

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS.  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA

ROBERTO JOSÉ HEZER MOREIRA VERVLOET

*Condicionantes morfológicos e estruturais na dinâmica  
fluvial da bacia hidrográfica do Rio Benevente – Espírito  
Santo.*

São Paulo  
2009.

**ROBERTO JOSÉ HEZER MOREIRA VERVLOET**

***Condicionantes morfológicos e estruturais na dinâmica  
fluvial da bacia hidrográfica do Rio Benevente – Espírito  
Santo.***

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de mestre em Geografia Física.

Linha de Pesquisa: Geomorfologia Fluvial, Bacias Hidrográficas e Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Jurandyr Luciano Sanches Ross.

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Catálogo na Publicação  
Serviço de Documentação da Biblioteca Florestan Fernandes  
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo.

Vervloet. Roberto José Hezer Moreira.

Condicionantes morfológicos e estruturais na dinâmica fluvial da bacia hidrográfica do Rio Benevente – Espírito Santo / Vervloet, Roberto José Hezer Moreira; orientador Jurandyr Luciano Sanches Ross. – São Paulo, 2009.

478 f. : 108 fig.

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Geografia Física. Área de Concentração: Geomorfologia e Planejamento Ambiental) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo.

1. Geomorfologia fluvial. 2. bacias hidrográficas. 3. evolução - drenagem. I. Título.

ROBERTO JOSÉ HEZER MOREIRA VERVLOET

***Condicionantes morfológicas e estruturais na dinâmica fluvial da bacia hidrográfica do Rio Benevente – Espírito Santo.***

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de mestre em Geografia Física.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. \_\_\_\_\_

Instituição: \_\_\_\_\_ Assinatura: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. \_\_\_\_\_

Instituição: \_\_\_\_\_ Assinatura: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. \_\_\_\_\_

Instituição: \_\_\_\_\_ Assinatura: \_\_\_\_\_

***Para o encanto do sorriso e a ternura da  
alegria dos meus amados pais, ao me  
verem chegando em casa.***

## Agradecimentos

A Deus por permitir um destino tão completo e tão perfeitamente traçado o qual por várias vezes tenho tentado fugir;

Ao Prof. Dr. Jurandyr Luciano Sanches Ross, pela orientação concedida e paciência, assim como pela amizade e “gritos” do dia a dia;

À Prof. Dra. Sidneide Manfredini e ao Prof. Dr. José Pereira de Queiroz Neto pela receptividade e acolhida de sempre em sua casa e conversas descontraídas, enriquecedoras de minha formação;

Ao Prof. Dr. Emerson Galvani e Prof. Dra. Cleide Rodrigues pela minha aceitação como estagiário de docência;

Ao Prof. Dr. Adilson Avansi de Abreu pelas orientações no meu exame de qualificação e conversas rápidas de corredor;

Ao Prof. Dr. Aziz Nacib Ab’Sáber pela receptividade e paciência no Instituto de Estudos Avançados da USP para com as indagações de um aluno de pós-graduação irrequieto e chato como eu;

Ao Prof. Dr. Ginaldo Ademar da Cruz Campanha por tirar minhas dúvidas nas questões referentes à geologia estrutural e geotectônica;

À Prof. Dra. Rosely Pacheco pelo carinho e cotidiano no Laboratório de Pedologia da FFLCH da USP.

À minha mamãezinha Maria da Penha Moreira Vervloet e a minha ex – professorinha Dalva Gomes Ferreira de Oliveira, pela revisão gramatical do longo texto;

À minha amiguinha Marisa de Souto Matos Fierz pela receptividade e carinho de cada dia na rotina do Laboratório de Geomorfologia da FFLCH da USP, a qual jamais esquecerei;

Ao Senhor Rainor Breda pelas fotos gentilmente cedidas da região de Matilde;

Ao meu amigo e geógrafo Jânio Marcos pela ajuda na parte cartográfica do trabalho;

Aos estudantes Leonardo Takei Kawata e Alex da Silva Souza por me ajudarem nas correrias de laboratório;

Aos estudantes de Pós-Graduação Fernando Nada Junqueira Villela, Marcos Roberto Pinheiro, Juliana de Paula Silva e Adriana Penteado por me acompanharem na cerveja, nos momentos de descontração;

Aos colegas de apartamento Ary Tavares Resende, Carlos Alexandre, Rubens Carlos e Alexandre Campos, pela amizade e pelos momentos que passamos debaixo do mesmo teto;

Ao Pedrão do buteco, ao Sr. Laércio e ao Sr. Couto por me acompanharem nas cervejas de Sexta-feira a noite, atividade essencial ao meu ócio;

A CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela bolsa que possibilitou fazer esta pesquisa;

À Universidade de São Paulo – USP instituição aonde fiz grandes amigos;

Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física da FFLCH – USP;

Ao Departamento de Geografia da USP;

Ao Laboratório de Geomorfologia do Departamento de Geografia da USP;

Ao Laboratório de Pedologia do Departamento de Geografia da USP.

***“...Então, fizeram você trocar...***

***Um papel de coadjuvante em uma guerra.***

***Por um papel principal numa cela?***

***... Ah, como eu queria.***

***Como eu desejava que você estivesse aqui...”***

***David Gilmour e Roger Waters  
(1975)***



## Resumo

VERVLOET, R. J. H. M. **Condicionantes morfológicos e estruturais na dinâmica fluvial da bacia hidrográfica do Rio Benevente – Espírito Santo**. 2009. xxx f. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

O estudo de bacias hidrográficas no meio tropical úmido, tem adquirido grande importância nas últimas décadas, devido a crescente demanda por planejamento de recursos hídricos. Entretanto, muitos desses trabalhos têm confundido o conceito de bacias hidrográficas, acreditando ser esta, uma mera rede de canais interconectados que formam a hidrografia dos terrenos, portanto, tomando-a como simples unidade cartográfica de estudo. Este fato tem banalizado em muito o uso de conceitos relacionados aos estudos de bacias, provocando sérios equívocos nas produções acadêmicas atuais. Partindo do princípio de que as bacias hidrográficas são espaços territoriais de circulação vertical e horizontal d'água, tendo a rede interconectada de canais, como um dos seus principais elementos, que escolhemos a bacia hidrográfica do Rio Benevente para estudo da relação entre a dinâmica fluvial desta e os seus condicionantes estruturais e morfológicos. Fundamentado no método da associação e indeterminação geomorfológica de Leopold e Langbein (1970), e, através de informações oriundas dos procedimentos técnico-operacionais de compartimentação geomorfológica e compilação de dados de parâmetros hidrográficos, foi possível descobrir que os sub-sistemas de drenagem que compõem a hidrografia total da bacia, evoluem condicionados por litoestruturas cristalinas e tectônicas do proterozóico, portanto, de organização antiga, e, que, aparentemente, demonstram não sofrer reativações modernas, a ponto de intervir na evolução dos sub-compartimentos de relevo regionais e na evolução hidrográfica da rede de canais. Chega-se desta forma, à conclusão de que os processos de encaixamento da drenagem, capturas fluviais, seccionamento de litoestruturas, gênese de knickpoints e evolução dos perfis longitudinais fluviais estão associados à dinâmica de processos geomórficos diferenciais, sob litoestruturas de forte natureza anisotrópica e complexa organização geotectônica. Fato que responde pela diversidade de sub-compartimentos de relevo e configuração evolutiva dos sistemas fluviais de dinâmicas diferenciais.

**Palavra-chave:** geomorfologia fluvial, bacias hidrográficas, captura fluvial, rede de drenagem e processos geomórficos.

## Abstract

VERVLOET, R. J. H. M. **Morphological and structural constraints on the dynamics of the river basin of the River Benevente - Espírito Santo**. 2009. xxx f. Dissertation (MA) - Faculty of Philosophy, Letters and Human Sciences, University of São Paulo, São Paulo, 2009.

The study of watersheds in the humid tropical environment, has acquired great importance in recent decades due to growing demand for water resources planning. However, many studies have confused the concept of watersheds, believing that this was simply a network of interconnected channels that form the hydrography of the land, thus making it as simple cartographic unit of study. This commonplace is the use of concepts related to the studies of basins, causing serious confusion in the current academic productions. Assuming that the basins are territorial spaces of vertical and horizontal movement of water, the interconnected network of channels, as one of its main elements, we chose the basin of Rio Benevente to study the relationship between the dynamics of this river and its structural and morphological constraints. Based on the method of the Association and indeterminacy in geomorphologic Leopold and Langbein (1970), and through information from the technical and operational procedures of geomorphological partitioning and compilation of data from hydrographic parameters, could find that the sub-drainage systems that make up the total of the hydrographic basin, driven by evolving litoestruturas crystal and the tectonic proterozóico, therefore, the old organization, and that, apparently, show not suffer reactivations modern as to intervene in the evolution of sub-compartments of regional importance and the evolution of the network of river channels. Enough is thus concluded that the processes to fit the drainage, catch river, sectioning of litoestruturas, gênese of knickpoints and evolution of longitudinal river profiles are associated with the dynamic of geomorphic processes differential, under litoestruturas of strong anisotropic nature and complex organization geotectônica. Fact responsible for the diversity of sub-compartments of important configuration and evolutionary dynamics of river systems of differential.

**Keywords:** fluvial geomorphology, river basins, river capture, drainage network and geomorphic processes.

## Lista de Figuras

Figura 01 –	Localização estadual da bacia hidrográfica do Rio Benevente.....	98
Figura 02 –	Mapa com a localização das estações fluviométricas e meteorológicas na bacia do Rio Benevente.....	103
Figura 03 –	Fluviograma da estação Alfredo Chaves.....	104
Figura 04 –	Hidrograma da estação Alfredo Chaves. Ano hidrológico.....	105
Figura 05 –	Gráfico da curva de permanência das vazões de referência Q50 e Q90 da estação Alfredo Chaves.....	106
Figura 06 –	Fluviograma da estação Matilde.....	108
Figura 07 –	Gráfico do hidrograma anual da estação Matilde.....	109
Figura 08 –	Gráfico da curva de permanência das vazões de referência Q50 e Q90 da estação Matilde.....	110
Figura 09 –	Gráfico da curva do intervalo de ocorrência das vazões máximas da estação Matilde.....	110
Figura 10 –	Gráfico do intervalo de ocorrência das vazões mínimas da estação Matilde.....	112
Figura 11 –	Gráfico da precipitação média mensal da estação meteorológica de Alfredo Chaves.....	118
Figura 12 –	Gráfico da linha de tendência da precipitação da estação meteorológica de Alfredo Chaves.....	119
Figura 13 –	Gráfico da temperatura mínima e máxima da estação meteorológica de Alfredo Chaves. ....	121
Figura 14 –	Gráfico da temperatura média anual com linha de tendência da estação Alfredo Chaves.....	121
Figura 15 –	Gráfico da temperatura média mensal da estação meteorológica de Alfredo Chaves.....	122
Figura 16 –	Mapa tectônico da região sudeste com destaque para os elementos componentes da Província Mantiqueira e localização da bacia do Rio Benevente.....	126

Figura 17 –	Mapa tectônico do Orógeno Araçuaí com localização da bacia do Rio Benevente.....	127
Figura 18 –	Mapa com o quadro tectônico da bacia hidrográfica do Rio Benevente.....	134
Figura 19 –	Seção geológica esquemática da região da bacia evidenciando a organização litológica, tectônica e estrutural em subsuperfície dos corpos intrusivos e demais rochas metamórficas.....	141
Figura 20 –	Provável falha normal gerada em regime distensivo, encontrada em afloramento de ortognaisses tonalíticos apresentando direção N41°E e mergulho de 60°NW, próximo as margens do Rio Iiritimirim na estrada que vai de Alfredo Chaves para Matilde, antes do trevo para Iiritimirim. Coordenadas UTM 0311258/7724763.....	144
Figura 21 –	Elementos estruturais e tectônicos que estão associados às zonas e cinturões de cisalhamento. Modificado e adaptado de Christie-Blick e Biddle (1986). .....	145
Figura 22 –	Faixa de cataclasitos em ortognaisses (P <sub>1</sub> b) na trilha que desce para a Cachoeira Engenheiro Reeve na estrada Alfredo Chaves - Matilde. Coordenada UTM: 0310555/7725368.....	147
Figura 23 –	Mapa com a distribuição das unidades litológicas da bacia hidrográfica do Rio Benevente.....	157
Figura 24	Zona de contato entre Pps1 e $\epsilon_{3ic}$ na estrada Alfredo Chaves para Crubixá. Coordenadas UTM 0313604/7716205.....	168
Figura 25 –	Mapa de unidades hidromorfológicas da bacia hidrográfica do Rio Benevente. ....	188
Figura 26 –	Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do Rio Benevente.....	191
Figura 27 –	Mapa clinográfico da bacia hidrográfica do Rio Benevente.....	192
Figura 28 –	Seção transversal esquemática com variáveis morfométricas e morfodinâmicas do canal de escoamento aberto. Adaptado e modificado de Christofolletti (1981).....	194
Figura 29 –	Seção longitudinal de um trecho fluvial, com variáveis básicas para entendimento da energia disponível em cada ponto do rio. Adaptado e modificado de Tucci et al. (2004) e Vieira da Silva et al. (2007). .....	201
Figura 30 –	Seção longitudinal de um rio com perfil de distribuição da velocidade do fluxo e do material detrítico.....	207
Figura 31 –	Seção transversal com perfil de distribuição diferencial da	

	velocidade dos fluxos em canais simétricos e assimétricos. Adaptado e modificado de Suguio e Bigarella (1990).....	209
Figura 32 –	Gráfico com as características dos regimes de fluxo em canais abertos com base nos números de Froude e Reynolds. Adaptado e modificado de Sundborg (1956).....	221
Figura 33 –	Tipos de padrões de canal, baseando-se na carga sedimentar, com variáveis associadas e estabilidade relativa. Adaptado de Schumm (1981).....	224
Figura 34 –	Os padrões de canais gerados a partir dos cinco tipos básicos da figura (30). A – padrões de carga suspensa. B – carga mista e C – carga suspensa. Adaptado de Schumm (1981).....	228
Figura 35 –	Efeitos relativos da declividade do vale, energia da corrente, e carga sedimentar sobre os limiares geomórficos que mantém os padrões de canais fluviais. A – canais de carga do leito, B – canais de carga mista e C – canais de carga suspensa. Os números indicam as localizações dos padrões de canais da fig. (31). Adaptado de Schumm (1981).....	231
Figura 36 –	Modelo de evolução da rede hidrográfica através dos estágios de iniciação (1), passando por extensão (2 e 3) indo até extensão máxima (4) e por redução da densidade de drenagem (5 e 6). Adaptado de Glock (1931).....	233
Figura 37 –	Desenvolvimento de uma rede hidrográfica de acordo com o modelo de Horton (1945). A – sobre uma superfície uniforme e inclinada em direção a “o” o comprimento máximo do fluxo superficial é “ob”. Sulcos erosivos começam a se formar após a água percorrer uma distância crítica “Xc”. Devido à água esta se deslocando ao longo da distância “bo”, um canal se forma e esta incisão do canal gera um vale. B – o desenvolvimento desse vale oblitera os canais paralelos a “og” e uma segunda geração de canais se formam (2). Eles tornam a gerar outros vales e uma terceira e quarta geração de tributários (3,4), como demonstrado em C e D. Adaptado de Horton (1945).....	236
Figura 38 –	Perfil morfogeológico A – A da URP.....	246
Figura 39 –	Modelo digital de terreno da Unidade Rio Pongal – URP.....	248
Figura 40 –	Perfil morfogeológico B – B da URP.....	249
Figura 41 –	Paisagem das colinas convexas e planícies fluviais embutidas da URP próximo as cabeceiras do Córrego Arerá. Paisagem vista a partir da estrada ES – 060 no sentido Piúma – Anchieta, com visada para N.....	249

