ano hídrico, pode-se assumir $\Delta S = 0$, o que permite escrever a equação do balanço hídrico na forma:

$$P - Q - ET = 0 \quad (4)$$

Como P e Q são medidos, então ET é estimado por esta relação.

4.2.1. Medições de Vazão e de Precipitação

As vazões foram quantificadas a partir de leituras em uma estação limnimétrica, que consiste em um vertedor, um limnígrafo e uma régua limnimétrica.

O dimensionamento, (tamanho, forma e tipo) de um vertedor é feito a partir da estimativa da “Vazão de Pico”.

Para esta estimativa, lança-se mão de fórmulas empíricas, sendo que a fórmula mais conhecida, por sua fácil utilização, uma vez que exige poucos parâmetros, é a Fórmula Racional, expressa por:

$$Q_p = \frac{C.i.a.}{360} \quad (5)$$

onde:

- Q_p = vazão de pico ($m^3/s = 1000 \text{ l/s}$)
 C = coeficiente de deflúvio para diferentes usos de solo
 i = maior intensidade de chuva com duração igual ao tempo de concentração (t_c) da bacia, com período de retorno especificado (no caso da INPACEL (TR = 10 anos); (mm/h)
 a = área da bacia em ha

O tempo de concentração (t_c) pode ser estimado através de fórmulas empíricas e no caso em questão utilizou-se a equação do Departamento de Estradas da Califórnia, sendo expresso por:

$$T_c = 57 (L^3/H)^{0.385} \quad (6)$$

onde:

- T_c = tempo de concentração da bacia (min)
 L = comprimento do canal principal (km)
 H = desnível entre a cota maior e a da saída da bacia (m)

Para a microbacia experimental da Onça os seguintes dados foram coletados a partir do mapa planialtimétrico:

- | | | |
|---------------------------------------|---|--------|
| a) Desnível (H) | = | 250 m |
| b) Área (a) | = | 62 ha |
| c) Comprimento do canal principal (L) | = | 1,2 km |

Neste caso, o tempo de concentração é:

$$T_c = 57 \cdot (1.2^3 / 250)^{0.385} = 8,3 \text{ min}$$

Existem tabelas que relacionam as chuvas de maior intensidade com diferentes durações e diferentes tempos de retorno. No caso, consultou-se PINTO et al. (1973), onde foi possível encontrar chuvas com duração de 15 min, tempo de retorno de 5 anos, sendo que a localidade mais próxima da microbacia experimental foi Ponta Grossa, com chuva intensa igual a 36 mm.

Quanto ao valor do coeficiente C, consultou-se tabela apresentada por PINTO et al. (1973) encontrando-se o valor 0,35. E assim o valor de pico, com tempo de retorno de 5 anos, foi estimado em:

$$Q_p = \frac{0,35 \times 36 \times 62}{360} \cong 2 \text{ m}^3/\text{s}$$

Com esta estimativa o vertedor foi dimensionado para medir vazões de 0,5 l/s até 2000 l/s (vazão máxima).

As figuras 12 e 13 mostram o vertedor construído e o limnígrafo instalado na microbacia da Onça.



FIGURA 12 - Vista geral, a montante da estação limnimétrica.



FIGURA 13 - Detalhe do limnógrafo instalado.

Para o cálculo da vazão (l/s), em função da cota e das dimensões do vertedor, utilizaram-se as equações que estão na Tabela 4 (FAO, 1976 e AZEVEDO NETO & ALVAREZ, 1984)

TABELA 4 - Equações para o cálculo da vazão (Q) - l/s a partir da cota(h) - m

<i>Secção</i>	<i>Equação para cálculo da vazão</i>
Triangular	$Q = 1340 * (h)^{2,485}$
Retangular	$Q = (18,4 * (1,43 - (0,2 * (h - 0,45)) * (h - 0,45)^{1,45}))$

Para a leitura das cotas do curso d'água , a partir do diagrama do limnógrafo, adotou-se o seguinte procedimento:

- a) digitalização das curvas no software Tosca 2.0, no modo “point mode”;
- b) conversão da curva gerada , no IDRISI, para o modo ASCII;



c) conversão do arquivo gerado, do tipo .VEC, para o EXCELL 5.0.

A precipitação foi medida com pluviógrafo de rotação diária, localizado na sede da fazenda São Nicolau, distante cerca de 5 km da microbacia. Não foi possível a instalação de um pluviógrafo na bacia experimental, uma vez que a presença de vegetação florestal impedia a seleção de um local aberto apropriado.

4.3. O Estudo da Vegetação

4.3.1. Levantamento dos Indivíduos Adultos

Na microbacia foram demarcados três transectos para o estudo da vegetação, sendo um transecto (400m) na parte alta, outro (400m) na parte média e um terceiro (200m) na parte baixa da microbacia, todos com 20 m de largura, totalizando 1000 m de transectos e 20.000 m² levantados.

Ao longo destes transectos foram identificados e marcados todos os indivíduos, com DAP (diâmetro à altura do peito) maior ou igual a 5 cm, pertencentes às principais espécies encontradas na microbacia.

A localização aproximada destes transectos, dentro da microbacia da Onça, é mostrada na figura 14.

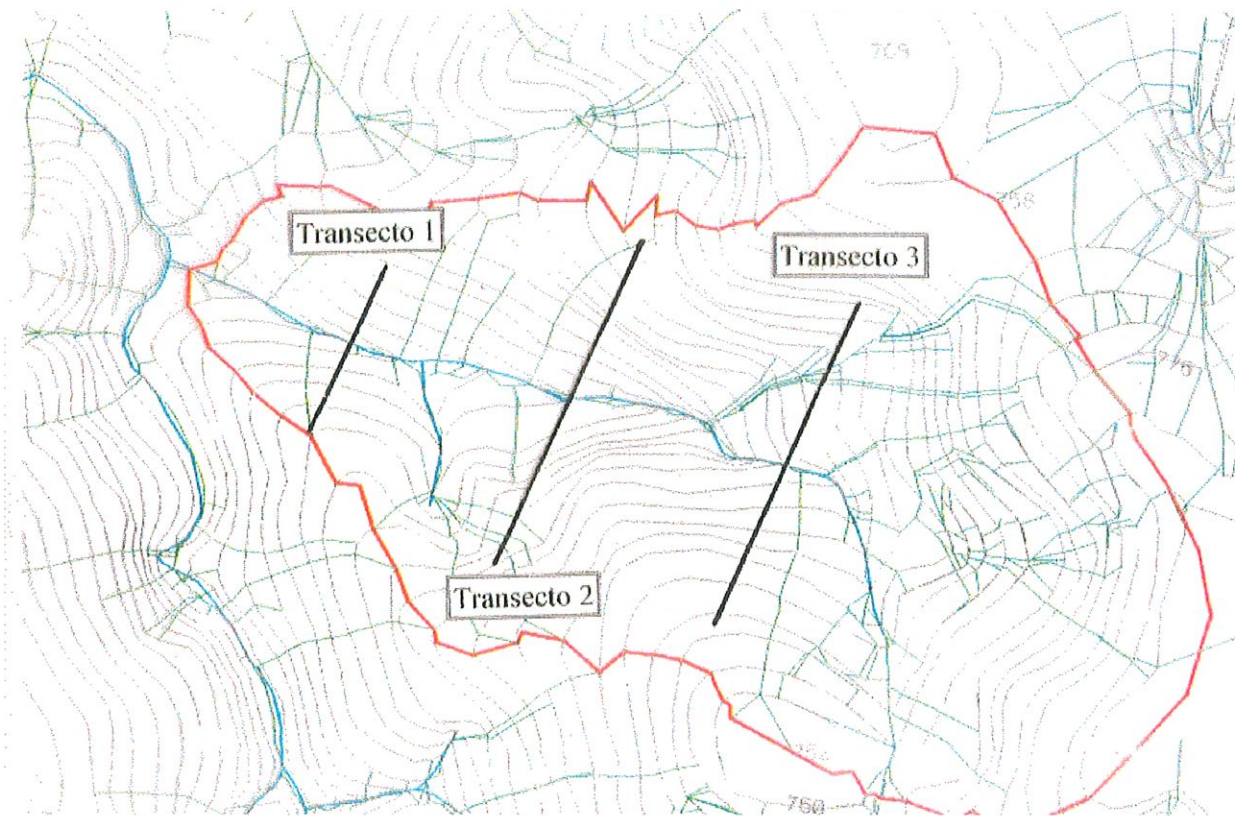


FIGURA 14 - Microbacia da Onça com a localização aproximada dos 3 transectos para os estudos da vegetação.

4.4. O Modelo MESS – Modelo DE Escoamento SubSuperficial- (concebido a partir do TOPMODEL) para a Identificação da Área Variável de Afluência (Zona Ripária) e para a Simulação da Vazão

4.4.1. Conceituação e Fundamentação Teórica

O TOPMODEL é definido pelos próprios autores (BEVEN et al., 1995) como uma coleção de conceitos, que pode ser usada em condições apropriadas; não é e não pretende ser um modelo fechado, sob forma de “pacote”. Este modelo reproduz o comportamento hidrológico de microbacias, em particular da dinâmica das áreas de contribuição. Embora muitos autores descrevam-no como um modelo de base física, parece estar claro que se trata de um modelo antes de tudo conceitual (FRANCHINI et al., 1996).

Em sua fundamentação teórica o TOPMODEL e portanto também o MESS, envolve uma seqüência de simplificações, assumindo quatro premissas básicas, descritas a seguir, e preparadas a partir de BEVEN et al. (1995), FRANCHINI et al. (1996) e RIGHETTO (1997):

Premissa 1: a dinâmica das zonas saturadas pode ser estimada por sucessivos estados permanentes (“steady-state”);

Premissa 2: o gradiente hidráulico do escoamento superficial na zona saturada pode ser estimado pela declividade local do terreno ($\tan \beta$). Isto só será válido caso a microbacia esteja adequadamente discretizada, ou seja, tenha sido estabelecido um modelo digital do terreno com um “grid” adequado;

Premissa 3: a distribuição da transmissividade da água no solo é função exponencial do déficit de armazenamento de água ao longo do perfil solo até alcançar a superfície freática, onde reina a condição de saturação.

A transmissividade saturada do solo ($T(0)$) é o produto da condutividade hidráulica saturada ($K(0)$) do solo pela profundidade do solo saturado.

A partir destas três premissas, pode-se expressar a vazão subsuperficial em um ponto, ou seja em uma célula i da bacia, como segue:

$$q_{sub_i} = T(\theta) * \tan \beta_i \quad (7)$$

onde : $T(\theta)$ = transmissividade da água no solo (m^2/h)

$\tan \beta_i$ = inclinação do terreno na célula i

Mas como a transmissividade, de acordo com a premissa 3 pode ser expressa por

$$T(\theta) = T(0) * e^{-\Delta s/m} \quad (8)$$

onde : $T(0)$ = transmissividade lateral, em condições de saturação (m^2/h)

ΔS = variação de armazenamento de água no solo;

m = parâmetro de ajuste do modelo; representando o fator de decaimento da curva exponencial. Quanto maior m , menor o decaimento de T com o déficit de armazenamento.

Para entender melhor o termo déficit de armazenamento de água no solo é preciso lembrar que existem 3 teores de umidade no solo utilizados como referência: a saber:

a) Umidade de saturação (θ_{sat}) – que ocorre quando todos os poros, tanto macroporos como microporos, estão preenchidos com água;

b) Umidade do solo em condições de capacidade de campo (θ_{cc}) - que ocorre quando todos os microporos estão preenchidos com água (cm^3/cm^3);

c) Umidade do solo em condições de murcha permanente (θ_{pmp}) - quando a água está retida no solo com tensões maiores do que as plantas conseguem retirar (cm^3/cm^3).

Assim, a partir destes 3 teores de água no solo, tem-se os seguintes défices de armazenamento de água de referência:

$$\Delta S = (\theta_{\text{sat}} - \theta_{\text{cc}}) \cdot z \quad - \quad \text{água gravitacional}$$

$$\Delta S = (\theta_{\text{cc}} - \theta_{\text{pmp}}) \cdot z \quad - \quad \text{água disponível para as plantas}$$

sendo z a profundidade do solo na zona das raízes (m).

Substituindo ΔS na eq.(8) por $\Delta\theta \cdot z$ tem-se

$$T(\theta) = T(0) e^{-\frac{\Delta\theta \cdot z}{m}} \quad (9)$$

e chamado $\frac{\Delta\theta}{m}$ como f , tem-se:

$$T(\theta) = T(0) \cdot e^{-f \cdot z} \quad (10)$$

Substituindo $T(\theta)$ na eq.(7) por eq.(10), tem-se para cada ponto i a vazão subsuperficial:

$$q_{\text{sub}_i} = T(0)_i \cdot e^{-f \cdot z_i} \cdot \tan\beta_i \quad (11)$$

Até aqui as premissas foram aplicadas a cada célula, ou seja para cada ponto i da bacia. Porém, cada uma destas células, ou pontos, têm uma área de contribuição, ou seja, tem uma pequena área da microbacia hidrográfica que drena para aquele ponto. Surge então a 4ª premissa, que relaciona q_{sub_i} com a área de contribuição Ac_i . Esta quarta premissa é a seguinte:

Premissa 4: a vazão sub-superficial - q_{sub_i} - é proporcional ao produto da recarga (r) para a zona saturada pela área de contribuição ao ponto i (ac_i). Ou seja:

$$q_{\text{sub}_i} = \alpha r^* \cdot ac_i \quad (12)$$

onde: r^* é a recarga considerada uniforme em toda ac_i (m/h)

Chamando a recarga efetiva $r = \alpha r^*$ tem-se que:

$$q_{sub_i} = r \cdot ac_i \quad (13)$$

Resultam, portanto, duas expressões, eq.(11) e eq.(13) para q_{sub_i} ; igualando-as obtém-se que:

$$T(0)_i \cdot e^{-fz_i} \cdot \tan\beta_i = r \cdot ac_i \quad (14)$$

ou, explicitando z_i :

$$z_i = -1/f \left(\ln r + \ln \frac{ac_i}{T(0)_i \cdot \tan\beta_i} \right) \quad (15)$$

Tem-se, então, uma expressão que relaciona a profundidade da superfície freática no ponto i (z_i) com:

- a) a topografia (através do índice topográfico $\ln(ac_i/\tan\beta_i)$);
- b) o parâmetro f ;
- c) a transmissividade saturada ($T(0)$); e
- d) a taxa de recarga efetiva (r).

Para toda a bacia, e não mais para cada ponto i , pode-se definir uma profundidade média da superfície freática:

$$\bar{z} = 1/A \cdot \sum_i A_i \cdot z_i \quad (16)$$

sendo A = área total da bacia (m^2)

A_i = área de cada uma das células que formam a bacia (m^2), determinada a partir do modelo digital do terreno (grid).

Substituindo a eq.(15) na eq.(16), obtém-se que

$$\bar{z} = 1/A \cdot \sum_i A_i / f \cdot \left(\ln r + \ln \frac{ac_i}{T(0)_i \cdot \tan\beta_i} \right) \quad (17)$$

e subtraindo z_i de \bar{z} :

$$\bar{z} - z_i = 1/A \cdot \sum_i \left\{ -A_i/f \left(\ln r + \ln \frac{ac_i}{T(0)_i \cdot \tan\beta_i} \right) \right\} + 1/f \left(\ln r + \ln \frac{ac_i}{T(0)_i \cdot \tan\beta_i} \right) \quad (18)$$

Admitindo-se duas simplificações:

1ª) r é uniformemente distribuída em toda bacia

2ª) f é constante

a equação (18) transforma-se em:

$$\bar{z} - z_i = 1/A \cdot \sum_i \left\{ -A_i/f \cdot \ln \frac{ac_i}{\tan\beta_i} - A_i/f \cdot \ln T(0) \right\} + 1/f \left(\ln \frac{ac_i}{\tan\beta_i} - \ln T(0) \right) \quad (19)$$

Definindo-se $\lambda = 1/A \cdot \sum_i A_i/f \cdot \ln \frac{ac_i}{\tan\beta_i}$ e

$$\ln \bar{T} = 1/A \cdot \sum_i A_i \cdot \ln T(0) \quad \text{então:}$$

$$f \cdot (\bar{z} - z_i) = \left[\ln \frac{ac_i}{\tan\beta_i} - \lambda \right] - \left[\ln T(0)_i - \ln \bar{T} \right] \quad (20)$$

ou, ainda, definindo-se $\gamma = \lambda - \ln \bar{T}$, obtém-se que:

$$f \cdot (\bar{z} - z_i) = \left[\ln \frac{ac_i}{\tan\beta_i} - \ln T(0)_i \right] - \gamma \quad (21)$$

A partir das eq.(8) e eq.(9) pode-se finalmente apresentar a eq.(22):

$$f \cdot (\bar{z} - z_i) = \frac{\Delta S - \Delta S_i}{m} \quad (22)$$

Todos os passos até aqui tratam das premissas básicas do modelo, que demonstram ser possível relacionar a topografia e o escoamento subsuperficial, em condições saturadas.

Resta, agora, entender o modelo tanto nas condições saturadas quanto em condições não saturadas. O modelo MESS (bem como o TOPMODEL) considera o solo, em cada ponto i , como um reservatório de água dividido em 3 zonas:

- a) zona das raízes.
- b) zona de transmissão.
- c) zona saturada.

Na zona das raízes a variação de armazenamento (ΔS), no período chuvoso, varia entre θ_{sat} e θ_{cc} ; enquanto que nos períodos sem chuva e devido a evapotranspiração, ΔS varia entre θ_{cc} e θ_{pmp} (Figura 15).

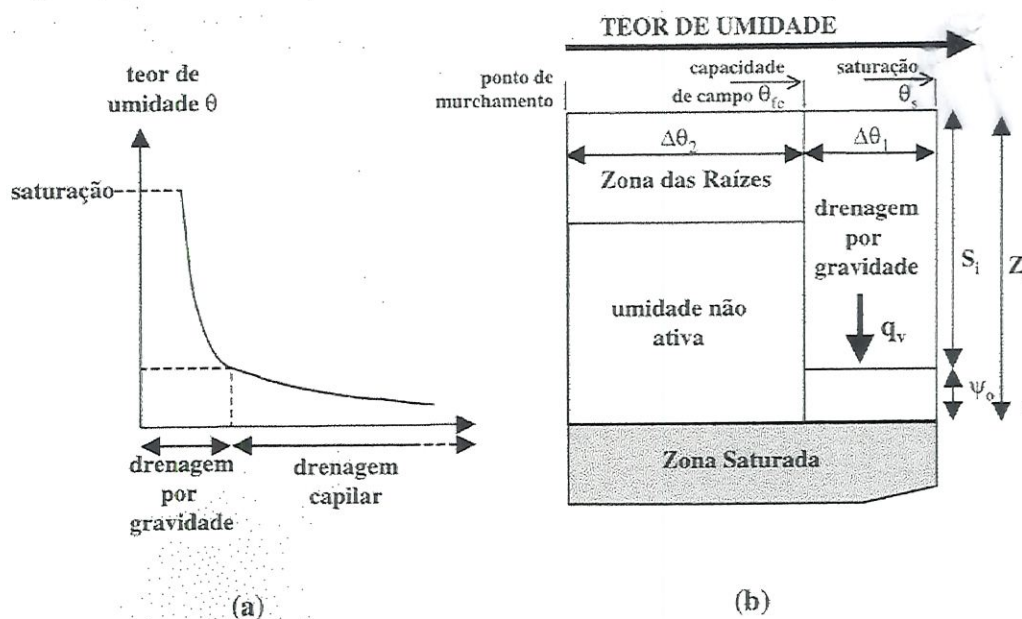


FIGURA 15 - (a) evolução do teor de umidade em uma recessão, (b) representação esquemática da zona não saturada. (Preparada por MORAES, 1998, a partir de BEVEN et al., 1995).

