
GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA
SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO URBANO E MEIO AMBIENTE - SDM
SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO RURAL E DA AGRICULTURA - SDA

***PLANO DE GESTÃO E GERENCIAMENTO DA BACIA DO
RIO ARARANGUÁ***

ZONEAMENTO DA DISPONIBILIDADE E DA QUALIDADE HÍDRICA



PLANO DE GESTÃO E GERENCIAMENTO DA BACIA DO RIO ARARANGUÁ

- ZONEAMENTO DA DISPONIBILIDADE E DA QUALIDADE HÍDRICA -

- Volume I - Documento Síntese
- Volume II - Caracterização Hidrológica
- Volume III - Análise das Características Físicas**
- Volume IV - Disponibilidade das Águas Superficiais
- Volume V - Usuários e Fontes de Poluição
- Volume VI - Cadastro de Indústrias e de Mineradoras
- Volume VII - Cadastro Geral de Irrigantes
- Volume VIII - Cadastro Individual de Irrigantes
- Volume IX - Avaliação Preliminar do Potencial Hidrogeológico
Cadastro de Poços Tubulares Profundos
Usuários de Águas Subterrâneas

Santa Catarina. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente/Secretaria de Estado do Desenvolvimento Rural e da Agricultura.

Plano de gestão e gerenciamento da bacia do Rio Araranguá - zoneamento da disponibilidade e da qualidade hídrica. Florianópolis, 1997.

9v.

1. Recursos hídricos - Santa Catarina. I. Santa Catarina. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Rural e da Agricultura. II. Título.

CDU 556.51 (816.4)

Mapa

Verso Mapa

GOVERNADOR DO ESTADO DE SANTA CATARINA
Paulo Afonso Evangelista Vieira

VICE-GOVERNADOR DO ESTADO DE SANTA CATARINA
José Augusto Hulse

SECRETÁRIO DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO URBANO E MEIO
AMBIENTE
Ademar Frederico Duwe

SECRETÁRIO ADJUNTO
Neuzildo Borba Fernandes

DIRETORIA DE RECURSOS NATURAIS E GESTÃO AMBIENTAL -SDM
GERENTE DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS
Ciro Loureiro Rocha

SECRETÁRIO DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO RURAL E DA
AGRICULTURA
Gelson Sorgato

SECRETÁRIO ADJUNTO
Aldair Kozuchovski

DIRETOR DE RECURSOS NATURAIS - SDA
José Antônio da Silva

Verso folha governo

VOLUME III

ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

COORDENAÇÃO GERAL E TÉCNICA

SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO URBANO E MEIO AMBIENTE

Fís. Héctor Raúl Muñoz Espinosa - (Diretor da Dima/SDM até maio/97)
Engº Ciro Loureiro Rocha - Gerente da Gehid/Dima/SDM

PARTICIPAÇÃO

Engº André Labanowski - Gehid/Dima/SDM
Geóg. Rui Batista Antunes

COORDENAÇÃO DA EXECUÇÃO

INSTITUTO CEPA/SC

Engº Agrº Jairo Afonso Henkes - Secretário Executivo
Econ. Vitório Manoel Varaschin - Gerente da GPO
Engº Agrº Walter Antônio Casagrande - Gerente do Projeto
Engº Agrº José Maria Paul, M.Sc.

EQUIPE TÉCNICA RESPONSÁVEL

EPAGRI - ADMINISTRAÇÃO REGIONAL DE URUSSANGA

Coordenação

Engº Agrº Darci Antônio Althoff, M.Sc*.

Geoprocessamento

Geog. Valci Francisco Vieira**
Eng. Civil Adilson de F. Zamparetti**
Eng. Civil Marco Antônio Zanela**

Digitalização

Zelia Mercedes Andreolli - Digitalizadora**

Setorização e Delimitação da Rede de Drenagem

Engª Agrª Mara Cristina Benz, M.Sc**.
Engª Agrª Yara Maria Alves Chain**

Planimetria e Comprimento de Mananciais

Desen. Jorge Luiz Inácio*
Hidrotécnico Paulo R. J. Gustavo***

* Epagri - Administração Regional de Urussanga

** Epagri - Administração Estadual - Gerência de Recursos Naturais - GRN

*** Fundagro - Administração Regional de Urussanga

Descrição Agroclimática

Engº Agrº Augusto Carlos Pola, M.Sc.

Verso ficha técnica

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	11
ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ARARANGUÁ.....	13
PARTE 1 - (CHRISTOFOLETTI, A. 1980).....	13
PADRÃO DE DRENAGEM	13
2. ANÁLISE DA BACIA.....	15
2.1 Metodologias existentes.....	15
3. ANÁLISE LINEAR DA REDE HIDROGRÁFICA.....	17
3.1 Relação de bifurcação	17
3.2 Relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem.....	18
3.3 Relação entre o índice do comprimento médio dos canais e o índice de bifurcação	19
3.4 Comprimento do rio principal	19
3.5 Extensão do percurso superficial.....	20
3.6 Relação do equivalente vetorial	20
3.7 Gradiente dos canais.....	21
4. ANÁLISE AREAL DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS	21
4.1 Área da bacia (A)	21
4.2 Comprimento do bacia (L)	21
4.3 Relação entre o comprimento rio principal e a área da bacia.....	22
4.4 Forma da bacia.....	22
4.5 Densidade de rios	23
4.6 Densidade da drenagem.....	24
4.7 Densidade de segmentos da bacia (F_s).....	24
4.8 Relação entre as áreas das bacias (R_a).....	25
4.9 Coeficiente de manutenção.....	26
5. ANÁLISE HIPSOMÉTRICA.....	26
5.1 curva hipsométrica.....	26
5.2 coeficiente de massividade e o coeficiente orográfico.....	27
5.3 Amplitude altimétrica máxima da bacia (H_m).....	28
5.4 Relação de relevo (R_r)	28
5.5 Índice de rugosidade(I_r)	29
6. ANÁLISE TOPOLÓGICA.....	30
PARTE 2 (VILLELA & MATTOS 1975).....	32
METODOLOGIA ADOTADA NA CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA BACIA.....	32
1. ÁREA DE DRENAGEM.....	32
2. FORMA DA MICROBACIA.....	32
2.1. Coeficiente de Compacidade (K_c):.....	32
2.2 Fator de Forma da bacia (K_f).....	32
2.3. Sistema de Drenagem.....	33
2.3.1. Ordem do rio principal	33

2.3.2. Densidade de drenagem	33
2.3.3. Extensão média do escoamento superficial (I)	33
2.3.4. Sinuosidade do curso de água (Sin)	33
2.4. Características do Relevo.....	34
2.4.1. Curva Hipsométrica.....	34
2.4.2. Declividade de álveo	34
2.4.3. Declividade da microbacia.....	34
2.5. Tempo de concentração.....	34
PARTE 3 (PANICCHI <i>et all</i> 1994).....	36
1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA MICROBACIA.....	36
2. ÁREA DE DRENAGEM.....	36
2.1. Forma da microbacia	36
2.2. Coeficiente de compacidade	36
2.3. Fator de forma.....	37
3. SISTEMA DE DRENAGEM	37
3.1. Ordem dos cursos de água.....	37
3.1.1. Densidade de drenagem (Dd)	38
3.1.2. Extensão média do escoamento superficial (I)	38
3.1.3. Sinuosidade do curso d'água ou índice de sinuosidade (Is)	38
3.2. Características do relevo.....	39
3.2.1. Declividade da bacia.....	39
3.2.2. Curva hipsométrica.....	40
3.2.3. Declividade de álveo	40
3.3. Tempo de concentração (TC).....	40
DADOS FÍSICOS DA BACIA DO RIO ARARANGUÁ.....	41
SISTEMA DE DRENAGEM	44
Ordem Dos Cursos D'água.....	44
Densidade de Drenagem.....	45
Densidade de Segmentos da Mesobacia.....	46
Extensão Média do Escoamento Superficial (I).....	49
Sinuosidade do Curso d'Água ou Índice de Sinuosidade (Is).....	49
Declividade do álveo	50
Curva Hipsométrica.....	55
Tempo de concentração.....	59
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	61

INTRODUÇÃO

Na tomada de decisão na adoção de uma determinada metodologia, prevê-se um conhecimento de outras metodologias. Como estamos apresentando os resultados de nosso trabalho sob forma de relatório, tomamos a liberdade de apresentar outras metodologias e definições, que achamos de interesse, de muitos termos técnicos para facilitar o entendimento do leitor, o qual pode não estar familiarizado com a área hidrológica. Boa parte do texto elucidativo é de trabalhos já publicados por outros autores, cuja citação está relacionada na bibliografia consultada.

Esta primeira parte do relatório será elucidativa, contendo a metodologia de CHRISTOFOLETTI, A. (1980), a segunda conterà a metodologia utilizada para caracterizar a bacia e/ou mesobacias segundo VILLELA, S. M. & MATTOS, A. (1975); a terceira será uma junção das duas metodologias conforme PANICHI J. de A. V. et all (1994), a quarta constará dos resultados encontrados.

Verso Introdução

ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ARARANGUÁ

PARTE 1 - (CHRISTOFOLETTI, A. 1980)

PADRÃO DE DRENAGEM

Os estudos relacionados com as drenagens fluviais sempre tiveram função relevante na Geomorfologia (ciência que estuda as formas do relevo) e a análise da rede hidrográfica pode levar à compreensão e elucidação de numerosas questões geomorfológicas, pois os cursos de água constituem processo morfogenético dos mais ativos na esculturação da paisagem terrestre.

A drenagem fluvial é composta por um conjunto de canais interrelacionados que formam a bacia de drenagem, definida como a área drenada por um determinado rio ou por um sistema fluvial. A quantidade de água que atinge os cursos fluviais está na dependência do tamanho da área ocupada pela bacia da precipitação total e de seu regime, e das perdas devidas a evapotranspiração e à infiltração.

O estudo hidrológico e das características físicas de uma bacia hidrográfica tem aplicação nas diferentes áreas:

- a) escolha de fontes de abastecimento de água para uso doméstico ou industrial;
- b) projeto e construção de obras hidráulicas:
 - fixação das dimensões hidráulicas de obras, tais como: pontes, bueiros, etc;
 - projeto de barragens, localização e escolha do tipo de barragem, de fundação e extravasor, dimensionamento;
 - estabelecimento do método de construção;
- c) drenagem:
 - estudo das características do lençol freático;
 - exame das condições de alimentação e de escoamento natural do lençol, precipitações, bacia de contribuição e nível d'água nos cursos d'água;
- d) irrigação:
 - problema de escolha do manancial;
 - estudo de evaporação e infiltração;
- e) regularização de cursos d'água e controle de inundações;
 - estudo das variações de vazão, previsão de vazões máximas;
 - exame das oscilações de nível e das áreas de inundação;

f) controle da poluição;

- análise da capacidade de recebimento de corpos receptores dos efluentes de sistemas de esgotos, vazões mínimas de cursos d'água, capacidade de reaeração e velocidade de escoamento;

g) controle da erosão:

- análise de intensidade e frequência das precipitações máximas, determinação do coeficiente de escoamento superficial;
- estudo da ação erosiva das águas e da proteção por meio de vegetação e outros recursos;

h) navegação;

- obtenção de dados e estudos sobre construção e manutenção de canais navegáveis;

i) aproveitamento hidrelétrico:

- previsão das vazões máximas, mínimas e médias dos cursos d'água para o estudo econômico e o dimensionamento das instalações de aproveitamento;
- verificação da necessidade de reservatório de acumulação, determinação dos elementos necessários ao projeto e construção do mesmo, bacias hidrográficas, volumes armazenáveis, perdas por evaporação e infiltração;

j) operação de sistemas hidráulicos complexos;

l) recreação e preservação do meio ambiente;

m) preservação e desenvolvimento da vida aquática;

Quanto à classificação, de acordo com o escoamento global, a Bacia do Rio Araranguá é do tipo **EXORREICA** (onde o escoamento das águas se faz de modo contínuo até o mar ou oceano, isto é, a bacia hidrográfica desemboca diretamente no nível marinho).

Além das bacias, os rios, individualmente, também foram objeto de classificação. William Morris Davis propôs várias designações, considerando a linha geral do escoamento dos cursos d'água em relação à inclinação das camadas geológicas. Para a Bacia do Rio Araranguá, os rios seriam classificados como **CONSEQUENTES**, ou seja, aqueles cujo curso foi determinado pela declividade da superfície terrestre, em geral coincidindo com a direção da inclinação principal das camadas. Tais rios formam cursos de lineamento reto em direção às baixadas, compondo uma drenagem paralela. Os estudos dos padrões de drenagem foram assunto amplamente debatido na literatura geomorfológica. Os padrões de drenagem referem-se ao arranjo espacial dos cursos fluviais, que podem ser influenciados em sua atividade morfogenética pela natureza e disposição das camadas rochosas, pela resistência variável, pelas diferenças de declividade e pela evolução geomorfológica da região. Uma ou várias bacias de drenagem podem estar englobadas na caracterização de determinado padrão.

A classificação sistemática da configuração da drenagem foi levada a efeito por vários especialistas. O número de unidades discernidas varia de autor para autor, porque uns fixam seu interesse nos tipos fundamentais da drenagem, enquanto outros estendem sua análise aos tipos derivados e até aos mais complexos. Utilizando-se do critério geométrico, da disposição fluvial sem nenhum sentido genético, a Bacia do Rio Araranguá situa-se no tipo básico de padrão de drenagem como **PARALELA**, onde os cursos de água, sobre uma área

considerável, ou em numerosos exemplos sucessivos, escoam quase paralelamente uns aos outros. Devido a essa disposição, também são denominados de cauda equina ou rabo de cavalo. Esse tipo de drenagem localiza-se em áreas onde há presença de vertentes com declividades acentuadas ou onde existem controles estruturais que motivam a concorrência de espaçamento regular, quase paralelo, das correntes fluviais. É discernida como do subtipo **SUBPARALELA**, pois os cursos de água assemelham-se à disposição geral mas sem a regularidade da configuração paralela.