Figura 42 –	Perfil longitudinal do Rio Pongal.....	252
Figura 43 –	Modelo digital de terreno da Unidade Rio Grande – URG.....	256
Figura 44 –	Perfil morfogeológico C – C’ da URG.....	258
Figura 45 –	Perfil morfogeológico D – D’ da URG.....	260
Figura 46 –	Paisagem de parte da URG, observada a partir do distrito de Jabaquara, em direção a NE - E, aonde pode-se visualizar parte das formas de relevo deste local. Para localização vide figura com a imagem de MDT.....	260
Figura 47 –	Processos de movimentos de massa em vertentes inclinadas das colinas convexas da URG. Visada para N. Local: estrada que vai da Br 101 para São Miguel.....	261
Figura 48 –	Perfil longitudinal do Rio Grande.....	265
Figura 49 –	Modelo digital de terreno da Unidade Córrego do Pabuçú – UCP.....	269
Figura 50 –	Setor de colinas convexas em contato abrupto com planícies fluviais ramificadas por canais de 1ª e 2ª ordem na UHCP. Visada para SSW. Local: estrada da Br 101 para Alfredo Chaves.....	270
Figura 51 –	Perfil morfogeológico E – E da UCP.....	271
Figura 52 –	Paisagem com a delimitação aproximada da UCP, evidenciando os morros residuais com cristas simétricas que a delimitam, vistos a partir de sua porção oeste em direção a nordeste. Notar a sutileza da compartimentação e o conjunto de colinas arredondadas de seu espaço interior, onde as drenagens das respectivas sub-bacias se instalaram.....	274
Figura 53 –	Perfil longitudinal do Córrego Picuá.....	277
Figura 54 –	Perfil longitudinal do Córrego Pabuçu.....	278
Figura 55 –	Perfil longitudinal do Córrego Mambuaca.....	279
Figura 56 –	Modelo digital de terreno da Unidade Rio Corindiba – URC.....	282
Figura 57 –	Perfil morfogeológico F – F da URC.....	284
Figura 58 –	Perfil morfogeológico G – G da URC.....	287
Figura 59 –	Perfil morfogeológico H – H da URC.....	290

Figura 60 –	Cenário paisagístico atual da região de captura de antigas drenagens pelo Rio Corindiba, que estavam orientadas para NNE e NE. Local: entrada da Cachoeira São Félix, após distrito de São Miguel.....	293
Figura 61 –	Processo de movimento de massa em vertentes de cabeceira obsequente e seccionante do vale do Córrego São Félix, após a Cachoeira São Félix. Tais eventos respondem pela disponibilização de altas taxas de sedimentos, que acabam colmatando as planícies fluviais e alveolares situadas a jusante de knickpoints e alimentando o poder erosivo dos canais fluviais na URC. Notar a cicatriz suavizada na parte direita da figura, oriunda de movimentos anteriores e o desenvolvimento incipiente da cobertura pedológica. Observar na figura em detalhe duas redes dedutos em subsuperfície, que ao se conectar com sulcos erosivos da superfície, provoca pequeno arco de solapamento, com erosão em processo por retrogradação.....	294
Figura 62 –	Perfil longitudinal do Rio Corindiba.....	298
Figura 63 –	Modelo digital de terreno da Unidade Rio Joéba.....	303
Figura 64 –	Perfil morfogeológico I – I da URJ.....	305
Figura 65 –	Setor de paisagem do vale do Rio Joéba, apresentando vales de seccionamento e festonamento. Fotos tomadas a partir da estrada Alfredo Chaves - Cachoeira Alta.....	307
Figura 66 –	Perfil morfogeológico J – J da URJ.....	309
Figura 67 –	Perfil longitudinal do Rio Crubixá.....	314
Figura 68	Perfil longitudinal do Rio Joéba.....	315
Figura 69 –	Modelo digital de terreno do vale do Rio Batatal e Caco de Pote.....	319
Figura 70 –	Modelo digital de terreno da Unidade Rio Batatal – URB.....	321
Figura 71 –	Perfil morfogeológico K – K da URB.....	324
Figura 72 –	Vertentes escarpadas e íngremes nos vales do Rio Batatal e Caco de Pote, evidenciando eventos recentes de movimentos de massa, o qual a despeito de estudos mais aprofundados, torna-se difícil delimitar os mecanismos genéticos de sua formação. ....	326
Figura 73 –	Perfil morfogeológico L – L da URB.....	328
Figura 74 –	Perfil longitudinal do Rio Batatal.....	333



Figura 75 –	Perfil longitudinal do Rio Caco de Pote.....	334
Figura 76 –	Modelo digital de terreno da Unidade Ribeirão São Joaquim – URSJ.....	339
Figura 77 –	Modelo digital de terreno dos vales do Ribeirão São Joaquim e Rio Santa Maria.....	341
Figura 78 –	Perfil morfogeológico M - M' da URSJ, apresentando as diferenças altimétricas entre os principais vales desta unidade..	343
Figura 79 –	Vale do Ribeirão São Joaquim em dois segmentos de paisagem, nas proximidades de Crubixá.....	346
Figura 80 –	Modelo digital de terreno dos vales do Ribeirão São Joaquim e Rio Santa Maria.....	349
Figura 81 –	Perfil morfogeológico N – N da URSJ.....	353
Figura 82 –	Perfil longitudinal do Ribeirão São Joaquim.....	357
Figura 83 –	Perfil longitudinal do Rio Santa Maria.....	358
Figura 84 –	Modelo digital de terreno da Unidade Rio Iritimirim – URI.....	363
Figura 85 –	Perfil morfogeológico O – O' da URI.....	366
Figura 86 –	Perfil morfogeológico P – P' da URI.....	371
Figura 87 –	Cenário de paisagem demonstrando um pequeno setor, com ocorrência de estrutura circular de drenagem centrípeta, que não foi possível mapear na escala adotada no presente trabalho. Saída do distrito de Iritimirim em direção a Matilde. Região de morros convexos.....	373
Figura 88 –	Perfil morfogeológico Q – Q' da URI.....	375
Figura 89 –	Perfil longitudinal do Rio Iritimirim.....	379
Figura 90 –	Perfil longitudinal Córrego do Cedro.....	380
Figura 91 –	Modelo digital de terreno da Unidade Rio Maravilha.....	386
Figura 92 –	Modelo digital de terreno do vale do Rio Benevente e Rio Maravilha.....	388
Figura 93 –	Perfil morfogeológico R – R' da URM.....	389
Figura 94 –	Leito fluvial do Rio Benevente, na estrada que vai do Distrito de Matilde para o povoado de Carolina, evidenciando a visualização strictu sensu de um processo de seccionamento,	

	sobre estruturas Pps2, com orientação e mergulho de N150°W / 30°SE, em zona de superimposição fluvial do Rio Benevente em região de morros dissecados. Notar as cicatrizes de movimentos de massa pretéritos, na foto da direita, nas vertentes do vale da margem direita do rio homônimo, no mesmo local da flexão de quase 90° graus que o mesmo faz, sobre essas litoestruturas. Coordenadas UTM 0309553/7726843.....	391
Figura 95 –	A planície alveolar da zona de confluência entre o Rio Benevente, Rio Maravilha e o Rio Iiritimirim nas proximidades do povoado de Carolina, após o Distrito de Matilde. Setor de morros convexos com planície alveolar em primeiro plano nas fotos inferiores, apresentando área em que há inundações periódicas na zona de Pa e terraço fluvial na porção mais alta, sofrendo processo de entalhamento ocasionado pelo Rio Benevente. Coordenadas UTM 0308185 / 7728497.....	394
Figura 96 –	Perfil morfogeológico S – S' da URM.....	399
Figura 97 –	Perfil longitudinal do Rio Maravilha.....	402
Figura 98 –	Perfil longitudinal do Córrego da Pedra.....	403
Figura 99 –	Perfil longitudinal do Córrego Morandi.....	404
Figura 100 –	Modelo digital de terreno da Unidade Córrego do Redentor – UCR.....	409
Figura 101 –	Perfil morfogeológico T – T da UCR.....	410
Figura 102 –	Modelo digital de terreno dos vales do Córrego da Fortuna e Córrego Redentor.....	413
Figura 103 –	Perfil morfogeológico U – U' da UCR.....	415
Figura 104 –	Perfil longitudinal do Córrego do Redentor.....	419
Figura 105 –	Perfil longitudinal do Córrego Fortuna.....	419
Figura 106 –	Perfil longitudinal do Córrego Alto Benevente.....	420
Figura 107 –	Modelo digital de terreno da bacia do Rio Benevente, apresentando o comportamento das litoestruturas em sub-superfície e correspondência no condicionamento da drenagem e evolução do relevo.....	434
Figura 108 -	Mapa comparativo da evolução da drenagem nas sub-bacias e unidades hidromorfológicas da bacia do Rio Benevente.....	452

## Sumário

Capítulo 01 – Introdução aos estudos de geomorfologia fluvial.....	20
1.1 – Bacias hidrográficas: problemas conceituais e características gerais.....	21
1.2 – Da teoria, do método e do procedimento técnico na investigação geomorfológica de processos fluviais. Um breve apanhado histórico.....	34
1.3 – Da base teórica e metodológica adotada.....	76
1.4 – Dos procedimento técnico-operacional utilizado e dos objetivos da pesquisa.....	83
Capítulo 02 – A área em estudo: bacia hidrográfica do Rio Benevente.....	95
2.1 - A bacia fluvial do Rio Benevente: uma das redes de drenagem lateral na fachada atlântica Espírito Santense.....	96
2.2 – Dinâmica hidrológica do Rio Benevente.....	101
2.3 – Aspectos climáticos da bacia.....	114
2.4 - Os atributos litológicos e tectono-estruturais da região da bacia.....	124
Capítulo 03 – Compartimentação geomorfológica e propriedades fluviais da rede hidrográfica.....	173
3.1 – Problemas na compartimentação de bacias hidrográficas.....	174
3.2 – O trabalho e o poder dos rios na dinâmica da paisagem.....	195
3.3 – Os padrões de canais e os processos correspondentes.....	223
3.4 – Os modelos de evolução da rede hidrográfica na literatura geomorfológica.....	232

Capítulo 04 – Os compartimentos de relevo e a projeção dos parâmetros hidrográficos.....	242
4.1 - Os compartimentos de relevo gerados e os parâmetros hidrográficos.....	243
4.2 – Domínio Morfotectônico Litorâneo (Fragmento de Crosta Inferior).....	243
4.3 – Domínio Morfotectônico Oriental – DOR.....	268
4.4 – Domínio Morfotectônico de Arco Magmático – DAM.....	384
Capítulo 05 – Conclusões gerais.....	424
5.1 - Repercussão geomorfológica dos dobramentos de fundo e evolução da drenagem – <i>Revisitando Francis Ruellan</i> .....	425
5.2 – O papel das falhas e das estruturas de dobramento em cinturões de cisalhamento da fachada Atlântica na evolução hidrográfica do Rio Benevente.....	432
5.3 – Os sistemas de captura fluvial e o controle litoestrutural dos grupos de formas relevo.....	445
5.4 – Evolução hidrográfica da bacia: do encaixamento da drenagem sobre estruturas proterozóicas versus o modelo de Glock.....	451
5.5 – Análise crítica e proposições para estudos mais avançados.....	459

## **Capítulo 01**

### **Introdução aos Estudos de Geomorfologia Fluvial.**

## **1.1 – Bacias Hidrográficas: problemas conceituais e características gerais.**

É preferível partir em estudos de geomorfologia fluvial, do princípio na qual o relevo deve ser considerado como uma representação geométrica<sup>1</sup> de formas em sentido “temporal” herdadas da disposição de complexos processos ocorrentes no arranjo total da paisagem terrestre, e, que, transformados esses processos, essa geometria, de maneira correspondente e conjugada, também se transforma como demonstrativa da integração e ajuste dos mesmos.

Por meio deste princípio, fica fácil compreender sem mera ortodoxia e qualquer tom de demagogia que este conceito de relevo o qual nos filiamos, entendido como o arranjo geométrico representativo do processo em ação, oferece-nos o fundamento e a revelação para o estudo de um dos principais agentes que atuam na elaboração e re-elaboração da organização geomórfica dos terrenos, ou seja, a rede fluvial hidrográfica vista através de todos os seus elementos, mecanismos, processos, fases, estágios e eventos dentro de um contexto estritamente geomorfológico.