A recarga de água para a zona saturada (isto é para o lençol freático) é avaliada pela expressão:

$$q_{vi} = K(0)_i \cdot e^{-f \cdot z_i} \quad (23)$$

onde: $K(0)_i$ é a condutividade hidráulica saturada do solo (m/h) no ponto i ;

Considerando-se toda a bacia, a alimentação de água para o lençol freático

é:

$$Q_v = \sum_i A_i \cdot q_{vi} \quad (24)$$

A saída da água da bacia a partir do lençol freático, denominado de escoamento de base é calculado pela soma das vazões de saída das células adjacentes ao cursos da d'água e pode ser expressa por:

$$qb = \bar{A} \cdot e^{-\gamma} \cdot e^{f \cdot z} \quad (25)$$

Desta forma, os mecanismos de geração de deflúvio em uma encosta ficam reduzidos a quatro processos, conforme mostra a figura 16, que comparada com a figura 1, torna evidentes as simplificações adotadas.

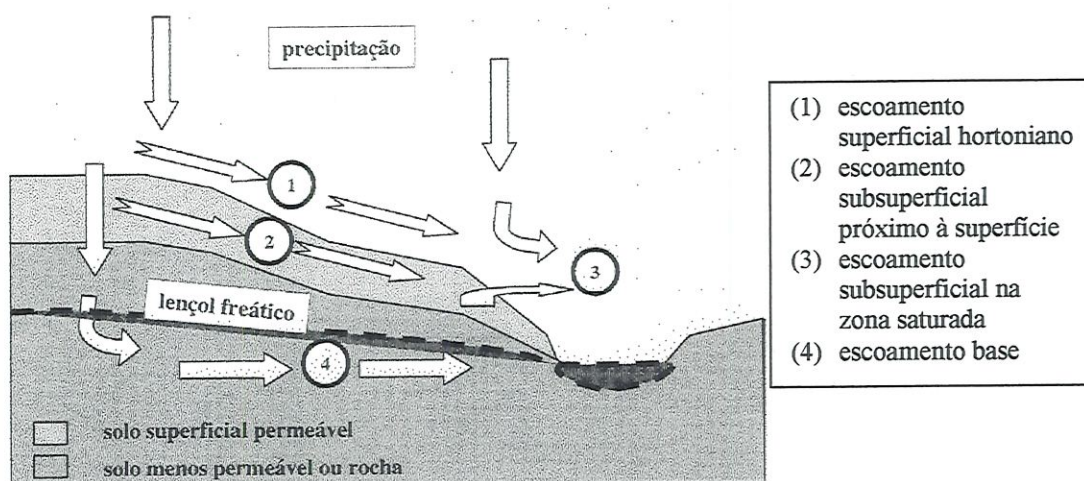


FIGURA 16. – Mecanismos de geração de deflúvio (MORAES, 1998)

A figura 17, por sua vez, traz o esquema adotado para a microbacia hidrográfica e para a encosta do ponto de vista do uso do TOPMODEL e do MESS.

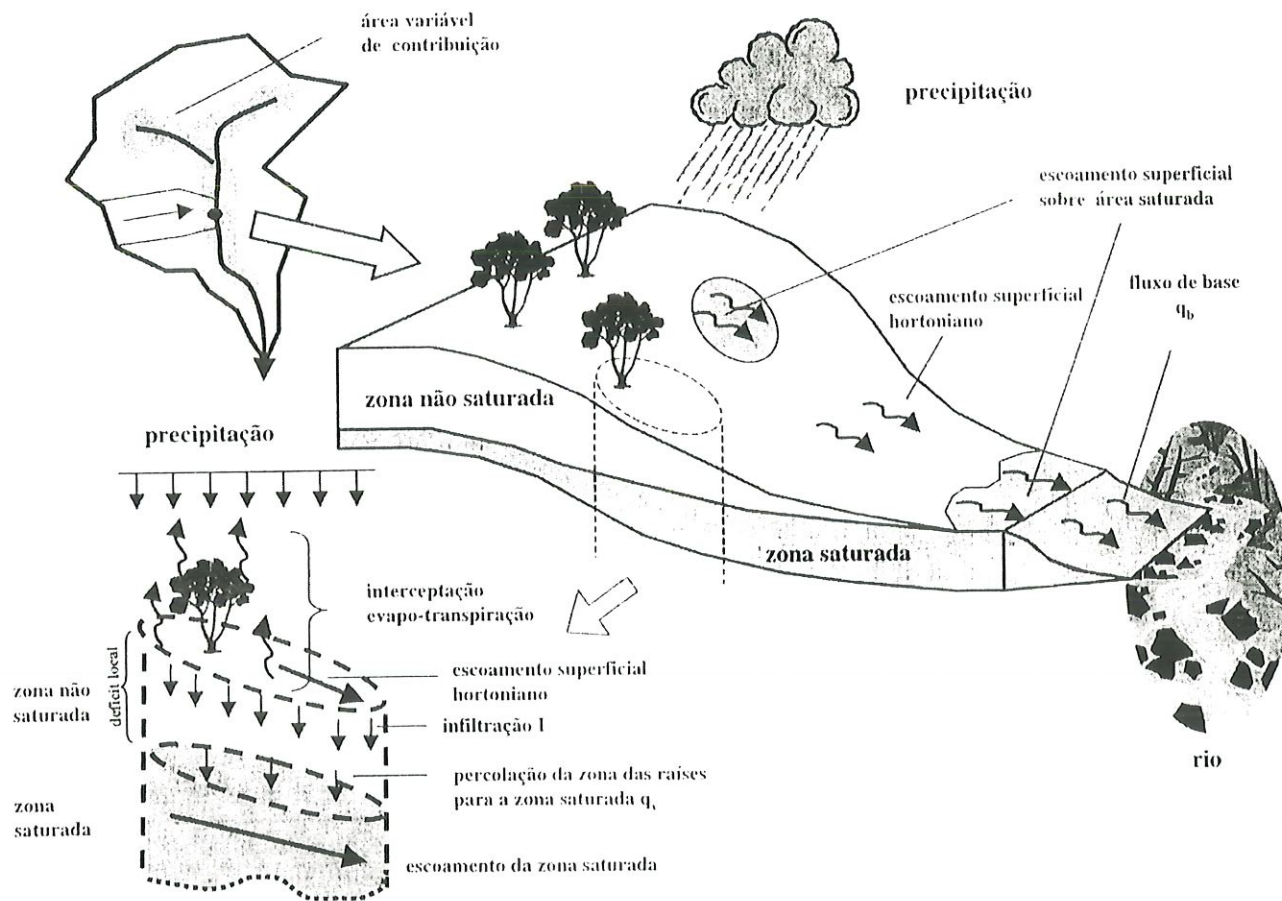


FIGURA 17. – Esquema da bacia hidrográfica no modelo MESS e no TOPMODEL (Preparado por MORAES, 1998, a partir de SAULNIER, 1996).

4.4.2. Passos para a Execução do Modelo MESS

A utilização do MESS (bem como do TOPMODEL) está dividida em duas partes, sendo que a primeira parte compreende:

- a) o preparo do modelo digital do terreno, escolha do “grid” adequado (tamanho de cada célula);
- b) cálculo dos índices topográficos ($IT = \ln(a/\tan \beta_i)$); e
- c) cálculo das áreas de contribuição (ac_i).

A segunda parte é a simulação da vazão a partir da precipitação, evapotranspiração potencial e dos índices gerados no modelo digital do terreno.

4.4.2.1. Parte 1 - Preparo do modelo digital do terreno, cálculo do Índice Topográfico (IT) e das Áreas de Contribuição (ac_i)

Na parte 1 prepara-se o modelo digital do terreno (MDT) em sistema RASTER. Para o presente trabalho, utilizou-se o programa fonte (GRIDATB.FOR) (em linguagem FORTRAN e que acompanha o TOPMODEL), o qual foi modificado, permitindo a entrada de um número maior de dados e com uma saída compatível com o IDRISI. Este programa modificado é denominado AVA.EXE e encontra-se no anexo I, juntamente com o arquivo fonte GRIDA.FOR.

a) Passo 1- Escolha do grid

A primeira variável que surge para utilização do MESS é a definição do “grid”, ou seja do número de linhas e colunas que formarão a imagem RASTER, recomendando-se uma resolução de pelo menos 50mx50m (QUINN et al., 1995).

O dado de entrada para o AVA_IT.EXE é a planta altimétrica transformada em um modelo numérico do terreno. Explicando melhor:

1) Digitalizaram-se as curvas de nível da microbacia da Onça no TOSCA 2.0;

2) No IDRISI, geraram-se 3 imagens, uma em cada um dos seguintes “grids”: 15mx15m; 10mx10m e 5mx5m; portanto, foram preparadas 3 opções de modelos numéricos de terreno;

3) Não é fácil estabelecer um critério para a escolha do “grid”, mas com o auxílio de imagens (vector) geradas no MGE (figuras 11 e 12), que mostram os caminhos d’água e os sentidos do fluxo, juntamente com, a necessidade de se sobrepor informações de vegetação tomadas em transectos de 20m de largura, levaram à opção pelo grid 5mx5m.

4) É importante destacar que o modelo digital do terreno deve responder à pergunta : “**onde estão os canais?**”

5) Para a imagem apresentada na figura 9, gerou-se um MDT de 288 linhas por 206 colunas.

b)Passo 2 - Cálculo do índice topográfico ($IT = \ln(a/\tan\beta)$) e divisão em classes de frequência.

Escolhido o “grid” e gerado o modelo numérico do terreno gerou-se, através do programa AVA.EXE , um novo arquivo para a bacia, agora com os valores de IT ao invés da altitude.

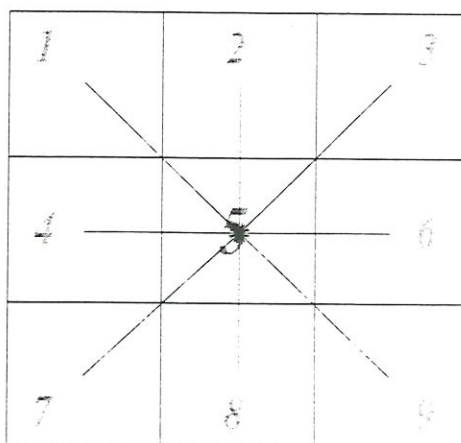
O índice topográfico (IT) é calculado pela expressão :

$$IT = \ln(ac_i/\tan\beta) \quad (26)$$

onde :

ac_i = área de drenagem para cada uma das células que formam a bacia. É calculada no programa AVA.EXE , utilizando o algoritmo apresentado por QUINN et al., 1995, envolvendo o seguinte raciocínio:

a) Para cada célula existem nove possíveis direções de fluxo, conforme o esquema abaixo



A célula número 5 pode receber fluxo de oito diferentes células, além da água que cai nela mesma; cada uma destas “rotas” é testada a partir da declividade. Postula-se que a área de contribuição (“contour length”) está relacionada com a direção e comprimento do fluxo, sendo este comprimento igual a 50% do comprimento da célula para as direções cardinais e 35% para as diagonais.

Como exemplo, supondo-se que o grid acima seja de 5mx5m e que as altitudes das células sejam : 1 - 90m ; 2- 91m ; 3 – 91m; 4-88m ; 5-87m ; 6-87m ; 7- 86m . Então, tem-se que a célula 5 recebe fluxo de 1 ; 2; 3 e 4 e que o comprimento do fluxo é;

$$\text{De 1 para 5} = 0,35 * (\tan(90-87)) / 7,1$$

A partir destes cálculos, obtém-se dois resultados , o primeiro que é o índice topográfico para cada célula, divididos em 30 classes de frequência e que será utilizados na rotina de simulação de vazão; e o segundo, que é a área de contribuição de cada célula, a partir da qual se identifica a área variável de afluência (AVA).

4.4.2.2. Simulação da vazão

1. Atribui-se um valor para a condutividade hidráulica saturada – $K(0)$, a partir do qual é calculada a transmissividade máxima do perfil do solo- $T(0)$ – considerando um único valor para toda a bacia. Nada impede , no entanto, que se utilizem valores específicos para cada célula ou conjunto de células.

2. Calcula-se, a partir do índice topográfico $\ln(a_i/\text{tg}\beta_i)$, o índice de Beven (idealizador principal do modelo TOPMODEL, $\ln[(a_i/(T_o.\text{tg}\beta_i))]$).

3. Os seguintes parâmetros devem ser especificados:

- profundidade da zona das raízes;
- umidade de saturação, umidade de capacitação de campo e umidade de ponto de murcha permanente do solo;

4. Os seguintes parâmetros devem ser ajustados:

- Parâmetro de escala, f .
- A condutividade hidráulica saturada do solo, $K(0)$, em m/h.

- O coeficiente de “runoff”, que expressa a porcentagem de escoamento superficial em relação ao escoamento direto de uma chuva na microbacia.

5. Realiza-se a análise de frequência dos valores encontrados para o índice de Beven. Todas as células com índice de Beven pertencentes a cada intervalo de classe terão mesma resposta hidrológica. O cálculo hidrológico é realizado para uma célula típica com índice de Beven igual ao valor médio de um determinado intervalo de classe.

6. São calculados os valores de: λ ; $\ln T$; γ ; e Q_0 .

7. Seleciona-se o valor do intervalo de tempo, Δt , e o número de intervalos de tempo, N_{tempo} , para a simulação hidrológica da bacia.

8. Como dados de entrada são fornecidos, para cada intervalo de tempo de uma hora, intensidade de chuva r em m/h ; a evaporação potencial E_p em m/h e a vazão de base inicial da microbacia, $Q_{b,t=0}$.

9. A simulação de uma seqüência de intervalos de tempo do balanço hídrico da bacia é realizada para um conjunto de células hidrológicamente semelhantes e envolve períodos chuvosos e períodos secos.

O arquivo MESS.EXE, juntamente com o arquivo com os dados de entrada encontram-se no Anexo II.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Identificação da Zona Ripária: O Modelo Digital do Terreno x Levantamento da Vegetação

A seqüência utilizada nesta etapa do trabalho está resumida no diagrama apresentado na figura 18.

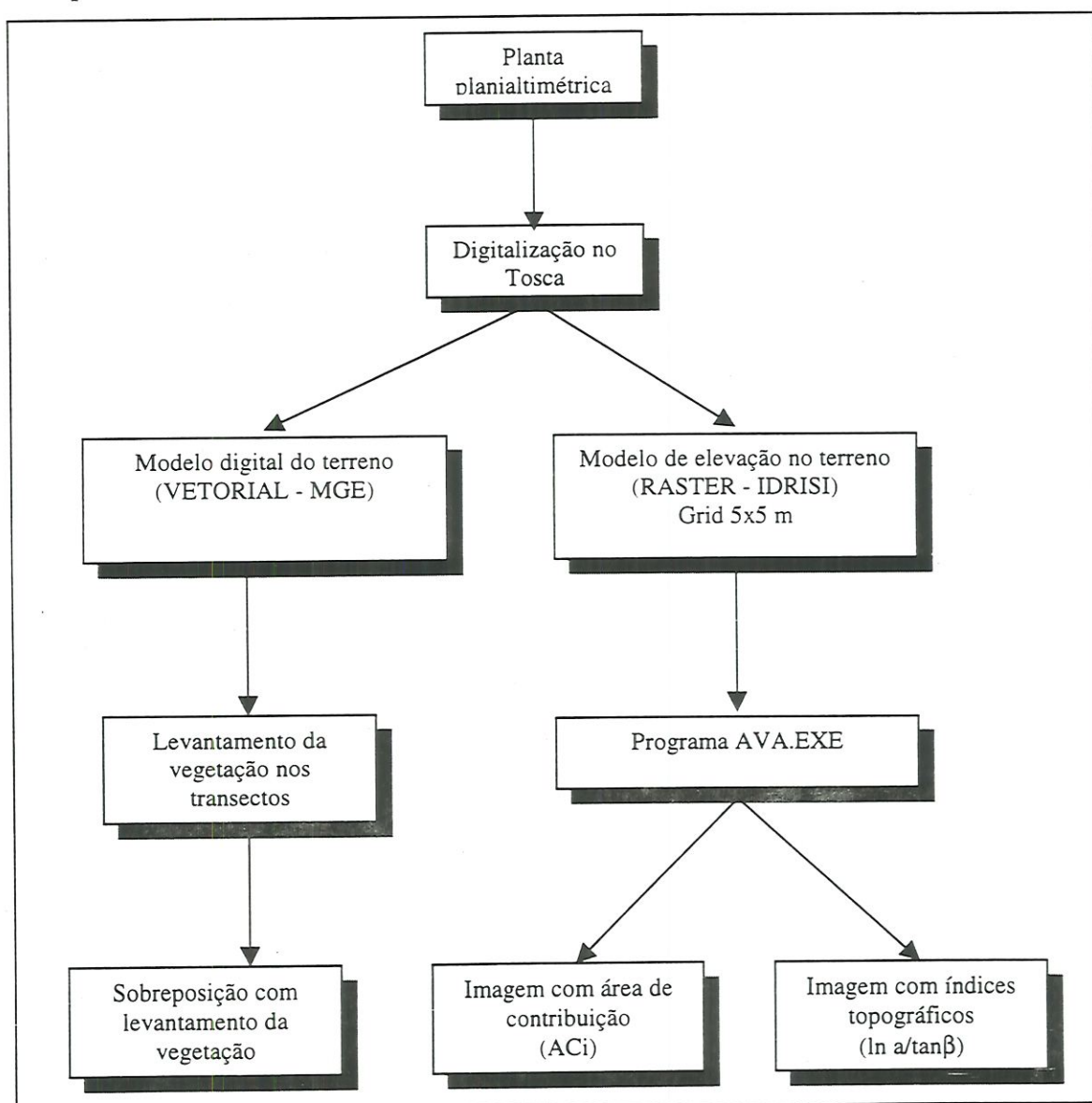


FIGURA 18 – Seqüência para identificação da Zona Ripária.

Desta forma, trabalhou-se primeiro com um modelo vetorial na opção H₂O no MGA[®]. Nesta opção, a partir de um mapa planialtimétrico, ou melhor, de um modelo de elevação do terreno (MET), gerou-se uma imagem da microbacia da Onça, com divisor e hidrografia inclusive com todos os canais intermitentes.

Após o preparo deste modelo digital do terreno, procedeu-se a escolha das espécies potencialmente indicadoras da área ripária e de terra firme, entre as 24 espécies (tabela 5), que foram levantadas nos três transectos da microbacia. É importante ressaltar que tanto os trabalhos hidrológicos como os de vegetação foram sendo conduzidos concomitantemente, de tal forma que, enquanto as espécies eram levantadas nos primeiros transectos, o modelo digital do terreno, em sistema vector, era preparado.