2. ANÁLISE DA BACIA

2.1 METODOLOGIAS EXISTENTES

A análise de bacias hidrográficas começou a apresentar caráter mais objetivo a partir de 1945. Robert E. Horton, procurou estabelecer as leis do desenvolvimento dos rios e de suas bacias.

- Hierarquia fluvial

Consiste no processo de se estabelecer a classificação de determinado curso de água (ou da área drenada que lhe pertence) no conjunto total da bacia hidrográfica na qual se encontra.

Robert E. Horton, em 1945, foi quem propôs, de modo mais preciso, os critérios para a ordenação dos cursos d'água. Para este autor, os canais de primeira ordem são aqueles que não possuem tributários (= afluentes); os canais de segunda ordem somente recebem afluentes de primeira ordem; os de terceira ordem podem receber um ou mais tributários de segunda ordem, mas também podem receber afluentes de primeira ordem; os de quarta ordem recebem tributários de terceira ordem e também, os de ordem inferior. E assim sucessivamente. Porém, na ordenação proposta por Horton, o rio principal é consignado pelo mesmo número de ordem desde a sua nascente. Para se determinar qual é o afluente e qual o canal principal a partir da última bifurcação, podem ser usadas as seguintes regras:

- a) Partindo da jusante da confluência, estender a linha do curso de água para montante, para além da bifurcação, seguindo a mesma direção. O canal confluyente que apresentar maior ângulo é o de ordem menor.
- b) Se ambos os cursos possuem o mesmo ângulo, o rio de menor extensão é geralmente designado como de ordem mais baixa.

Muitos pesquisadores seguiram este critério na determinação da ordem dos canais. Outros pesquisadores, considerando a necessidade inerente de decisões subjetivas no sistema de Horton adotaram um sistema diferente, que foi introduzido por Arthur N. Strahler, em 1952. Para este autor, os menores canais, sem tributários, são considerados como de primeira ordem, estendendo-se desde a nascente até a confluência; os canais de segunda ordem surgem da confluência de dois canais de primeira ordem, e só recebem afluentes de primeira ordem; os canais de terceira ordem surgem da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo receber afluentes de segunda e primeira ordens; os canais de quarta ordem surgem da confluência de dois canais de terceira ordem, podendo receber tributários das ordens inferiores. E assim sucessivamente. A ordenação proposta por Strahler elimina o conceito de que o rio principal deve ter o mesmo número de ordem em toda a sua extensão e a necessidade de se refazer a numeração a cada confluência.

Em ambos os procedimentos verifica-se que a rede de canais pode ser decomposta em segmentos discretos, cada um composto por um ou mais segmentos de acordo com as regras do sistema de ordenação, e a área superficial que contribui para cada subconjunto é a bacia

de drenagem que lhe está associada. Desta maneira, o conceito de ordem ou de hierarquia é aplicável à rede de canais como às bacias hidrográficas.

Considerando a relação de bifurcação entre as várias ordens, estabeleceu-se ter o número de canais que pode ser aplicada com a mesma exatidão nas bacias hierárquicas conforme o sistema de Horton ou de acordo com o processo de Strahler. Deve-se lembrar que a quantidade de rios existentes em determinada bacia hidrográfica é obtida pela soma dos canais nas diversas ordens, se se utilizar do processo de Horton, que corresponderá ao número de canais de primeira ordem na classificação de Strahler.

Sob o ponto de vista hidrológico, toda junção contribui para modificar a ordem do canal principal, alterando suas propriedades dentro da rede e criando um novo segmento.

Considerando que na natureza, sob condições geográficas e climáticas similares, a descarga e outras características hidrológicas dependem, em grande parte, do número de canais existentes na área. Adrian E. Scheidegger, em 1965, propôs outro sistema de ordenação fluvial, denominando-o método de *ordenação dos canais uniformes*. A definição de ordem uniforme relaciona-se às *conexões* ou *ligamentos* fluviais, que são os trechos de canais ao longo dos quais não ocorre nenhuma junção, pois toda confluência que se efetua em um segmento altera a numeração. A ordem uniforme N de qualquer conexão, formada pela confluência de dois canais de ordem r, s, é formada pela lei de composição logarítmica,

$$N = \log_2 (2^r + 2^s)$$

que exprime o fato de que todas as junções em uma rede fluvial são consideradas, o que explica que todos os efeitos e consequências de todos os tributários de qualquer ordem sobre o rio principal são levadas em consideração.

Scheidegger começa por estabelecer para cada canal de primeira ordem (de acordo com Strahler) o valor numérico igual a 2, e a cada confluência vai se processando a somatória dos valores atribuídos. Dessa maneira, se dividirmos o número de ordem de qualquer conexão pelo valor 2, obteremos a quantidade de canais fontes de primeira ordem que contribuíram para a referida conexão da bacia hidrográfica; podemos calcular o número de nascentes contribuintes para o rio principal.

No mesmo sentido é a contribuição de Shreve (1966:1967) que estabelece a magnitude de determinado ligamento ou de determinada bacia hidrográfica. A magnitude de um ligamento de uma rede de canais é definida da seguinte maneira:

- a) Cada ligamento exterior tem magnitude 1, entendendo-se como ligamento exterior o canal que vai desde a nascente até uma confluência.
- b) Se ligamentos de magnitudes “u₁” e “u₂” se juntam, o ligamento resultante a jusante terá magnitude “u₁” mais “u₂”. A magnitude de um ligamento é igual ao número total de nascentes que lhe são tributárias. Esse procedimento visa a considerar que a entrada de um tributário de ordem inferior altera a ordem do rio principal, pois ele reflete a quantidade de canais de primeira ordem que contribui para a sua alimentação.

A proposição introduzida por Strahler é a mais amplamente utilizada, em virtude do caráter descritivo e do relacionamento com as leis de composição de drenagem. Por outro lado, as proposições de Scheidegger e de Shreve são mais lógicas sob o aspecto hidrológico. Todavia, os diversos modos de ordenação são úteis porque propiciam maneira fácil e rápida de quantitativamente designar qualquer rio ou segmento fluvial em qualquer parte do mundo.

As proposições de Strahler e de Shreve envolvem alguns conceitos que se torna necessário definir, empregados tanto para a análise morfométrica como para a análise topológica de bacias hidrográficas. Os conceitos são os seguintes:

- a) “Rede fluvial” ou “rede de canais” é o padrão inter-relacionado de drenagem formado por um conjunto de rios em determinada área, a partir de qualquer número de fontes até a desembocadura da referida rede.
- b) “Fonte” ou “nascente” de um rio é o lugar onde o canal se inicia, e “desembocadura” é o ponto final, a jusante, de toda a rede.
- c) “Confluência” ou “junção” é o lugar onde dois canais se encontram. Na análise morfométrica e topológica não são permitidas junções triplíceis.
- d) “Segmento fluvial” é o trecho do rio ou do canal ao longo do qual a ordem (no sentido estabelecido por Strahler), que lhe é associada, permanece constante.
- e) “Ligamentos” ou “ligações” são trechos de/ou segmentos de canais que não recebem afluentes, estendendo-se entre uma fonte e a primeira confluência, a jusante, entre duas junções consecutivas, ou entre a desembocadura e a primeira junção, a montante. Os ligamentos que se estendem de uma nascente até a primeira confluência são denominados “ligamentos exteriores”, enquanto os demais são denominados “ligamentos interiores”. Em vista destas definições, o número de ligamentos exteriores será igual ao número de nascentes, ou de segmentos de primeira ordem, ou de magnitude da rede. O número de ligamentos interiores será igual ao número de nascentes (n) menos ($n - 1$), e o total dos ligamentos em determinada rede é igual a $2n - 1$.

A análise morfométrica de bacias hidrográficas inicia-se pela ordenação dos canais fluviais, com a finalidade de estabelecer a hierarquia fluvial. A partir de então, processa-se a análise dos aspectos lineares, areais e hipsométricos.

3. ANÁLISE LINEAR DA REDE HIDROGRÁFICA

Na análise linear são englobados os índices e relações a propósito da rede hidrográfica, cujas medições necessárias são efetuadas ao longo das linhas de escoamento. Podemos distinguir os seguintes:

3.1 RELAÇÃO DE BIFURCAÇÃO

Ela foi definida por R.E. Horton (1945) como sendo a relação entre o número total de segmentos de uma certa ordem e o número total dos de ordem imediatamente superior. Acatando-se o sistema de ordenação de Strahler, verifica-se que o resultado nunca pode ser inferior a 2. A expressão usada para o cálculo é representada por:

$$R_b = \frac{N_u}{N_{u+1}}$$

no qual “ N_u ” é o número de segmentos de determinada ordem e “ $N_{u + 1}$ ” é o número de segmentos da ordem imediatamente superior.

Baseando-se na análise da relação de bifurcação, R. E. Horton (1945) expressou uma das leis da composição da drenagem que pode ser enunciada da seguinte maneira: *Em uma bacia determinada, a soma do número de canais de cada ordem forma uma forma geométrica inversa, cujo primeiro termo é a unidade de primeira ordem e a razão é a relação de bifurcação.*

A lei do número de canais não considera nenhuma mensuração, mas somente o ponto de origem e a confluência dos segmentos. Ela pode ser aplicada com a mesma exatidão nas bacias hierarquizadas, conforme o sistema de Horton ou com a de Strahler.

A definição e o reconhecimento preciso dos cursos fluviais, nos mapas, nas fotografias aéreas ou no terreno, são questões fundamentais para a lei do número de canais, é evidente que a precisão e os detalhes variam em função da escala utilizada na confecção das cartas topográficas. Outro ponto importante é distinguir entre o escoamento fluvial e o escoamento pluvial. O primeiro pode ser considerado como escoamento através de canais nitidamente marcados e compoendo uma rede permanente na topografia. O escoamento pluvial estabelece-se sobre as vertentes e os seus canais não devem ser levados em consideração no estabelecimento das redes hidrográficas.

3.2 RELAÇÃO ENTRE O COMPRIMENTO MÉDIO DOS CANAIS DE CADA ORDEM

O comprimento dos canais pode ser representado pela letra “L”. Representando-se também cada ordem de canais pela letra “u”, a soma total dos comprimentos dos canais de cada ordem será “Lu”, e o comprimento total de todos os cursos de água de uma bacia será representado por “L”. Para se calcular o comprimento médio dos segmentos fluviais, “Lm”, divide-se a soma dos comprimentos dos canais de cada ordem “Lu” pelo número de segmentos encontrados na respectiva ordem “Nu”. Dessa maneira usamos:

$$Lm = \frac{Lu}{Nu}$$

O estudo da relação entre o comprimento médio dos canais foi inicialmente feito por R.E. Horton (1945), o que propiciou ao referido autor expressar outra lei básica de composição da drenagem, que pode ser enunciada da seguinte maneira: *Em uma bacia determinada, os comprimentos médios dos canais de cada ordem ordenam-se segundo uma série geométrica direta, cujo primeiro termo é o comprimento médio dos canais de primeira ordem, e a razão é a relação entre os comprimentos médios.*

Para calcular a relação entre os comprimentos médios, emprega-se a seguinte equação:

$$RLm = \frac{Lm_u}{Lm_{u-1}}$$

onde Rlm é a relação entre os comprimentos médios dos canais; Lm_u é o comprimento médio dos canais de determinada ordem e Lm_{u-1} é o comprimento médio dos canais de ordem imediatamente inferior.

3.3 RELAÇÃO ENTRE O ÍNDICE DO COMPRIMENTO MÉDIO DOS CANAIS E O ÍNDICE DE BIFURCAÇÃO

Horton realizou o estabelecimento dessa relação que é *um importante fator entre a composição da drenagem e o desenvolvimento fisiográfico das bacias hidrográficas*. Isso porque, se a relação entre o comprimento médio e índice de bifurcação for igual, o tamanho médio dos canais crescerá ou diminuirá na mesma proporção. Caso não seja igual, o que é mais comum, o tamanho dos canais poderá diminuir ou aumentar progressivamente com a elevação da ordem dos canais, pois são os *fatores hidrológicos, morfológicos e geológicos que determinam o último grau do desenvolvimento da drenagem em determinada bacia*.

A fórmula para calculá-la é expressa por:

$$R_{ib} = \frac{R_{im}}{R_b}$$

na qual R_{ib} = relação entre o índice do comprimento médio e o de bifurcação, R_{im} = índice do comprimento médio entre duas ordens subsequentes e R_b = relação de bifurcação entre as mesmas duas ordens subsequentes.

3.4 COMPRIMENTO DO RIO PRINCIPAL

É a distância que se estende ao longo do curso de água desde a desembocadura até determinada nascente. O problema reside em se definir qual é o rio principal, podendo-se utilizar os seguintes critérios:

- a) aplicar os critérios estabelecidos por Horton, pois o canal de ordem mais elevada corresponde ao rio principal;
- b) em cada bifurcação, a partir da desembocadura, optar pelo ligamento de maior magnitude;
- c) em cada confluência, a partir da desembocadura, seguir o canal fluvial montante situado em posição altimétrica mais baixa até atingir a nascente do segmento de primeira ordem localizada em posição altimétrica mais baixa, no conjunto da bacia;
- d) curso de água mais longo, da desembocadura da bacia até determinada nascente, medido como a soma dos comprimentos dos seus ligamentos (Shreve, 1974).