Já é tempo de se refletir, e a presente pesquisa insistirá e demonstrará isso, na idéia de que os rios, que são os principais componentes da nervura hidrográfica que se instala e se desenvolve sobre a superfície terrestre, não são apenas mecanismos de desnudação ou agentes de erosão atuantes na evolução da paisagem, mas precipuamente, controladores dos momentos de equilíbrio e evolução dinâmica, fruto

---

<sup>1</sup> Arranjo geométrico não é visto aqui em um sentido teleológico, de resultado final, e, sim no sentido de exposição, de demonstrativo, de representação dos processos. A geometria das formas é uma característica intrínseca representativa da atuação dos processos ocorrentes sobre a superfície terrestre. Não é o resultado final, mas a exposição do processo em ação.

da interação de variáveis hidráulicas e hidrogeomórficas, originadas a partir de uma evolução geomórfica complexa, contínua e que forma a própria configuração dos canais fluviais. Neste sentido, os rios não devem ser considerados somente como agentes erosivos de reafeiçoamento das formas de relevo ou um mero controlador dos níveis de base, mas como um complexo de variáveis hidrológicas, hidráulicas, geomórficas e hidrogeomórficas em um estado de equilíbrio<sup>2</sup> que estabelece uma evolução própria na paisagem morfológica, onde na maioria das vezes, não se apresenta em estágios evolutivos, mas em uma ação dinâmica de propriedades permanentes.

Através deste contexto, podemos desde já, evidenciar que a rede hidrográfica, entendida como uma malha interconectada de canais fluviais instalados e que se desenvolvem sobre a superfície, apresentará uma configuração demonstrativa dos tipos de processos e eventos que respondem pela dinâmica e evolução do relevo em tempos geológicos, relativamente recentes, mais precisamente no decorrer do Quaternário, e, em raras oportunidades, se estendendo pelo Terciário.

Portanto, os canais fluviais, considerados em todas as suas tipologias e propriedades, podem também ser vistos como um momento de equilíbrio das forças físicas, oriundas de mecanismos geomórficos, hidrogeomórficos, hidrológicos, hidráulicos, climáticos, geológicos e pedológicos que ocorrem nos setores de superfícies posicionados a montante da seção fluvial que se em consideração na análise.

---

2. Os canais fluviais, entendidos por meio de fatores hidráulicos, em muitos dos casos apresenta-se como o resultado de um jogo de equilíbrio de forças físicas dos processos geomórficos de evolução da superfície. Assim, tomado em um exemplo rústico, o rio pode atuar, na maioria das vezes, no sentido de não escavar, não erodir, e ser o principal obstáculo aos processos de reafeiçoamento das formas. Tal discussão será tomada de maneira mais concisa no capítulo 03.

Entretanto, podemos até considerar a perenidade fluvial como – e aqui cabe também o sentido da palavra representativa – uma resposta dos processos em ação nos setores de relevo a montante de uma determinada seção fluvial, originados da integração dos processos de mecanismos ditos anteriormente. Sua energia hidráulica e capacidade de retirar, transportar e depositar sedimentos, elaborando e modificando dessa maneira as formas de relevo, inerentes ao perímetro de alcance da sua atuação, apresenta-se como o resultado final dos tipos de interação entre agentes e forças físicas assentadas na estrutura superficial das paisagens.

É neste contexto que o relevo da bacia hidrográfica possuirá características, perfeitamente condizentes com os tipos de processos fluviais, que respondem pela cinemática dos canais que compõe a rede fluvial. No estado atual dos conhecimentos é inadmissível e injustificável, que nos estudos de geomorfologia do meio tropical úmido, pouca atenção tem sido dada às relações entre os mecanismos e agentes fluviais com os demais processos geomórficos que são investigados nos setores de relevo, em que a exigência de conhecimentos de geoquímica, sedimentologia e pedologia são mais necessários. Isso por si só justifica a realização de trabalhos geomorfológicos de processos fluviais Quaternários demonstrativos de vetores geomórficos interdisciplinares.

Já não é permitido mais trabalhar e entender o ambiente da superfície terrestre do meio tropical úmido, em termos de processos fluviais, sem estar munido – ainda que de forma rudimentar – dos conhecimentos básicos de tectônica, geologia estrutural, sedimentologia, geoquímica, estratigrafia de seqüências fluviais, paleoclimatologia,



hidráulica fluvial, hidrologia e pedologia, integrados aos demais ramos das Ciências da Terra. Aliás, com relação a isso nenhum pesquisador em sã consciência tem dúvida. Todas essas disciplinas afins a moderna ciência do relevo, em especial as que estão relacionadas à geomorfologia fluvial, a muito já vêm demonstrando certo “ar de tensão” nos limites de suas investigações e abordagens de seus temas, que somente serão aliviados respeitando-se as pesquisas singulares e de certo modo acoplada, em uma visão em um só tempo interdisciplinar e entrelaçada. Todavia, temos total consciência de que todas essas variáveis e fatores, tomados em conjunto, em uma só pesquisa, é praticamente inviável.

Quanto aos problemas conceituais que tem aparecido nos estudos e trabalhos científicos, que tratam de temas relacionados às bacias hidrográficas, realizados nos últimos anos – sendo este um dos temas mais pesquisados no âmbito da história da geomorfologia – cremos que duas concepções têm prevalecido nas abordagens de pesquisas que são realizadas no Brasil: de um lado, em muitos trabalhos, a bacia hidrográfica aparece como objeto de estudo *stritu sensu*, ou seja, pesquisam-se todas as suas propriedades e características físicas, relacionadas à sua dinâmica e história geológica e geomorfológica de drenagem, de outro lado, há um grande conjunto de pesquisas onde a mesma é considerada como área natural de análise e planejamento, ou seja, mera unidade cartográfica de estudo.

Consideramos que essas duas maneiras de abordar o referido tema, vêm sendo nos últimos anos, frequentemente e erroneamente, mal desenvolvidas por uma simples e preocupante razão. Ainda não está clara para muitos desses pesquisadores, a definição conceitual de bacia hidrográfica. Fato que certamente tem levado a uma

séria confusão conceitual, e a elaboração de uma legislação em certos casos, apresentando pontos contraditórios e muitas vezes não adequada, às exigências de um ambiente tropical, que requer o máximo de conhecimento e planejamento em termos de aproveitamento potencial dos recursos hídricos naturais.

Não nos cabe aqui, apresentar uma compilação de referências bibliográficas sobre pontos divergentes de definição conceitual, do tema bacia hidrográfica, mas é notório na literatura das ciências ambientais, a quantidade de trabalhos que intencionam tratar dos mais variados assuntos e aspectos, tomando como área de estudo uma bacia hidrográfica.

Mais do que uma legislação contraditória e desprovida de uma inserção nas exigências da realidade, o que preocupa mesmo é o grande número de pesquisadores das chamadas “ciências ambientais” que adotam este tema, seja como objeto ou como área de estudo, em não ter uma noção conceitual do que vem a ser esse complexo de elementos hidrodinâmicos interconectados que se distribui sobre a superfície terrestre, condicionado por um jogo de combinações hidrogeomórficas, sendo função tanto da natureza geomórfica da paisagem, quanto interferindo nas características de evolução desta.

Há que se ter uma noção clara, em qualquer dos estudos que almejem trabalhar o tema bacia hidrográfica, em que a essência ou capacidade evocativa desse conceito, pressupõe o entendimento axiomático de como se comporta esse complexo aparato de componentes fluviais, estabelecidos por meio de uma conexão em rede, distribuindo forças e assimilando movimento dos agentes e fatores

atuantes na evolução dos terrenos. Se é que o objetivo da pesquisa seja mesmo entender o ambiente fluvial, se a concepção de bacia não vier sustentada pela compreensão clara de como se comporta a água e seus materiais sólidos, em face do jogo de forças ocorrentes na rede natural de escoamento em canais abertos ao longo da superfície, se terá simplesmente um termo polissêmico no linguajar técnico e inter-científico. Fato que confunde as discussões acerca do tema e não contribui em nada com o aprofundamento e a transposição dos conceitos.

É tomando esse contexto, que se percebe que muitas pesquisas no campo das ciências sociais e das ciências ambientais, têm procurado relacionar certos fatos e fenômenos de natureza social e econômica, dentro do ambiente de uma bacia hidrográfica ou tomando esta, simplesmente, como unidade cartográfica de estudo. Embora se saiba que exista uma forte relação dos agrupamentos humanos com a natureza no processo histórico, sem querer levantar aqui qualquer polêmica ou discussão sobre esse tema, vários trabalhos nessa linha de pesquisa, não passam de meros modelos analíticos ou relatos de caracterização ambiental, embora haja importantes exceções. Evidência muito forte da falta de clareza na operacionalização e conhecimento do conceito de bacia hidrográfica.

Em um breve levantamento bibliográfico em artigos que utilizam os termos microbacia, sub-bacia e bacia hidrográfica dos Simpósios de Geografia Física Aplicada e dos Simpósios Nacionais de Controle da Erosão, Corato e Botelho (2001a, 2001b) e Botelho e Silva (2004), identificaram a ausência de uma definição conceitual sobre a microbacia hidrográfica, e comprovaram maior presença deste termo em artigos que tratam de planejamento e manejo do solo, ao passo que a

bacia hidrográfica apresenta tendência de crescimento como unidade cartográfica de estudo nos últimos anos, visto nos trabalhos do Simpósio de Geografia Física Aplicada. Não houve segundo os autores, nenhuma preocupação com a definição conceitual destes termos e nem uma distinção clara quanto ao tamanho da área territorial de uma microbacia, sub-bacia e bacia hidrográfica. O que ocorre é uma ampla citação dos mesmos, sendo tomados ingenuamente, como mera referência natural e/ou unidade cartográfica de análise.

Ao que nos parece há uma intenção generalizada e crescente de cristalização da idéia de se tomar a área de drenagem da bacia, como elemento cartográfico de localização de fenômenos investigados. Sem querer fazer ilações histórico-epistemológicas sobre a origem dessa intenção, podemos considerar que o mesmo pode ser derivado da capacidade de tentar articular fenômenos, eventos, relações, processos socioambientais e socioespaciais, ecológicos e outros, justificando a existência e ocorrência desses no território, bem como tentando localiza-los na área da bacia.

Não esta havendo muita preocupação com o fato das bacias serem organizadas e condicionadas por atributos geomorfológicos, hidrogeomórficos e hidráulicos que determinam as características das redes fluviais (diâmetro, forma, largura, eixo de alongação da rede, cabeceiras, tipos e padrões de canais, relação de bifurcação, escoamento superficial, etc.) da paisagem, onde a bacia de drenagem se instala e se desenvolve. Se as bacias não interagissem com elementos além divisor topográfico, a área de estabelecimento e desenvolvimento das redes de drenagem, deveria ser somente aquela em que se traça uma linha contínua tomando este

divisor topográfico como referência cartográfica. Todavia, já é fato conhecido da pesquisa geomorfológica fluvial que o traçado do divisor topográfico é uma grande abstração. Ele jamais expressará todos os atributos que determinam a configuração e evolução total em rede dos processos responsáveis pela dinâmica fluvial de uma bacia.

A área ou elemento espacial que expressa os processos que respondem pela configuração em rede, daquilo que a literatura geocientífica mais clássica designava como nervura hidrográfica, é praticamente impossível de se delimitar em termos de bacias de grande amplitude territorial. Tudo porque a perenidade fluvial, configuração da bacia e seus processos correlatos, não são devidos somente a fatores de superfície, mas, principalmente de subsuperfície e da sucessão habitual dos tipos de tempo que caracterizam a climatologia regional, sendo que a investigação em subsuperfície, somente é possível através de métodos indiretos e à custa de um grande volume de trabalhos de campo.

Não queremos fundar o dogma no qual os estudos de bacias hidrográficas somente são justificados ao relacionar os fatos de natureza geomorfológica dos terrenos. Nem levantar a tese de que não haja forte interação de fatos sociais com a dinâmica hidrográfica, nestes espaços herdados da natureza. Entretanto, utilizar o termo somente como designativo de delimitação cartográfica e sem conhecimento e correlação com fatos geomórficos, traz sérios problemas ao debate científico, que deve apresentar sempre que solicitado, proposições conceituais claras concernentes com a realidade pertinente dos fenômenos, eventos, manifestações, enfim o objeto que deseja compreender e explicar.

Os problemas relacionados ao entendimento e a operacionalidade do conceito de bacia hidrográfica não é uma ocorrência somente nas atuais pesquisas ambientais, mas, ocorrem com exclusividade também em trabalhos no campo da hidrologia, ciência que trata da água na Terra, em face de sua distribuição, características e circulação.

Sobre a pertinência da abordagem hidrológica de bacias, alertava Tricart (1959), ao considerar nos estudos dessa disciplina, as características físico-geográficas das bacias no momento em que este ramo do conhecimento deixa de ser um tratamento puramente estatístico. Dizia o geomorfólogo francês que “a hidrologia apresenta um caráter sintético, em comparação com a geologia, a geomorfologia, o clima, os solos e a vegetação.” Mas, cabe-nos aqui a seguinte pergunta. O que tem isso a ver com o problema da falta de noção conceitual desse termo, em estudos de hidrologia, tal como dissemos acima?

Na verdade, existe certa visão cristalizada na própria disciplina hidrológica, quanto ao fato de se considerar a bacia como uma área drenada por uma rede com um tronco principal de saída do deflúvio. A definição de Silveira (2004), retrata bem esta noção, quando este hidrólogo escreve, “*A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório*”. Esta visão horizontal espacializada, e, sobretudo, equivocada, que os hidrólogos têm das bacias, aparece, frequentemente, nos textos de hidrologia, não sendo necessário apresentar numerosas citações bibliográficas para se perceber isso.