TABELA 5 - Espécies levantadas nos transectos de estudo de vegetação

Nome vulgar	Nome científico	Família
Gorocaia ou Guarucuia	<i>Parapiptadenia rigida</i> (Benth.) Brenan.	Mimosaceae
Vacum	<i>Allophyllus edulis</i> (St. Hil.) Radlk.	Sapindaceae
Guarana	<i>Cordyline terminalis</i> Endli.	Agavaceae
Cebolão	<i>Phytolacca dioica</i> L.	Phytolaccaceae
Jerivá	<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassm.	Arecaceae
Açoita cavalo	<i>Luehea divaricata</i> Mart.	Tiliaceae
Gabiroba	<i>Campomanesia xanthocarpa</i> Berg.	Myrtaceae
Espinheira Santa	<i>Maytenus aquifolia</i> Mart	Celastraceae
Louro pardo	<i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arrab. ex Steud.	Boraginaceae
Pau jacaré	<i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) Macbr.	Mimosaceae
Cuvantã	<i>Matayba elaeagnoides</i> Radlk.	Sapindaceae
Primavera	<i>Bougainvillea glabra</i> Choisy.	Nyctaginaceae
Mamica de porca	<i>Zanthoxylum</i> sp.	Rutaceae
Cabreúva	<i>Myroxylon peruiferum</i> L.f.	Fabaceae
Unha de vaca	<i>Bauhinia</i> sp.	Caesalpiniaceae
Aroeirinha	<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi.	Anacardiaceae
Cedro	<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	Meliaceae
Ingá feijão	<i>Inga</i> sp.	Mimosaceae
Lixeira	<i>Aloysia virgata</i> (Ruiz. et Pav.)	Verbenaceae
Solarum	<i>Solanum</i> sp.	Solonaceae
Araucaria	<i>Araucaria angustifolia</i> (Bert.) Kuntze.	Araucariaceae
Urtigão	<i>Urera baccifera</i> (L.) Gand.	Urticaceae
Jangada	<i>Bastardiopsis malvaceae</i> (Hook. et Arn.) Hass.	Malvaceae
Araribá	<i>Centrolobium tomentosum</i> Guill. ex Benth.	Fabaceae

Desta primeira sobreposição de dados, decidiu-se pela escolha de 4 espécies a serem utilizadas neste trabalho. Isto porque identificou-se que (GANDARA et al. 1996):

- a) As espécies Vacum e Gorocaia apresentavam-se preferencialmente próxima aos cursos d'água, perenes ou não;

- b) A espécie Cebolão apresentava uma distribuição preferencialmente distante dos cursos d'água , perenes ou não; e
- c) A espécie Guarana apresentava uma distribuição absolutamente indiferente aos cursos d'água.

No presente trabalho, utilizou-se, apenas, a presença/posição das espécies nos transectos. Os demais aspectos referentes à vegetação , tais como DAP , fenologia e base genética estão, ainda, em estudo e fazem parte do projeto maior já citado anteriormente.

Portanto, nesta primeira etapa do projeto integrado buscou-se identificar a relação vegetação-hidrologia. As implicações desta relação no que concerne à vegetação (fenologia, frutificação , etc...) estão também em fase de estudos.

A imagem da microbacia gerada em sistema vetorial com os resultados do levantamento das quatro espécies selecionadas, em cada um dos transectos é apresentada na figura 19.

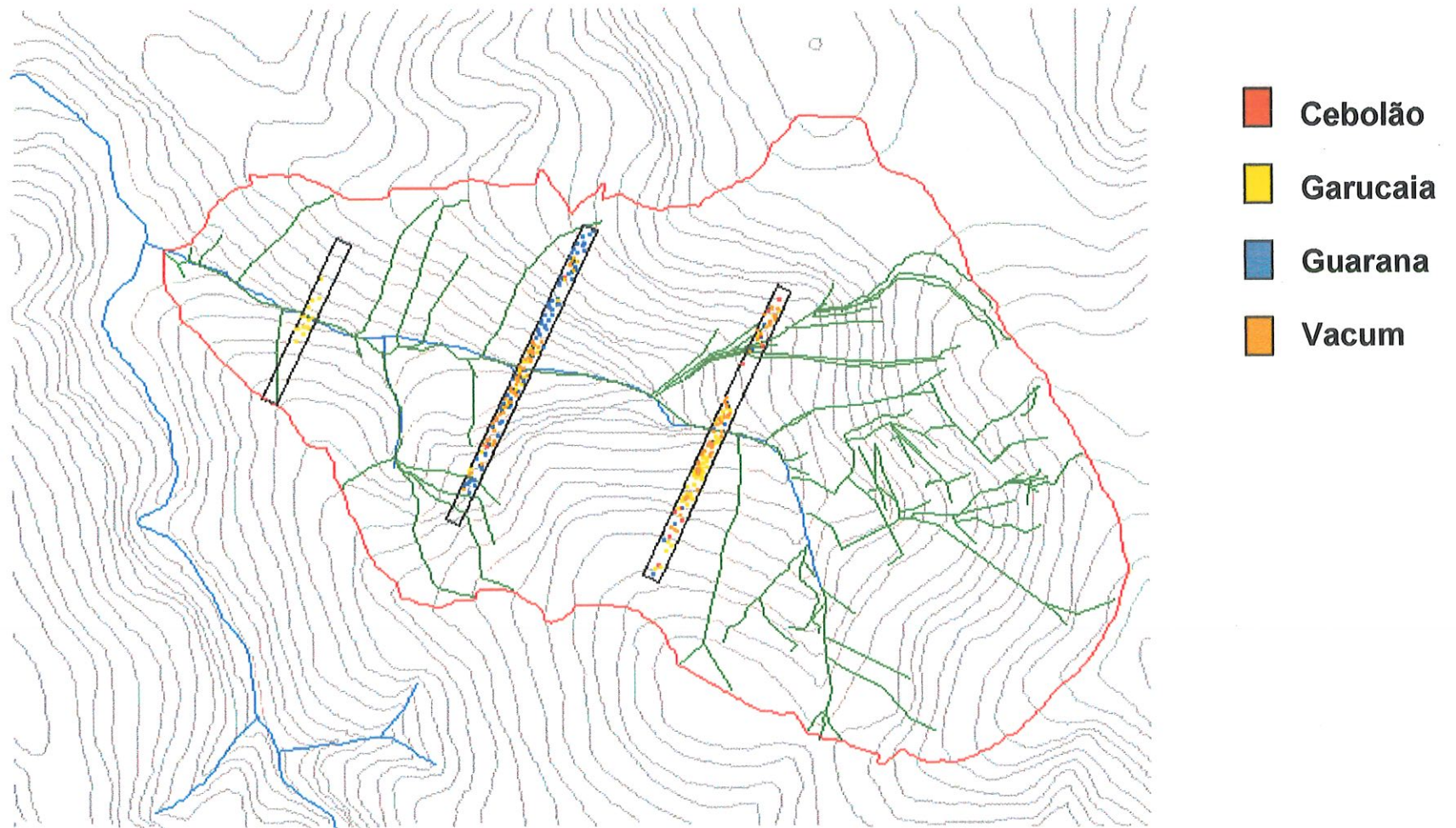


FIGURA 19 – Imagem da microbacia da onça, gerada em sistema vetorial, com a presença das quatro espécies nos transectos.

Até aqui, tinha-se uma primeira aproximação da relação hidrografia - vegetação, e já era possível observar que a presença de canais intermitentes guardava relação com a presença de vacum e gorocaia, espécies que preferem ambientes úmidos. Infelizmente os transectos não estão georeferenciados e, portanto, suas localizações são aproximadas. A propósito, o georeferenciamento não pode ser feito devido à presença da floresta. Nestas condições o erro de localização pode chegar a ± 100 m..

Tornava-se necessário, então, a determinação da zona ripária, ou seja da área variável de afluência, para que se pudesse relacionar uma área reconhecidamente diferenciada do ponto de vista hidrológica com a vegetação.

A partir daí passou-se a trabalhar com o modelo RASTER, utilizando-se o programa AVA.EXE e o IDRISI for Windows[®]. A imagem da microbacia da onça obtida em sistema raster, é apresentada na figura 20. As imagens obtidas para áreas de contribuição na microbacia da Onça estão apresentadas na figura 21 e a obtida com os índices topográficos, na figura 22.

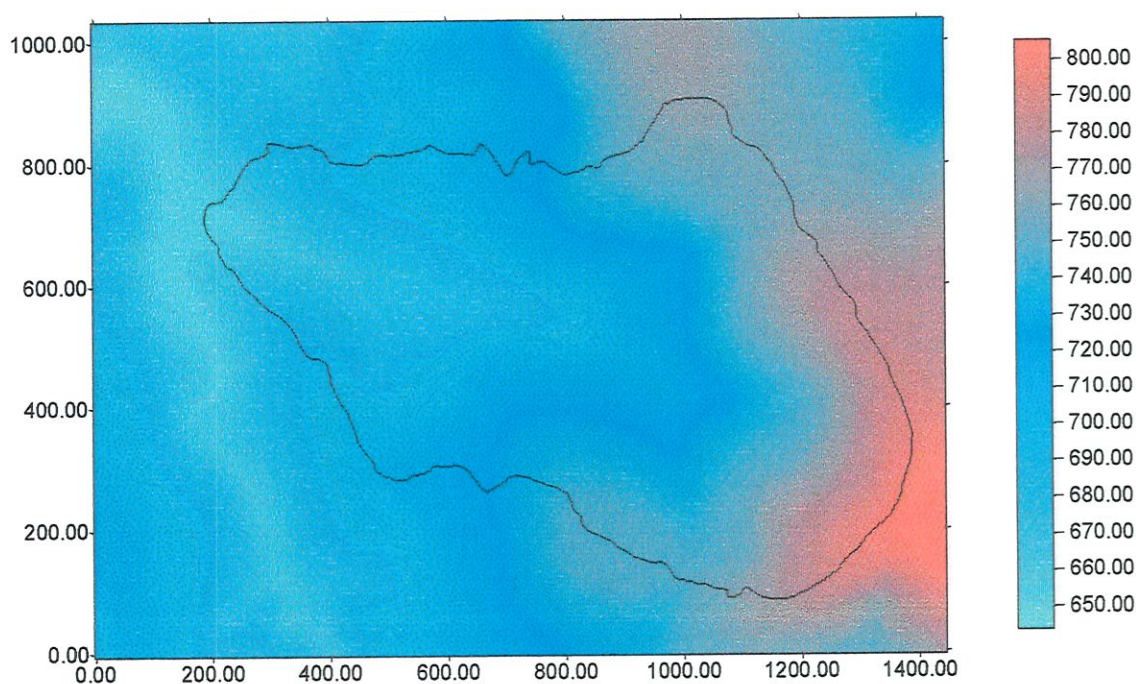


FIGURA 20 – Modelo digital do terreno da microbacia da Onça obtido no sistema raster.

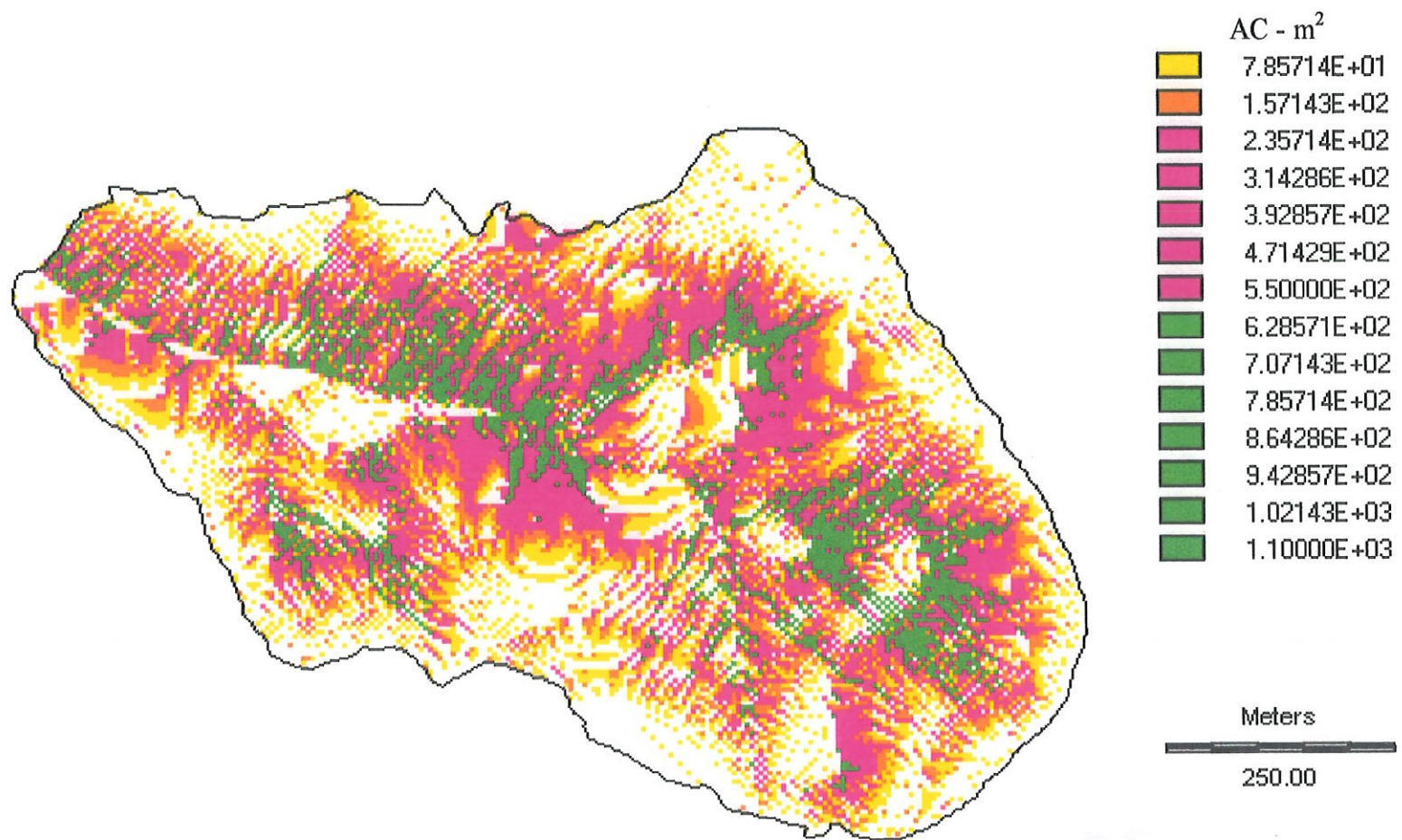


FIGURA 21 – Mapeamento das áreas de contribuição, associadas às células de discretização da microbacia da Onça .

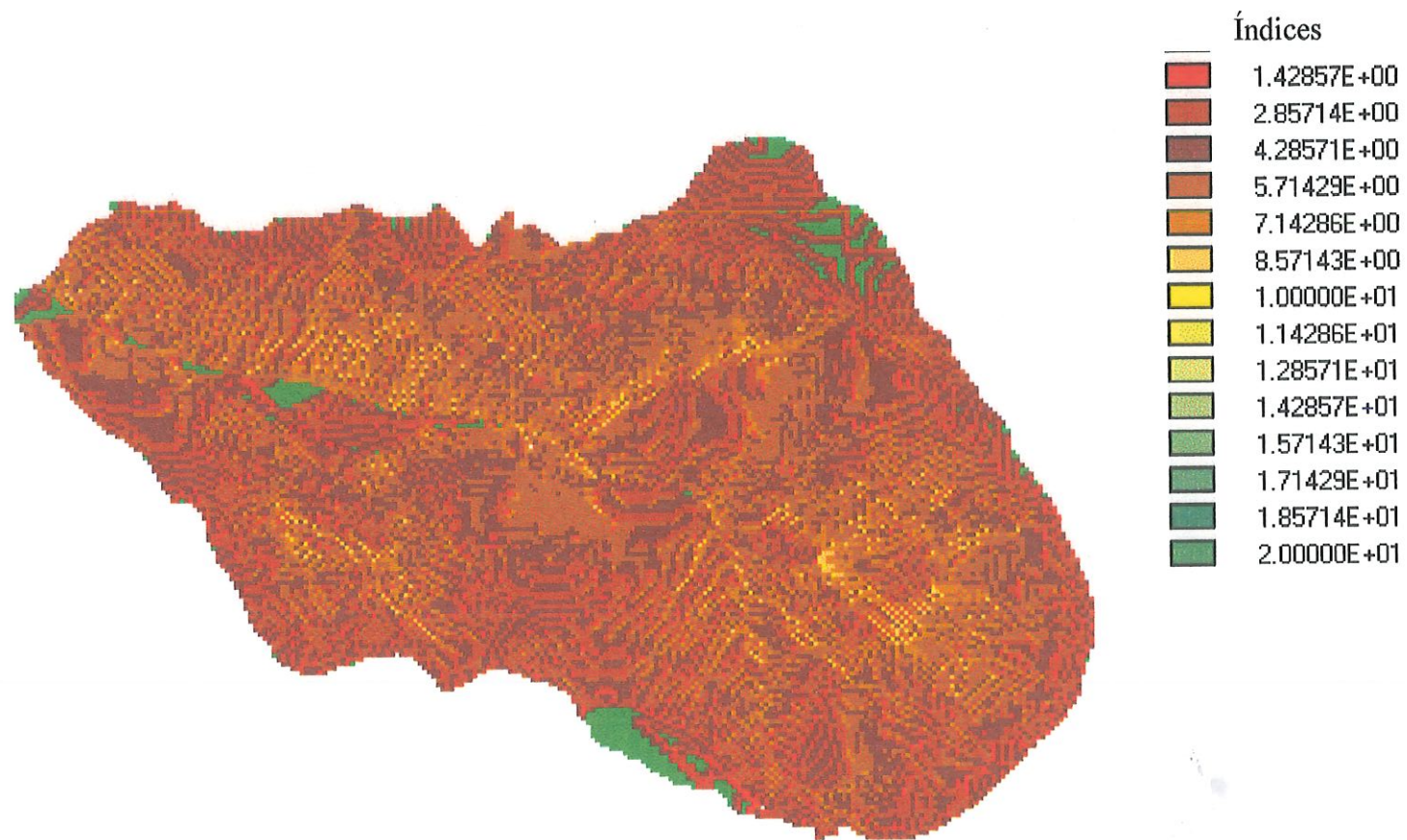
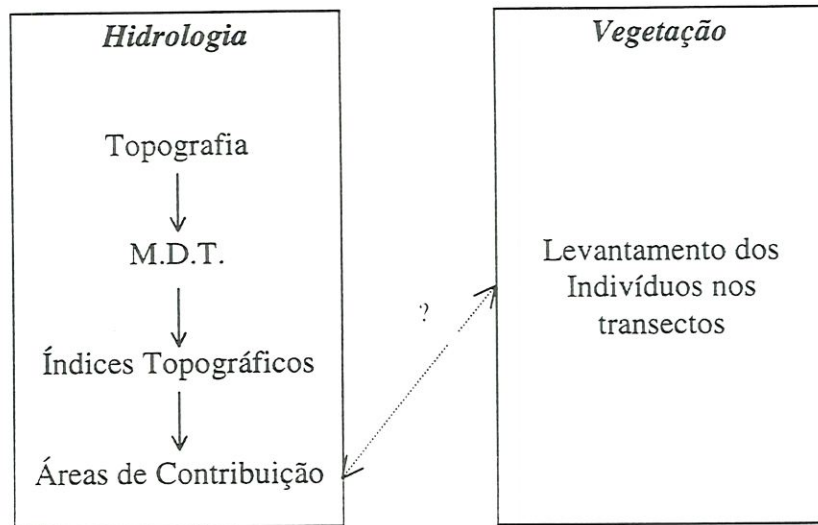


FIGURA 22 – Índices topográficos obtidos para a microbacia experimental da Onça.

Recapitulando, nesta fase do trabalho tinha-se a seguinte seqüência de conhecimento da microbacia da Onça:



Restava agora responder às seguintes questões que poderiam unir as duas colunas de conhecimento apresentadas acima :

- Que classes de área de contribuição correspondem à AVA e portanto à zona ripária? Buscava-se assim um índice numérico gerado a partir da topografia do terreno, que pudesse ser relacionado às espécies indicadoras selecionadas anteriormente.
- Se estes índices são válidos para identificar a presença da zona ripária e, portanto, da vegetação, deveriam também, através do MESS, possibilitar a simulação do comportamento hidrológico da microbacia?