Já foi demonstrada, anteriormente, a subjetividade inerente ao critério proposto por Horton. O uso da magnitude é critério prático em vista do funcionamento hidrológico da bacia. O terceiro critério exige determinação precisa das cotas altimétricas e oferece vantagens para a análise das características topográficas. O quarto critério, o do curso de água mais longo, também é prático e se interrelaciona com a análise dos aspectos morfométricos e topológicos das redes de drenagem. Os resultados obtidos através dos diversos critérios são diferenças pequenas, mas que podem ser significantes para as pequenas bacias.

3.5 EXTENSÃO DO PERCURSO SUPERFICIAL

Representa a distância média percorrida pelas enxurradas entre o interflúvio e o canal permanente, correspondendo a uma das variáveis independentes mais importantes que afeta tanto o desenvolvimento hidrológico como o fisiográfico das bacias de drenagem. Durante a evolução do sistema de drenagem, a extensão do percurso superficial está ajustada ao tamanho apropriado, relacionado com as bacias de primeira ordem, sendo aproximadamente igual à metade do recíproco do valor da densidade de drenagem. É calculado da seguinte maneira:

$$\underline{Eps = \frac{1}{2Dd}}$$

na qual “Eps” representa a extensão do percurso superficial e “Dd” é o valor da densidade de drenagem.

3.6 RELAÇÃO DO EQUIVALENTE VETORIAL

O equivalente vetorial representa o comprimento de cada segmento fluvial de determinada ordem, em linha reta que se estende do nascimento ao término do referido canal.

A relação do equivalente vetorial é obtida da seguinte maneira: somando-se o valor dos equivalentes vetoriais em cada ordem e dividindo-se o total pelo número de canais considerados, encontraremos a grandeza média dos equivalentes vetoriais da referida ordem. Através do confronto entre os dados de cada ordem, obteremos a relação aplicando a fórmula:

$$\underline{Rev = \frac{Ev_u}{Ev_{u-1}}}$$

na qual Rev é a relação do equivalente vetorial; Ev_u é a grandeza média do equivalente vetorial de determinada ordem e Ev_{u-1} é a grandeza média dos equivalentes vetoriais de ordem imediatamente inferior à considerada.

A importância interpretativa da relação do equivalente vetorial advém de seu confronto com os índices do comprimento médio e da declividade média. Por exemplo, nos canais retinizados e com alta declividade, a grandeza do equivalente vetorial aproxima-se da do comprimento. Como normalmente os trechos retilíneos indicam influência estrutural, pode-se interpretar a similaridade das duas relações como sinal do controle geológico. Por outro lado, deve-se também lembrar que cursos de água com direção geral retilínea, mas com fracas declividades, podem apresentar meandramentos e distanciamentos entre as duas relações, fato que por si só indica outra tipologia de formas de vales e de comportamento da dinâmica fluvial.

3.7 GRADIENTE DOS CANAIS

O gradiente dos canais vem a ser a relação entre a diferença máxima de altitude entre o ponto de origem e o término com o comprimento do respectivo segmento fluvial. A sua finalidade é indicar a declividade dos cursos de água, podendo ser medido para o rio principal e para todos os segmentos de qualquer ordem.

O confronto entre a declividade média dos canais de cada ordem permitiu a R. E. Horton (1945) enunciar a terceira lei da composição da drenagem, da seguinte forma: *Em uma determinada bacia há uma relação definida entre a declividade média dos canais de certa ordem e a dos canais de ordem imediatamente superior, que pode ser expressa por uma série geométrica inversa, na qual o primeiro termo é a declividade média dos canais de primeira ordem e a razão é a relação entre os gradientes dos canais.* O cálculo da relação entre os gradientes dos canais pode ser efetuado através da fórmula:

$$Rgc = \frac{Gc_u}{Gc_{u+1}}$$

na qual Rgc é a relação entre os gradientes dos canais; Gc_u é a declividade média dos canais de determinada ordem e Gc_{u+1} é a declividade média dos canais de ordem imediatamente superior.

4. ANÁLISE AREAL DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

Na análise areal das bacias hidrográficas estão englobados vários índices nos quais intervêm medições planimétricas, além de medições lineares. Podemos incluir os seguintes índices:

4.1 ÁREA DA BACIA (A)

É toda a área drenada pelo conjunto do sistema fluvial, projetada em plano horizontal. Determinado o perímetro da bacia, a área pode ser calculada com o auxílio do planímetro, de papel milimetrado, pela pesagem de papel uniforme devidamente recortado ou através de técnicas mais sofisticadas, como o uso de computador.

4.2 COMPRIMENTO DO BACIA (L)

Várias são as definições a propósito do comprimento da bacia, acarretando diversidade no valor do dado a ser obtido. Entre elas podemos mencionar:

- a) distância medida em linha reta entre a foz e determinado ponto do perímetro, que assinala equidistância no comprimento do perímetro entre a foz e ele; o ponto mencionado representa, então, a metade da distância correspondente ao comprimento total do perímetro;
- b) maior distância medida, em linha reta, entre a foz e determinado ponto situado ao longo do perímetro;

- c) distância medida, em linha reta, entre a foz e o mais alto ponto situado ao longo do perímetro;
- d) distância medida em linha reta acompanhando paralelamente o rio principal; esse procedimento acarreta diversas decisões subjetivas quando o rio é irregular ou tortuoso, ou quando a bacia de drenagem possui forma incomum.

4.3 RELAÇÃO ENTRE O COMPRIMENTO RIO PRINCIPAL E A ÁREA DA BACIA

Esta relação foi assinalada por Hack (1957) ao estudar bacias do vale do Shenandoah e da Nova Inglaterra. Posteriormente, outros pesquisadores abordaram o assunto e essas pesquisas demonstraram notável consistência entre os dados, apesar da diversidade de condições ambientais envolvidas, permitindo que o comprimento geométrico do curso de água principal possa ser calculado conforme a seguinte expressão, proposta inicialmente por Hack (1957);

$$L = 1,5 A^{0,6} \text{ (em unidades métricas)}$$

onde L = comprimento do rio principal, em km, e A = área da bacia, em km².

4.4 FORMA DA BACIA

A fim de eliminar a subjetividade na caracterização da forma das bacias, foram propostos vários processos. V. C. Miller, em 1953, propôs o *índice de circularidade*, que é a relação existente entre a área da bacia e a área do círculo de mesmo perímetro. Conforme o enunciado, a fórmula empregada é:

$$I_c = \frac{A}{A_c}$$

na qual I_c é o índice de circularidade; A é a área da bacia considerada e A_c é a área do círculo de perímetro igual ao da bacia considerada. O valor máximo a ser obtido é igual a 1,0 e quanto maior o valor, mais próxima da forma circular estará a bacia de drenagem.

Recentemente, David R. Lee e G. Tomas Salle, em 1970, expuseram o seguinte método para estabelecer a forma de uma bacia ou de qualquer outro fato que seja delimitado. Após a delimitação da bacia, independentemente da escala, traça-se uma figura geométrica (círculo, retângulo, triângulo, etc.) que possa cobrir da melhor maneira possível a referida bacia hidrográfica. A seguir, relaciona-se a área englobada simultaneamente pelas duas com a área total que pode pertencer à bacia e ou à figura geométrica, obtendo-se um *índice de forma*. aplica-se a fórmula:

$$If = 1 - \frac{(\text{área}K \cap L)}{(\text{área}K \cup L)}$$

na qual If é o índice de forma; K é a área da bacia; L é a área da figura geométrica. Para esse método, quanto menor for o índice, mais próxima da figura geométrica respectiva estará a forma da bacia.

O *índice entre o comprimento e a área da bacia* (ICO) pode ser obtido dividindo-se o diâmetro da bacia pela raiz quadrada da área, conforme a seguinte fórmula:

$$ICo = \frac{D_b}{\sqrt{A}}$$

na qual ICo = índice entre o comprimento e a área; D_b = diâmetro da bacia, e A = área da referida bacia.

Este índice apresenta significância para descrever e interpretar tanto a forma como o processo de alargamento ou alongamento da bacia hidrográfica. A sua significação advém do fato de podermos utilizar figuras geométricas simples como ponto de referência. Quando o valor do ICo estiver próximo de 1,0, a bacia apresenta forma semelhante ao quadrado; quando o valor for inferior ao da unidade, a bacia terá forma largada, e quando maior for o valor, acima da unidade, mais alongada será a forma da bacia.

4.5 DENSIDADE DE RIOS

É a relação existente entre o número de rios ou cursos de água e a área da bacia hidrográfica. Sua finalidade é comparar a frequência ou a quantidade de cursos de água existentes em uma área de tamanho padrão, como, por exemplo, o quilômetro quadrado. Esse índice foi primeiramente definido por R. E. Horton (1945), sendo calculado pela fórmula:

$$Dr = \frac{N}{A}$$

onde Dr é a densidade de rios; N é o número total de rios ou cursos de água e A é a área da bacia considerada.

Se utilizarmos a ordenação de Horton, o número de canais corresponde à soma de todos os segmentos de cada ordem. Esse procedimento é válido porque, de acordo com os seus critérios de hierarquização, cada segmento de ordem superior a um estende-se desde o seu final até uma determinada nascente. Se utilizarmos a ordenação de Strahler, o número de canais corresponde à quantidade de rios de primeira ordem, pois implica que todo e qualquer rio surge em uma nascente. O número de canais de determinada bacia é noção básica para demonstrar a sua *magnitude*, conforme os critérios estabelecidos por Scheidegger ou Shreve. O cálculo da densidade de rios é importante porque representa o comportamento hidrográfico

de determinada área, em um de seus aspectos fundamentais: a capacidade de gerar novos cursos de água.

4.6 DENSIDADE DA DRENAGEM

A densidade da drenagem correlaciona o comprimento total dos canais de escoamento com a área de escoamento com a área da bacia hidrográfica. A densidade de drenagem foi inicialmente definida por R. E. Horton (1945), podendo ser calculada pela equação

$$Dd = \frac{L_t}{A}$$

na qual Dd significa a densidade da drenagem; L_t é o comprimento total dos canais e A é a área da bacia.

Em um mesmo ambiente climático, o comportamento hidrológico das rochas repercute na densidade de drenagem. Nas rochas onde a infiltração encontra maior dificuldade há condições melhores para o escoamento superficial, gerando possibilidades para a esculturação de canais, como entre as rochas clásticas de granulação fina, e, como consequência, densidade de drenagem mais elevada. O contrário ocorre com as rochas de granulometria grossa.

O cálculo da densidade de drenagem é importante na análise das bacias hidrográficas porque apresenta relação inversa com o comprimento dos rios. À medida que aumenta o valor numérico da densidade há diminuição quase proporcional do tamanho dos componentes fluviais das bacias de drenagem.

4.7 DENSIDADE DE SEGMENTOS DA BACIA (F_s)

É a quantidade de segmentos existente em determinada bacia hidrográfica por unidade de área. Deve-se aplicar o sistema de ordenação de Strahler e somar a quantidade de segmentos de todas as ordens da bacia. Para calculá-la utiliza-se a fórmula seguinte:

$$F_s = \frac{\sum n_i}{A}$$

onde n_i = número de segmentos de determinada ordem; $i = 1.^a$; $2.^a$; $3.^a$. . , enésima ordem; A = área da bacia.

Deve-se lembrar que a densidade de segmentos e a densidade de drenagem referem-se a aspectos distintos da textura topográfica. É possível encontrar bacias possuindo a mesma densidade de drenagem, mas com frequências diferentes dos segmentos, e bacias com igual densidade de segmentos mas com diferentes densidades de drenagem. Analisando 156 bacias de drenagem, representando vasta amplitude em escalas, clima, topografia, cobertura

superficial e tipos geológicos. Melton (1958) derivou a seguinte fórmula, relacionando a densidade dos segmentos (F_s) com a densidade de drenagem (Dd).

$$\underline{F_s = 0,694 D d^2}$$

A partir dessa fórmula pode-se observar que:

$$\underline{\frac{F_s}{D d^2} = \frac{(\sum n_i)A}{L^2} = \frac{1}{Dd \cdot \bar{L}}}$$

nas quais L = comprimento total dos segmentos da bacia; \bar{L} = comprimento médio dos segmentos da bacia os demais símbolos já foram anteriormente definidos. O valor numérico deve permanecer constante para bacias geometricamente similares.

4.8 RELAÇÃO ENTRE AS ÁREAS DAS BACIAS (Ra)

Em uma bacia hidrográfica, cada segmento de determinada ordem é responsável pela drenagem de uma área. No caso das bacias de segunda, terceira ou de ordem mais elevada, a área a elas subordinada abrange também a área de todos os segmentos de ordem menores que lhe são subsidiários. Desta maneira, uma bacia de segunda ordem engloba as áreas dos segmentos de primeira ordem e mais a área que especificamente escoar diretamente para o segmento de segunda ordem; uma bacia de terceira ordem engloba as áreas das bacias de segunda ordem que lhe são subsidiárias, as de primeira ordem que deságuam diretamente no canal de terceira ordem e mais a área que especificamente escoar para o segmento de terceira ordem; uma bacia de quarta ordem engloba as áreas das bacias de terceira ordem que lhe são subsidiárias, as áreas das bacias de primeira e de segunda ordem que deságuam diretamente no canal de quarta ordem e mais a área que especificamente escoar para o canal de quarta ordem; e assim sucessivamente. Desta maneira, como cada segmento de ordem superior drena uma área que é cada vez maior à medida que aumenta a ordem dos canais, o índice procura relacionar as áreas das bacias de ordens subsequentes, como entre as de primeira e de segunda ordem, entre as de segunda e terceira ordem, e entre as demais na devida sequência. Medindo-se as áreas das bacias correspondentes a cada ordem, obtemos os valores absolutos para elas; conhecendo os valores individuais e a quantidade de casos, pode-se calcular a *área média* para as bacias de determinada ordem. A relação entre as áreas das bacias foi proposta e empregada por Schumm (1956), sendo a fórmula correspondente expressa por:

$$\underline{Ra = \frac{A_u}{A_{u-1}}}$$

na qual Ra é a relação entre as áreas das bacias; A_u é a área média das bacias de determinada ordem, e A_{u-1} é a área média das bacias de ordem imediatamente inferior.