Esta via conceitual, acaba solidificando uma ótica de abordagem que tem íntima relação com a área espacial do divisor topográfico, construído este através de uma delimitação em linha contínua ao redor da rede – onde isso é possível – podendo ser chamado também de “divisor cartográfico”, uma vez que muitos confundem o espaço da bacia com a área abrangida pelo perímetro do divisor. Mas, o espaço da bacia é algo mais que a linha perimétrica do divisor.

Pensamos que esta “visão hidrológica” das bacias, também tem influenciado fortemente esta percepção cartográfica horizontal, que aparece nas diversas e numerosas pesquisas, que a tomam como unidade espacial de localização de fenômenos para serem estudados. Fato que estimula uma concepção conceitual errônea em certos pesquisadores, relativo ao fenômeno bacia hidrográfica, e, por sua vez, interfere na natureza e resultado dos trabalhos realizados.

Só para citar alguns exemplos dessa limitação conceitual de natureza horizontal com relação às redes hidrográficas, podemos pensar em uma tentativa de aplicação desta às bacias da região amazônica, onde nos grandes setores de desembocaduras fluviais, sejam os canais que deságuam diretamente no mar ou em outros rios, ocorre uma ramificação da rede, formando um padrão de drenagem do *tipo anastomótico*, segundo a classificação de Zernitz (1932), que praticamente impossibilita a concentração de fluxo em um tronco comum, tendo saída do deflúvio em vários canais interconectados. Não há neste caso, concentração de fluxo para saída em um canal único propriamente dito.

Outro lugar onde tal noção não teria capacidade evocativa de explicação seriam as regiões de clima semi-árido de drenagens tipicamente *endorreicas*, onde os rios praticamente se dizimam ao alimentar os terrenos secos, não tendo também alimentação de fluxo em um tronco comum, embora haja fluxo canalizado. Fato que também é relativamente parecido, com as drenagens da região do Pantanal, citando como exemplo, o setor do megaleque aluvial do Rio Taquari (o mais extenso do mundo) onde os fluxos, a partir de um eixo de drenagem concentrado, se espraiam em vários canais por centenas de quilômetros quadrados, abastecendo níveis freáticos e lagoas pontuais. Também nas áreas cársticas de drenagens *criptorreicas*, teríamos sérias dificuldades ao aplicar tal definição, uma vez que os canais subterrâneos, não obedecem necessariamente a mesma lógica da superfície subaérea.

Todas essas ponderações que estamos fazendo, têm por finalidade demonstrar o grau de dificuldade que existe nestes fatos de ordem conceitual, que aparentemente surgem como de natureza óbvia, mas que de todo modo são de extrema complexidade e influência as correntes de pensamento.

Estamos atualmente em um momento muito importante onde há a grande necessidade de se considerar nos estudos de bacias hidrográficas do meio tropical úmido, seja de qual natureza elas forem, os conceitos da geomorfologia fluvial como pré-requisitos iniciais para análise dos mais variados fatos ligados às bacias. Se é que a dita pesquisa tem como objetivo relacionar fatos tomando a bacia como área de referência, seja espacial ou histórica, no mínimo uma noção geomorfológica conceitual de bacia deve vir como condição *sine qua non*, com a qual se evitará



grandes equívocos e teremos melhor clareza na relação dos fatos, seja de natureza geomórfica, social, ambiental, política, ecológica e econômica.

Isso deve ser mais do que dito deve ser testado em todas as dimensões, por que o escoamento das águas na hidrografia da superfície não depende somente das condições climáticas e do regime das chuvas, mas, principalmente, do relevo conjugado com suas respectivas formações superficiais, que resulta da natureza e da evolução geomórfica dos terrenos, como consequência da atuação de processos superficiais e subsuperficiais na ossatura geológica da estrutura da paisagem.

Todo este breve contexto de problemática conceitual que envolve as questões relacionadas às bacias hidrográficas, justifica e mais do que nos estimula, nos desafia a mergulhar profundamente na realização de uma pesquisa científica no âmbito estrito e *pari passu* dos estudos de geomorfologia fluvial, dentro de um país que possui a maior e mais rica diversidade hídrica do planeta, e, que na verdade, necessita “doutrinadamente” de pesquisadores e diversos outros profissionais a se lançarem em novos projetos, a fim de investigar a natureza pertinente da “*água escoando, concentradamente, e em rede*” na superfície da paisagem. Neste contingente de riqueza hídrica, deve-se também exigir pesquisadores bem preparados e munidos de forte projeção científica na esfera das técnicas geomorfológicas de pesquisas fluviais.

No entanto, seja qual for o objetivo, os trabalhos devem estar fortalecidos pelos conceitos que já foram trabalhados por diversas linhas temáticas da pesquisa de processos fluviais, realizadas e discutidas ao longo de uma complexa evolução

histórica, evitando-se os sérios equívocos conceituais e metodológicos que estamos procurando avertar. Dessa forma também se percebe que o estudo da história dos conceitos e de certos aspectos da história da geomorfologia fluvial – mesmo que de uma maneira não muito intensa – é de suma importância para se balizar metodologicamente os procedimentos investigativos. É por este caminho que mais uma vez procuramos justificar a escolha dessa linha e tema de pesquisa.

Quanto a natureza da essência de uma pesquisa geomorfológica fluvial *stritu sensu*, devemos sempre levar em consideração, as idéias já expostas anteriormente, a de que o relevo pode ser considerado, como que uma representação geométrica “temporal”, condizente com os tipos de processos fluviais que respondem pela cinemática dos canais, que tanto influenciam, quanto é condicionado pela evolução geomórfica, compondo a complexa rede hidrográfica do conjunto das paisagens. Esta percepção dos fenômenos fluviais relacionados ao estudo do relevo permeará toda a nossa pesquisa.

## **1.2 – Da teoria, do método e do procedimento técnico na investigação geomorfológica de processos fluviais. Um breve apanhado histórico.**

Discorrer sobre os problemas teóricos e metodológicos da geomorfologia fluvial, pressupõe algo mais do que simples inquirições geocientíficas. Na verdade, pressupõe não somente refletir sobre questões de método, teoria, técnica e escala de análise, mas reunir dentro de um contexto de experiência, aliado às opções de escolha, as concepções ofertadas conforme a época e objetivos da pesquisa que se almeja realizar. Deve-se admitir que todo um exercício de reflexão sustentada por uma determinada ótica de ciência, transparece aqui e acolá nas diversas linhas de pesquisa, fundamentado por linhas demagógicas e tratamentos ortodoxos que sempre ocorrem aliados às posturas e comportamentos dos pesquisadores, em face das opções que as distintas correntes temáticas oferecem.

No caso da geomorfologia fluvial *stritu sensu*, não existe uma concepção ou tratado teórico “fechado”, único e totalmente delimitado, com relação aos seus pressupostos metodológicos e de seus temas. Nem mesmo uma obra de grande vulto teórico foi ainda concretizada. Também, no que diz respeito à seqüência histórica de desenvolvimento da relação que há, entre os aspectos desse ramo de pesquisa, e, as próprias teorias geomorfológicas, pouca coisa foi feita. Embora, se deve admitir que qualquer que seja a teoria sobre a origem e evolução do relevo, não houve como prescindir totalmente dos conhecimentos provenientes dos estudos sobre os processos fluviais desenvolvidos historicamente. Aliás, isso é notório nos trabalhos dos grandes autores que direta ou indiretamente pesquisaram temas,

predominantemente geológicos e geomorfológicos, o qual, listamos alguns, como Surell (1841, apud Abreu 1980), Powell (1875, apud Chorley, Dunn e Beckinsale, 1964), Gilbert (1880,1914), Davis (1899, 1938), Horton (1945), Penck (1953), King (1953, 1956), Strahler (1952), Hack (1957), Leopold e Maddock (1953), Leopold e Langbein (1962) e Büdel (1980), dentre outros.

De certa forma, o que caracteriza a história da ciência geomorfológica com a dos estudos de processos fluviais, são as tentativas de entendimento teórico acerca das questões que norteiam as pesquisas sobre o relevo, onde temas e conceitos fluviais transparecem em diversas linhas de pensamento. O traço mais comum reside, talvez, na importância que todos os autores dão ao papel erosivo que a água exerce ao escoar pela superfície, não havendo uma reflexão nítida, sobre qual é a sua importância, se escoada concentradamente em canais fluviais ou em lençóis de escoamento na superfície dos terrenos.

Não temos a intenção de fazer neste sub-capítulo, um volumoso tratado sobre a evolução histórica da geomorfologia fluvial. Muito menos uma reflexão profunda e epistemológica da edificação de seus conceitos, fato que deve ser tratado em uma pesquisa aparte, devido à complexidade desta questão. Entretanto, a importância de uma periodização da evolução de seus temas e edificação de seus principais propósitos metodológicos se faz totalmente necessária, no sentido de vislumbrar, ainda que incipiente, e sabemos que muito deficitária o contexto de formação de alguns dos principais conceitos e o processo de influência que eles tiveram no “nascido” da ciência geomorfológica. Questão que permitirá documentar uma linha de evolução histórica, a qual nos conduzirá ao pressuposto teórico

condicionador intelectual desse trabalho, e também porque, como já dissemos anteriormente, as pesquisas atuais sobre geomorfologia fluvial tem equivocado em muito na aplicação dos conceitos. Fato que tem refletido na pobreza dos debates sobre recursos hídricos. No entanto, queremos deixar bem claro, que não se trata de uma simples e mera revisão bibliográfica, em obediência as formalidades do protocolo acadêmico de roteiros de trabalhos científicos, muito menos de citações descontínuas que deixa entrever a idéia de que a incipiente pesquisa histórica não possui nada em haver com os objetivos do trabalho. Trata-se de uma busca do contexto e resgate histórico de importantes conceitos, uma vez que as geociências brasileiras têm perdido em muito um pouco de sua memória.

Nossa proposta de periodização é fundamentada, primeiro, na leitura dos textos de importantes autores que trabalharam temas ligados aos processos fluviais e formação do relevo, e que ainda estão disponíveis para consulta, e, segundo, na leitura de autores que discutiram de forma indireta, determinados temas relativos às questões contemporâneas e históricas da geomorfologia fluvial. Nossa variável mestre, portanto, é pela via de uma onipresente história geomorfológica fluvial. Doravante, nossa intenção é verificar como há pertinência de conceitos desta com a evolução dos conhecimentos pesquisados pela hidráulica fluvial e hidrodinâmica, a qual desde já salientamos, ofereceu amplo e profundo conhecimento para os primeiros trabalhos da ciência geomorfológica. De como houve ao longo da história omissão de determinados conhecimentos e entrelaçamento de outros.

Assim sendo, esperamos estabelecer o perfil de desenvolvimento histórico-científico, que consolidou a possibilidade da busca de uma base teórica, metodológica e de procedimentos técnicos que fundamenta e direciona esta pesquisa.

É sempre muito perigoso, reduzir a história de uma ciência a um breve e pequeno esquema. Mas aqui a necessidade de simplificação se impõe com o objetivo de subsidiar o entendimento do início de um processo, seu complexo desenvolvimento e seu estágio atual de comportamento. Sabemos do risco a que estamos submetidos e assumimos as responsabilidades advindas dessa formulação.

Portanto, ciente do contexto complexo de evolução histórica da geomorfologia, que tentaremos edificar, e, partindo de um viés da geomorfologia fluvial, propriamente dita, podemos construir uma proposta de periodização da seguinte forma. Em um primeiro momento, houve uma fase que podemos denominar de *investigação dos processos hidráulicos e hidrodinâmicos* em canais fluviais de escoamento aberto. Após, sem que haja necessariamente uma ruptura e transição nítida, um período que podemos considerar como o da *classificação dos fatos morfológicos da paisagem*, tendo como pano de fundo conceitos originados e aplicados a partir de uma embrionária ciência da morfologia fluvial. Em um terceiro período, o predomínio de um modo de fazer pesquisa com relativo abandono de campo e intensificação dos trabalhos experimentais, que iremos designar a *época da experimentação e de estudo dos processos*, e, por último, uma fase de volta aos trabalhos antigos, com uso intenso das técnicas modernas, que consideraremos como o *período das integrações*. Começemos então pela primeira.

### **1.2.1 – A Investigação dos processos hidráulicos e hidrodinâmicos em canais fluviais.**

O primeiro período da história de estudo dos problemas ligados aos processos fluviais, não apresenta de maneira muito distinguível uma referência inicial que possibilita sua fundação ou a obra de um grande autor de referência. Aliás, isso pode ser considerado como uma característica trivial, na história de quase todas as disciplinas científicas.

Essa fase, que ocorre aproximadamente do final do século XV até meados do século XIX, é marcada pelos estudos fluviais, hidráulicos e de hidrodinâmica, que são realizados de maneira dispersa e pontuada em vários países da Europa, entre os quais, os dois mais importantes eram as escolas Italiana e Francesa de estudos hidráulicos.

Já é um fato conhecido de todos que na idade média se tinha ampla curiosidade sobre a maneira como os rios se comportam nos canais abertos, e os “problemas” advindos dessa forma de escoamento. Essa curiosidade pode ser notada nos escritos do engenheiro, artista e cientista Leonardo Da Vinci (1452-1519), que tem uma noção clara da origem da água dos rios, e dos trabalhos que eles podem realizar. Ele notava a poderosa ação que os mesmos causavam, quando desciam as montanhas dos Alpes e os vales que eram abertos pelo escoamento em canais de montanha. Da Vinci era arguto observador das relações que havia entre a variação da velocidade em canais fluviais e a distribuição e relação desta, com a largura e profundidade. Vale a pena sua citação extraída de Vieira da Silva et al (2007, p. 19).

A velocidade da água é maior na superfície do que no fundo. Isto acontece porque a água na superfície está em acordo com o ar que oferece pouca resistência, porque é mais leve que a água, e a água no fundo esta em contato com a terra que tem maior resistência porque é mais pesada que a água e não se desloca. Disto se deduz que aquela parte que está mais distante do fundo tem menos resistência do que as partes inferiores (sic).