A questão (a) começa a ser respondida a partir da imagem apresentada na figura 21, que traz a imagem com as áreas de contribuição, onde pode-se notar que a área em verde seria aquela que corresponderia à A.V.A., uma vez que a partir de uma área de contribuição menor que 628 m^2 , as células passam a ser mais dispersas dentro da microbacia. Portanto, a área em verde naquela imagem, seria a princípio a A. V. A., ou seja, a zona ripária.

A partir daí, prepararam-se 3 imagens da microbacia da Onça, com a sobreposição dos dados de vegetação, com a zona ripária. (Figuras 23, 24, e 25).

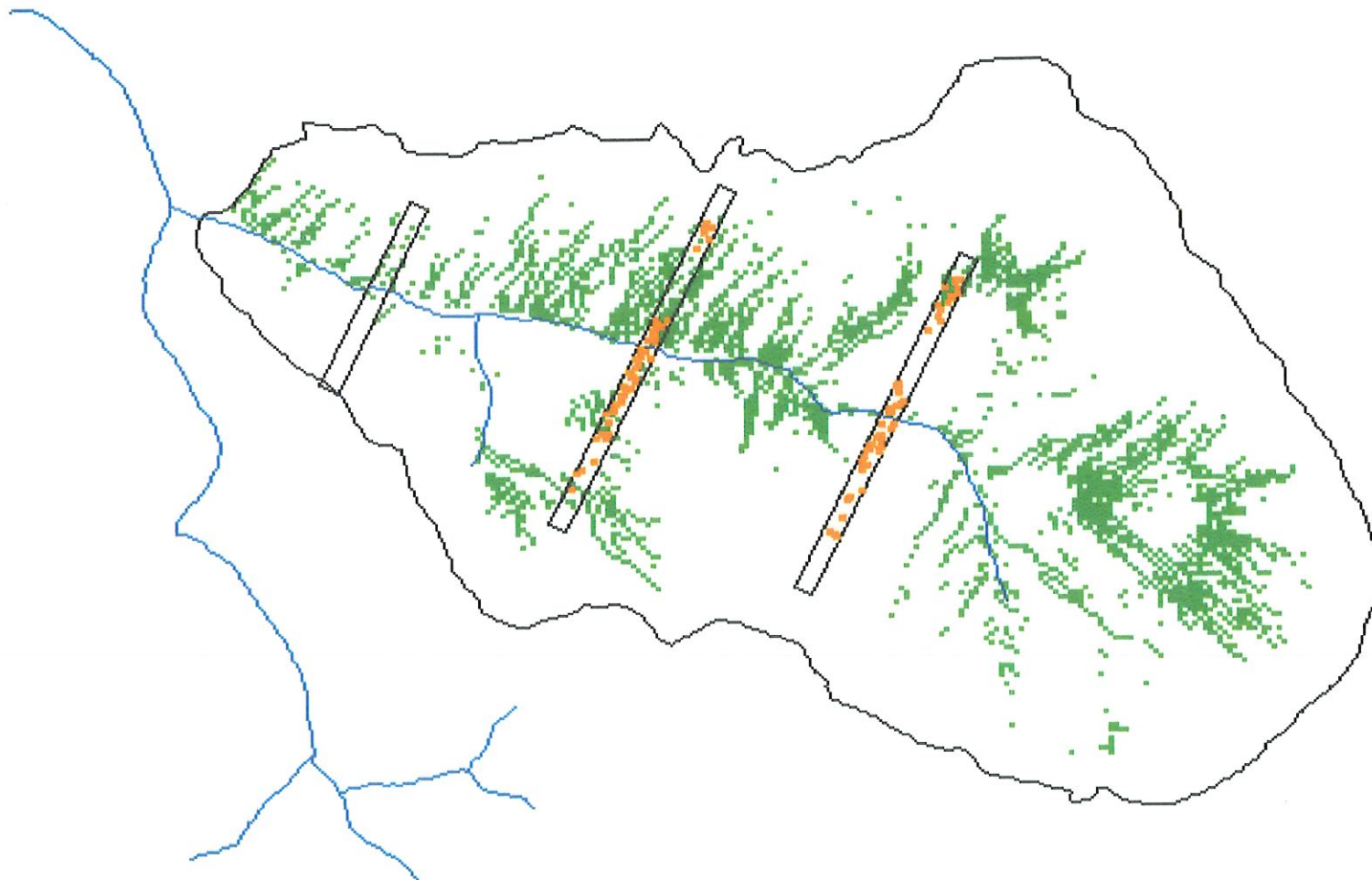


FIGURA 23 - Imagem com as áreas de contribuição e a ocorrência/ posição dos indivíduos da espécie *vacum* nos transectos. (Os indivíduos de *vacum* estão fora de escala)

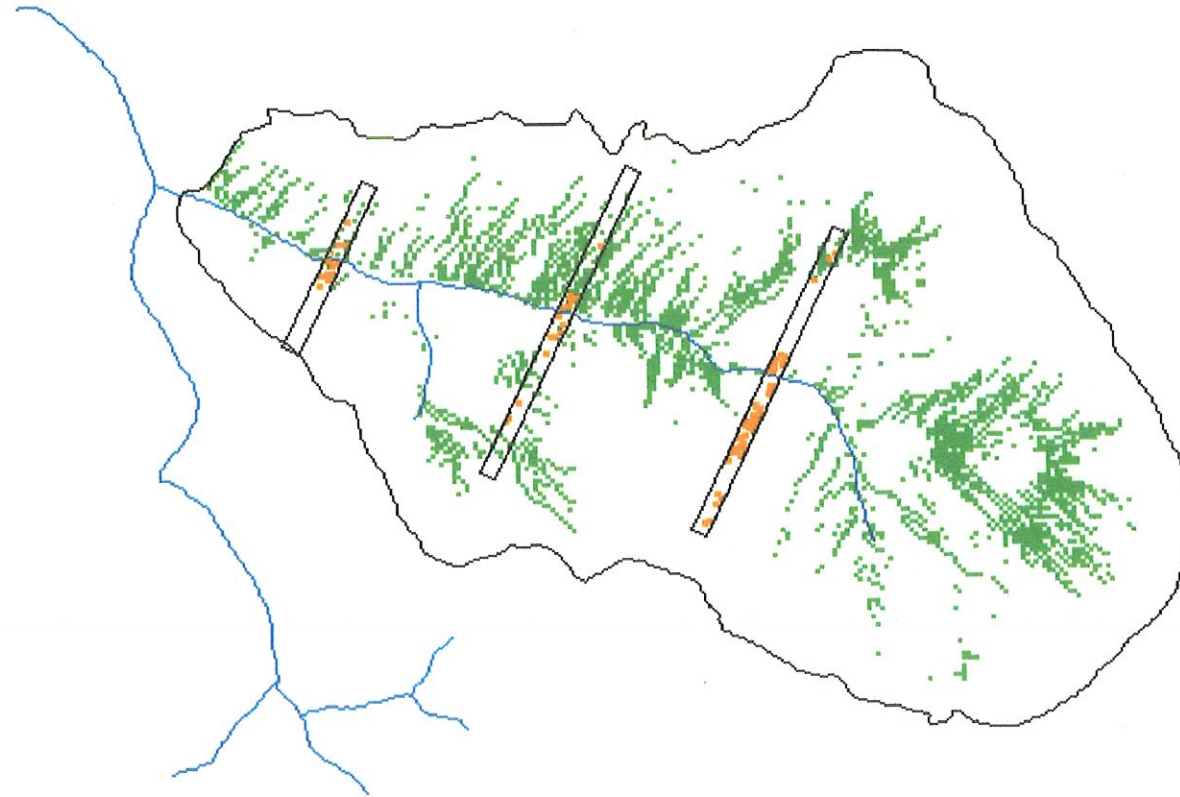


FIGURA 24 - Imagem com as áreas de contribuição e a ocorrência/ posição dos indivíduos da espécie gorocaia nos transectos. (Os indivíduos de e gorocaia estão fora de escala)

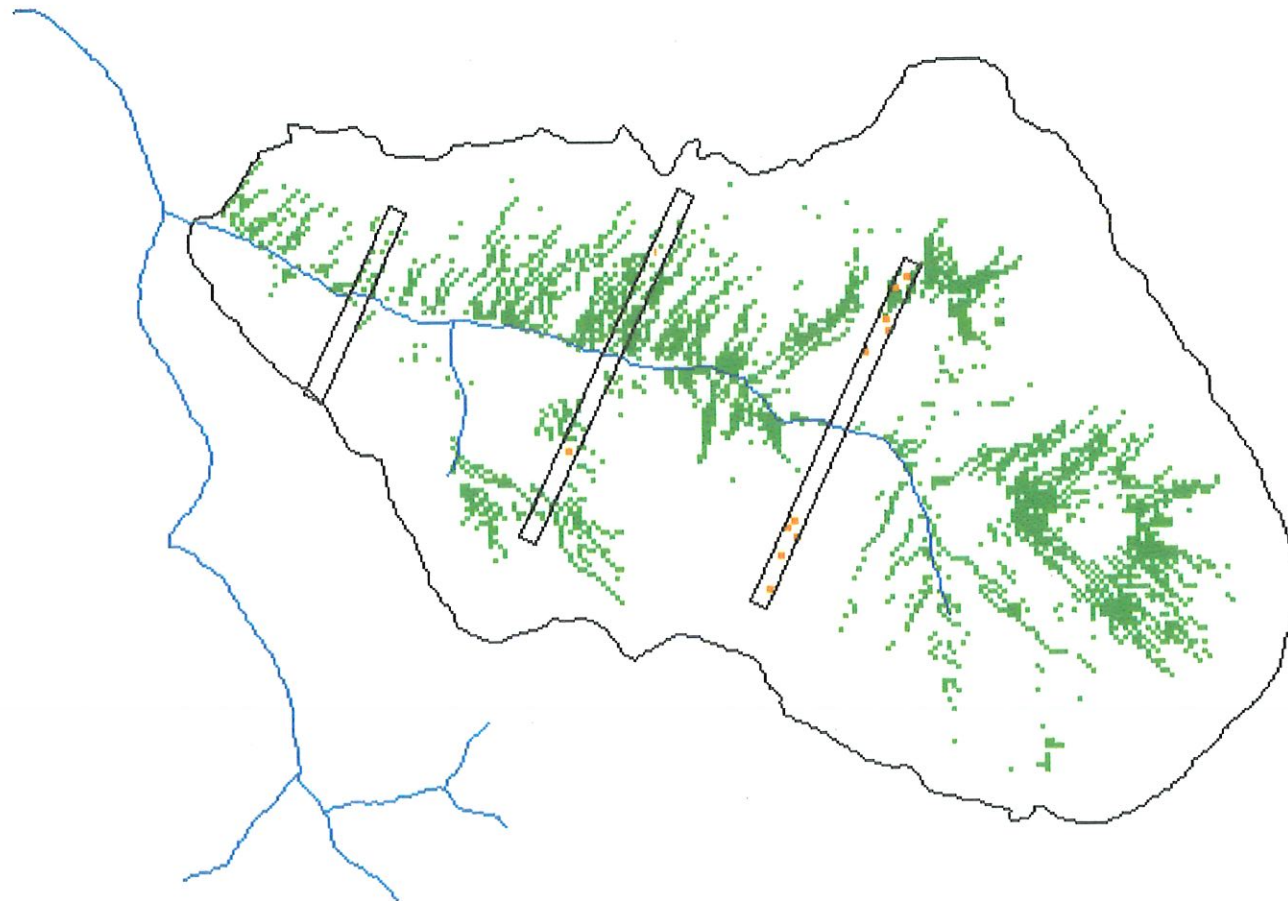


FIGURA 25 – Imagem com as áreas de contribuição e a ocorrência/ posição dos indivíduos da espécie cebolão nos transectos. (Os indivíduos de cebolão estão fora de escala)

A análise das figuras anteriores revela uma certa correlação entre a ocorrência de indivíduos das espécies *vacum* e *gorocaia* e a zona ripária. Verifica-se também a exclusão do *cebolão* na zona ripária, com exceção do transecto 3, margem esquerda.

Para melhor ilustrar esta discussão apresenta-se a figura 26, com o transecto 3, margem esquerda com a posição dos indivíduos de cada uma das espécies, sendo que os pontos nos transectos são proporcionais ao DAP (diâmetro à altura do peito).

Apresenta-se, também, a figura 27 que é uma ampliação da figura 23, acrescida das curvas de nível e também das células com área de contribuição de 471 m² (em azul), uma vez que os indivíduos de *vacum* e *gorocaia* poderiam estar ocorrendo nas células da classe de contribuição limítrofes da zona ripária, o que não aconteceu.

Surgem duas possibilidades para explicar o aparecimento de *vacum* e *gorocaia* fora da zona ripária: a primeira hipótese seria a de que o transecto 3, na verdade estaria localizado um pouco mais para cima na microbacia. A segunda hipótese é a de que, estando o transecto no local correto, a ocorrência destes indivíduos justificar-se-ia por ser aquela uma porção mais plana da zona alta da microbacia, podendo haver algum acúmulo de umidade, com capacidade de suportar indivíduos de pequeno porte de *vacum* e *gorocaia*; indivíduos estes que nunca serão de maior porte.

Nota-se que todos os indivíduos são de pequeno porte. Para se ter uma idéia melhor, os indivíduos de *vacum*, naquela região, não tem mais que 7 cm de DAP em média, enquanto que aqueles que estão na zona ripária têm em média 11 cm de DAP.

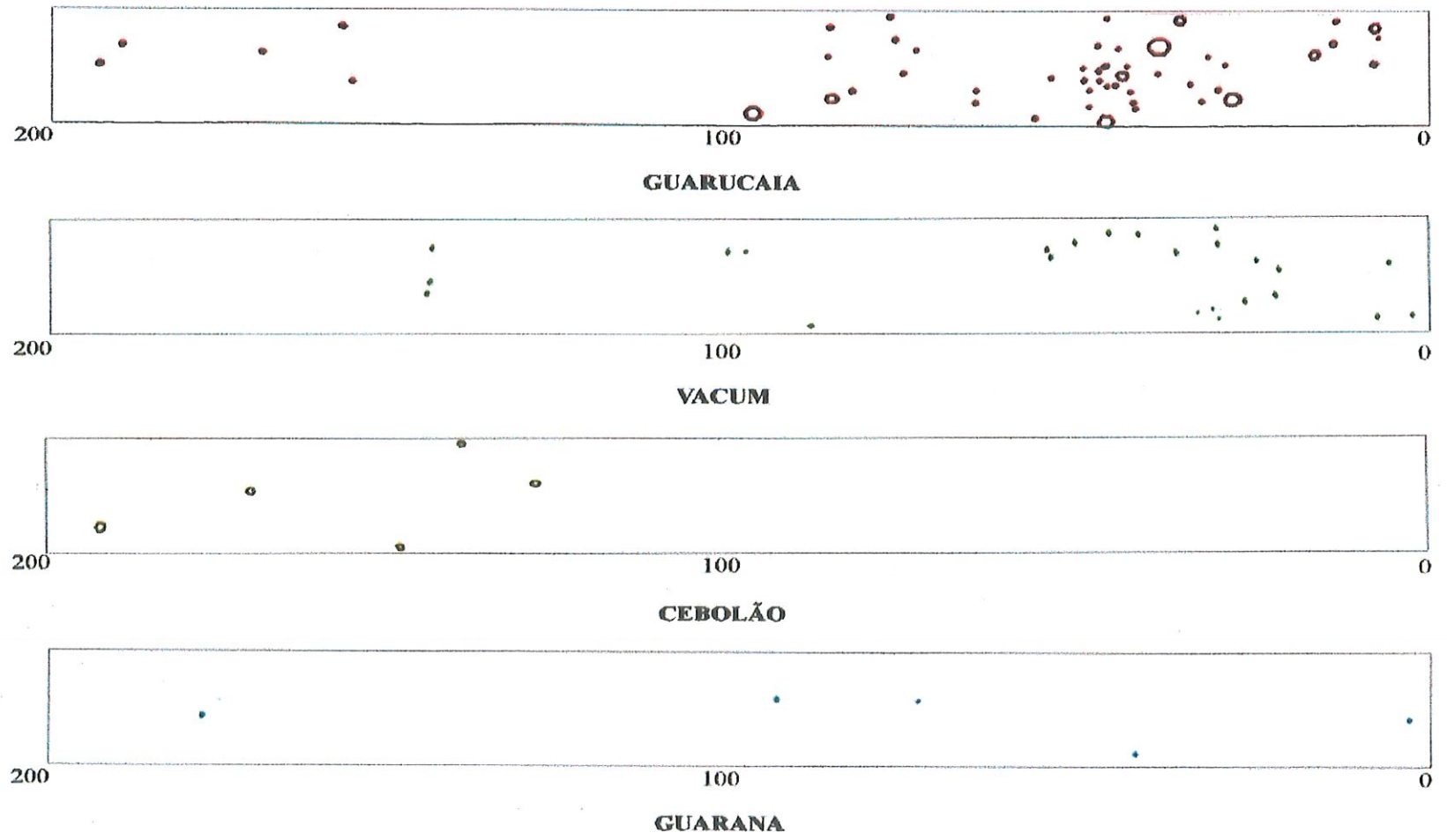


FIGURA 26 – Ocorrência dos indivíduos das quatro espécies no transecto 3, margem esquerda.

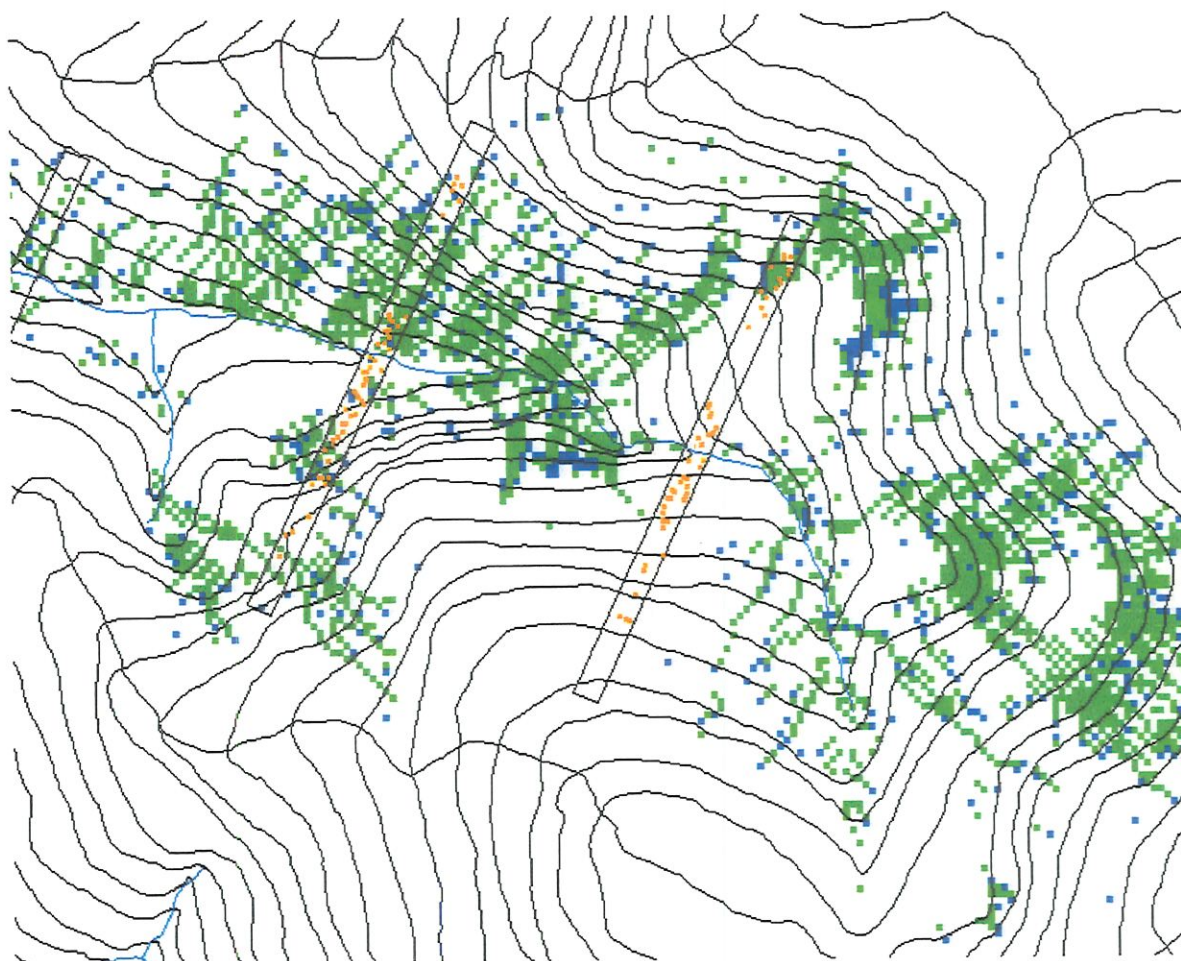


FIGURA 27 – Imagem de parte da microbacia da Onça com os transectos 2 e 3 com os indivíduos de vacum e com as curvas de nível.