A propósito da relação existente entre as áreas das bacias, S. A. Schumm propôs uma lei relacionada com a composição da drenagem, enunciada da seguinte maneira: *Em uma bacia hidrográfica determinada, a área média das bacias de drenagem dos canais de cada ordem ordena-se aproximadamente segundo uma série geométrica direta, na qual o primeiro termo é a área média das bacias de primeira ordem.*

4.9 COEFICIENTE DE MANUTENÇÃO

Proposto por S.A. Schumm, em 1956, esse índice tem a finalidade de fornecer a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento. O referido autor considera-o como um dos valores numéricos mais importantes para a caracterização do sistema de drenagem, podendo ser calculado através da seguinte expressão, a fim de que seja significativa na escala métrica.

$$Cm = \frac{1}{Dd} \cdot 1000$$

na qual Cm é o coeficiente de manutenção e Dd é o valor da densidade de drenagem, expresso em metros. Tomando como exemplo o quilômetro quadrado, ela representaria a área dessa unidade (um milhão de metros quadrados) dividida pela densidade da drenagem.

5. ANÁLISE HIPSOMÉTRICA

A hipsometria preocupa-se em estudar as inter-relações existentes em determinada unidade horizontal de espaço no tocante à sua distribuição em relação às faixas altitudinais, indicando a proporção ocupada por determinada área da superfície terrestre em relação às variações altimétricas a partir de determinada isoipsa base. Em pleno século XIX, essa repartição foi calculada para toda a superfície terrestre, resultando na construção da denominada *curva hipsográfica*. Em épocas mais recentes, as curvas altimétricas têm sido utilizadas para o estudo das unidades morfoestruturais e, em 1952, Arthur N. Strahler sintetizou os princípios da análise hipsométrica para o estudo de bacias fluviais. Em 1960, Frédéric Fournier, partindo do estabelecimento das curvas hipsométricas, define o coeficiente de massividade do relevo e o coeficiente orográfico.

5.1 CURVA HIPSOMÉTRICA

Para o estudo hipsométrico de uma bacia hidrográfica, por exemplo, a unidade geométrica de referência consiste de um sólido limitado lateralmente pela projeção vertical do perímetro da bacia, e no topo e na base por planos paralelos passando através do cume e da desembocadura, respectivamente.

Calculando-se as áreas existentes entre cada faixa altimétrica e colocando-se os valores obtidos em um gráfico no qual, em ordenadas, estão assinaladas as altitudes (em metros), e nas abscissas a área (em quilômetros quadrados), ter-se-á uma linha que é a *curva hipsométrica*, que tem a finalidade de exprimir a maneira pela qual o volume rochoso situado

abaixo da superfície topográfica está distribuído desde a base até o topo. A fim de facilitar a comparação entre áreas de tamanho e de topografias diferentes, evita-se o emprego de escalas absolutas e aplicam-se parâmetros relativos, em porcentagens.

Conhecendo-se a altura e a área de cada faixa altitudinal analisada, é fácil calcular o volume de cada faixa respectiva. A soma de todas representará o volume rochoso ainda existente na região. Se considerarmos o espaço total do quadrado como correspondente ao volume global, inicial e ideal da referida porção territorial, o espaço, situado entre a curva hipsométrica e a linha inferior e a lateral esquerda, representa o volume ainda existente. O valor correspondente a esse volume foi denominado de *integral hipsométrica* por Strahler, em 1952, definindo-a como *equivalente à relação da área sob a curva hipsométrica em função do quadrado*.

Um problema técnico consiste no processo de se calcular o valor correspondente às várias faixas altimétricas. De acordo com a contribuição de Strahler (1952), o processo consiste em medir a área relativa de cada faixa altimétrica, com o auxílio de planímetro, papel milimetrado ou através da pesagem (e calculando o peso proporcional) dos vários conjuntos de recortes, em papel uniforme, ao longo das isoipsas. Através desses processamentos, o tempo consumido é enorme e a tarefa torna-se enfadonha. A fim de facilitar esse penoso trabalho, Haan e Johnson (1966) propõem um processo rápido para a determinação das curvas hipsométricas. O método desses autores baseia-se na técnica da exemplificação aleatória, da seguinte maneira:

- a) selecionar de maneira aleatória um número de pontos dentro e sobre os limites da bacia, sendo o espaçamento entre eles variável conforme a escala da carta e a precisão que se queira;
- b) tabular o número de pontos caindo dentro de intervalos de classes altitudinais predeterminados;
- c) calcular a porcentagem dos pontos que caem dentro dos intervalos de classes;
- d) calcular a porcentagem acumulada de pontos começando com 0 (zero) no intervalo de classe superior e continuando até 100 % no intervalo de classe inferior;
- e) plotar a porcentagem acumulada nas abcissas, enquanto as relações altitudinais ficam nas ordenadas;
- f) converter a abscissa em relação de área dividindo a porcentagem figurada por 100.

5.2 COEFICIENTE DE MASSIVIDADE E O COEFICIENTE OROGRÁFICO

Partindo dos mesmos princípios para o estabelecimento das curvas hipsométricas, Frédéric Fournier chega a fornecer elementos para calcular a altura média das bacias fluviais, o coeficiente de massividade e o coeficiente orográfico.

Para o cálculo da altura média das bacias fluviais ou da área em estudo, é necessário, inicialmente, verificar sua amplitude altimétrica, obtendo o valor da diferença entre a altitude máxima e a mínima observada na região. Para facilidade, a altura média pode ser perfeitamente obtida a partir do cálculo da integral hipsométrica, pois seu valor representa em qual proporção da diferença altimétrica, a partir da altitude mínima, se encontra a altura média. Uma simples regra de três resolve o problema

$$\frac{\text{Amplitude altimétrica}}{\text{altura média}} \times \frac{100}{\text{integral hipsométrica}}$$

Entretanto, considerando que a altura média não é um valor suficiente, Fournier passa a calcular o *coeficiente de massividade*, que é o *quociente da divisão da altura média do relevo da área pela sua superfície*.

Combinando o valor da altura média (em valor absoluto) e o valor do coeficiente de massividade, Fournier estabelece o coeficiente orográfico. O *coeficiente orográfico* pode ser calculado através da fórmula

$$\text{coeficiente orográfico} = \bar{H} \cdot \text{tg}_a$$

na qual, \bar{H} representa a altura média e tg_a é o valor do coeficiente de massividade.

5.3 AMPLITUDE ALTIMÉTRICA MÁXIMA DA BACIA (H_M)

Corresponde à diferença altimétrica entre a altitude da desembocadura e a altitude do ponto mais alto situado em qualquer lugar da divisória topográfica. Este conceito, também denominado de *relevo máximo da bacia*, vem sendo comumente utilizado nas pesquisas geomorfológicas, desde a proposição feita por Schumm (1956).

A aplicação da diferença máxima de altitude encontra, por vezes, uma dificuldade denunciada pela experiência de campo. Muitas vezes a cota máxima representa apenas um ponto excepcional dentro da bacia, ou as escarpas de uma serra ou frente montanhosa na qual nascem alguns canais integrantes da rede. A escolha do ponto máximo pode, nesses casos, fornecer um resultado que mascara o real significado da movimentação topográfica da bacia de drenagem. Outras vezes, a cota máxima está localizada próximo à desembocadura da bacia, numa faixa interfluvial, enquanto toda ela se desenvolvem uma topografia com cotas inferiores. A cota máxima poderá ser a média dos pontos mais elevados entre os canais de primeira ordem do trecho superior da bacia considerada. Deve-se, no mínimo, considerar dez pontos cotados. Se a magnitude da bacia for pequena, todos os pontos podem ser considerados. Considerar como ponto máximo a média entre a cota máxima da bacia e a cota inferior que representa (incluídas as faixas superiores) pelo menos 10 % da área total da bacia hidrográfica. Neste procedimento, deve-se calcular a superfície das faixas altimétricas cimeiras da bacia hidrográfica.

5.4 RELAÇÃO DE RELEVO (RR)

A relação de relevo foi inicialmente apresentada por Schumm (1956: 612), considerando o relacionamento existente entre a amplitude altimétrica máxima de uma bacia e a maior

extensão da referida bacia, medida paralelamente à principal linha de drenagem. A relação de relevo (R_r) pode ser calculada pela expressão

$$R_r = \frac{H_m}{L_b}$$

na qual H_m = amplitude topográfica máxima e L_b = comprimento da bacia. Em virtude das várias sugestões propostas para estabelecer o comprimento da bacia, o mais aconselhável é utilizar o diâmetro geométrico da bacia, a exemplo do procedimento usado por Maxwell (1960), ou o comprimento do principal curso de água.

Outras alternativas foram propostas sobre a maneira de calcular a relação de relevo. Melton (1957) utilizou como dimensão linear horizontal o perímetro da bacia, propondo a relação de relevo expressa em porcentagem, de modo que

$$R_r = \frac{H_m}{P} \cdot 100$$

Posteriormente, o próprio Melton (1965) apresentou nova formulação, procurando relacionar a diferença altimétrica com a raiz quadrada da área da bacia, de modo que

$$R_r = \frac{H_m}{A^{0,5}}$$

5.5 ÍNDICE DE RUGOSIDADE(I_r)

O índice de rugosidade foi inicialmente proposto por Melton (1957) para expressar um dos aspectos da análise dimensional da topografia. O índice de rugosidade combina as qualidades de declividade e comprimento das vertentes com a densidade de drenagem, expressando-se como número adimensional que resulta do produto entre a amplitude altimétrica (H) e a densidade de drenagem (Dd). Desta maneira,

$$I_r = H \cdot Dd$$

Strahler (1958: 1964) assinalou os relacionamentos entre as vertentes e a densidade de drenagem. Se a Dd aumenta enquanto o valor de H permanece constante, a distância horizontal média entre a divisória e os canais adjacentes será reconduzida, acompanhada de aumento na declividade da vertente. Se o valor de H aumenta enquanto a Dd permanece constante, também aumentarão as diferenças altimétricas entre o interflúvio e os canais e a

declividade das vertentes. Os valores extremamente altos do índice de rugosidade ocorrem quando ambos os valores são elevados, isto é, quando as vertentes são íngremes e longas (Strahler, 1958). No tocante ao índice de rugosidade, pode acontecer que áreas com alta Dd e baixo valor de H são tão rugosas quanto áreas com baixa Dd e elevado valor de H . Patton e Baker (1976) mostraram que áreas potencialmente assoladas por cheias relâmpago são previstas como possuidoras de índices elevados de rugosidade, incorporando fina textura de drenagem, com comprimento mínimo do escoamento superficial em vertentes íngremes e altos valores dos gradientes dos canais.

6. ANÁLISE TOPOLÓGICA

A análise topológica de redes fluviais está relacionada com a maneira pela qual os vários canais se encontram conectados, sem levar em conta qualquer medida de comprimento, área ou orientação. As considerações topológicas iniciais para as bacias hidrográficas foram propostas por Horton (1945), mas a frequência das contribuições relacionadas com esse campo de pesquisa tornou-se mais intensa nos últimos anos, principalmente a partir dos trabalhos publicados por Shreve (1966, 1967).

Para os estudos topológicos, a rede de canais é entendida como apresentando uma, e somente uma, trajetória entre dois pontos quaisquer, e na qual todo ligamento, em direção de montante, conecta-se com dois outros ligamentos ou termina em uma nascente (Shreve, 1966). A única restrição é a inexistência de confluências tríplexes, isto é, três canais não podem se confluir no mesmo ponto. Em vista da definição acima, toda rede de canais com n fontes terá $n - 1$ junções e $2n - 1$ ligamentos, dos quais n serão ligamentos exteriores e $n - 1$ interiores (Shreve, 1966). A figura representativa de uma rede fluvial é composta por linhas conectadas em um plano. Na topologia matemática, são exemplos de *grafos planares*. Na rede fluvial, as nascentes e as junções representam os vértices, enquanto os ligamentos representam os arcos.

Shreve (1966) observou que as redes de canais com igual número de ligamentos tem quantidade igual de confluências, de nascentes, de canais conforme Horton e de canais de primeira ordem conforme Strahler: por essa razão, são comparáveis em sua *complexidade topológica*. A fim de melhor caracterizar o problema, Shreve (1966) introduziu dois conceitos importantes, relacionados com as *redes topologicamente idênticas* e com as *topologicamente distintas*. Duas redes são topologicamente idênticas se uma for congruente com a outra, através de deformação contínua dos ligamentos, mas sem removê-los de seu plano, em caso contrário são topologicamente distintas.