Portanto, nessa época já havia fortes especulações, sobre os fatores que interferem nas diferenciações dos fluxos que ocorrem encaixados nos canais, e, que são capazes de proporcionar diferentes níveis de resistência, e um embrionário conhecimento sobre o princípio da continuidade em seções fluviais. Iniciava-se deste modo e a partir desta época, os estudos sobre a hidrodinâmica.

De acordo com Orme (2002) a formulação inicial da mecânica como uma ciência física, estava presente nos trabalhos de Leonardo Da Vinci, sobre hidrodinâmica, Bernard Palissy (1510-1589) sobre ciclo hidrológico, Simon Stevin (1548-1620) na hidrostática, Benedetto Castelli (1577-1644) e Blaise Pascal (1623-1662) na mecânica dos fluidos. Essa fase, portanto, é fortemente marcada pela investigação e aplicação dos princípios, originados no conhecimento das leis físicas da natureza, que opera de maneira cinemática, as características dos fenômenos hidráulicos, em canais de escoamento aberto na superfície.

Entretanto, coube a Domenico Guglielmini (1655-1710), a verdadeira edificação de uma nascente e integral ciência da hidráulica de rios, segundo as pesquisas de Morisawa (1985). Guglielmini era matemático, físico, hidráulico, médico e professor de hidrometria na Universidade de Bologna, Itália. Através de suas observações, ele



documenta a relação que há entre a inclinação e profundidade dos fluxos, ao escoar e depositar no leito dos rios, expondo o conceito de equilíbrio de força e resistência na ação fluvial. Chega dessa forma ao tratamento da geometria dos canais e ao conhecimento do fato, de que a jusante, ocorre diminuição do tamanho das partículas dos materiais do leito fluvial. Fato que seria mais tarde confirmado pelas pesquisas experimentais de Leopold et al (1953).

Guglielmini através de seu *Aquarum Fluentium Mensura Nova Methoda Inquisita* de 1690 e do *Della Natura dei Fiumi* de 1697, pode ser colocado como o precursor direto da moderna geomorfologia fluvial, segundo Orme (op.cit), sendo um pesquisador que se posicionava, como forte defensor da linha de que em hidráulica, a observação é mais eficiente que a experimentação, e, que, conseqüentemente, o campo é melhor que o laboratório.

Morisawa (op cit), também destaca que a hidráulica fluvial prática alcançou importantes avanços através de pesquisadores da escola Francesa, tais como, Pierre Du Buat (1734-1809) e Antoine de Chèzy (1718-1798). A Du Buat se deve o conhecimento acerca da importância dos turbilhões e da velocidade no transporte de materiais nos leitos, sobre a resistência e formulação das equações de fluxo e a descrição das formas do leito. A Chèzy se deve a descoberta da primeira fórmula, sobre o estudo que trata dos movimentos em canais, permitindo obter parâmetros de características de um canal, a partir de medições obtidas em um outro. Os trabalhos desses dois importantes autores, vieram a confirmar a teoria do fluxo uniforme, que ocorre em um canal fluvial, quando as forças de resistência ao atrito da água, são iguais ou opostas as forças gravitacionais, provocando o movimento da mesma de

montante a jusante, na superfície do leito. Portanto, nessa época também se chegava ao conhecimento da geometria da forma dos canais, aliada ao movimento dos processos e fluxos fluviais.

A passagem do século XVIII ao XIX e a continuidade deste, é marcada, sobretudo, pelo significativo avanço, na teoria de transporte de sedimentos e em estudos feitos em laboratórios de hidráulica. Importantes contribuições vieram de Saint-Venant (1797-1888), Henri Émile Bazin (1829-1917) e Henry Darcy (1803-1858), de acordo com as pesquisas de Silva, Mascarenhas e Miguez (op. cit).

O uso de modelos também floresce em pesquisas realizadas neste mesmo período, tais como os trabalhos de Louis Jérôme Fargue (1827-1910), que trabalha com modelos de leitos móveis, Osborne Reynolds (1842-1912), quem estudou os tipos de escoamento, em condutos abertos e fechados, vindo a estabelecer um valor crítico para transição entre escoamento laminar e turbulento, e William Froude (1810-1879), que desenvolveu técnicas para se testar modelos hidrológicos, Morisawa (op. cit).

No entanto, a despeito dos avanços que são feitos, nos estudos de hidráulica e hidrodinâmica e das discussões sobre os processos fluviais concentrado em canais, é forte a influência científica, exercida pelo debate entre, adeptos da teoria de formação da paisagem da terra, pelos eventos do dilúvio, os diluviosos, designado também por catastrofistas e os pesquisadores, que são influenciados pelas idéias originadas das teorias de James Hutton (1726-1797), um fazendeiro astuto e observador de processos erosivos na paisagem. Mesmo sabendo do poder de ação

que os rios exerciam no desenvolvimento da paisagem, como já havia sido investigado, pelos grandes autores da hidráulica fluvial, mesmo através da formulação dos conceitos, e descoberta das constantes de importantes equações, acerca dos escoamentos em canais abertos, não houve concisa e sólida influência deste conhecimento, nos debates que estavam ocorrendo, sobre os fatos morfológicos da paisagem e origem da Terra, mais especificamente no campo da geologia. E essa discussão irá estimular a tomada de certas posições dogmáticas, que não permitirá o entrelaçamento e a transposição dos conceitos das diferentes, mas “super-relacionadas” linhas de investigação e pesquisa, a morfologia fluvial e a hidráulica e hidrodinâmica fluvial.

Orme (op. cit), por exemplo, chama a atenção para o hiato temporal, que existe na história geomorfológica, entre a confirmação da teoria de fluxo uniforme, da hidráulica, em meados do século XVIII, e a sua incorporação nos textos que tratam de assuntos de geomorfologia fluvial, sendo, primeiramente, tratada no livro de Leopold *et al.* (1964). Algo de aproximadamente duzentos anos.

Hutton, que em seu *Theory of the Earth* de 1795, colocava novas questões sobre a formação do planeta, explorando uma variável de muita significância, que age na essência dos fenômenos naturais, ou seja, a fluidez do tempo e sua importância, como chave de interpretação do passado – “*o presente é a chave do passado*” - e fundando o princípio do atualismo, fica praticamente canalizado no debate que há, entre os catastrofistas e os seguidores de suas idéias, mesmo que já houvesse avanços nas pesquisas sobre o poder erosivo dos canais, levadas a efeito por engenheiros da hidráulica.

Dean (1989) levanta uma distinta e importantíssima questão, ao dizer que pela indiferença que houve, com as idéias de Hutton, por parte de certos investigadores e pesquisadores britânicos, o leva a associar o efetivo fundamento da geomorfologia com o nome deste importante pesquisador. Fato que, certamente, dificultou o intercâmbio das idéias e conhecimentos dessas duas linhagens de investigação e pesquisa, ou seja, a morfologia fluvial e os estudos de hidráulica. É provável que Hutton, por ter sido fazendeiro e conhecedor, da maneira de como se lidar com o solo, tivesse também, forte ciência da atuação de processos erosivos e da forma como a água se comporta, na superfície da paisagem. Todavia, parece-nos que em suas idéias, não há ampla exploração do conhecimento, advindo do estudo sistemático da hidráulica dos processos fluviais.

Portanto, não há incorporação dos conhecimentos da hidráulica e aproximação e contato entre os diferentes autores, nos debates que se arrolavam sobre a origem da paisagem e da Terra.

Contudo, apesar de Hutton e dos nomes importantes que o seguiam, como James Hall (1761-1832) e John Playfair (1748-1819), este um dos mais combatentes adeptos de sua teoria, os catastrofistas vão influenciar fortemente os círculos do debate geológico, conduzidos pela forte atuação de William Buckland (1784-1856), importante representante das idéias catastrofistas, segundo Dean (op. cit). Questão que dificultou e aumentou a não aceitação da idéia, dos processos agindo e mudando a superfície terrestre. Se percebe a prevalência de um forte ar de dogmatismo presente no debate.

Tudo, provavelmente, começou a se modificar, cultural e cientificamente, quando Charles Lyell (1797-1875), em seu *Principles of Geology* de 1830, funda as bases e o conhecimento, de uma ciência que reivindicava fortes argumentos, através da ação de forças internas, do poder solvente da água e advogava as forças dos processos fluviais, para explicar a origem e os fatos da paisagem, de acordo com as importantes pesquisas históricas de Dean (op.cit).

Esse fato será de suma importância, no sentido de estimular contatos entre os pesquisadores de ambas diferentes linhas de tratamento, facilitando a emergência de novas abordagens e outros ângulos de visão dos mesmos problemas.

Já havia também, de acordo com Morisawa (op, cit), o início de importantes registros de pesquisas realizadas no Oeste da América, por ocasião dos avanços das frentes de ocupação dessa parte dos Estados Unidos, que levava a fundação segura de uma consciência, sobre a ação dos processos fluviais e sua importância na formação da paisagem. Em particular os trabalhos de Newberry, Hayden e Dutton enfatizavam e documentavam, a ação erosiva dos rios, na formação de cânions e a imensidade dos processos fluviais. Surré, em seu *Études sur les torrentes des Hautes Alpes* de 1841, já havia estabelecido as chamadas leis da morfologia fluvial e discorrido sobre a importância do nível de base geral, para os processos erosivos atuais, segundo nos acrescenta Abreu (1980).

Talvez, finalizando essa primeira parte de periodização histórica do estudo dos processos fluviais, criador de uma fase iniciante de um importante debate que é

marcado por uma transição sem ruptura, e, que foi o caminho condicionador do próximo período, devem-se salientar os trabalhos de James Powell (1834-1902) e as pesquisas de Grove Karl Gilbert (1843-1918).

A Powell se deve a designação formal e conceitual, de um dos mais importantes princípios geomórficos, o conceito de *nível de base*, segundo Chorley, Dunn e Beckinsale (1964). Deve-se a ele também, a primeira classificação genética dos rios, em conseqüente, antecedente e superimposto, segundo Morisawa (op. Cit), que é utilizada ainda hoje. A Gilbert se deve a utilização dos conhecimentos da mecânica de fluxo dos processos fluviais, a definição de capacidade e competência fluvial, e, a concepção de interdependência de variáveis dentro do sistema fluvial, Gilbert (1914). Suas investigações científicas, são fortemente baseadas na sistemática observação, sendo esta, para ele, a primeira e mais importante etapa de uma pesquisa, salienta Rhoads e Thorn (1996).

Gilbert apresenta ser modernista em sua formulação e investigação, enfatizando os conceitos da mecânica e da quantificação, como demonstra o seu texto de 1914. Muitos dos conceitos desenvolvidos por ele, foram adaptados e integrados por Davis (1902, 1938), nos textos em que este faz uso compreensivo dos fatos da geomorfologia fluvial, para expor suas idéias de ciclo geográfico. Suas pesquisas são fundamentais, como o marco de um processo de transição, com assimilação e incorporação de conceitos trabalhados nas pesquisas de hidráulica, produzidas em anos posteriores, e, conseqüentemente, contextualizado para o campo dos estudos morfológicos. Sua formação em física, engenharia hidráulica e geologia, facilitava essa interdisciplinaridade.

Portanto, essa fase vai ser marcada pelo debate de temas, inter-relacionados, mas que ocorrem em discussões compartimentadas, marcada por barreiras dogmáticas, problemas de linguagem e formação acadêmica. Se de um lado há geólogos preocupados com a investigação da Terra, inferindo sobre eventos e buscando as evidências que os representam, de outro, há pesquisadores ligados a uma formação física e matemática, relacionada à engenharia hidráulica e tentativa de entendimento de processos hidráulicos, com base na dinâmica e mecânica dos fluídos. Já se evidencia nesta época problemas sérios relacionados à formação básica dos pesquisadores, que tanto nos assola na pesquisas em geomorfologia do período atual. Os temas, de certa forma, se inter-relacionam, mas devido aos diferentes ângulos de visão de um mesmo problema, não há muita interdisciplinaridade. E há pesquisadores como Powell e Gilbert, que a despeito de uma formação acadêmica profunda, mas, sobretudo ampla, conseguem desenvolver extensos e abrangentes trabalhos de pesquisa, fazendo uso de conceitos de diferentes áreas.

Esta fase pode ser considerada como a tentativa, ainda que sem o testemunho de fortes elementos, da compreensão de determinados fatos da morfologia fluvial – tais como o poder erosivo dos rios, por exemplo – por meio das características da paisagem. Em uma procura de entendimento dos processos fluviais, tomando como base os aspectos morfológicos da paisagem.

É dessa forma que o próprio Leonardo Da Vinci, grande cientista citado anteriormente, irá dizer, “cada vale foi escavado pelo seu rio, e a relação entre os

vales é a mesma que entre os rios”, Da Vinci (apud Christofolleti, 1969, p. 05).

Playfair, importante seguidor de Hutton, também irá declarar,

“... cada rio consiste em um tronco principal, alimentado por um certo número de tributários, sendo que cada um deles corre em um vale proporcional ao seu tamanho, e o conjunto forma um sistema de vales comunicantes com declividade tão perfeitamente ajustadas, que nenhum deles se une ao vale principal em um nível demasiado superior ou inferior: circunstancia que seria infinitamente improvável se cada vale não fosse obra do rio que o ocupa”, Playfair (1802, apud Christofolleti, 1969, p. 05).

Portanto, esse vasto período, é depositário do início de um importante processo de busca da compreensão dos mecanismos, relacionados às formas de manifestação fluvial da superfície, por meio da morfologia da paisagem, e sua responsabilidade na evolução da mesma.

### ***1.2.2 – A classificação dos fatos da paisagem e os processos fluviais.***

Se o período anterior pode ser tomado, como o da tentativa de compreensão dos processos fluviais, usando a morfologia dos terrenos, como instância de análise, o posterior deve ser empreendido, como o do entendimento da origem e fisionomia morfológica do modelado, através dos processos fluviais. O problema, portanto, se desenrola no sentido um tanto inverso.