Esta segunda hipótese parece ser a mais provável, pois os resultados que vêm sendo obtidos em outra microbacia, denominada microbacia da Cachoeira, na qual este mesmo tipo de trabalho vem sendo desenvolvido, como repetição dos estudos na microbacia da Onça, confirmam a correlação de vacum e gorocaia com a zona ripária e o aparecimento de indivíduos de pequeno porte ($< 7\text{cm}$ de DAP) de vacum e gorocaia em partes altas e planas da microbacia. (GANDARA, KAGEYAMA e CESARE, comunicação pessoal).

Desta forma, os índices numéricos encontrados, para identificar diferentes zonas na microbacia da Onça, foram:

<i>Índice</i> (<i>área de contribuição para cada célula</i>) m^2	<i>Zona</i>
De 628 a 1100	Ripária
De 235 a 628	Intermediária
De 0 a 235	Alta

5.2. Aplicação do Modelo do escoamento subsuperficial - MESS

O modelo MESS foi preparado em FORTRAN para Windows, e utilizado para simular a vazão de hora em hora na microbacia da Onça no período de 25/9/1994 até 25 /12/ 1994 . Os dados de entrada estão apresentados no anexo II.

A partir de valores iniciais adotados , isto é, $K(0)= 0.05$ m/h; $Cr=0,20$; de $f = 10$ e com o auxílio da rotina de otimização introduzida no MESS , foram obtidos a pós várias simulações, mais especificamente 17, os seguintes valores de calibração para estes parâmetros:

Condutividade hidráulica saturada	Coefficiente de Runoff	F	Erro $Q_{obs} - Q_{est}$
$K(0)$	Cr		
0.01	0.07	5.23	0.00139

A comparação gráfica das vazões simuladas e das vazões observadas é apresentada na figura 28.

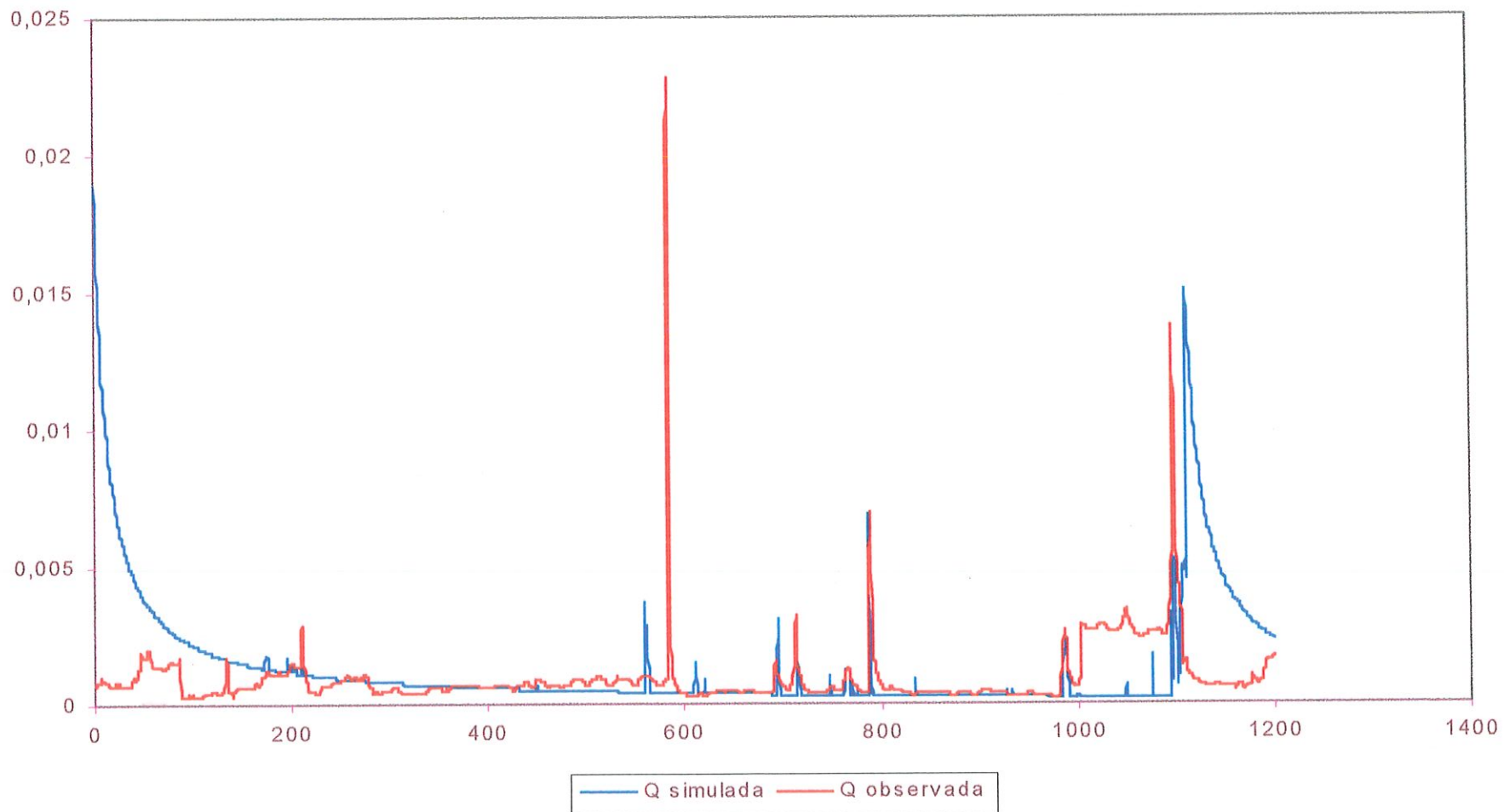


FIGURA 28 – Vazões observadas e vazões simuladas (m³/s) de hora em hora, através do MESS no período estudado.

Pode-se observar que, embora o erro encontrado tenha sido baixo, o modelo tende a distorcer os dados iniciais. Uma pequena parte desta distorção pode ser explicada pelo fato de o pluviógrafo encontrar-se distante da bacia e, portanto, de ter chovido na sede de fazenda S. Nicolau, onde está o posto pluviométrico e não ter chovido na microbacia da Onça. Se forem eliminados os primeiros 500 intervalos de tempo obtêm-se bons resultados.

De qualquer forma, o modelo mostrou-se capaz de reproduzir o comportamento da microbacia da Onça, validando as premissas básicas e a discretização da bacia.

É interessante a observação de GRAYSON et al. (1992) referindo-se a modelos como o TOPMODEL e que cabe perfeitamente ao MESS, destacando o potencial deste tipo de modelo, para indicar as áreas vulneráveis de bacias menores (até 1000 ha). Da mesma forma, este autor destaca que todos os modelos apresentam limitações, e o maior risco está em ajustar um modelo sem que os valores escolhidos para os parâmetros sejam reais.

Este é um risco maior em modelos conceituais como o TOPMODEL. Porém, o MESS tem menos simplificações e, portanto, menor chance de compensar um parâmetro com outro. Seria interessante melhorar o MESS, buscando eliminar a distorção inicial observada.

JORGENSEN (1986) exprime bem esta idéia, destacando que sempre que se calibra e valida um modelo, logo se quer melhorá-lo. E diz mais, que a escolha de um modelo deve estar baseada no problema, no sistema e na disponibilidade de dados.

Dentro da necessidade de se ter um modelo que identifique as áreas críticas de uma microbacia e que ainda possa simular as vazões em uma bacia íntegra e ser adequado para simular as vazões nesta microbacia se sujeita a outros usos de solo, vale ressaltar que o MESS merece ser melhorado e testado em outras situações.

Recomenda-se, ainda, que o modelo MESS seja aprimorado, não em sua conceituação, mas na sua utilização, tornando-o mais amigável e mais aberto à utilização com outras bacias.

O importante no presente trabalho foi validar a discretização da bacia para explicar o seu comportamento hidrológico, a fim de que seja possível a sobreposição

desta discretização com o levantamento de vegetação. Sob este aspecto, pode-se afirmar que o modelo MESS foi eficiente, respondendo positivamente à segunda questão levantada anteriormente.

5.3. A Integração dos Resultados Hidrológicos e do Levantamento da Vegetação

Pôde-se, a partir da figura 5, construir um esquema dos resultados obtidos no presente trabalho e através da revisão de literatura, onde buscou-se juntar a a função hidrológica da mata ripária (a mata protegendo o curso d'água) e a sua função ecológica (a mata protegendo a si mesma e à biodiversidade), ou seja, um esquema conceitual sobre o papel da mata ripária na manutenção da saúde da microbacia.

Este esquema (figura 29) é apenas conceitual e não pode ser considerado como definitivo devendo ser aprimorado à medida que mais estudos forem sendo realizados.

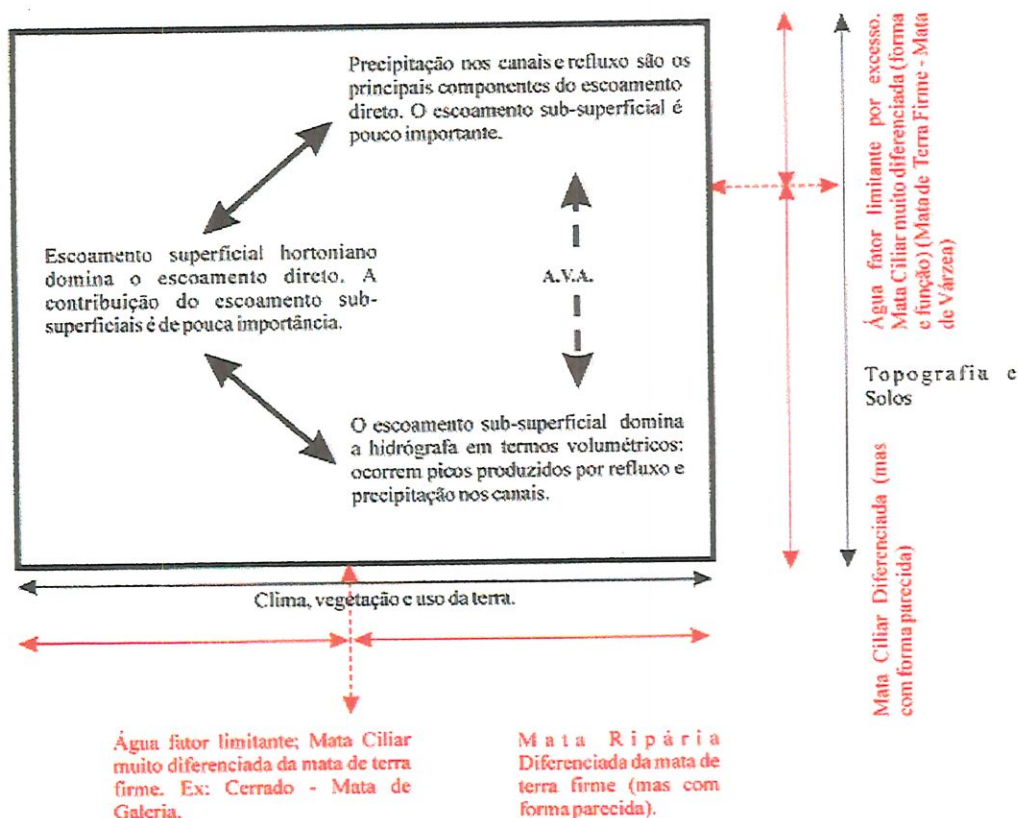


FIGURA 29 - Esquema comparativo entre os processos que influenciam no deflúvio e conseqüências sobre a presença de matas ciliares mais diferenciadas ou não da mata de terra firme (preparado a partir de CHORLEY, 1978).

Parece oportuno comparar o resultado encontrado para a zona ripária com a exigência da legislação, ou melhor dizendo com a interpretação que hoje é dada ao artigo 2º do Código Florestal. Esta comparação é apresentada na forma gráfica na figura 30.

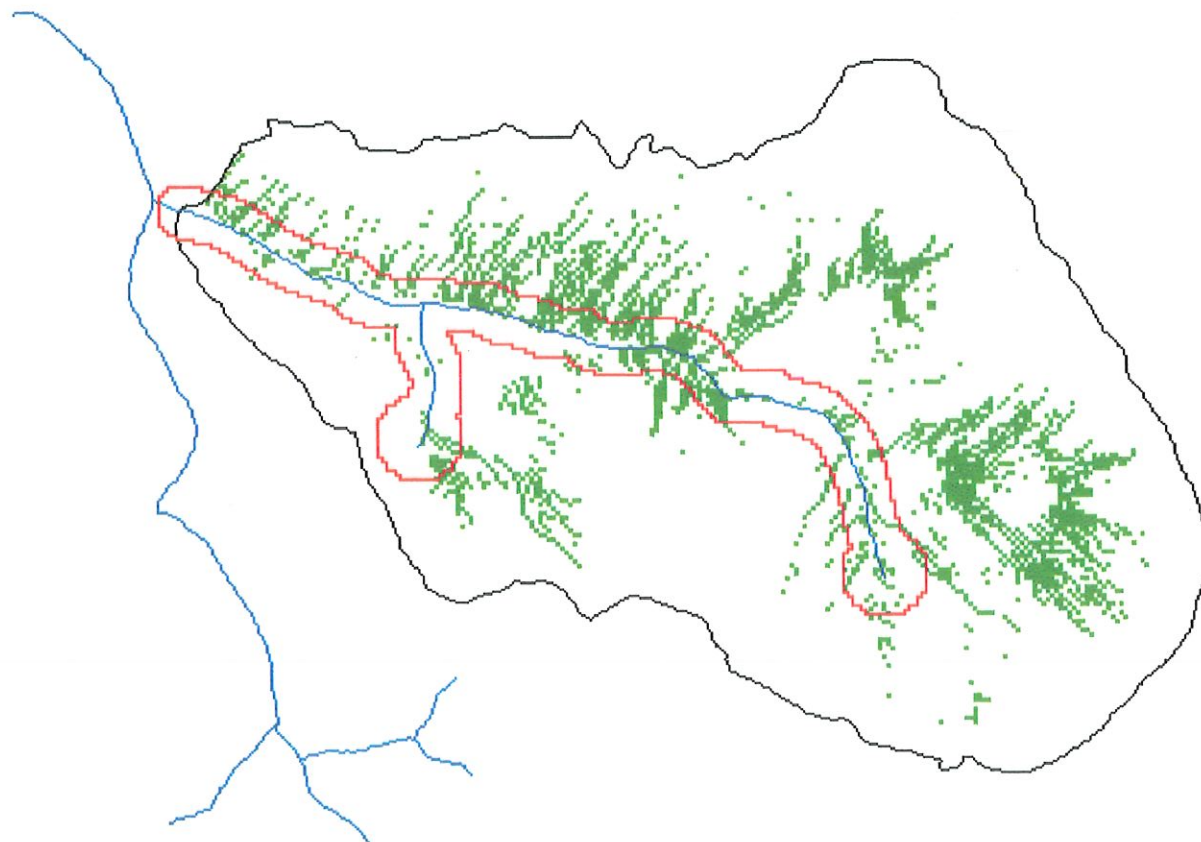


FIGURA 30 – Comparação entre a modelagem da zona ripária (verde) e a delimitação da mata ciliar (vermelho) exigida pelo código florestal, delimitada em vermelho.

É importante salientar que os canais intermitentes são importantes na geração do escoamento direto em uma microbacia e a proteção destes canais é imprescindível para a manutenção da saúde da microbacia. No entanto, não se sugere modificação na lei, que é bastante adequada para a proteção dos cursos d'água, mas vale a pena iniciar uma discussão sobre as bases técnicas das normas florestais vigentes. O que se sugere que estes conhecimentos devem ser incorporados ao manejo de bacias hidrográficas e ao monitoramento ambiental de microbacias. Uma microbacia pode ter sua zona ripária identificada e, portanto, sob uso especial.

No caso específico da INPACEL S/A, sugere-se que nas duas microbacias experimentais, instaladas para o monitoramento em áreas de produção de *Pinus*, que se identifique a zona ripária e onde não houver coincidência com a área de mata ciliar prevista no Código Florestal, que se estabeleça um manejo diferenciado, uma vez que se trata de outro site. Pode-se esperar que na zona ripária ocorra um crescimento diferenciado do *Pinus*, ou devido à maior disponibilidade de água em solos profundos(um site mais produtivo); ou devido à presença de solos muito rasos . Isto pode ser averiguado nos próximos inventários florestais. As áreas onde o maior crescimento se confirme, poderiam ser reservadas para o manejo do *Pinus* para serraria, cujo corte é seletivo. As áreas de solo raso devem ser de preservação.

5.4. Balanço Hídrico.

Os dados do primeiro ano de medição da precipitação e do deflúvio encontram-se na tabela 6.

TABELA 6 – Balanço hídrico da microbacia da Onça

<i>Início</i>	<i>Término</i>	<i>Precipitação (P) mm</i>	<i>Vazão observada (Q) mm</i>
06/09/94	10/09/94	0	0.2
10/09/94	16/09/94	0	0.7
16/09/94	22/09/94	0	1.2
22/09/94	28/09/94	0	0.8
28/09/94	30/09/94	0	0.2
30/09/94	06/10/94	6	0.8
06/10/94	20/10/94	16	1.5
20/10/94	04/11/94	33	11.0
04/11/94	18/11/94	91	4.8
18/11/94	25/11/94	1	0.9
25/11/94	02/12/94	63	0.7
02/12/94	08/12/94	43	28.1
08/12/94	16/12/94	2	0.3
16/12/94	22/12/94	40	1.0
22/12/94	30/12/94	35	3.0
30/12/94	05/01/95	77	4.0
05/01/95	12/01/95	329	82.0
12/01/95	26/01/95	32	17.0
26/01/95	09/02/95	189	22.0
09/02/95	23/02/95	24	16.1
23/02/95	09/03/95	12	3.2
09/03/95	23/03/95	44	1.3
23/03/95	06/04/95	89	2.7
06/04/95	20/04/95	63	5.0
20/04/95	05/05/95	0	3.6
05/05/95	20/05/95	35	15.0
20/05/95	02/06/95	0	1.4
02/06/95	16/06/95	22	2.6
16/06/95	29/06/95	75	5.8
29/06/95	13/07/95	57	13.4
13/07/95	27/07/95	11	8.0
27/07/95	11/08/95	32	1.0
11/08/95	23/08/95	1	0.7
23/08/95	06/09/95	0	0.9
Total	Anual	1422	261
%		100	18,4

Em termos anuais, portanto, considerando as suposições da equação (4), o balanço, deste primeiro ano hídrico da microbacia em estudo, pode ser observado na figura 31.