O processo de se caracterizar as redes por meio de uma combinação binária, usando dígitos, como as propostas por Shreve (1967) e Scheidegger (1967a, 1967b), possibilita definição mais exata para distingui-las. Werner e Smart (1973) asseveram que as propriedades topológicas de qualquer rede de canais podem ser descritas por meio de uma combinação binária composta pela quantidade n de dígitos uns e $n - 1$ dígitos zeros, conforme a regra seguinte: *começar pela desembocadura e atravessar a rede seguindo sempre para a esquerda em cada junção e revertendo a direção em cada nascente: um "zero" será escrito quando se atravessar um ligamento interior pela primeira vez, e um "um" será escrito quando o ligamento exterior for atravessado pela primeira vez. Nada deve ser anotado quando os ligamentos forem atravessados pela segunda vez (quando se caminha em direção de jusante, da desembocadura). Qualquer combinação binária para as redes fluviais deverá começar sempre com "zero"(s) e terminar com disposição consecutiva de pelo menos dois dígitos "um"*. Percebe-se com clareza que qualquer rede fluvial pode ser expressa através de uma combinação binária, mas em toda combinação binária pode ser transformada em uma rede

fluvial. Assim sendo, nota-se que duas redes de canais são topologicamente idênticas se e somente se forem representadas pela mesma combinação binária; as redes topologicamente distintas terão combinações diferentes e únicas.

Na natureza, as combinações topológicas são muito variadas. Em função dessa complexidade, Shreve (1966) derivou o conceito de *população topologicamente aleatória*, definida como “a população dentro da qual toda rede topologicamente distinta, com igual número de ligamentos, tem a mesma possibilidade de ocorrer”. Como decorrência, surge a hipótese geomorfológica de que, “na ausência de controle geológico, uma população natural de redes fluviais será topologicamente aleatória”. (Shreve, 1966, 1967).

Vários foram os trabalhos realizados a fim de verificar essa hipótese, determinando a frequência das redes topologicamente distintas em exemplos aleatórios de redes de magnitude idêntica. Esse método foi utilizado para 74 redes de magnitude 4, por Ranalli e Scheidegger, para 1.157 redes de magnitude 4, para Smart, e para 153 redes de magnitude 5, por Krumbein e Shreve. Os resultados obtidos confirmam a hipótese e permitem que o modelo de Shreve possa ser aceito como boa aproximação para as redes naturais.

A quantidade de redes de canais topologicamente distintas (RCTD) para determinado número de nascentes, $N(n)$, pode ser calculado de uma expressão combinatorial, que é a seguinte:

$$N(n) = \frac{1}{2n-1} \binom{(2n-1)n!}{n!}$$

na qual n representa o número de nascentes e $N(n)$ as possíveis RCDT da referida magnitude.

PARTE 2 (VILLELA & MATTOS 1975)

METODOLOGIA ADOTADA NA CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA BACIA

As linhas das determinações que auxiliaram a caracterização da bacia foram tomadas do livro Hidrologia Aplicada de VILLELA & MATTOS, (1975).

O conhecimento físico das bacias é de grande importância, já que, baseado nestes parâmetros, é que o técnico irá decidir-se, juntamente com os agricultores, pelos métodos de controle de erosão, técnicas de preservação do meio ambiente, bem como poderá comparar esta bacia com as demais em outras regiões do estado que fazem parte deste grande projeto de estudar hidrologicamente as bacias do estado de Santa Catarina.

Tendo conhecimento destes aspectos, o técnico poderá, sem sombra de dúvidas, contar com um acervo de informações relevantes, já que este trabalho reúne vários dados provenientes de várias fontes e estão, a partir de agora, prontamente disponíveis neste trabalho, facilitando sobremaneira o planejamento dos trabalhos e projetos técnicos.

São as seguintes as características físicas da área a serem analisadas:

1. ÁREA DE DRENAGEM

Foi obtida com auxílio de planímetro sobre cópia dos mapas com escala 1: 50.000 a 1:100.000.

2. FORMA DA MICROBACIA

2.1. COEFICIENTE DE COMPACIDADE (K_C):

Relacionando a probabilidade de ocorrência de enchentes, determina-se pela relação:

$$K_c = \frac{0,28 \cdot P}{A}$$

onde P = perímetro em quilômetros e A = área da bacia em quilômetros quadrados.

2.2 FATOR DE FORMA DA BACIA (K_F)

Obtida pela relação:

$$K_f = \frac{A}{L^2}$$

onde A = área da bacia em quilômetros quadrados e L = comprimento da bacia em quilômetros.

2.3. SISTEMA DE DRENAGEM

Velocidade com que a água é drenada da bacia.

2.3.1. Ordem do rio principal

Mostra a extensão da ramificação na bacia. São considerados de primeira ordem as correntes formadoras, aquelas que não possuem tributários, de segunda ordem aqueles que têm tributários de primeira ordem, e assim por diante.

2.3.2. Densidade de drenagem

O índice de densidade de drenagem (Dd) é obtido pela relação:

$$Dd = \frac{L}{A}$$

onde: L = comprimento total dos cursos em quilômetros e A = área da bacia em quilômetros quadrados.

2.3.3. Extensão média do escoamento superficial (I)

O índice da extensão média do escoamento superficial derivou da relação:

$$I = \frac{A}{4L}$$

onde: A = área da bacia em quilômetros quadrados e L = comprimento do curso de água em quilômetros.

2.3.4. Sinuosidade do curso de água (Sin)

Para a determinação da sinuosidade do curso de água adotou-se a relação entre o comprimento do rio principal (L) e o comprimento da bacia (distância entre a foz e a nascente do rio principal):

$$Sin = \frac{L}{Lb}$$

onde: L = comprimento do rio principal em quilômetros e Lb = comprimento da bacia em quilômetros.

2.4. CARACTERÍSTICAS DO RELEVO

2.4.1. Curva Hipsométrica

Vem a ser a representação gráfica do relevo médio da bacia. Determinam-se as áreas entre as curvas de nível.

2.4.2. Declividade de álveo

A declividade do curso principal de água obtém-se dividindo-se a diferença total de elevação do leito pela extensão horizontal do curso de água entre os pontos considerados. Representou-se graficamente o perfil longitudinal do rio. A declividade entre a foz e a nascente pela reta S1; a declividade S2 representada pela reta S2 e a declividade equivalente constante S3 representada pela reta S3.

2.4.3. Declividade da microbacia

A declividade da microbacia foi determinada com o auxílio de microcomputador. Primeiramente determina-se a área entre as curvas de níveis com uma diferença homogênea de nível entre si. Em seguida determina-se o comprimento da projeção das curvas de níveis subsequentes. De posse destes dados realizam-se os seguintes cálculos:

Sendo a diferença de nível entre "a" e "b" igual a X metros e o comprimento da linha "a" igual a La e da linha "b" igual a Lb, temos:

$$\underline{\underline{Área = \frac{(La + Lb)}{2} \cdot (H)}}$$

$$\underline{\underline{\frac{(Dn)}{H} = \text{sen}(a)}}$$

$$\underline{\underline{\cos(a) \cdot (H) = (PH)}}$$

$$\underline{\underline{D = \frac{(Dn)}{(PH)} \cdot 100}}$$

onde: H = hipotenusa do triângulo (comprimento da rampa); A = área entre as curvas de nível; Dn = diferença de nível; PH = projeção da hipotenusa e D = declividade da área considerada (%).

2.5. TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

O tempo de concentração foi calculado segundo Giandotti, citado por EUCLYDES (1987), onde:

$$TC = \frac{4 \bullet A + 1,5L}{0,8 \bullet (Hm - Ho)}$$

onde: A = área da bacia em quilômetros quadrados; L = comprimento do talvegue em quilômetros (adotou-se L igual ao comprimento do rio principal); Hm = altitude média da bacia em metros e Ho = altitude final do trecho em metros.

PARTE 3 (PANICCHI *ET ALL* 1994)

1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA MICROBACIA

As características físicas de uma bacia hidrográfica são elementos de grande importância em seu comportamento hidrológico (VILLELA & MATTOS 1975), existindo uma estreita correspondência entre o regime hidrológico e estes elementos, sendo de grande utilidade prática o seu conhecimento. Estas relações podem determinar indiretamente os valores hidrológicos em seções ou locais de interesse, nos quais falem dados ou em regiões onde, devido a fatores de ordem física ou econômica, não seja possível a instalação de estações hidrométricas (VILLELA & MATTOS 1975).

As principais características físicas das microbacias hidrográficas, em suas linhas básicas, obedecerão aos conceitos de VILLELA & MATTOS (1975) e CHRISTOFOLETTI (1980).

2. ÁREA DE DRENAGEM

Considera-se como área de drenagem de uma bacia hidrográfica a área plana (Projeção Horizontal) entre os divisores de água. É um parâmetro básico para o cálculo das demais características físicas.

A área de drenagem é calculada por planimetragem nas cartas topográficas (1:50.000 ou 1:100.000), e o resultado obtido é dado em quilômetro quadrado (km²) ou hectares.

2.1. FORMA DA MICROBACIA

É importante, pois influi no tempo de concentração, definido como o tempo, a partir do início da precipitação pluviométrica, necessário para que toda a bacia contribua na seção em estudo ou o tempo que leva a água dos limites da bacia para chegar em sua saída.

Segundo VILLELA & MATTOS (1975) as bacias dos grandes rios apresentam a forma de uma pera ou de um leque, mas as pequenas bacias variam muito no formato, dependendo da estrutura geológica do terreno.

Existem vários índices utilizados para determinar a forma da bacia, relacionando-as com formas conhecidas. VILLELA & MATTOS (1975) relacionam o coeficiente de compacidade com um círculo e o fator de forma com um retângulo.

2.2. COEFICIENTE DE COMPACIDADE

Coeficiente de compacidade, ou índice de Gravelius (Kc), é a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia.

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

onde: P = perímetro da bacia (km) e A = área da bacia (km²).

Um coeficiente mínimo igual à unidade correspondente a uma bacia circular. Segundo VILLELA & MATTOS (1975), se os demais fatores forem iguais, quanto mais próximo da unidade for o valor de K_c maior será a tendência para enchentes.

2.3. FATOR DE FORMA

Fator de forma (K_f): é a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia. Mede-se o comprimento da bacia (L) seguindo-se o maior curso d'água desde a foz até a cabeceira. A largura média é obtida dividindo-se a área pelo comprimento da bacia, logo:

$$K_f = \frac{A}{L}$$

onde A = área da bacia em km² e L = comprimento da bacia em km.

O índice K_f constitui um indicativo para uma maior ou menor possibilidade de enchente em uma bacia. Segundo VILLELA & MATTOS (1975), uma bacia com um fator de forma baixa é menos sujeita a enchentes que outra de mesmo tamanho, mas que tenha um fator de forma maior.

3. SISTEMA DE DRENAGEM

É constituído pelo rio principal e todos os seus tributários, perenes ou intermitentes, incluindo as ravinas (drenos naturais que surgem a partir da linha divisória de águas).

As ramificações e o desenvolvimento do sistema está relacionado à velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica, à geologia e ao tipo de solo.

3.1. ORDEM DOS CURSOS DE ÁGUA

Reflete o grau de ramificação ou bifurcação entre os canais existentes dentro de uma bacia.

A ordem de grandeza dos afluentes (ravinas, canais e tributários) define a ordem de grandeza das bacias, sub-bacias e microbacias hidrográficas (ROCHA 1991).

Strahler, citado em VILLELA & MATTOS (1975), e CHRISTOFOLETTI (1980) consideram os tributários menores e não ramificados como sendo de 1^a ordem, onde a união de dois canais de 1^a ordem daria um de 2^a ordem.

Dois canais de 2^a ordem formariam um segmento de 3^a ordem e assim sucessivamente; dois rios de ordem "n" dão lugar a um rio de ordem "n+1".

3.1.1. Densidade de drenagem (Dd)

Indica o grau de desenvolvimento do sistema de drenagem. É a relação entre o comprimento total dos cursos d'água (todas as ordens) de uma bacia e a sua área total. O comprimento dos cursos d'água é obtido com auxílio de um curvímetro em aerofotos 1:25.000.

$$Dd = \frac{L}{A}$$

onde L = é o somatório do comprimento de todos canais e tributários da bacia (km) e A = área da bacia (km²).

3.1.2. Extensão média do escoamento superficial (I)

O índice da extensão média do escoamento superficial deriva da relação (VILLELA & MATTOS 1975):

$$I = \frac{A}{4L}$$

onde: A = área da bacia (km²) e L = comprimento do curso de água (km).

3.1.3. Sinuosidade do curso d'água ou índice de sinuosidade (Is)

É a relação entre a distância entre a desembocadura do rio e a nascente mais distante, medida em linha reta (E_v), e o comprimento do rio principal (L), adaptado de Mansikkaniemi, citado por CHRISTOFOLETTI (1981).

$$Is = \frac{100(L - E_v)}{L}$$

Para comparação entre rios diferentes, os valores do índice de sinuosidade (Is) são expressos em % em relação ao comprimento total do rio. Mansikkaniemi estabeleceu 5 classes:

- I muito reto < 20 %

- II reto 20 - 29,9 %
- III divagante 30 - 39,9 %
- IV sinuoso 40 - 49,9 %
- V muito sinuoso ≥ 50 %

3.2. CARACTERÍSTICAS DO RELEVO

O relevo de uma bacia está diretamente relacionado a fatores agrometeorológicos e hidrológicos, onde a velocidade de escoamento superficial depende da declividade do terreno e os fatores climáticos, como temperatura e precipitação, são funções da altitude da bacia.

3.2.1. Declividade da bacia

A declividade da bacia tem influência na velocidade de escoamento superficial, afetando o tempo que a água irá levar para se concentrar nos canais da rede hidráulica.

Segundo VILLELA & MATTOS, (1975), a magnitude dos picos de enchentes é a maior ou menor oportunidade de infiltração e suscetibilidade para a erosão dos solos e depende da rapidez de escoamento sobre os terrenos da bacia.

A declividade é determinada com auxílio de um planímetro e um curvímeter. Primeiramente, calcula-se a área entre as curvas de nível, sobre as cartas topográficas. Em seguida determina-se o comprimento da projeção das curvas de nível subseqüentes.