---



É dessa forma que Davis (1899, 1902, 1938), fazendo uso do conhecimento, que já se tinha, do poder dos agentes fluviais, procurará consolidar os argumentos e bases que fundamentam toda a sua proposta teórica do ciclo geográfico, aplicado ao desejo de explicar a gênese das paisagens.

Penck (1953) por sua vez, também não abrirá mão da ação fluvial, para explicar a evolução das vertentes em seu sistema teórico de explicação, e, King (1953, 1956), que foi um crítico contumaz de Davis, embora grande admirador pessoal, também fará uso de mecanismos hidráulicos, sobretudo, no que diz respeito, às críticas que ele faz a proposta Davisiana, com relação ao tema da evolução das vertentes e os processos de pedimentação.

Nessa época, uma ciência própria do relevo já se encontra em estágio final de consolidação, com um corpo de idéias e cientistas, apresentando posturas consistentes, embora a palavra geomorfologia, surgisse alguns anos mais tarde. Havia também a realização de reuniões para discussões de temas relativos a paisagem. Esta fase histórica tem início, a partir das discussões, sobre as idéias de Davis, no começo do século XX, até a publicação de Horton em 1945, no final da Segunda Guerra Mundial. Todavia, os textos de King, que são publicados na década de 1950, devem ser colocados, como representativos das características desse período da história geomorfológica.

Uma característica forte dessa época, é o forte debate e agrupamento das discussões, em torno das indagações oriundas do estímulo, a curiosidade sobre as

questões geológicas, como a origem dos continentes, das montanhas, dos grandes cinturões vulcânicos e dos mares e oceanos.

Outros importantes autores, também são representativos, dessa fase da geomorfologia fluvial, no entanto, concebemos esses três principais, pelo fato de suas propostas terem alcançado maior notoriedade nos círculos de discussão geomorfológica. Nestes textos escolhidos é possível encontrar fortes meditações, em torno da importância de um raciocínio, a partir de variáveis fluviais, para se meditar sobre a natureza do ambiente geomórfico. A estes três pesquisadores, creditamos a existência de um tratado teórico, que se complementam em termos de argumentação lógica. Questão que já foi muito bem tratada por Abreu (2003), embora não concordemos em certos aspectos dessa pesquisa.

Vale a pena tecer alguns comentários, ainda que de maneira rápida, sobre os textos de Davis (1938), Penck (op. cit) e King (op. cit), que desde já salientamos serem os mais significativos e importantes da aplicação dos conceitos, originados no campo de estudo dos processos fluviais, para entendimento – e agora já é viável falar – da análise direta da origem e evolução das formas de relevo. Todavia, não intencionamos realizar uma crítica da obra destes autores, questão que já foi muito bem tratada pela literatura, mas salientar, através destes artigos, a idéia relativa ao uso dos conhecimentos, sobre os agentes que atuam nos ambientes fluviais, construídos historicamente na fase anterior, para tentativa de produzir uma teoria de evolução da paisagem. Começamos, então, por Davis.

O texto de Davis (op, cit.) é o último de sua prestigiosa carreira, como pesquisador e professor na universidade de Harvard. Basicamente, ele trata da evolução das formas de relevo, em regiões desérticas, tendo como área de estudo, o deserto de Mohave no sudeste da Califórnia.

Ele discorre, precisamente, sobre os processos que são responsáveis pela evolução das formas em áreas áridas desérticas, a qual denominou de *sheetfloods* e *streamfloods*. Portanto, ele trata não só de morfologia das feições, mas, tenta, sobretudo, aplicar conhecimentos de processos.

Segundo Davis, *sheetfloods* são processos que ocorrem em ambientes desérticos, quando em um determinado período, durante eventos de tempestades com chuvas rápidas, torrenciais e intensas, se forma um gigantesco emaranhado de fluxos e inundações em lençol, que escoam pelas vertentes montanhosas, lavando os depósitos detríticos, compostos de areias, materiais pedregosos e cascalhos, que são oriundos do intemperismo predominantemente físico, sobre rochas graníticas fraturadas e exumando as demais estruturas rochosas.

Os *streamfloods*, por sua vez, também se formam, nos mesmos ambientes, sendo os processos pelo qual, em um momento de ativada a erosão pelos escoamentos de inundação e em lençol dos *sheetfloods*, redes de fluxos se canalizam, organizando-se em pequenas confluências, escavando sistemas de vales fechados, ao longo das vertentes, que estão distribuídas paralelamente às montanhas. Devem ser chamados de *streamfloods*, ao invés de simplesmente *stream*, porque o caráter de

fluxos espasmódicos, irregulares, não totalmente perene, se conserva, não caracterizando a drenagem peculiar das regiões úmidas.

O texto de Davis, fundamentalmente é dividido em quatro partes, onde na primeira é discutida a ação dos *sheetfloods*, sobre as vertentes detríticas das superfícies planas agradacionais desérticas, a segunda, trata das condições nas quais os *sheetfloods* são transformados em *inbranching streamfloods*, voltando, após um processo cíclico natural de rebaixamento de superfícies inter-divisoras, a serem *sheetfloods*. A terceira parte discute o papel desses processos, no desenvolvimento do ciclo de erosão em regiões desérticas e a quarta, trata das condições regionais, em que há degradação dos níveis de base, e da sua importância como controladores desses processos erosivos. Chama a atenção o uso do termo “fisiográfico”, em substituição ao “geográfico”. Fato que atesta uma insuspeitada mudança de postura conceitual em sua obra.

Poderíamos fazer amplos comentários sobre este belo trabalho, todavia, não é preciso ir muito longe, no sentido de se perceber, o amplo uso dos conhecimentos fluviais, na defesa de suas idéias, que continuam solidificadas neste, uma vez que, a esta altura do debate, Davis estava sendo amplamente bombardeado, por críticas aos seus trabalhos. Daí se visualiza uma provável mudança de postura, com relação a certos temas, como por exemplo, o da aceitação do papel da erosão, no processo de recuo lateral das vertentes em áreas desérticas, embora ele chegue à conclusão no final do texto, de que tem pouca ou nenhuma importância esse sistema de evolução.

A utilização do conceito de rios intersequentes e sua importância para evolução dos vales, extraído dos trabalhos Buwalda (1932), e, a aplicação dos conhecimentos de hidrologia no entendimento dos eventos de inundação e escoamento em lençol nas áreas de formação de pedimentos, certamente, tomados de Kirk Bryan (1922), estão explicitamente presentes em sua análise.

A operacionalidade de suas explicações, com relação ao desenvolvimento da drenagem intermitente e canalizada dos ambientes desérticos, controladas pelo conceito de nível de base, seja regional ou geral, também é aplicada, para compreender e explicar processos de denudação. Este texto, também quebra a opinião, às vezes, pregada de que Davis não trabalha com o conhecimento dos processos para entender os mecanismos de evolução da paisagem.

Não estamos solicitando a tese de que sem os conhecimentos da geomorfologia fluvial, Davis não teria adquirido grande projeção teórica. E, nem de que, não teria chegado a significativos avanços nas suas explicações sobre a evolução cíclica do relevo, fato, que de todo modo, é de natureza muito óbvia. Entretanto, é importante frisar a superação e a mudança de postura, adquiridos a partir do conhecimento da leitura de certos autores que aparecem em sua bibliografia, e a lisura de suas explicações, quando leva em consideração a aplicação de conceitos originados das discussões sobre temas da morfologia fluvial em uma época anterior. A identificação de processos, tanto do passado, quanto do presente, também é de grande valia neste texto. Contudo, Davis não abre mão de sua marca principal, o do entendimento da evolução fisiográfica da paisagem, a partir da classificação de suas

feições morfológicas, ou seja, da disposição geométrica das formas da superfície, no espaço em conexão com o tempo.

Se Davis apresenta uma quantidade maior de textos publicados, e que ainda é possível ter acesso, Walter Penck, embora publicasse menos, possui uma produção mais densa de leitura mais difícil e onerosa, no entanto, desafiadora.

Seu livro *Die Morphologische Analyse. Ein Kapital der physikalischen Geologie*, publicado em 1924, traduzido e publicado em inglês em 1953, com o título "*Morphological Analysis of Land Forms - A contribution to physical geology*" é uma obra densa, onde, fazendo uso dos conhecimentos da morfologia – concebido como o estudo do relevo da terra – tenta explicar problemas ligados aos movimentos crustais da superfície, considerado por ele, como de assunto exclusivo da geologia física, daí o subtítulo do livro.

Seu livro possui um complexo jogo de raciocínio sobre as questões ligadas aos processos responsáveis, pela evolução das formas da superfície. Todavia, não é de seu desejo, tratar explicitamente de evolução da superfície. Sua principal intenção é procurar compreender e explicar os problemas relacionados aos movimentos da crosta terrestre. E é, a partir dessa noção de convergência, que ele vai propor uma análise baseada em três elementos: os *processos exógenos*, *processos endógenos* e os *produtos da relação entre ambos*, que é designado pelas *feições morfológicas atuais*. Esse terceiro elemento é derivado de um jogo de equilíbrio de forças que há entre agentes exógenos e endógenos. A aplicação da relação entre depósitos correlativos chamados de *correlated strata*, para análise e recuperação da história

deposicional, e, assim inferir o desenvolvimento de áreas associadas de denudação, também é ponto marcante neste texto.

Talvez uma das fortes características de Penck, assim como Davis e King, seja a eficiência e a persistência do método, advindo de longos trabalhos de campo. Fato que, curiosamente, marca esse período da história de produção intelectual morfológica, onde o modo de se fazer pesquisa, era em contato direto com o objeto, a análise minuciosa e a busca de dados na fonte. Eram desse modo, grandes pesquisadores de campo.

Isto cristaliza e fundamenta a idéia de classificação dos fatos morfológicos, atributo intrínseco deste período e modo de fazer ciência, pois o contato com a natureza, a objetividade da observação, a perspicácia e insistência da curiosidade – estimulada no contato direto com a paisagem – solidifica e contextualiza o desejo de entendimento, através de parâmetros descritivos e/ou níveis de classificação das formas observadas. A construção teórica é feita a partir da observação, descrição indo para a classificação. Às vezes, a partir da descrição eram capazes de ir direto para a teoria, sem necessariamente ter que perder tempo com etapas de análise e interpretação. Traço que é marcante na ciência moderna atual.

Uma importante citação de Penck (1953, p. 04), nos faz perceber este fato, quando o mesmo escreve,

All the processes of denudation have, as gravitational streams, a no-uniform character – which, as will be shown, is in contrast to the processes of reduction. That is their fundamental property. Their commencement, their

course of development, take place before our eyes. They can be observed in all their phases, and their systematic investigation is thus possible everywhere on the earth, not only qualitatively – as has already been more or less fully done – but quantitatively, a matter which so far has been hardly attempted

Esse estilo de produzir ciência, somente é construído à custa de grandes viagens e trabalhos de campo. Isso irá permitir que Penck venha fazer amplas comparações e correlações sobre as feições observadas, facilitando a descoberta da essência de fenômenos e atributos de processos que respondem pela natureza das formas. Chama-nos a atenção, já que estamos analisando a história da geomorfologia pela via de uma história de seu ramo particular, a geomorfologia fluvial, o modo e linha de raciocínio, ao aplicar os conceitos de *nível de base de erosão* e *nível de base de denudação*. Certamente, uma evidência elementar da leitura profunda dos textos de Powell, que sem sombra de dúvida, o auxiliou nessa argumentação.

Para Penck, o *nível de base de erosão*, seria o limite de rebaixamento absoluto, a partir do qual, o movimento da água, não seria capaz de remover nenhum material. Não é uma superfície, não é um ponto, não é uma forma visível, é, portanto, um nível, podendo ser o mar ou qualquer depressão rebaixada, no interior dos continentes. Pode ser chamado também de *nível de base absoluto de erosão*.

Esse *nível de base de erosão* poderia ter implicações locais, podendo ser compreendido a partir de um outro, que é denominado como *nível de base local de erosão*, que se divide em dois grupos. O primeiro, seria o de pequenos cursos de água que drenam vastas áreas, onde uma mudança de nível só seria possível no



sentido vertical, rebaixando esse nível, quando há erosão da calha ou soerguendo, quando ocorre deposição de sedimentos. O segundo, seria encontrado nas extensões fluviais dos leitos dos rios, nos lugares em que há pausas no gradiente do leito. Assim, teríamos diferentes níveis, separados por seções, que controlam as taxas de erosão, associados com mudanças fundamentais na intensidade da ação fluvial.

O *nível de base de denudação* é o conjunto de pontos da superfície, aonde não é permitido rebaixar ou desenvolver as vertentes das formas. Seria cada ponto da vertente que controla sua denudação dada por zonas de resistência rochosa ou diferenciações litológicas. Assim sendo, o número infinito de *níveis de denudação* distribuídos na superfície, formaria o *nível de base geral de denudação*, que poderia coincidir com o conjunto das seções de pausa das calhas dos rios perenes e intermitentes, os quais não seria possível rebaixar os gradientes da superfície. Tal nível pode ser comparado, aos sistemas de curvas idênticas às curvas gradientes dos cursos d'água.

Penck (op. cit. p. 126-127) alerta sobre a implicação “hidráulica” e “hidrogeomórfica” que há nestas seções quando escreve,

These levels separate sections with a steeper gradient from those above or below which possess a gentler slope. Associated with them is a fundamental change in the intensity of river action. They are not fixed in position, but migrate upstream; (...).

Pensamos o quanto é importante a operacionalização destes conceitos nas pesquisas de geomorfologia fluvial, acoplado aos estudos estruturais. A descoberta desta essencial aplicação conceitual, por si só justifica todo esse nosso esforço e tentativa de periodização histórica da construção dos conceitos, antes de iniciarmos efetivamente os procedimentos técnicos de nossa pesquisa. Incita-nos na busca histórica do conceito, a resgatá-lo, em fazer a recuperação e a transposição de sua memória, à luz das técnicas modernas de pesquisa e em diferentes ângulos de abordagem. Eis a essência implícita de uma pesquisa científica.