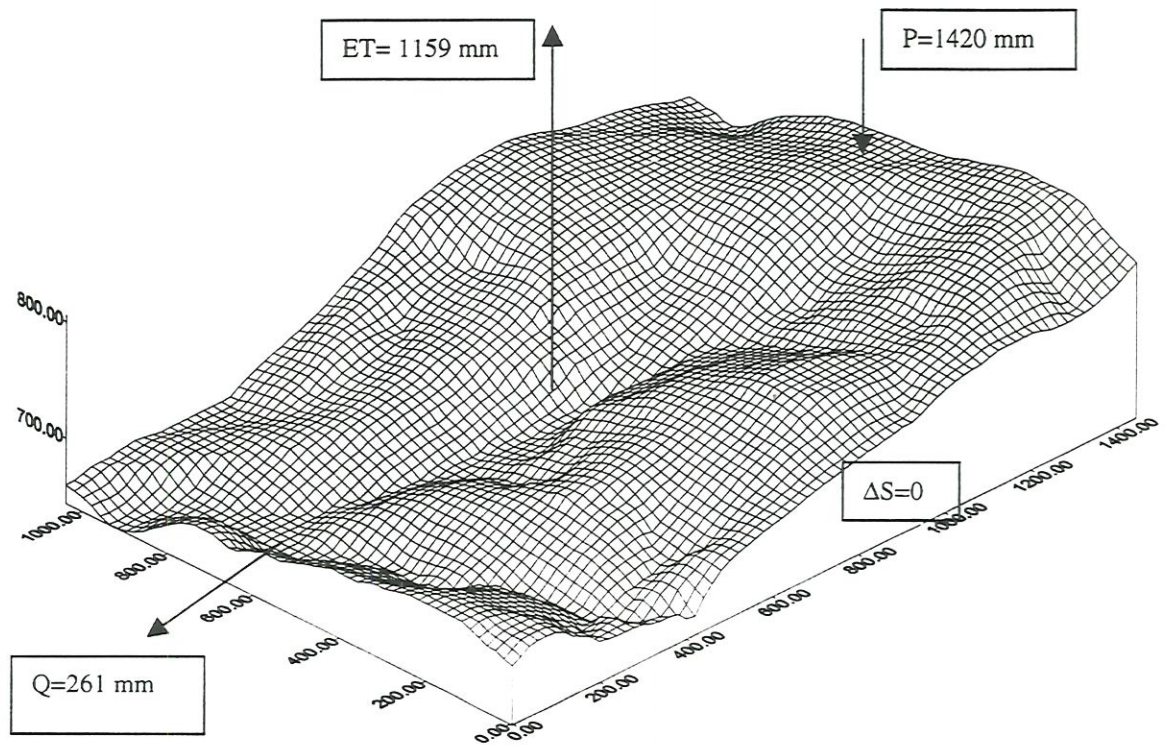


FIGURA 31 – Balanço hídrico anual (94/95) para a microbacia da Onça.

Os resultados encontrados para a microbacia da Onça revelam que a evapotranspiração encontra-se ligeiramente acima, porém, próxima do valor de evapotranspiração potencial estimada, a partir do programa evap.exe, que acompanha o TOPMODEL, que foi de 997 mm.

Outro aspecto importante a ser observado, nos dados da tabela 6, é o fato de os valores de vazão evidenciarem que a maior parte da água que caiu sobre a bacia infiltrou, o que é um requisito básico para a utilização do MESS e acima de tudo, é um indicador da saúde da microbacia, do ponto de vista hidrológico. E é com este enfoque, o da saúde da microbacia, que serão discutido os resultados integrados neste trabalho.

Enfocando a relação precipitação x vazão como indicador da saúde ou da integridade de uma microbacia apresenta-se, na figura 32, a relação precipitação x

vazão encontrada na microbacia da Onça, com resultados quinzenais, apresentados na tabela 6.

No entanto, resultados quinzenais permitem, apenas, uma primeira e geral análise daquela relação; portanto a figura 33 apresenta um gráfico com a relação precipitação-vazão na microbacia da Onça, durante um ano, com dados horários. Os dados originais dessa figura encontram-se no anexo III.

Na figura 32, o que mais chama a atenção é o período de janeiro com uma vazão muito maior que qualquer outra e, também, que esta vazão ocorre no período mais chuvoso e não na precipitação mais intensa. Portanto, cabe aqui mais uma “aproximação” nesta relação, destacando os seguintes períodos:

- a) 04/11/94 a 18/11/94 (Figura 34)
- b) 05/01/95 a 12/01/95 (Figura 35)
- c) 26/01/95 a 09/02/95 (Figura 36)



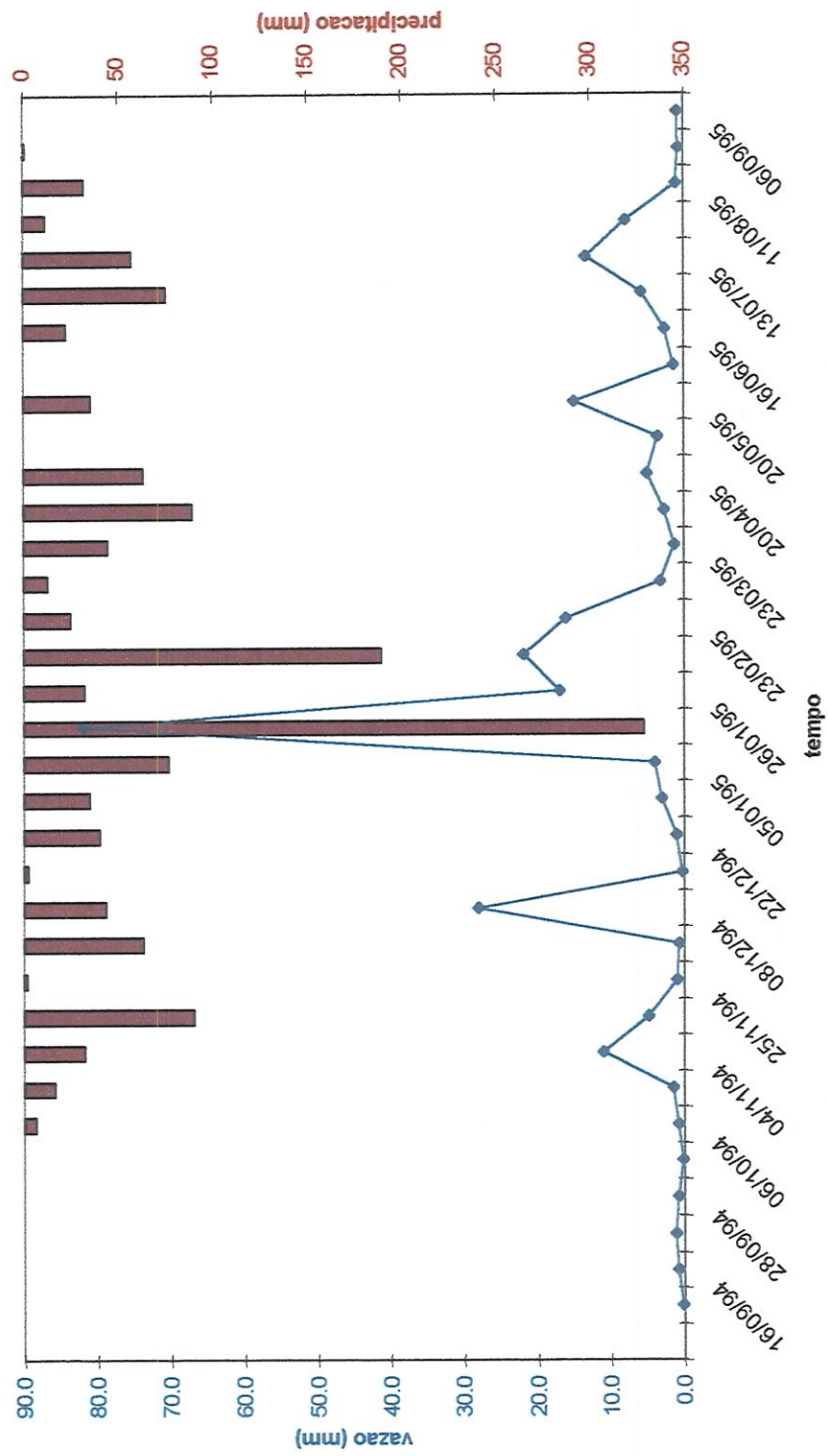
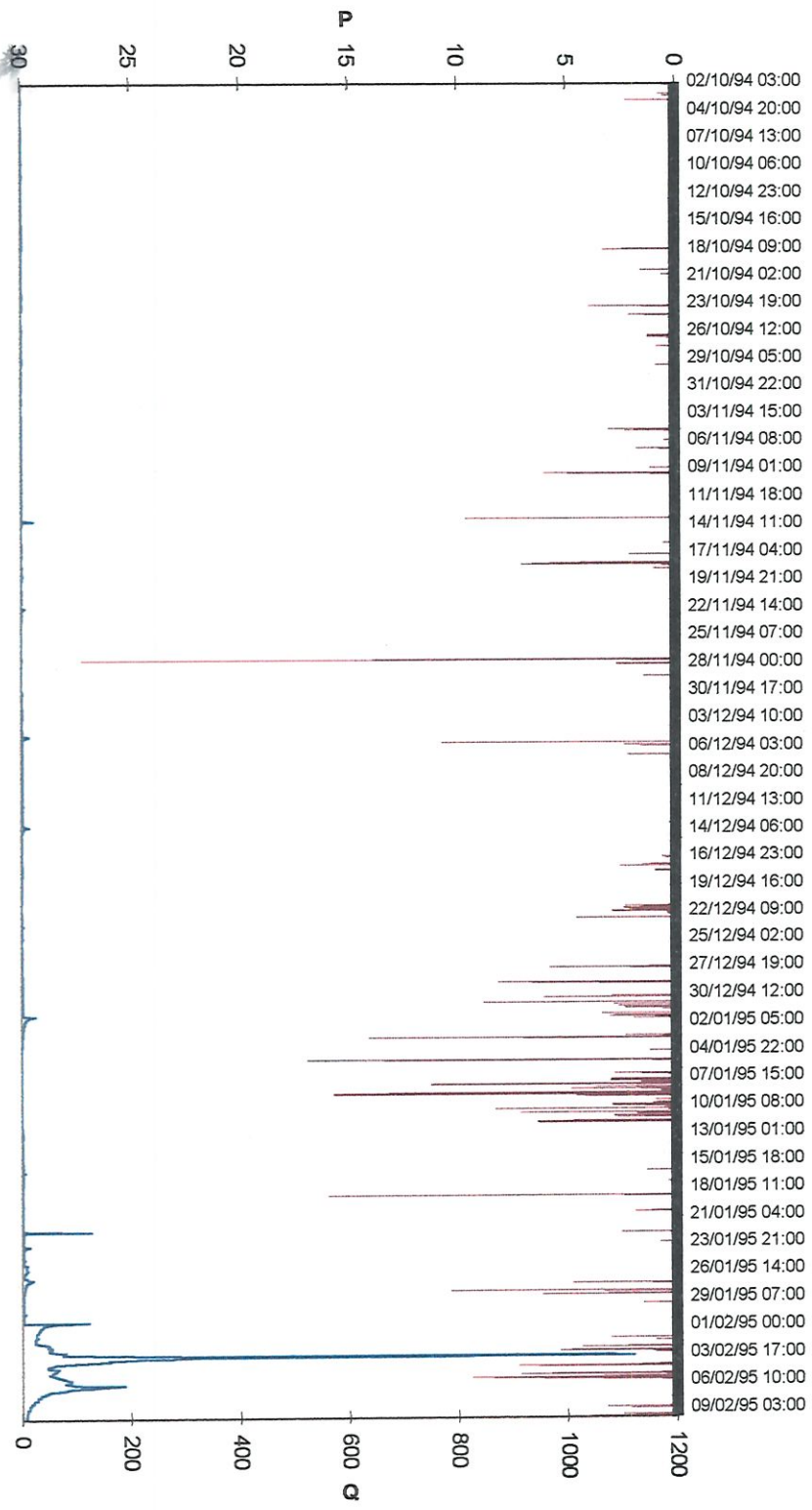


FIGURA 32 - Relação precipitação x vazão , com dados quinzenais, para a microbacia da Onça(ano 94/95)

FUGURA 33 – Relação precipitação (P) x vazão(Q) em mm, para o ano hídrico 94/95 na microbacia da Onça, (dados horários).



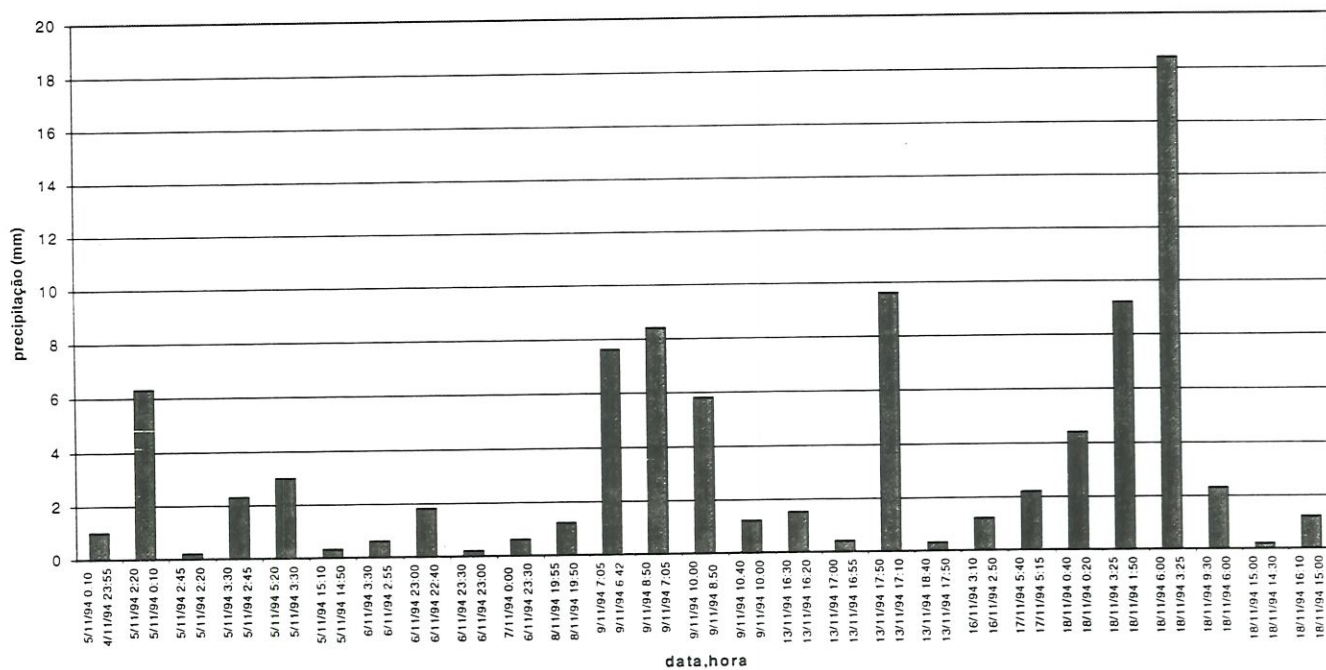
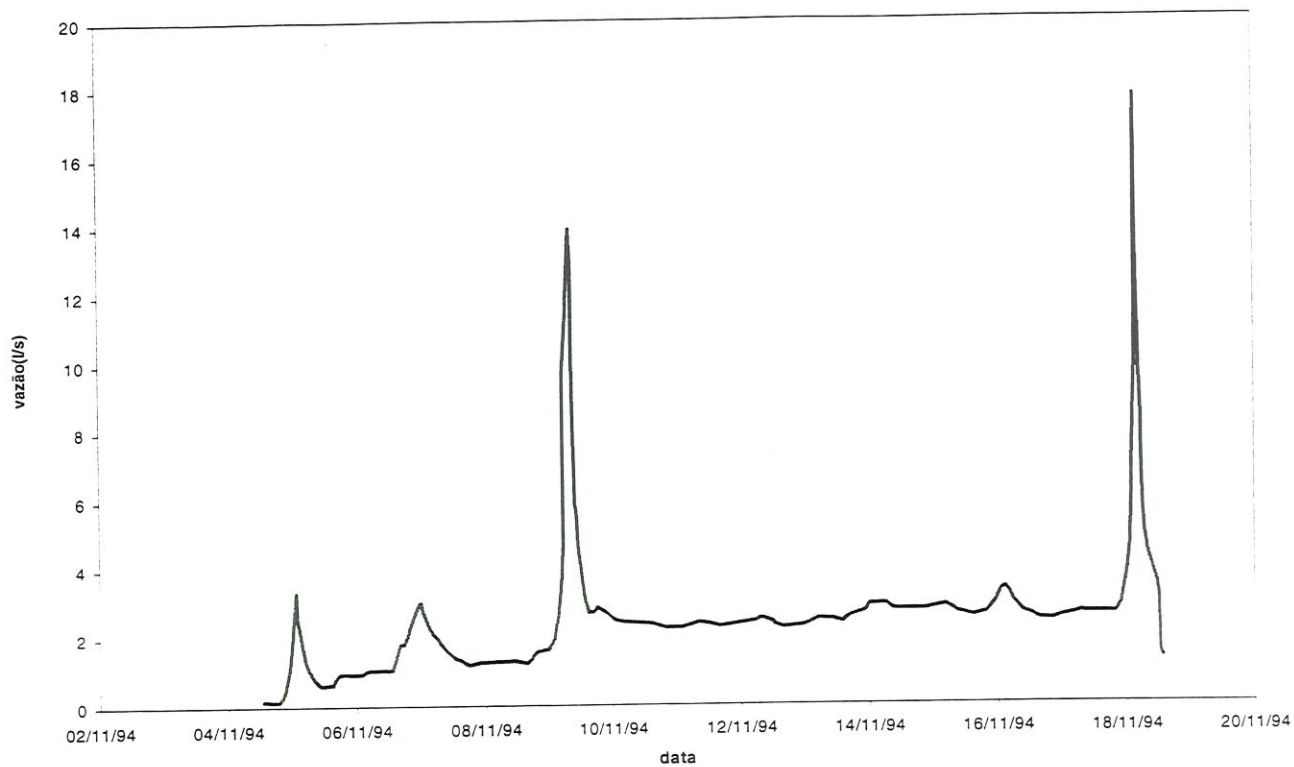


FIGURA 34 – Hidrograma e precipitação ocorridas na microbacia da Onça no período de 4 de novembro a 18 de novembro de 1994. (Escala de tempo não coincidentes)