Sendo a diferença de nível entre "a" e "b" o comprimento da linha "a" que é igual a L_a e o da linha "b" igual a L_b , temos:

$$Ar = \frac{(Lb + La) \cdot H}{2}$$

$$Ap = \frac{(Lb + La \cdot PH)}{2}$$

$$PH = \frac{(Ap \cdot 2)}{La + Lb}$$

$$D = \frac{Dn}{P \cdot A}$$

onde: Ar = área real, Ap = área entre as curvas de nível (área projetada), Dn = diferença de nível, PH = projeção da hipotenusa, D = declividade da área considerada (%) e L_b e L_a = lados "a" e "b".

3.2.2. Curva hipsométrica

É a representação gráfica do relevo médio da bacia. É obtida planimetrando-se as áreas entre as curvas de nível da carta topográfica.

3.2.3. Declividade de álveo

A água da precipitação, após o escoamento superficial e subterrâneo, concentra-se nos canais e escoam em direção à foz da microbacia.

Segundo VILLELA & MATTOS, (1975), a velocidade de escoamento de um rio depende da declividade dos canais fluviais. Assim, quanto maior a declividade, maior será a velocidade de escoamento. Obtém-se a declividade de um curso d'água, entre dois pontos, dividindo-se a diferença total de elevação do leito pela extensão horizontal do curso d'água entre esses pontos.

A declividade entre a foz e a nascente é representada pela linha S1. Obtém-se um valor mais representativo traçando-se num gráfico de perfil longitudinal uma linha S2, tal qual a área compreendida entre ela e a abscissa seja igual à compreendida entre a curva do perfil e a abscissa. O outro índice é a declividade equivalente constante representada pela curva S3.

O cálculo dos valores referenciais é feito de acordo com VILLELA & MATTOS (1975).

3.3. TEMPO DE CONCENTRAÇÃO (TC)

O tempo de concentração é calculado segundo a Metodologia de Giandotti, citado em EUCLYDES (1987):

$$TC = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L}{0,8\sqrt{Hm - Ho}}$$

onde: S = superfície da bacia (km^2), L = comprimento do talvegue (m), Hm = altitude média da bacia (m) e Ho = altitude final do trecho (m).

Nota: outros parâmetros poderão ser acrescentados conforme a necessidade ou enfoque dado pelos autores nos trabalhos das microbacias.

DADOS FÍSICOS DA BACIA DO RIO ARARANGUÁ

- PARÂMETROS DA BACIA E MESOBACIAS

Área da Bacia do Rio Araranguá - 3.039 km²

Área da Mesobacia do Rio dos Porcos - 199 km²

Área da Mesobacia do Rio Mãe Luzia - 1.501 km²

Área da Mesobacia do Rio Itoupava - 1.180 km²

Área da Mesobacia da Foz do Rio Araranguá - 159 km²

Perímetro da Bacia do Rio Araranguá - 312,25 km

Perímetro da Mesobacia do Rio dos Porcos - 61,69 km

Perímetro da Mesobacia do Rio Mãe Luzia - 191,34 km

Perímetro da Mesobacia do Rio Itoupava - 197,19 km

Perímetro da Mesobacia da Foz do Rio Araranguá - 73,74 km

Comprimento Axial da Bacia do Rio Araranguá - 93,36 km

Comprimento Axial da Mesobacia do Rio dos Porcos - 40,44 km

Comprimento Axial da Mesobacia do Rio Mãe Luzia - 93,36 km

Comprimento Axial da Mesobacia do Rio Itoupava - 41,51 km

Comprimento Axial da Mesobacia da Foz do Rio Araranguá - 28,06 km

Comprimento do curso d'água da Bacia do Rio Araranguá - 93,33 km

Comprimento do curso d'água da Mesobacia do Rio dos Porcos - 40,30 km

Comprimento do curso d'água da Mesobacia do Rio Mãe Luzia - 93,33 km

Comprimento do curso d'água da Mesobacia do Rio Itoupava - 68,95 km

Comprimento do curso d'água da Mesobacia da Foz do Rio Araranguá - 28,76 km

Distância mais curta entre a nascente e desembocadura da Bacia do Rio Araranguá - 49,85 km

Distância mais curta entre a nascente e desembocadura da Mesobacia do Rio dos Porcos - 18,07 km

Distância mais curta entre a nascente e desembocadura da Mesobacia do Rio Mãe Luzia - 49,85 km

Distância mais curta entre a nascente e desembocadura da Mesobacia do Rio Itoupava - 50,13 km

Distância mais curta entre a nascente e desembocadura da Mesobacia da Foz do Rio Araranguá - 17,94 km

FORMA DAS MESOBACIAS**COEFICIENTE DE COMPACIDADE**

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

onde: P = perímetro da mesobacia (km) e A = área da mesobacia (km²).

- Mesobacia do Rio dos Porcos

$$Kc = 0,28 \frac{61,69}{\sqrt{199,00}} = 1,22$$

- Mesobacia do Rio Mãe Luzia

$$Kc = 0,28 \frac{191,34}{\sqrt{1.501,00}} = 1,38$$

- Mesobacia do Rio Itoupava

$$Kc = 0,28 \frac{197,19}{\sqrt{1.180,00}} = 1,61$$

- Mesobacia da Foz do Rio Araranguá

$$Kc = \frac{73,74}{\sqrt{159,00}} = 1,64$$

Conforme VILLELA & MATTOS (1975) a mesobacia da rio dos Porcos tem maior tendência a enchentes (Kc mais próximo da unidade), seguindo as mesobacias do rio Mãe Luzia, rio Itoupava e foz do Rio Araranguá. Quanto maior for o valor, acima da unidade, mais alongada será a forma da bacia.

FATOR DE FORMA

$$Kf = \frac{A}{L^2}$$

onde: A = área da bacia (km²) e L = comprimento do maior rio até o divisor de águas.

- Mesobacia do Rio dos Porcos

$$Kf = \frac{199,00}{40,44^2} = 0,12$$

- Mesobacia do Rio Mãe Luzia

$$Kf = \frac{1501,00}{93,36^2} = 0,17$$

- Mesobacia do Rio Itoupava

$$Kf = \frac{1180,00}{41,51^2} = 0,68$$

- Mesobacia da Foz do Rio Araranguá

$$Kf = \frac{159,00}{28,06^2} = 0,20$$

SISTEMA DE DRENAGEM**Ordem Dos Cursos D'água****RIO DOS PORCOS**

ORDEM	Número de rios	Comprimento dos rios (m)
1	246	174.000
2	64	59.000
3	18	45.000
4	3	28.000
5	1	16.000
SUB-TOTAL	332	322.000

RIO MÃE LUZIA

ORDEM	Número de rios	Comprimento dos rios (m)
1	1.995	1.627.700
2	431	431.100
3	84	241.700
4	23	166.500
5	10	104.600
6	4	43.600
7	1	6.500
SUB-TOTAL	2.548	2.621.700

RIO ITOUPAVA

ORDEM	Número de rios	Comprimento dos rios (m)
1	1.268	1.062.500
2	306	358.200
3	69	224.300
4	30	154.400
5	6	59.300
6	2	32.200
7	1	27.700
SUB-TOTAL	1.682	1.918.600

RIO ARARANGUÁ

ORDEM	Número de rios	Comprimento dos rios (m)
1	3.560	2.916.200
2	813	876.800
3	175	527.800
4	58	351.900
5	17	179.900
6	6	75.800
7	3	61.700
8	1	31.000
TOTAL	4.633	5.021.100

Densidade de Drenagem

$$Dd = \frac{L}{A}$$

onde: L= é o somatório do comprimento de todos os canais e tributários da bacia (km), e A=área da bacia (km²).

- Mesobacia do Rio dos Porcos

$$Dd = \frac{322,00}{199,00} = 1,62$$

- Mesobacia do Rio Mãe Luzia

$$Dd = \frac{2621,70}{1501,00} = 1,75$$

- Mesobacia do Rio Itoupava

$$Dd = \frac{11918,60}{1180,00} = 1,63$$

- Mesobacia da Foz do Rio Araranguá

$$Dd = \frac{158,80}{159,00} = 1,00$$

Densidade de Segmentos da Mesobacia

$$F_s = \frac{\sum n_i}{A}$$

onde: n_i = número de segmentos de determinada ordem e $i = 1^a, 2^a, 3^a \dots$ enésima ordem, e A = área da bacia (km^2).

-Mesobacia do Rio dos Porcos

$$F_1 = \frac{246}{199} = 1,236$$

$$F_2 = \frac{64}{199} = 0,322$$

$$F_3 = \frac{18}{199} = 0,090$$

$$F_4 = \frac{3}{199} = 0,015$$

$$F_5 = \frac{1}{199} = 0,005$$

- Mesobacia do Rio Mãe Luzia

$$F_1 = \frac{1995}{1501} = 1,329$$

$$F_2 = \frac{431}{1501} = 0,287$$

$$F_3 = \frac{84}{1501} = 0,056$$

$$F_4 = \frac{23}{1501} = 0,015$$

$$F_5 = \frac{10}{1501} = 0,007$$

$$F_6 = \frac{4}{1501} = 0,003$$

$$F_7 = \frac{1}{1501} = 0,001$$

- Mesobacia do Rio Itoupava

$$F_1 = \frac{1268}{1180} = 1,075$$

$$F_2 = \frac{306}{1180} = 0,259$$

$$F_3 = \frac{69}{1180} = 0,058$$

$$F_4 = \frac{30}{1180} = 0,025$$

$$F_5 = \frac{6}{1180} = 0,005$$

$$F_6 = \frac{2}{1180} = 0,002$$

$$F_7 = \frac{1}{1180} = 0,001$$

- Mesobacia da Foz do Rio Araranguá

$$F_1 = \frac{51}{159} = 0,321$$

$$F_2 = \frac{12}{159} = 0,075$$

$$F_3 = \frac{6}{159} = 0,038$$

$$F_4 = \frac{2}{159} = 0,013$$

$$F_7 = \frac{1}{159} = 0,006$$

$$F_8 = \frac{1}{159} = 0,006$$

Extensão Média do Escoamento Superficial (I)

$$I = \frac{A}{4L}$$

onde: A = área da bacia (km²) e L = é o somatório do comprimento de todos os canais e tributários da bacia (km).

- Mesobacia do Rio dos Porcos

$$I = \frac{199,00}{4 \bullet 322} = 0,15$$

- Mesobacia do Rio Mãe Luzia

$$I = \frac{1501,00}{4 \bullet 2621,70} = 0,14$$

- Mesobacia do Rio Itoupava

$$I = \frac{1180,00}{4 \bullet 1918,60} = 0,15$$

- Mesobacia da Foz do Rio Araranguá

$$I = \frac{159,00}{4 \bullet 158,80} = 0,25$$

Sinuosidade do Curso d'Água ou Índice de Sinuosidade (I_s).

$$I_s = \frac{100(L - E_v)}{L}$$

onde: L = comprimento do rio principal até a nascente (km) e E_v = comprimento da foz até a nascente mais distante, em linha reta (km).

- Mesobacia do Rio dos Porcos

$$I_s = \frac{100(40,30 - 18,07)}{40,30} = 55,16$$

- Mesobacia do Rio Mãe Luzia

$$I_s = \frac{100(93,33 - 49,85)}{93,33} = 46,59$$

- Mesobacia do Rio Itoupava

$$I_s = \frac{100(68,95 - 50,13)}{68,95} = 27,30$$

- Mesobacia da Foz do Rio Araranguá

$$I_s = \frac{100(28,76 - 17,94)}{28,76} = 37,62$$

Conforme Mansikkaniemi, a mesobacia do rio dos Porcos é considerada como muito sinuoso, e a do rio Mãe Luzia como sinuosa, e a do rio Itoupava como reto e a da foz do rio Araranguá como divagante.

Declividade do álveo

A declividade dos canais irá influenciar na velocidade de escoamento. Álveo = leito do rio. Deflúvio = escoamento.

Mediu-se a distância do rio principal de cada mesobacia entre cotas, elaborou-se uma tabela e de posse destes dados construíram-se figuras que caracterizam a declividade de cada mesobacia.

TABELA 1 - COTAS, DISTÂNCIAS E DECLIVIDADES NA MESOBACIA DO RIO DOS PORCOS/SC

Cotas (m) (1)	Distância (m) (2)	Distância na horizontal (km) (3)	Distância acumulada (km) (4)	Declividade por segmento (m/m) (5)	Si (6)	Distância real medida em linha inclinada (Li) km (7)	Li/Si (8)
20	23.000	23,00	23,00	0,0009	0,0295	23,00	779,97
40	12.600	12,60	35,60	0,0032	0,0563	12,60	223,63
60	2.000	2,00	37,60	0,0300	0,1732	2,00	11,55
80	700	0,70	38,30	0,1143	0,3381	0,70	2,07
110	200	0,20	38,50	0,5500	0,7416	0,20	0,27
TOTAL	38.500	38,50	-	-	-	38,50	1.017,48

$S_1 = 0,0029 \text{ m/m} \Rightarrow$ cota 110,00 m

Diferença de elevação/distância (diferença entre cota superior e inferior/distância).

$S_2 = 0,0014 \text{ m/m} \Rightarrow$ cota 55,00 m

Área igual entre a curva e a abscissa (diferença entre a cota superior e inferior da linha.
 S_2 /distância)

$S_3 = 0,0014 \text{ m/m} \Rightarrow$ cota 55,12 m

Para demarcar a linha S_3 no gráfico, tem-se a declividade S_3 e determina-se a declividade em toda a distância, determinando-se a altura a ser acrescentada ao menor valor da cota da tabela. A elevação média do álveo é calculada da seguinte forma: cota maior do S_3 - cota menor do gráfico, divide-se por 2, mais cota menor do gráfico. S_3 é a declividade equivalente constante, dá idéia do tempo de percurso d'água ao longo da extensão do perfil longitudinal.