Com esta linha de raciocínio, Penck foi capaz de perceber que o *nível de base geral de denudação*, não depende diretamente do *nível de base geral de erosão*, uma vez que, o primeiro é controlado pelas pausas dos gradientes das calhas fluviais, que se localizam de maneira pontuada, ao longo dos perfis longitudinais dos leitos fluviais que compõem a rede que drena a superfície. Deste modo escreve (op. cit. p. 128),

It is not everywhere, however, that the base levels of denudation coincide with those of erosion and the erosional tracks. Their independence of the latter becomes evident, for instance at those very many places in arid regions where mass-movement, even in its last outlying portions, does not reach as far as the lines of the intermittent streams. This same lack of dependence, which demonstrates the functional independence of the base levels of denudation, is especially clearly visible in scarplands.

É a partir desta constatação, que ele conseguirá entender e explicar a heterogeneidade de diferentes estágios de evolução das vertentes viajando pelo mundo. Em qualquer bacia fluvial é possível fazer comparações destas relações entre estágios distintos de evolução de vertentes, controladas pelas posições, tanto

horizontais quanto altitudinais, dos *níveis de base de denudação e de erosão*. É evidente, que em tal empreendimento, deve-se tomar como unidade de referência a bacia de drenagem em toda a sua configuração territorial, na relação com os diversos níveis denudados da superfície.

O seu tratado teórico é fortemente fundado sobre um profundo conhecimento que o mesmo tem da ascensão e subsidência de blocos, que compõe a crosta e os processos atmosféricos que atacam e arrasam o modelado terrestre, sustentado por esses blocos. Assim, sua visão é baseada, acima de tudo, em uma concepção físico-química que ele tem da natureza dos processos geomórficos. Seu sistema é, portanto, um sistema físico, químico, e, porque não, associado a uma base de visão da mecânica da natureza. Contudo, sobre uma base teórica totalmente explícita e de cunho mais interdisciplinar que a teoria de Davis.

E finalmente, chega-se a Lester C. King (op. cit), geólogo e geomorfólogo britânico, que trabalhou no Brasil e em territórios da África, comparando vastas superfícies de aplainamento destas duas regiões. Além de fazer profundo uso de seu método, era um grande pesquisador de campo.

O grande interesse de King, em um de seus poucos textos, em que ele trata, exclusivamente, de questões teóricas, é fundar os princípios gerais que permite entender e explicar a evolução da paisagem, vista através de um outro ângulo. Para tal, rejeita totalmente o conceito Davisiano de rebaixamento gradual das vertentes, como processo geral de desenvolvimento da paisagem, bem como o seu *peneplain*.

Discorre sobre essa evolução, tendo como alicerce, a idéia de recuo paralelo das vertentes, com a formação conseqüente dos pedimentos – setores de superfícies planas em formato ligeiramente côncavo dispostos na base das escarpas - que ao se coalescerem dariam origem às grandes paisagens pediplanadas. O pediplano, segundo ele, é o produto final da junção dos pedimentos.

No entanto, o que podemos examinar, em termos de aplicação dos conhecimentos de processos fluviais, é a forma na qual King, faz uso destes atributos, para tentar chegar a uma visualização dos princípios gerais que regem a evolução modelar da superfície. Com certeza, foi dos três autores, aquele quem mais aplicou os informes, de uma assídua disciplina da hidráulica e morfologia fluvial, para explicitar o poder das suas idéias.

King tinha uma clara concepção, de que trabalhando a gênese e a formação dos pedimentos, chegaria ao entendimento geral da origem das principais feições geomórficas da paisagem, onde ele declarava,

No matter how, or by what agencies, a pediment is later modified; its very existence depends in the first instance upon the process of hillslope or scarp retreat. Thus any hypothesis of pediment formation must explain not only the form and remodelling of the pediment but also the reasons for parallel retreat of hillsides and scarps. King (1953, p. 732).

Para tal, salientava que as bases de seus argumentos, assentavam na forma em que a água fluía, derivada da chuva sobre a paisagem e de observações pontuais e exames feitos no campo, em momentos de precipitação e do processo em operação.

Isso implica trabalhar em um nível de conhecimento, profundamente assentado em bases hidrodinâmicas. Em ter ampla habilidade intuitiva, para se apreender todas as circunstâncias responsáveis, pela variação dos processos geomórficos, condicionados pelo fluxo da água ao escoar pela superfície dos terrenos. Não houve como, fazendo uma leitura de seu método científico-investigativo, dele prescindir dos conhecimentos da hidrodinâmica.

Para King, o pedimento pode ser considerado como a forma de “relevo ideal”, resultante da relação entre, a água projetada sobre a superfície pela precipitação, em muitos casos de caráter torrencial, e o modo como se processam os mecanismos que são responsáveis em elaborar o mínimo de transformação, pelos processos erosivos advindos dessa projeção. É tomando este contexto que ele percebe,

The pediment, a smooth landform permitting discharge in sheets over its whole area, is indeed the natural answer to the need for rapid dispersal of storm water: it is the ideal landform to dispose of the maximum volume of water in minimum time, with least erosional damage to the landscape. Pediments, once formed, may thus be expected to be relatively stable landscape features, King (1953, p. 733).

Neste sentido, seguirá uma linha de raciocínio, fortemente assentada sobre as bases da hidráulica de fluxos em superfície, almejando explicar os mecanismos, que regem a dispersão da água sobre os terrenos planos, respondendo pela gênese das principais feições componentes dos pedimentos. Em cada feição componente dessas formas, há um comportamento diferente dos fluxos, em que a forma é o

resultado do processo atuante sobre ela, ao passo que a própria forma, também é condicionadora da natureza do processo, neste caso, processos hidropluviais e hidrogeomórficos.

King, particularmente negava, como acreditava certos autores, que os pedimentos fossem resultante de ações fluviais de migração lateral dos rios perenes e efêmeros, assim como discordava fortemente de Davis, com relação à evolução das encostas por rebaixamento dos topos e diminuição dos seus ângulos de inclinação. Suas declarações sempre defendiam a origem dessas feições, através da consideração de um recuo paralelo das escarpas, morros e vertentes, acompanhados de relativa estabilidade em alguns casos, dos ângulos de inclinação.

Sua sensibilidade era acompanhada de uma vigorosa confiança, nas virtudes da observação, onde equipado com os conhecimentos originados da visualização de processos *in situ*, localizados nas mais diferentes regiões do mundo, era-lhe permitido fazer criteriosos exames de investigação, aplicando conceitos adquiridos de leituras específicas, mas que eram contextualizados para o campo da proeminência geomorfológica.

É por meio deste contexto, que tomando o conhecimento da hidráulica de fluxos superficiais, consegue fazer uma análise das características desses processos, chegando a partir de uma aplicação do conceito de Osborne Reynolds sobre escoamento laminar, turbulento e o valor crítico de mudança de estado do escoamento, a apreciação e descoberta dos agentes e mecanismos, que respondem pela modelação e remodelação dos pedimentos. É através dos atributos da

observação, que lhe era concedido adquirir informações sistemáticas, sobre os fatores responsáveis pela evolução atual dos pedimentos, e, assim declarar,

Across the pediment, where the volume of water to be discharged continues to increase, the sheet of flowing water becomes deeper. Commonly it also becomes turbid and erosive again. Reynold's Number once more affords the explanation for, when the sheet of water passes a certain critical thickness defined chiefly by the viscosity of water and the smoothness or irregularity of the ground, the sheets of molecules break up, and linear flow takes place again. This sheet-flood (as distinct from the laminar flow in sheets) is the agent that erodes and models the pediment into its typical hydraulic cross section. In addition to transporting weathered debris, it is an active eroding agent on its own account. King (1953, p. 734).

E ele vai mais longe, ao argumentar que em certas circunstâncias, há a concentração de fluxos lineares, que resultam na produção canalizada de redes fluviais, sobre a superfície dos pedimentos, com formação de cabeceiras em recuo remontante e atravessando a sua largura total, re-afeiçoando e remodelando-os.

Assim sendo, lhe era possível inferir os processos que são responsáveis pela formação dos variados tipos de pedimentos e geometria de seus elementos componentes, tais como a *free face*, *waxing slope*, *debris slope*, *waning slope*, *talus*, e *soil*.

Não é preciso discorrer inteiramente sobre esse trabalho de King (op. cit.), para sentir o quanto foi importante, um desenvolvimento prévio de uma “ciência do comportamento da água”, sobre a geometria do modelado, como mediadora e

auxiliadora da resolução de conflituosas questões geomorfológicas, até então, amplamente debatidas nesta época. Nem é necessário entrar de maneira detalhada, no mérito da questão argumentativa de King, sobre os fatores gerais de evolução da paisagem, que foram discutidas também por ele no final do texto. Circunstância que, de todo modo, não é de nossa intenção.

Contudo, nosso desejo é demonstrar a importância que o mesmo prescreve, ao considerar as questões ligadas aos processos fluviais, seja em escoamento concentrado, reafeiçoando as formas componentes dos pedimentos, ou em lençol, edificando a geometria regular plana, que caracteriza essas feições da paisagem. Com isso, ele chegou *pari passu* a plausíveis resultados, sobre as propriedades e dinâmica dos processos, configuradores de uma gênese pedimentar.

Portanto, esse momento da história geomorfológica, representa uma época de consideração indireta das questões de hidráulica e morfologia fluvial, no sentido de uma aplicação para entendimento e elaboração de teorias, que procurassem resolver, de maneira geral, as indagações geomórficas, tendo como pilares principais, a abordagem histórica das formas de relevo e uma cronologia relativa de denudação. E, estes três autores, são muito representativos dessa forma de fazer ciência, tomando como base a observação, munidos de forte preparo intelectual, para classificação conceitual de fenômenos geomorfológicos, tendo como método a investigação direta do objeto, em trabalhos de campo. Observação – reflexão – sistematização – classificação e teorização, são etapas fundamentais encontradas e que condicionavam a produção científico-geomorfológica.



No entanto, para finalizar este período, devemos frisar que eles não foram total idealizadores dos conceitos que utilizaram para formular suas concepções teóricas. Por exemplo: a importância do conceito de nível de base na investigação dos processos fluviais, já estava sendo trabalhada por Surell, por volta de 1841, conforme Abreu (op. cit.), sendo que sua definição geral e formulação conceitual formal, aparecem em Powell, em um trabalho de 1875, sobre o rio Colorado no oeste de New York, (Powell, 1875, in Chorley, Dunn, Beckinsale, 1964). Portanto, há uma forte inter-relação entre, a seqüência de trabalhos realizados, com aperfeiçoamento de conceitos, e, introdução de novos ângulos de abordagem, sobre os problemas pesquisados, que tende a levar a uma aproximação mais condizente com a realidade do objeto investigado.

### ***1.2.3 – A época da experimentação e de estudo dos processos.***

Se o período anterior é munido de forte projeção investigativa a partir de um tratamento que podemos considerar por meio de uma teoria “fechada”, explicitamente rica em reflexão, observação e aplicação de método, o posterior se desvanece em uma prática científica assentada em incipientes sistemas de teorização, com abandono relativo dos vultosos trabalhos de campo e com uma fraca reflexão empírica. Entretanto, configura-se como uma ocasião de conjuntura, fortemente fundamentada na experimentação, nos ensaios de medição, no monitoramento de parâmetros matemáticos e na forte valorização de uma “natureza” transferida e investigada em laboratórios, para verificação na grande maioria das vezes, de eventos e processos hegemonicamente fluviais.

Esta fase pode ser tomada, por uma referência inicial, a partir da Segunda Guerra Mundial, através das publicações do engenheiro hidráulico, Robert Horton (1945), se estendendo pelos anos da década de 1950, 1960 e 1970, sendo seu período final, algo meio confuso, em uma transição para a fase histórica posterior, no entanto, com propriedades que nos possibilita traçar considerações, sobre diferenças de abordagem científico-geomórfica, entre essas duas épocas.

A época de estudo dos processos é um momento marcante na história da geomorfologia, sobretudo, nos estudos de processos fluviais, por que define uma mudança de conduta e de produção científica, onde o enfoque investigativo sinaliza uma transformação de paradigma. Deixa-se uma análise fundamentada na história geomórfica da paisagem, em favor de trabalhos centrados nos estudos dos processos. Quiçá, abrem-se mão das análises puramente teóricas, de elementos de conotação histórico-geológica, pelo aprofundamento da experimentação, da precisão da observação, pelo refinamento dos dados e informações, derivadas de instrumentos técnicos de monitoramento, equipamentos de laboratório e modelos que tentam, em escala reduzida, imitar os vetores – por meio de variáveis de equações matemáticas – responsáveis pela dinâmica dos ambientes e processos fluviais.

Não há nesse momento, o surgimento de um individual, total e inédito sistema de concepção teórica. Nem um autor, que se defina por uma só linha metodológica. A geomorfologia fluvial, praticamente se funde com as técnicas hidrológicas e hidráulicas, bem como com outros métodos da estatística. Anteriormente, utilizava-

se de conceitos da hidráulica experimental de processos, para subsidiar a análise de problemas geomórficos, agora a análise geomórfica é uma aplicação imediata de conceitos e técnicas, que são trabalhados a partir da contextualização de termos buscados, no campo científico dessas disciplinas e outras correlatas, entre as principais, estão a Física, a Química, a Mecânica e a Matemática.

Se na abordagem histórica do período anterior, valorizavam-se em trabalhos de campo, as feições e processos que poderiam exercer o papel de herança dos ambientes pretéritos, para análise das evidências processuais auxiliares na interpretação do meio geomórfico, agora, procura-se mensurá-los no momento exato de sua ocorrência, ou através de modelos de experimentação laboratorial. Não que nessa época, também não houvesse a busca de entendimento da história de evolução da paisagem, ela não é totalmente abandonada, todavia, é posicionada em plano secundário na análise, sendo solicitada somente com o objetivo de subsidiar o entendimento das características contemporâneas dos processos.