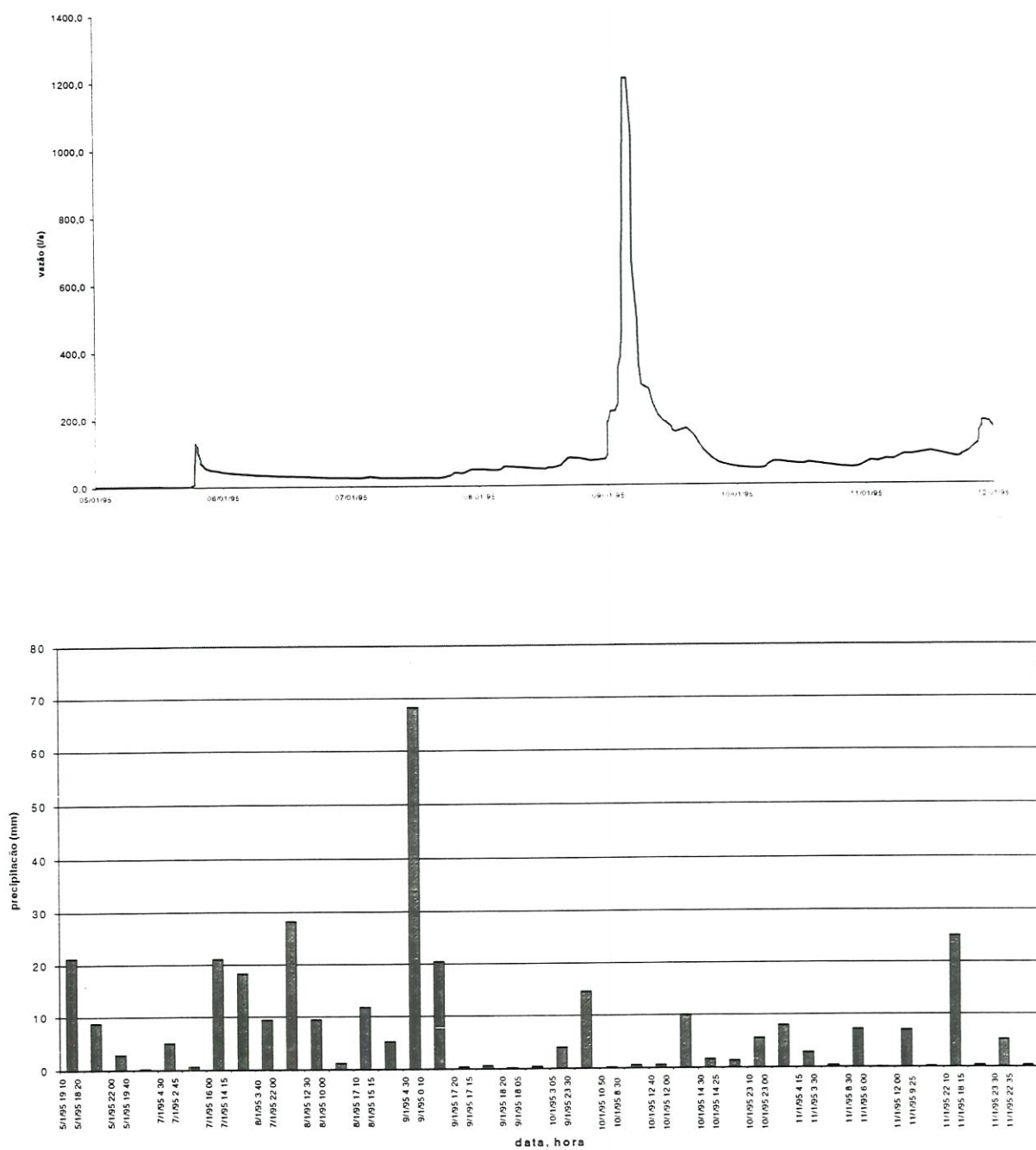


FIGURA 35 - Hidrograma e precipitação ocorridas na microbacia da Onça no período de 5 de janeiro a 12 de janeiro de 1995. (Escala de tempo não coincidentes)

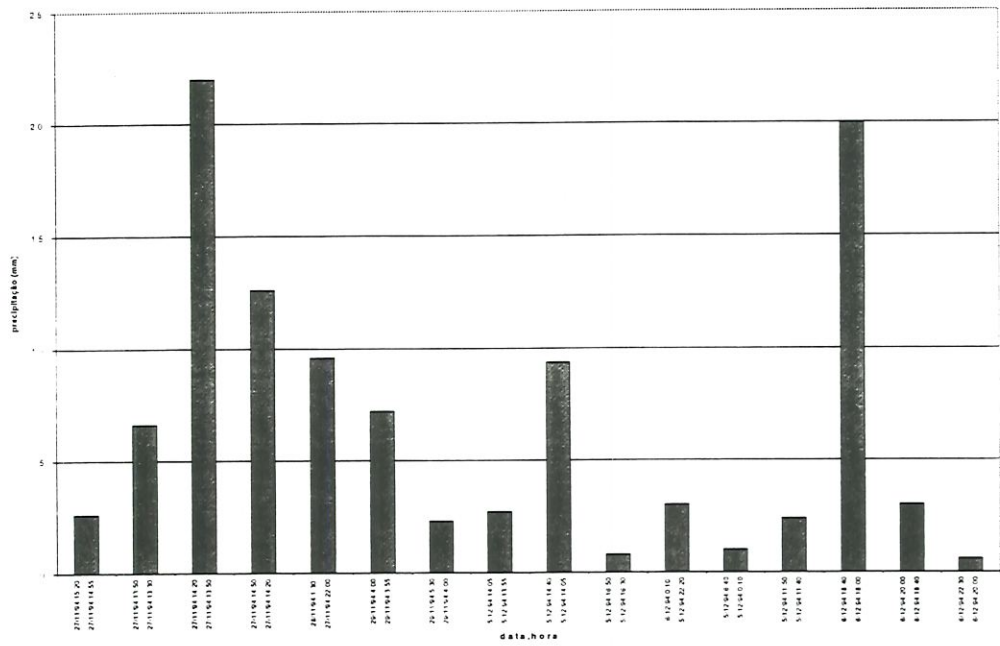
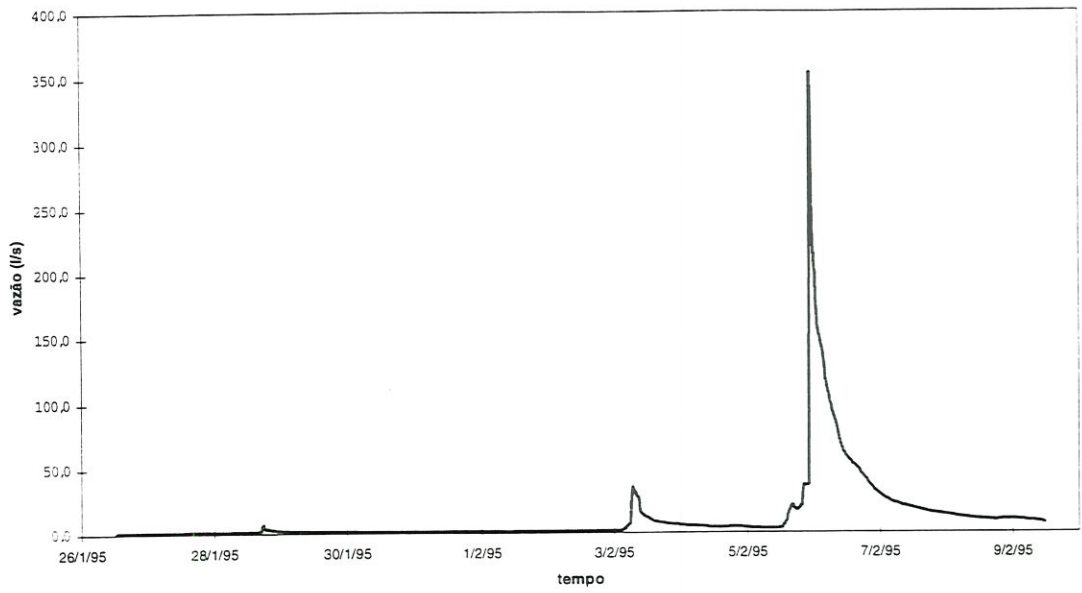


FIGURA 36 – Hidrograma e precipitação ocorridos na microbacia da Onça no período de 26 de janeiro a 9 de fevereiro de 1995.(Escala de tempo não coincidentes)

Para melhor analisar a relação precipitação x vazão na microbacia da Onça, deve-se lembrar que esta é uma bacia em boas condições de proteção florestal e com alta infiltração (lembrando da tabela 1).

No período de 5 de janeiro a 12 de janeiro houve uma conjunção de fatores, tais como: no dia 9 de janeiro o solo já se encontrava saturado quando ocorreu uma chuva de 68 mm em 4 horas e 20 minutos (figura 35). Neste caso, pode-se dizer que toda a bacia contribuiu para o escoamento direto, que foi predominantemente escoamento superficial. De fato, após este evento houve um acúmulo exagerado de sedimentos no tanque de sedimentação do vertedor.

Ao se apresentar os resultados da tabela 6 sob forma gráfica (dispersão), pode-se constatar o quanto a relação precipitação x vazão foi atípica naquele período. Pôde-se fazer uma tentativa de se desenhar um retângulo – 200 mm de P x 28 mm de Q, dentro do qual o uso do solo (floresta) é mais importante na produção de água que a precipitação. (Figura 37)

Evidentemente trata-se de uma primeira tentativa de caracterização numérica. É antes de tudo uma inquietação que deve estar presente na continuação dos trabalhos nesta e em outras microbacias. O que se espera é que diferentes tipos de uso de solo apresentem retângulos diferentes, podendo vir a ser um bom indicador da manutenção ou não da saúde de uma microbacia.

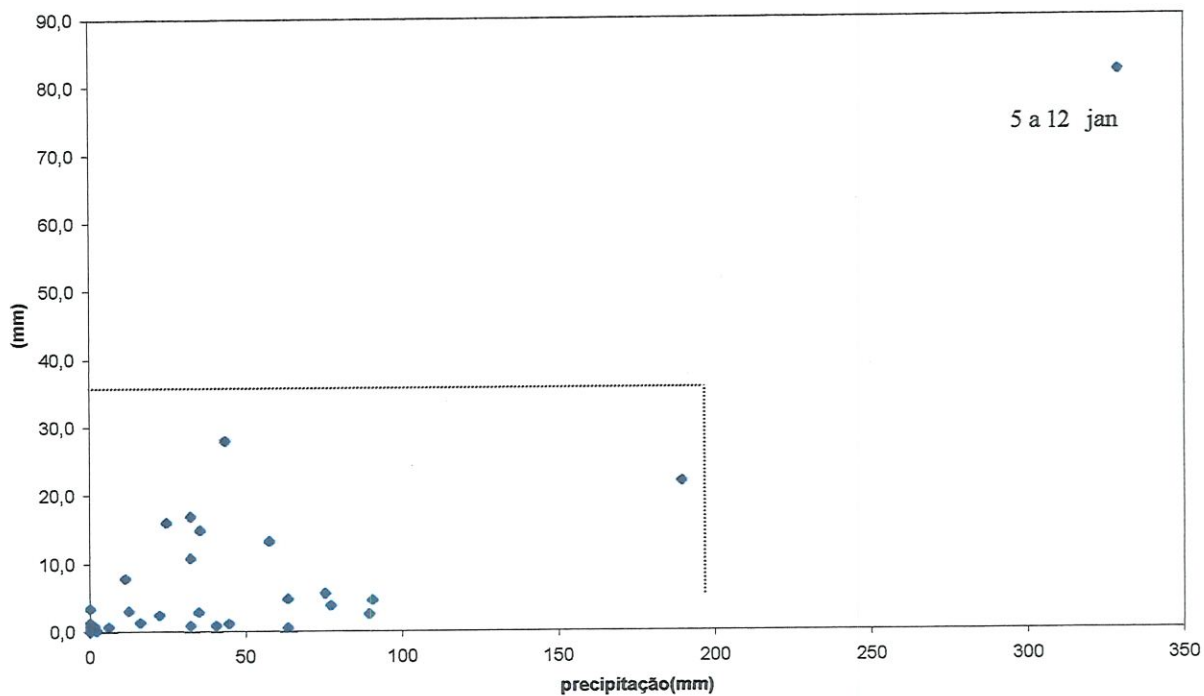
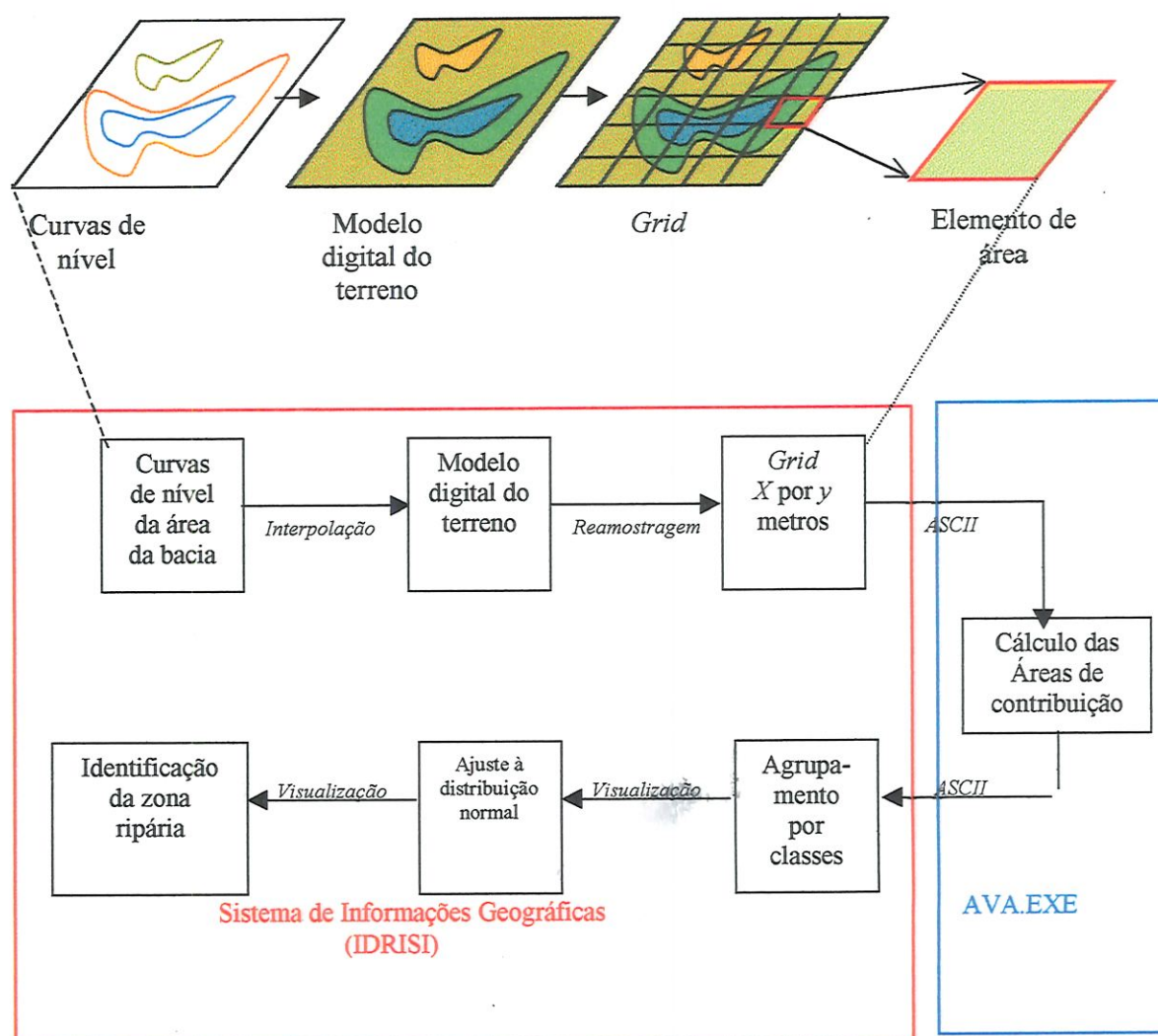


FIGURA 37 – Tentativa de caracterização numérica da influência da floresta sobre a relação Precipitação x vazão quinzenais na microbacia da Onça.

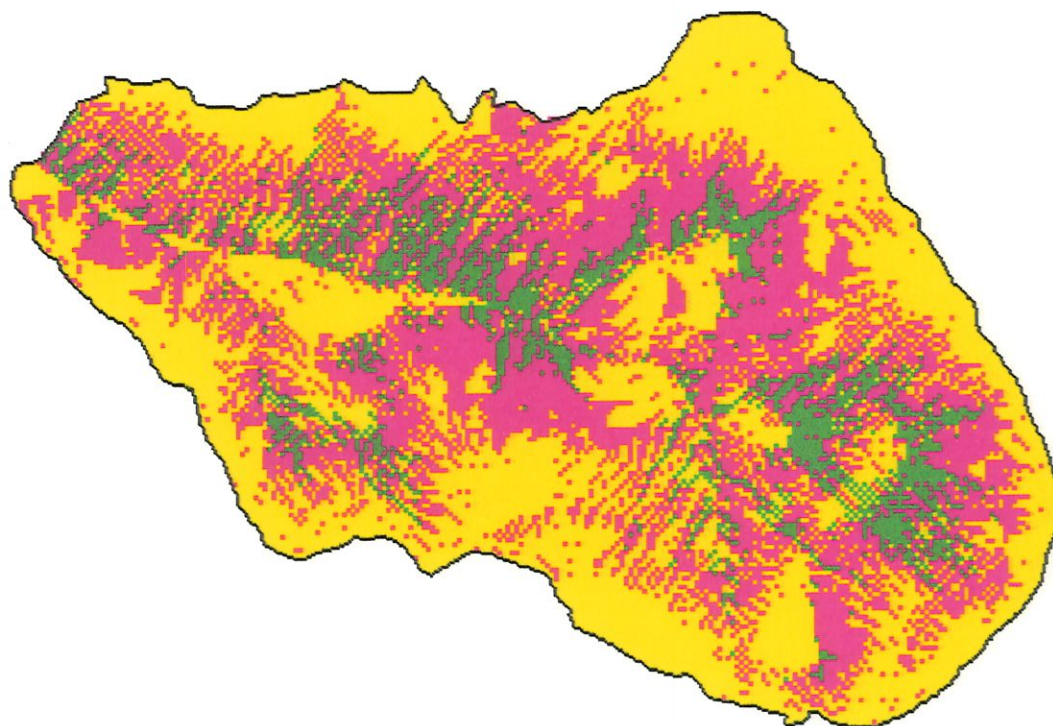
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

a) A zona ripária pode ser identificada a partir do modelo de elevação do terreno, através do modelo numérico gerado pelo programa AVA.EXE, que é um programa modificado a partir do DTM9501.EXE, que acompanha o TOPMODEL. Esta identificação só será válida se o escoamento direto da bacia for predominantemente representado pelo escoamento sub-superficial;

A metodologia desenvolvida/ adaptada para a identificação da zona ripária foi:



b) Para a microbacia em estudo a zona ripária pôde ser identificada, representando 10,4% da área da bacia (em verde), conforme a imagem a seguir :



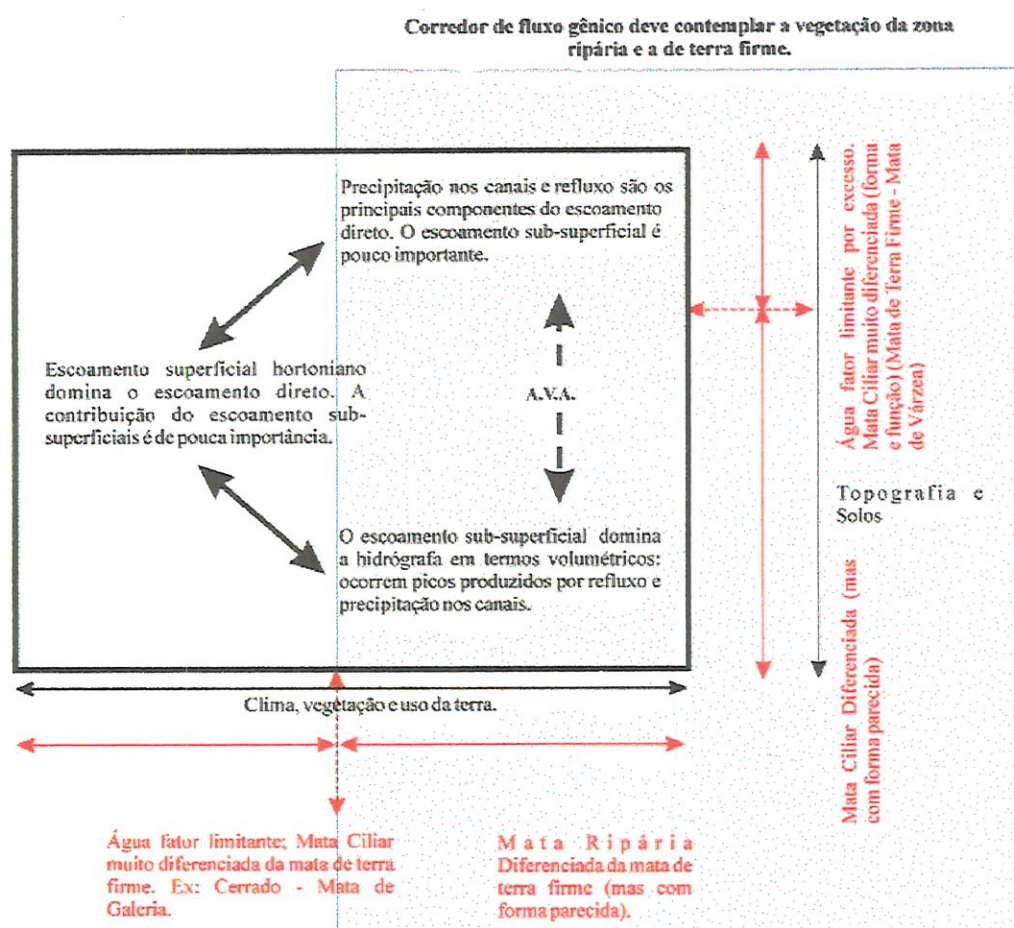
Além disto puderam ser identificadas mais duas zonas na microbacia: a zona intermediária (vermelho) e a zona alta (amarelo)

c) Na região da área experimental, as espécies arbóreas *Vacum* (*Allophyllus edulis* (St. Hill) Radlk) e *Gorocaia* (*Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan) são indicadoras da zona ripária ; desde que os indivíduos tenham DAP predominantemente superior a 7 cm.

d) A largura da mata ciliar prevista no código florestal (Lei 4771/67) embora seja adequada para a proteção física dos cursos d'água , não o é em

termos ecológicos . Desta forma, recomenda-se nos trabalhos de recuperação de matas ciliares e, principalmente, ao se implantarem corredores para união de fragmentos florestais, que se identifique a localização destes fragmentos dentro da microbacia , para que se faça um corredor realmente eficiente, que una física e geneticamente estes fragmentos.