(1) = Cotas, m.

(2) = Distâncias, m

(3) = Distância medida na horizontal, km

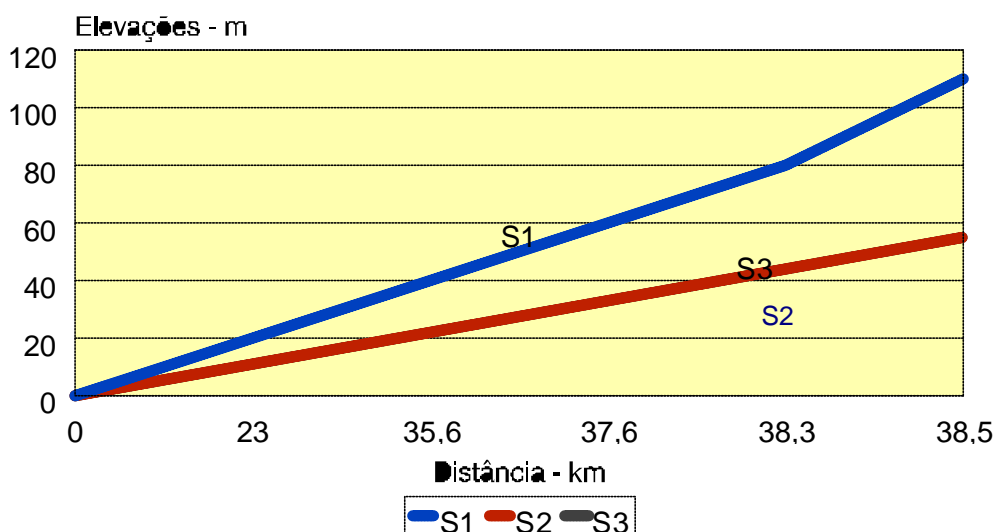
(4) = Distância acumulada, km

(5) = Declividade por segmento, m/m

$$(6) = \sqrt{(5)} = Si$$

(7) = Distância real medida em linha inclinada (Li), km

$$(8) = \frac{Li}{Si}$$

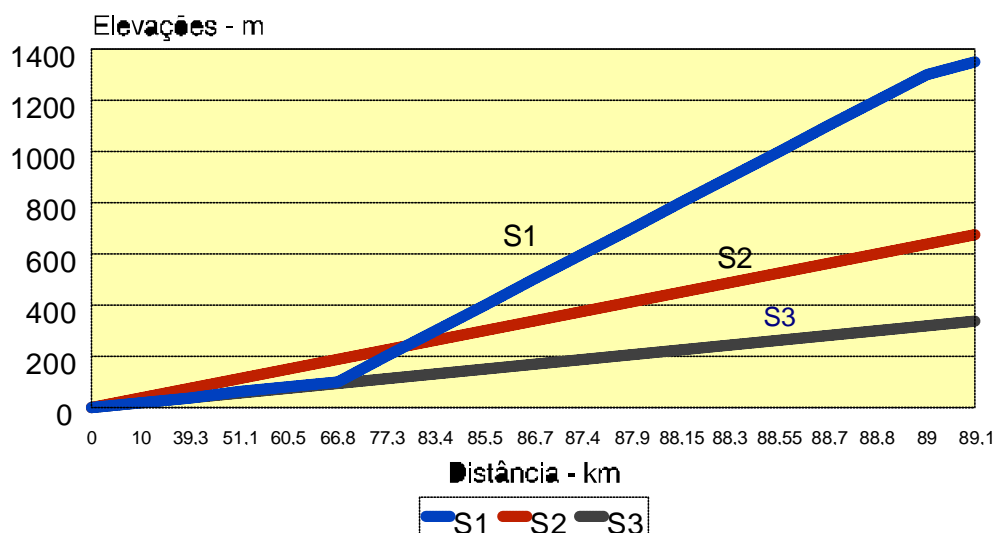
FIGURA 1 - PERFIL LONGITUDINAL DO RIO DOS PORCOS/SC**TABELA 2 - COTAS, DISTÂNCIAS E DECLIVIDADES NA MESOBACIA DO RIO MÃE LUZIA/SC**

Cotas (m) (1)	Distância (m) (2)	Distância na horizontal (km) (3)	Distância acumulada (km) (4)	Declividade por segmento (5)	Si (6)	Distância real medida em linha inclinada (li) km (7)	Li/Si (8)
20	10000	10,00	10,00	0,0020	0,0447	10,00	223,61
40	29300	29,30	39,30	0,0014	0,0369	29,30	793,00
60	11800	11,80	51,10	0,0051	0,0713	11,80	165,48
80	9400	9,40	60,50	0,0085	0,0923	9,40	101,89
100	6300	6,30	66,80	0,0159	0,1260	6,30	50,00
200	10500	10,50	77,30	0,0190	0,1380	10,50	76,08
300	6100	6,10	83,40	0,0492	0,2218	6,10	27,51
400	2100	2,10	85,50	0,1905	0,4364	2,10	4,81
500	1200	1,20	86,70	0,4167	0,6455	1,20	1,86
600	700	0,70	87,40	0,8571	0,9258	0,70	0,76
700	500	0,50	87,90	1,4000	1,1832	0,50	0,42
800	250	0,25	88,15	3,2000	1,7889	0,25	0,14
900	150	0,15	88,30	6,0000	2,4495	0,15	0,06
1000	250	0,25	88,55	4,0000	2,0000	0,25	0,13
1100	150	0,15	88,70	7,3333	2,7080	0,15	0,06
1200	100	0,10	88,80	12,0000	3,4641	0,10	0,03
1300	200	0,20	89,00	6,5000	2,5495	0,20	0,08
1350	100	0,10	89,10	13,5000	3,6742	0,10	0,03
TOTAL	89100	89,10	-	-	-	89,10	1445,93

$S_1 = 0,0152 \text{ m/m} \Rightarrow \text{cota } 1350,00 \text{ m}$

$S_2 = 0,0076 \text{ m/m} \Rightarrow \text{cota } 675,00 \text{ m}$

$S_3 = 0,0038 \text{ m/m} \Rightarrow \text{cota } 338,33 \text{ m}$

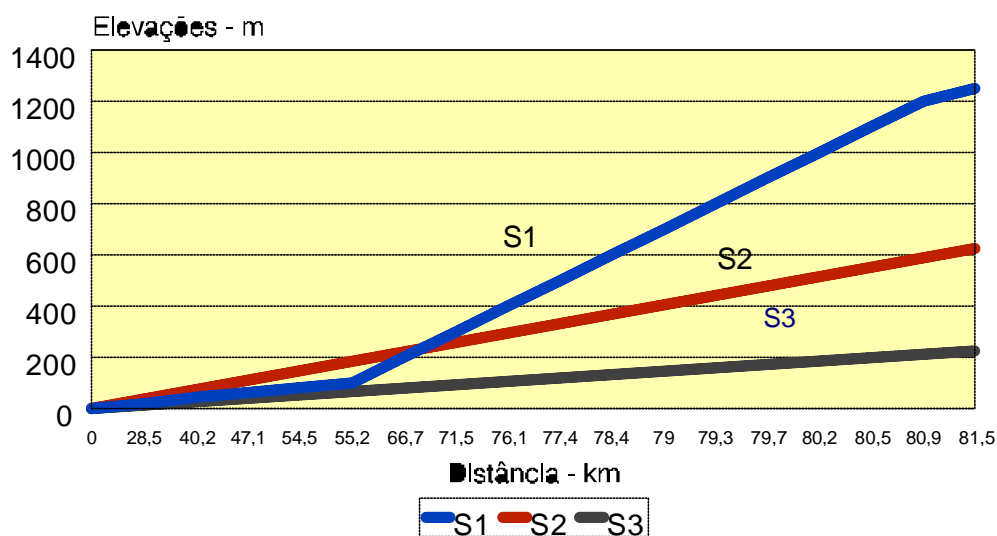
FIGURA 2 - PERFIL LONGITUDINAL DO RIO MÃE LUZIA/SC**TABELA 3 - COTAS, DISTÂNCIAS E DECLIVIDADES NA MESOBACIA DO RIO ITOUPAVA/SC**

Cotas (m) (1)	Distância (m) (2)	Distância na horizontal (km) (3)	Distância acumulada (km) (4)	Declividade por segmento (5)	Si (6)	Distância real medida em linha inclinada (li) km (7)	Li/Si (8)
20	285000	28,50	28,50	0,0007	0,0265	28,50	1075,85
40	117000	11,70	40,20	0,0034	0,0585	11,70	200,10
60	69000	6,90	47,10	0,0087	0,0933	6,90	73,99
80	74000	7,40	54,50	0,0108	0,1040	7,40	71,17
100	70000	0,70	55,20	0,1429	0,3780	0,70	1,85
200	115000	11,50	66,70	0,0174	0,1319	11,50	87,20
300	48000	4,80	71,50	0,0625	0,2500	4,80	19,20
400	46000	4,60	76,10	0,0870	0,2949	4,60	15,60
500	13000	1,30	77,40	0,3846	0,6202	1,30	2,10
600	10000	1,00	78,40	0,6000	0,7746	1,00	1,29
700	6000	0,60	79,00	1,1667	1,0801	0,60	0,56
800	3000	0,30	79,30	2,6667	1,6330	0,30	0,18
900	4000	0,40	79,70	2,2500	1,5000	0,40	0,27
1000	5000	0,50	80,20	2,0000	1,4142	0,50	0,35
1100	3000	0,30	80,50	3,6667	1,9149	0,30	0,16
1200	4000	0,40	80,90	3,0000	1,7321	0,40	0,23
1250	6000	0,60	81,50	2,0833	1,4434	0,60	0,42
TOTAL	815000	81,50				81,50	1550,52

$S_1 = 0,0152 \text{ m/m} \Rightarrow \text{cota } 1350,00 \text{ m}$

$S_2 = 0,0076 \text{ m/m} \Rightarrow \text{cota } 675,00 \text{ m}$

$S_3 = 0,0038 \text{ m/m} \Rightarrow \text{cota } 338,33 \text{ m}$

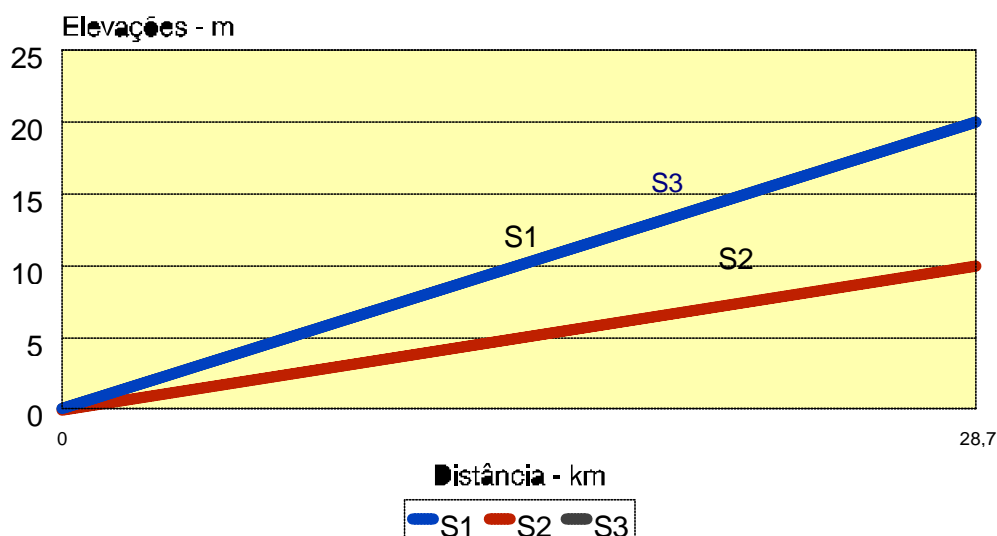
**FIGURA 3- PERFIL LONGITUDINAL DO RIO
ITOUPAVA/SC****TABELA 4 - COTAS, DISTÂNCIAS E DECLIVIDADES NA MESOBACIA DA FOZ DO RIO
ARARANGUÁ /SC**

Cotas (m) (1)	Distância (m) (2)	Distância na horizontal (km) (3)	Distância acumulada (km) (4)	Declividade por segmento (5)	Si (6)	Distância real medida em linha inclinada (li) km (7)	Li/Si (8)
20	28700	28,70	28,70	0,0007	0,0264	28,70	1087,20
TOTAL	28700	28,70				28,70	1087,20

$S_1 = 0,0007 \text{ m/m} \Rightarrow$ cota 20,00 m

$S_2 = 0,0003 \text{ m/m} \Rightarrow$ cota 10,00 m

$S_3 = 0,0007 \text{ m/m} \Rightarrow$ cota 20,00 m

FIGURA 4 - PERFIL LONGITUDINAL DA FOZ DO RIO ARARANGUÁ/SC

Curva Hipsométrica

É a representação gráfica do relevo médio de uma bacia, com relação ao nível do mar.

Pode ser determinada pelo método das quadrículas ou por planimetria das áreas entre as curvas de nível. Neste caso foi determinada por planimetria.