Uma primeira tentativa de diferenciação da zona ripária em relação ao ecossistema de terra firme pode ser visto no esquema a seguir.



e) Recomenda-se à INPACEL S/A que, dentro de seu Sistema de Informação Geográfica (SIG) , seja incluída a identificação das microbacias que compõem suas fazendas florestais e que estas microbacias sejam divididas em 3 zonas:

- zona ripária;
- zona intermediária; e
- zona alta.

Na zona alta, a colheita florestal poderia ser feita também nos períodos chuvosos. Na zona intermediária, a colheita deve ser feita preferencialmente nos períodos secos e na zona ripária deve ter como melhor uso a sua preservação. Em casos onde a zona ripária exceda o previsto pelo código florestal , seria recomendável um manejo diferenciado, evitando-se o corte raso, que poderia ser o manejo das árvores para serraria; além disto, recomenda-se, ainda, que se faça uma análise diferenciada por zonas, durante o inventário florestal, das árvores de Pinus para que se constate se há um maior crescimento destas árvores dentro da zona ripária ,devido à maior disponibilidade de água. Este trabalho deve ser testado primeiramente nas duas microbacias cobertas com Pinus e que vem sendo monitoradas há 2 anos:

f) O modelo MESS, para simulação de vazões, mostrou-se adequado e tem a vantagem de contemplar o coeficiente superficial. Os parâmetros de ajuste do modelo podem ser utilizados como indicadores da integridade e da saúde da microbacia. Dentro deste enfoque, recomenda-se um aprimoramento do modelo, para incluir rotinas gráficas, tornando-o mais completo e amigável. É importante notar que o MESS pode vir a ser uma importante ferramenta para simular o comportamento hidrológico de uma microbacia, sob diferentes usos de solo:

g) A não coincidência entre a zona ripária e a mata ciliar prevista em lei, não deve (e não pode) ser encarada como uma necessidade de se mudar a lei, mas sim de começar a discutir as bases técnicas da legislação florestal em vigor. A identificação da zona ripária deve ser encarada com um requisito básico, para o manejo sustentável, ou seja, para a manutenção da saúde da microbacia. É, portanto, um instrumento de manejo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, M.G. & BURT, T.P. (1990). Subsurface Runoff. In: *Process Studies In Hillslope Hydrology*. Anderson & Burt (Eds). John Willey & Sons.
- AREND, J.L. (1942). Infiltration as affected by the forest floor. *Soil Science Society of America Proc.*, 6: 430-435.
- AZEVEDO NETO, J.M. & ALVAREZ, G.A. (1982). *Manual de Hidráulica*. Edgard Blucher. São Paulo. v2. 335p.
- BAKER, S.E. (1984). *The development, current use and effectiveness of streamside buffer zones in precluding sediment delivery to forest streams*. North Caroline State University. (MS Thesis)
- BARGALI, S.S. & SINGH, S.P. (1991). Aspects of productivity and nutrient cycling in an 8-year-old *Eucalyptus* plantation in a moist plain area adjacent to central Himalaya, India. *Canadian Journal of Forest Research*, 21(9): 1365-1372.
- BERTONI, J.E.A. & MARTINS, F.R. (1987). Composição florística de uma floresta ripária na Reserva Estadual de Porto Ferreira, SP. *Acta botânica brasileira*, 1(1): 17-26.
- BETSON, R.P. (1964). What is Watershed Runoff ? *Journal of Geophysical Research*, 69(8): 1541-1552
- BEVEN, K.; QUINN, P.; ROMANOVICZ, R. ; FREER, J. ; FISHER, J. & LAMB, R. (1995). TOPMODEL AND GRIDATB: A user's guide to the distributions versions. *CRES Technical Report TR110*. 2nd ed. Lancaster University. p26
- BEVEN, K.J. & KIRBY, M.J. (1978). A physically based variable contribution area model of basin hydrology. *Hydrological Sc. Bull.* 24(1): 43-69
- BRICKER, O.P.; PACES, T.; JOHNSON, C.E.; SVERDRUP, H. (1994). Wathering and erosion aspects of small catchment research. *Biogeochemistry of Small*

- Catchment: a tool for Environmental Research*. Moldan & Cerny (eds.) John Wiley, Chichester: 85-106.
- BRASIL. Leis (1967) . O código florestal brasileiro. Lei 4.771/67.
- BRASIL. Leis (1989) – 1989. Torna obrigatória a revegetação de nascentes. LEI 7.754/Br
- CATHARINO,(1989). In: BARBOSA, L.M. (coord.) SIMPÓSIO SOBRE MATA CILIAR. São Paulo, abr. 11-15, 1989. *Anais*. Fundação Cargill.
- CHORLEY,R.J. (1978). The hillslope hydrological cycle. In: *Hillslope Hydrology*. KIRBY, M.J.(Ed). John Wiley and sons: 1-42.
- DELITTI, W.B.C. (1989). Ciclagem de nutrientes minerais em matas ciliares. In: BARBOSA, L.M. (coord.) SIMPÓSIO SOBRE MATA CILIAR. São Paulo, abr. 11-15, 1989. *Anais*. Fundação Cargill. P. 88-98.
- DICKINSON, W.T. & WHITELEY, H. (1970). Watershed areas contributing to runoff. In: *Colloque sur les résultats des recherches sur les bassins représentatifs et expérimentaux*. IASH (16). p.1.12-1.26.
- DUNNE, T. (1978). Fields Study of hillslope flow processes. In: *Hillslope Hydrology* KIRKBY ed. John Willey & Sons. p 227-293
- DURIGAN, G. (1990). Taxa de sobrevivência e crescimento inicial das espécies em plantio de recomposição da mata ciliar. *Acta botanica brasiliens* 4(2): 35-40.
- DURIGAN, G. (1994). *Florística, fitossociologia e produção de folheto em matas ciliares da região oeste do Estado de São Paulo*. Campinas. IB-UNICAMP. (Tese Doutorado).
- EMMETT, B.A.; HUDSON, J.A.; COWARO, P.A. & REYNOLDS, B. (1994). The impact of a riparian wetland on stream water quality in a recently afforested upland catchment. *Journal of Hydrology*. 162: 337-353.
- FAO. (1976) . Pequenas Obras Hidráulicas. *Estudio FAO:Riego y Drenage*.26(1) 377p.
- FRANKLIN, J.F. (1988). Structural and functional diversity in temperate forests. In: *Biodiversity*. E.O.Wilson (Ed.) National Academy Press: 166-175.
- FRANCHINI, M.; WENDLING,J.; OBLED,C. & TODINIE. (1996). Physical interpretation and sensitivity analysis of TOPMODEL. *Journal of Hydrology*. 175: 293-338.

- GANDARA, F.B.; ZAKIA, M.J.B.; KAGEYAMA, P.Y.; LIMA, W.P. & CESARE, C.G. (1996). Padrões de distribuição espacial de espécies arbóreas em relação ao curso d'água em duas microbacias, em Arapoti, Parana. In: International Symposium on Assessment and Monitory of Forests in Tropical Dry Regions with Special Reference to Gallery Forests. *Abstracts*. p. 19
- GERMAN, P.F. (1990). Macropores and hydrologic hillslope processes. In: *Process Studies in Hillslope Hydrology*. Anderson & Burt (Eds). John Willey & Sons. p. 327-364.
- GIBBS, P.E. & LEITÃO FILHO, H.F. (1978). Floristic composition of an area of gallery forest near Mogi-Guaçu, State of São Paulo, SE Brazil. *Revista Brasileira de Botânica*, 3:17-22.
- GRAYSON, R.G.; MOORE, I.D.; McMAHON, T.A. (1992). Physically based hydrologic modeling, 1. Is the concept realistic? *Water Resources Research*, v. 28. P. 2859-66.
- GREGORY, K.J. & WALLING, D.F. (1973). *Drainage Basin Form and Process - A Geomorphological Approach*. John Willey & Sons, New York. 456 p.
- GREGORY, W.V.; SWANSON, F.J.; MCKEE, W.A.; CUMMINS, K.W. (1991). An ecosystem perspective of riparian zones. *Bioscience*, 41(8): 540-551.
- HEWLETT, J.D. & HIBBERT, A.R. (1967). Factors Affecting the response of small watersheds to precipitation in humid areas. *International Symposium of Forest Hydrology*. Pergamon Press. p. 275-290
- HEWLETT, J.D. & NUTTER, W.L. (1969). *An Outline of Forest Hydrology*. University of Georgia Press. 137 p.
- HEWLETT, J.D., 1974. Comments on letters relating to "Role of subsurface flow in generating surface runoff, 2, upstream source areas" by R.Allan Freeze. *Water Resources Research*, 10 (3): 605-607
- HIBBERT, A.R. & TROENDLE, C.A. (1988). *Streamflow generation by variable source area*. Forest Hydrology and Ecology at Coweeta. Swank & Crossley (Eds). Springer-Verlag: 111:127
- HILL, A.R. (1996). Nitrate removal in Stream Riparian zones. *J. Environ Qual.* 25:743-755.

- HORTON, R.E., (1933). The role of infiltration in the hydrologic cycle. *Trans. Amer. Geoph. Union*, 14: 446-460.
- HORTON, R.E. (1940). An approach toward a physical interpretation of infiltration capacity. *Soil Science Society of America Proc*, 5: 399-417.
- IORGULESCU, I. & JORDAN, J.P. (1994). Validation of TOPMODEL on a small Swiss catchment. *Journal of Hydrology*, 159: 255-273
- JOLY, C.A. (1992). Biodiversity of the gallery forest and its role in soil stability in the Jacaré-Pepira watershed, State of São Paulo, Brazil. In: JENSEN, A.(Ed.) *Ecotones at the river basin scale global land/water interactions - Proceedings of ecotones regions workshop*. Barmera, South Australia. MAB/UNESCO.
- KAGEYAMA, P.K.; BIELLA, L.C. & PALERMO JR., (1990). Plantações mistas com espécies nativas para a proteção a reservatórios. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO. *Anais*.
- KARR, J.R. & SCHLOSSER, I.R. (1978). Water resources and land-water interface. *Science*, 20:229-234.
- KITTREDGE, J. (1948). *Forest Influences*. McGraw-Hill.
- KUNKLE, S.H. (1974). Agua - su calidad suele depender del forestal. *Unasyva*. 26(105):10-16.
- LAWS, J.O. (1941). Measurements of the fall velocity of water drops and raindrops. *Trans. Amer. Geoph. Union*, 22:709-721.
- LEOPOLD, L.B.; WOLMAN, M.G.; MILLER, J.P. (1964). *Fluvial Processes in Geomorphology*. W.H. Freeman & Co. San Francisco. 522p.
- LIKENS, G.E. (1992). *The Ecosystem Approach: its Use and Abuse* In: Excellence in Ecology . Kinne, O. Ed. book 3 , 1992 165p.
- LIKENS, G.E.; BORMANN, R.S.; PIERCE, R.S.; EATON., JOHNSON, N.M. (1977). *Biogeochemistry of a forested ecosystem*. Springer-Verlag, New York. 146p.
- LIMA, W.P. (1989). Função hidrológica da mata ciliar. In: BARBOSA, L.M. (coord.) *Simpósio Sobre Mata Ciliar*. São Paulo, abr. 11-15, *Anais*. Fundação Cargill.p 25-42.
- LIMA, W.P. (1993). *O Impacto Ambiental do Eucalipto*. 2 ed. EDUSP. 301p

- LIMA, W.P. (1994). Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas. *Apostila LCF/ESALQ*. Piracicaba, SP
- LIMA, W.P. (1995). Hidrologia de zonas ripárias. In: II Simposio sobre Matas Ciliares. *Anais*. no prelo.
- LIMA, W.P. (1995b). Tecnologia limpa no manejo florestal. *TecBahia*, 10(3): 28-34.
- LIMA, W.P. (1997). Indicadores hidrológicos do manejo sustentável de plantações de eucalipto. IUFRO Conference on Silviculture and Improvements of Eucalypts, Vol. 4. EMBRAPA, Colombo: 12-29.
- LIMA, W.P. et al (1998). Rede de monitoramento ambiental em microbacias: Indicadores hidrológicos do manejo florestal sustentável. In: Branco, E.F. (ed.) *Relatório anual -1997*. IPEF/LCF-ESALQ-USP
- LOWRANCE, R.; TODD, R.; FAIL Jr., J.; HENDRICKSON Jr., O.; LEONARD, R. & ASMUSSEN, L. (1984). Riparian forests as nutrient filters in agricultural watersheds. *Bioscience*, 34(6): 374-377.
- LULL, H.W. (1969). Ecological and silvicultural aspects. In: *Handbook of Applied Hydrology*. V.T. Chow. (Ed.). McGraw-Hill. p.6.1 - 6.30.
- MANTOVANI, W.; ROSSI, L.; ROMANIUC NETO, S.; ASSAD-LUDEWIGS, I.Y.; WANDERLEY, M.G.L.; MELSO, M.M.R.F. & TOLEDO, C.B. (1989). Estudo fitossociológico de mata ciliar em Mogi-Guaçu, SP., São Paulo, Brasil. In BARBOSA, L.M. (coord.) Simpósio Sobre Mata Ciliar. São Paulo, abr. 11-15, *Anais*. Fundação Cargill. p. 235-267.
- MORAES, J.M. (1998). *Aplicação do TOPMODEL na bacia do Rio Corumbataí*. Relatório de pós doutorado FAPESP/CENA.
- MUSGRAVE, G.W. & HOLTAN, H.N. (1964). Infiltration. In: *Handbook of Applied Hydrology*. V.T. CHOW (Ed.) McGraw-Hill. p.12.1 -12.30.
- NOGUEIRA, J.C.B. (1977). Reflorestamento heterogêneo com essências indígenas. *Boletim Técnico* I.F. São Paulo, 24: 1-77.
- O'LOUGHLIN, E.M. (1981). Saturation regions in catchments and their relations to soil and topographic properties. *Journal of Hydrology*, 53: 229-246.
- OMERNIC, K.J.M.; ABERNATHY, A.R. & MALE, L.M. (1981). Stream nutrient levels and proximity of agricultural and forest land to streams: some relationships. *Journal of Soil and Water Conservation* 36(4):227-231.

- PASSOS, J.R. de S. (1993). Modelagem e Simulação de Hidrógrafas .Dissertação Mestrado ESALQ. Piracicaba. 166p.
- PETERJHON, W.T. & CORREL, D.L. (1984). Nutrient dynamics in an agricultural watershed: observations on the role of a riparian forest. *Ecology*, 65(5): 1466-1475.
- PIERCE, R.S. (1967). Evidence of overland flow on forest watershed. In: *International Symposium on Forest Hydrology*. Pergamon Press. p 247-254.
- POGGIANI, F. (1985). Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de plantações florestais de *Eucalyptus* e *Pinus*: implicações silviculturais. ESALQ/USP. Tese de Livre Docência, 211p.
- QUINN, P.F., BEVEN, K.J. & LAMB, R. (1995). The $\ln(a/\tan B)$ index: how to calculate it and how to use it in TOPMODEL framework. *Hydrological Process*, 9:161-182
- RIGHETTO, A.M. (1997). O modelo MESS para simulação da vazão. No prelo.
- RODIER, J.A. (1976). Utilization of the results from representative and experimental basins with a view to the management of water resources. *Hydrological Sciences Bulletin*, Oxford, 21(4): 531-44.
- RODRIGUES, R.R. (1991). *Análise de um remanescente de vegetação natural às margens do Rio Passa-cinco*, Ipeúna, SP. Campinas. IB/UNICAMP (Tese de Doutorado).
- SALVADOR, J.G.L. (1987). Considerações sobre as matas ciliares e a implantação de reflorestamentos mistos nas margens de rios e reservatórios. São Paulo. CESP. 29p. (*Série divulgação e informação 105*)
- SAULNIER, G.M. (1996). *Information pedologique spatialisée et traitements topographiques améliorés dans la modélisation hydrologique par TOPMODEL*, INPG GRENOBLE, FRANÇA. (Tese Doutorado) 288p.
- STHALER, A.N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Trans. American Geophysical Union*, 38: 913:920
- SWANK, W.T. & JOHNSON, C.E. (1994). Small catchment research in the evaluation and development of forest management practices. *Biogeochemistry of Small Catchments: a tool for environmental research*. Moldan & Cerny (eds.) John Wiley, Chichester: 383-408.

- TRIMBLE Jr., G.R. & LULL, W.H. (1956). The role of forest humus in watershed management in New England. U.S. Forest Service, *Northeastern Forest Research Station, Station Paper n° 85.*, 65-67.
- VITAL, A.R.T. (1996). *Efeito do corte raso no balanço hídrico e na ciclagem de nutrientes em uma microbacia reflorestada com eucalipto*. Dissertação de Mestrado. ESALQ/USP. 98p.
- WALKER, J. & REUTER, D.J. (1996). *Indicators of Catchment Health: a Technical Perspective*. CSIRO, Australia. 174 p.
- WHITEHEAD, P.G. & ROBINSON, M. (1993). Experimental basin studies - an international and historical perspective of forest impacts. *Journal of Hydrology*. Amsterdam, 145: 217-30.
- PINTO, N.L.S.; HOLTZ, A.C.T.; MARTINS, J.A., 1973. *Hidrologia de Superfície*. Editora Edgard-Blucher. 179 p.
- REINHART, K.G. & PIERCE, R.S., 1964. Stream-gaging stations for research on small watersheds. USDA Forest Service, *Agriculture Handbook N° 268*. 37 p.