TABELA 5 - DETERMINAÇÃO DA DECLIVIDADE MÉDIA NA MESOBACIA DO RIO DOS PORCOS/SC

1	2	3	4	5	6	7
200-300	250	0,456	0,456	0,2296	0,2296	114,00
100-200	150	4,505	4,961	2,2681	2,4977	675,75
80-100	90	6,323	11,284	3,1834	5,6811	569,07
60-80	70	17,031	28,315	8,5745	14,2557	1192,17
40-60	50	45,172	73,487	22,7426	36,9982	2258,60
20-40	30	87,726	161,213	44,1671	81,1653	2631,78
0-20	10	37,41	198,623	18,8347	100	374,10
TOTAL	-	198,623	-	-	-	7815,47
MÉDIA	39,35	-	-	-	-	-

1 - Cotas (m)

2 - Ponto médio (m) - soma as cotas coluna (1) e divide por dois

3 - Área (km²) - planimetria entre cotas

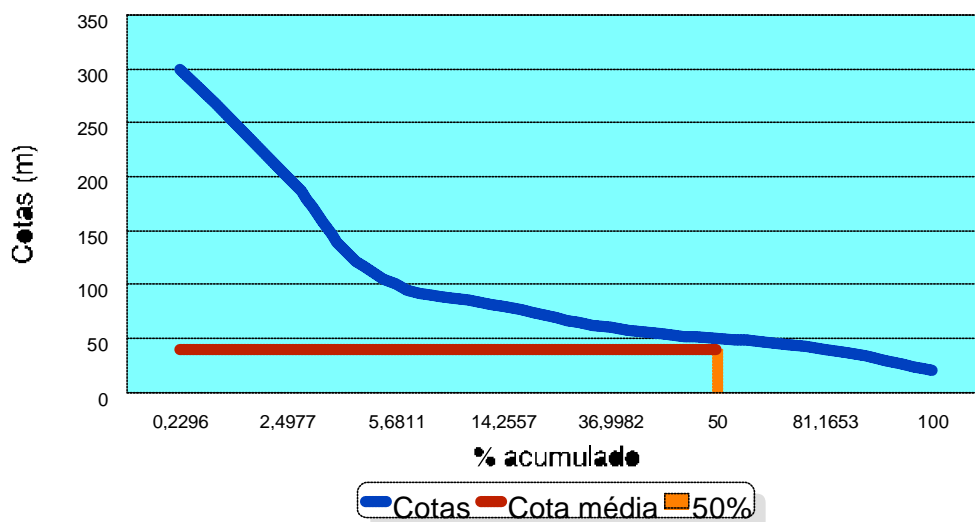
4 - Área acumulada (km²) - soma

5 - Percentagem da área - coluna (3) x 100 / total coluna (3)

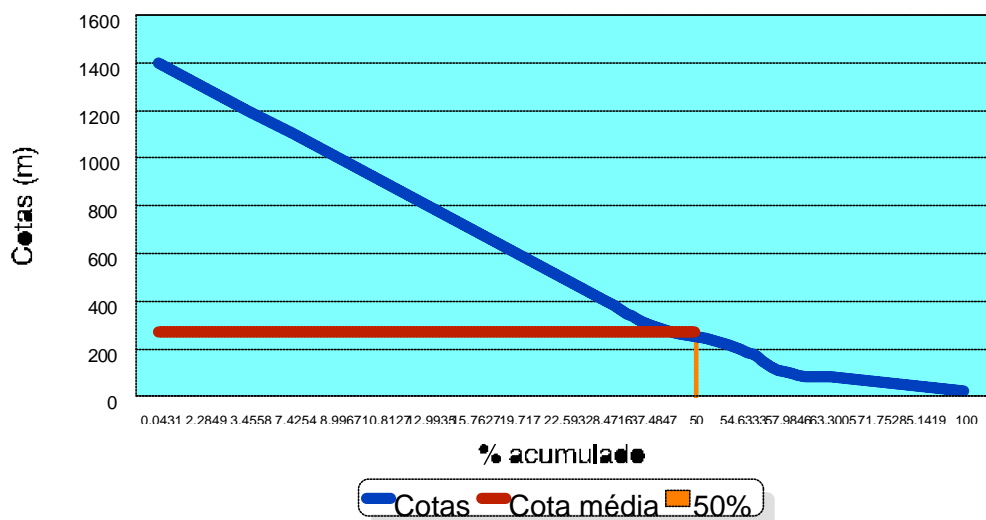
6 - Percentagem acumulada - soma

7 - Coluna (2) x coluna (3)

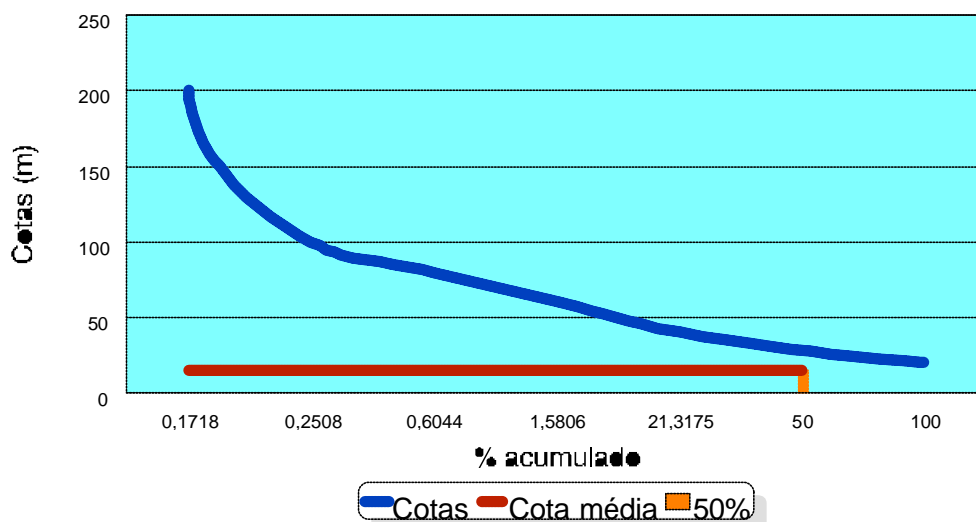
Média = Coluna (7) / coluna (3)

FIGURA 5 - CURVA HIPSOMÉTRICA DA MESOBACIA DO RIO DOS PORCOS/SC**TABELA 6 - DETERMINAÇÃO DA DECLIVIDADE MÉDIA NA MESOBACIA DO RIO ITROUPAVA /SC**

1	2	3	4	5	6	7
1300-1400	1350	0,509	0,509	0,0431	0,0431	687,15
1200-1300	1250	26,453	26,962	2,2418	2,2850	33066,5
1100-1200	1150	13,817	40,779	1,1710	3,4559	15889,55
1000-1100	1050	46,841	87,62	3,9696	7,4254	49183,05
900-100	950	18,542	106,162	1,5714	8,9968	17614,9
800-900	850	21,429	127,591	1,8160	10,8127	18214,65
700-800	750	25,733	153,324	2,1808	12,9935	19299,75
600-700	650	32,677	186,001	2,7692	15,7627	21240,05
500-600	550	46,661	232,662	3,9543	19,7170	25663,55
400-500	450	33,937	266,599	2,8760	22,5930	15271,65
300-400	350	69,368	335,967	5,8786	28,4716	24278,8
200-300	250	106,355	442,322	9,0131	37,4847	26588,75
100-200	150	202,354	644,676	17,1486	54,6333	30353,1
80-100	90	39,546	684,222	3,3513	57,9846	3559,14
60-80	70	62,728	746,950	5,3159	63,3005	4390,96
40-60	50	99,728	846,678	8,4515	71,7520	4986,4
20-40	30	158,001	1004,679	13,3898	85,1419	4740,03
0-20	10	175,327	1180,006	14,8581	100	1753,27
TOTAL	-	1180,006	-	-	-	316781
MÉDIA	268,46	-	-	-	-	-

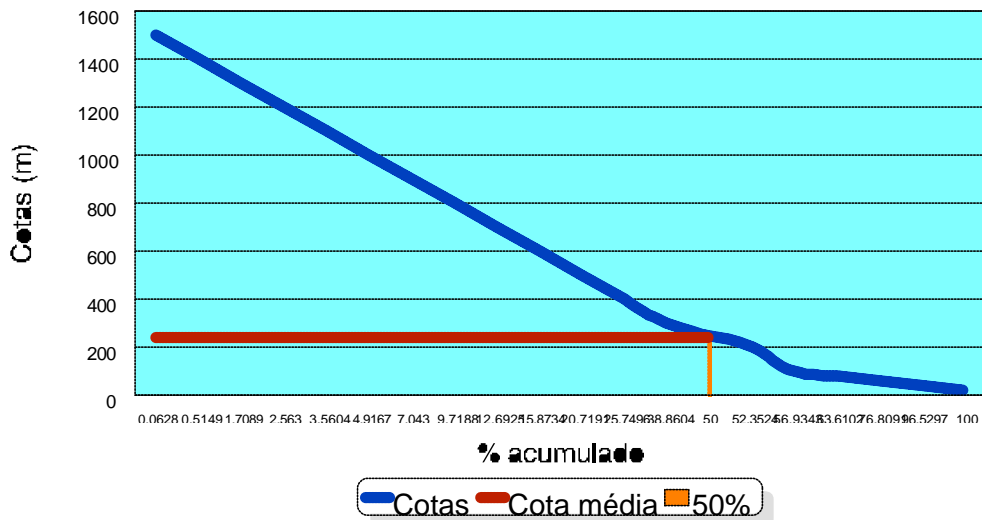
FIGURA 6 - CURVA HIPSOMÉTRICA DA MESOBACIA DO RIO ITOUPAVA/SC**TABELA 7 - DETERMINAÇÃO DA DECLIVIDADE MÉDIA NA MESOBACIA DA FOZ DO RIO ARARANGUÁ /SC**

1	2	3	4	5	6	7
100-200	150	0,274	0,274	0,1718	0,1718	41,1
80-100	90	0,126	0,400	0,0790	0,2508	11,34
60-80	70	0,564	0,964	0,3536	0,6044	39,48
40-60	50	1,557	2,521	0,9762	1,5806	77,85
20-40	30	31,480	34,001	19,7369	21,3175	944,4
0-20	10	125,497	159,498	78,6825	100	1254,97
TOTAL	-	159,498	-	-	-	2369,14
MÉDIA	14,8537	-	-	-	-	-

FIGURA 7 - CURVA HIPSONOMÉTRICA DA MESOBACIA DA FOZ DO RIO ARARANGUÁ/SC**TABELA 8 - DETERMINAÇÃO DA DECLIVIDADE MÉDIA NA MESOBACIA DO RIO MÃE LUZIA /SC**

1	2	3	4	5	6	7
1400-1500	1450	0,942	0,942	0,0628	0,0628	1365,9
1300-1400	1350	6,786	7,728	0,4521	0,5149	9161,1
1200-1300	1250	17,923	25,651	1,1941	1,7089	22403,75
1100-1200	1150	12,819	38,47	0,8540	2,5630	14741,85
1000-1100	1050	14,971	53,441	0,9974	3,5604	15719,55
900-100	950	20,359	73,8	1,3564	4,9167	19341,05
800-900	850	31,916	105,716	2,1263	7,0430	27128,6
700-800	750	40,163	145,879	2,6757	9,7188	30122,25
600-700	650	44,636	190,515	2,9738	12,6925	29013,4
500-600	550	47,745	238,26	3,1809	15,8734	26259,75
400-500	450	72,733	310,993	4,8456	20,7190	32729,85
300-400	350	75,509	386,502	5,0306	25,7496	26428,15
200-300	250	196,793	583,295	13,1108	38,8604	49198,25
100-200	150	202,514	785,809	13,4919	52,3524	30377,1
80-100	90	68,776	854,585	4,5820	56,9344	6189,84
60-80	70	100,204	954,789	6,6758	63,6102	7014,28
40-60	50	198,116	1152,905	13,1989	76,8091	9905,8
20-40	30	296,006	1448,911	19,7206	96,5297	8880,18
0-20	10	52,089	1501	3,4703	100	520,89
TOTAL	-	1501	-	-	-	366501,54
MÉDIA	244,17	-	-	-	-	-

FIGURA 8 - CURVA HIPSONOMÉTRICA DA MESOBACIA DO RIO MÃE LUZIA/SC



Tempo de concentração

Definido por VILLELA & MATTOS, (1975) como sendo o tempo que a chuva, que cai no ponto mais distante da secção considerada de uma bacia, leva para atingir esta secção. Mede o tempo para que toda a bacia contribua para o escoamento superficial na secção considerada, a partir do início da chuva.

O tempo de concentração pode ser estimado de diferentes maneiras, neste trabalho foi determinado por EUCLYDES, 1987, aplicando-se a fórmula de Giandotti, apresentada a seguir:

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L_w}{0,8\sqrt{H_m - H_o}}$$

onde,

T_c = Tempo de concentração (h);

A = Área da bacia (km^2);

L_w = Comprimento do talvegue (km);

H_m = Altitude média (m);

H_o = Altitude final do trecho (m).

MESOBACIAS	TEMPO DE CONCENTRAÇÃO (h)
Rio dos Porcos	67,88
Rio Mãe Luzia	165,66
Rio Itoupava	146,73
Foz do Rio Araranguá	64,48

Verso texto

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

1. CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.188p.
2. EUCLYDES, H. P. **Saneamento Agrícola**; atenuação das cheias; metodologia e projeto. Belo Horizonte: Ruralminas, 1987. 320p.
3. PANICHI, J. de A. V.; BACICI, I. L. Z.; LAUS NETO, J. A.; CHANIN, Y. M.A.; SEIFFERT, N. F.; VIEIRA, H. J. **Metodologia para o inventário das terras em microbacias hidrográficas**. Florianópolis: EPAGRI, 1994. 50p.
4. ROCHA, J.S.M. da. **Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas**. Santa Maria: UFSM, 1991. 181p.
5. VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.