Uma breve compilação dos principais trabalhos publicados nessa época, demonstra as características da esfera de discussão científica, dado por meio de uma seqüência de publicações, que consideramos como mais representativas. Quase todos os trabalhos possuem relação com temáticas ligadas à geomorfologia fluvial.

O primeiro, e, que pode ser apreendido como ponto de ruptura, é o trabalho de Horton (op. cit), que utiliza os princípios das leis hidrofísicas, para examinar como a infiltração, o escoamento superficial e as características das vertentes, se combinam para dar origem aos canais fluviais e ordenar as redes de drenagem, dentro de uma

análise puramente estatística. Horton é considerado, devido aos trabalhos anteriores que vinha realizando, o idealizador da análise sistemática e estatística dos parâmetros hidrográficos das bacias de drenagem.

Posteriormente, aparece Strahler (1952), com seu intento de fundar as bases da dinâmica aplicada ao campo de estudo dos processos geomórficos, que para Ritter (1988), Rhoads (2006) e Orme (op. cit.), marca o ponto de mudança de paradigma, dentro da ciência geomorfológica. Questão o qual, evidentemente, não concordamos.

No modelo dinâmico de Strahler, os processos são análogos às tensões que agem, sobre os diferentes materiais geológicos, produzindo características variáveis de tensão e falhamento. As falhas manifestam respostas diferentes de tensão e expressam a mecânica do intemperismo, erosão, transporte e deposição, em acomodações entre tensão e deformação dos materiais que são heterogêneos em sua composição.

Tal abordagem dinâmica requer que os processos sejam analisados, em termos de sistemas abertos, a qual tende alcançar uma condição estável e se auto-regular. Esses sistemas e processos mecânicos, podem ser expressos em modelos matemáticos, derivados da análise empírica e racional de dados observados. Strahler sugere, nada mais, nada menos, a idéia no qual o processo geomórfico, pode ser tratado como um fenômeno *stress-strain* operando em sistemas abertos. Tal abordagem foi de grande valia para a geomorfologia de processos fluviais e hidrologia de vertentes.

Após Strahler, aparecem Leopold e Maddock (op. cit.), em interessante trabalho publicado no *Geological Survey Professional Paper*, do Serviço Geológico Americano, no ano de 1953, onde é pesquisada a relação entre geometria hidráulica de canais fluviais e algumas de suas implicações fisiográficas.

Estes autores apresentam, por meio do estudo da geometria hidráulica de vários canais fluviais de escoamento aberto, o contexto pelo qual os sistemas fluviais desses canais, tendem ao equilíbrio manifestado pelo ajuste das variáveis hidráulicas dos rios. Há, segundo eles, uma tendência nos ambientes de sistemas de canais ao desenvolvimento de uma forma de equilíbrio aproximado entre o canal, a descarga e os sedimentos que o próprio canal é capaz de transportar e depositar. Com isso, a geometria hidráulica, como uma das vertentes de pesquisa da geomorfologia fluvial, estava praticamente fundada.

Em seguida vem Schum (1960), Schum e Khan (1972) e Schum (1981), onde é apresentado os resultados de uma série de estudos experimentais realizados em complexos laboratórios de monitoramento e de modelos de escala reduzida, objetivando investigar a relação que há entre variações de padrões de canais e tipos de cargas transportadas. Valores limiares são encontrados, demonstrando as funções que as variáveis exercem, dentro da dinâmica do ambiente fluvial, inclusive a influência que o tempo exerce sobre tais, e o sistema como um todo.

Em Schum (1981), são apresentadas as implicações sedimentológicas, evolução e resposta do sistema fluvial às alterações nos valores desses limiares e os tipos de

configuração do padrão de canal fluvial, condicionados por períodos de transição, estabilidade e mudança total de padrão geométrico, ocasionados por transformações nos fatores ambientais responsáveis pela natureza desses limiares do sistema.

Outros importantes trabalhos, também são muito representativos dessa fase, como Leopold e Miller (1956), Wolman e Leopold (1957), Leopold e Wolman (1957), Strahler (1958), Bagnold (1960), Wolman e Brush (1960), Leopold *et al* (1960), Brush (1961), Brice (1961, 1973), Schum (1961), Leopold e Langbein (1962), Leopold, Wolman e Preston Miller (1964), Smart (1973), Hack (1973a, 1973b), Keller e Melhorn (1973), Yang e Stall (1973), Hickin (1973) e Tricart (1966).

No Brasil, os autores mais representativos e fortemente influenciados por esses trabalhos foram Christofolletti (1969, 1981), França (1968) e Gandolfi (1968).

Embora todos esses trabalhos postados não fossem alicerçados em teorias explícitas, eles auxiliaram a compreensão mais detalhada de questões mal resolvidas nas fases históricas anteriores, como o problema da natureza dos meandros, das tipologias e transformações geométricas dos canais, da hidráulica de canais de escoamento concentrado e aberto, das planícies de inundações, as implicações sedimentológicas de bacias afetadas tectonicamente, os problemas das equações de transportes de sedimentos, as conexões entre perenidade fluvial e os padrões de vertentes, o papel das soleiras rochosas e tectônicas, o significado documentar histórico-geológico dos alvéolos embutidos, e, o que consideramos como mais importante, o da ingenuidade da aplicação de modelos produzidos em

bacias localizadas nas altas e médias latitudes e transferidos para os trópicos úmidos. Fato que alertou sobre a natureza peculiar das redes de drenagem, instaladas nos ambientes tropicais e que praticamente interfere no rumo do método adotado.

Essas questões pontuadas acima eram de certa forma tratadas nos sistemas teóricos da fase anterior. Entretanto, dúvidas e incertezas pairavam nas discussões geomorfológicas precedentes, devido às limitações da análise empírica, e, somente foram resolvidas, a partir do momento, em que se percebeu que certos eventos e fenômenos da natureza, precisavam ser medidos, monitorados e mensurados, em ensaios que almejavam arremedar os movimentos dinâmicos da paisagem.

#### ***1.2.4 – O período das integrações.***

Parece-nos algo meio profético mas a geomorfologia atual, e a fluvial aí se insere, é caracterizada – ainda que de uma forma embrionária e neófito – por uma preciosa vontade de retorno e recuperação dos métodos e das concepções antigas de trabalhos, que foram desenvolvidos nos estágios iniciais de formação dessa disciplina à luz das técnicas modernas de investigação.

Não é uma época fácil para se vislumbrar tendências, muito menos encontrar os vestígios que caracterizam o processo de desenvolvimento da geomorfologia fluvial para as próximas décadas. Aqui, deve-se mudar um pouco o foco do campo de um ramo de pesquisa específica, para o contexto geral da ciência geomorfológica com o

objetivo de facilitar uma melhor visão de alcance dos contextos. Também não é possível marcar um ponto nítido de mudança, e a transição histórica é totalmente confusa sendo melhor posicionada, a partir do fim da década de 1970 e início de 1980.

Não desejamos, ao dizer que se percebe inicialmente um retorno aos trabalhos antigos, fundar o argumento de que as abordagens de Davis, Penck, Gilbert, Powell e King, estarão de volta às pesquisas atuais da geomorfologia em um efervescente debate para os próximos anos.

No entanto, concordamos com Ritter (op. cit.), Rhoads e Thorn (op. cit.), Rhoads (op. cit.) e Orme (op. cit.), na idéia de que os estudos geomorfológicos contemporâneos demonstram ligeira tendência de retorno a uma abordagem e enfoque científico, assentado no estilo físico de fazer ciência de Grove Karl Gilbert. Embora estes autores considerem a origem deste retorno como algo ocorrente nas últimas quatro décadas, acreditamos que o início desta tendência melhor se observa nos últimos trinta anos, pelas seguintes razões.

Primeiro, a geomorfologia atual em acordo com Rhoads e Thorn (op. cit.), é fortemente dependente de outras ciências naturais, particularmente a Física, a Química e a Biologia, bem como de suas técnicas observacionais e do desenvolvimento de suas formulações teóricas. Qualquer mudança de paradigma nestas disciplinas causa impacto na essência da análise geomórfica, que esta cada vez mais envolvida em uma esfera interdisciplinar. Portanto, o progresso do construto geomorfológico atual depende não somente de uma progressão teórica



interna, mas, igualmente, do avanço teórico de outras disciplinas correlatas. Este fato já era visualizado e considerado por Gilbert em sua abordagem física dos aspectos da paisagem.

Segundo, há a uma continuidade e dominância que vem se estendendo nos últimos decênios, a partir de uma pequena transição da fase anterior, de um enfoque investigativo orientado no estudo dos processos geomórficos, mesmo os que possuem objetivos de entendimento da evolução histórica da paisagem. Estes estudos, na grande maioria das vezes, degeneram na produção de modelos que intencionam repetir os vetores da natureza e as manifestações dinâmicas do fenômeno geomórfico. Aqui, deve-se chamar a atenção para o fato de que os modelos geomorfológicos, devido ao grau de desenvolvimento e maturidade que essa disciplina alcançou ao longo da sua história, não somente resultam na tentativa de repetir determinados vetores da natureza, tal como ocorria no passado e como acontece em outras disciplinas, mas, objetivam comparar e correlacionar os efeitos dos fenômenos modelados com os resultados evidentes da própria natureza. As correlações demonstram as aproximações e os níveis de certeza dos resultados, bem como da capacidade evocativa de explicação da teoria e da operacionalidade do método.

Terceiro, assim como na visão científica de Gilbert a pesquisa geomórfica está se cerceando de trabalhos que não levem em consideração o caráter observacional dos eventos e dos significados das heranças, na busca das variáveis para construção do raciocínio geomorfológico. As pesquisas atuais vêm constantemente solicitando a procura de técnicas, que facilitem a observação sistemática e mais acurada dos

mecanismos que regem os fenômenos tanto no tempo, quanto no espaço, e, assim é possível visualizar uma quarta tendência na produção desta disciplina, que denota o retorno ao “estilo” científico físico.

Vêm crescendo muito na geomorfologia a aplicação e contextualização dos procedimentos operacionais oriundos dos avanços de instrumentos e aparelhos tecnológicos, que possibilitam o aumento da exatidão, tratamento e acurácia dos dados e informações compiladas pelo método. É dessa forma que os satélites e as novas técnicas de sensoriamento remoto, os sistemas de informação geográfica e a cobertura por meio do sistema de posicionamento global (GPS), estão provocando uma revolução na natureza dos dados coletados, e, permitindo aos geomorfólogos, retornarem ao modo da observação *pari passu*, que anteriormente ficava na dependência dos vultosos trabalhos de campo. Isso implicou, e, vem implicando em mudanças significativas nos trabalhos de macro e micro compartimentação geomorfológica, megageomorfologia, tectônica e arranjo estrutural dos terrenos e de análise morfoestrutural e morfoescultural.

Portanto, estas quatro características que pontuamos, e, que vêm se exultando seja de forma direta ou indireta nas pesquisas geomorfológicas, denotam a quase imperceptível idéia de se considerar esta disciplina, no retorno a uma dimensão de análise física, similar à abordagem de Gilbert, que possui forte capacidade de vínculo interdisciplinar com outras ciências.

Todavia, esse contexto apresenta-se mais perceptível no âmbito dos estudos processuais entre aqueles que utilizam técnicas modernas e interdisciplinares, oriundas de outros campos científicos.

No entanto, nos enunciados das pesquisas de geomorfologia histórica uma transformação também vem ocorrendo na apreensão da evolução teórica da paisagem – por meio de uma visão cíclica – para algo similar à análise de eventos pontuados de desequilíbrio.

Não é mais aconselhável considerar os processos no desenvolvimento do tempo geológico, dentro de uma ótica de mudanças seqüenciais, mas sim, em uma representação dinâmica contínua, que se transforma em face das mudanças dos fatores que respondem pelas condições de ambiente<sup>3</sup> da paisagem, localizados em um determinado segmento do território. É dessa forma que as heranças estão sendo solicitadas e recuperadas no conjunto da análise geomórfica, possuindo a cada trabalho, suma importância nas pesquisas de compartimentação topográfica e de feitura de modelos.

Assim sendo, é possível também no âmbito atual de produção geomorfológica, vislumbrar uma tendência que a cada dia ganha maior ímpeto. Trata-se dos estudos que almejam uma aplicação imediata de resultados para efeitos de planejamento do

---

<sup>3</sup> Condições de ambiente se referem a todos os agentes e mecanismos que caracterizam as propriedades dinâmicas da paisagem e que condicionam todos os processos que em última instância, respondem pela evolução e geometria das formas inseridas nos terrenos, como os impulsos do tempo meteorológico, do tempo climático, as forças tectônicas, os fatores de resistência das estruturas, os processos de busca de equilíbrio e de ruptura, etc., que são ocorrentes e caracterizam a metamorfose da paisagem.

uso e apropriação dos recursos naturais, tendo o relevo como fator de análise e as bacias hidrográficas como unidade de estudo.

Chorley (1971) teve um papel importante no surgimento desta tendência quando cristaliza a idéia, em seu artigo, da bacia hidrográfica como unidade geomórfica fundamental de estudo podendo ser considerada, ao mesmo tempo, como unidade topográfica, hidráulica e hidrológica, um sistema físico aberto em termos de entrada de precipitação e radiação solar e de saída de descarga, evaporação e re-radiação solar.

Essa visão vem colaborando para a institucionalização da idéia de se tomar o espaço da bacia como unidade de análise para pesquisa e planejamento urbano, regional e espacial, que no fim tem acabado em tentativas superficiais de aplicações de resultados que na maioria das vezes são oriundos de estudos mal elaborados do ponto de vista teórico e do método.

Portanto, se é que seja possível conjeturar as tendências atuais da geomorfologia, e em especial o campo de estudo dos processos fluviais, sendo isto uma tarefa difícil e temerária, dadas as características confusas da produção científica contemporânea nesse campo da ciência, ainda que com propriedades de uma penumbra, se percebe um ligeiro retorno – como apontam as características que foram apresentadas acima – à idéia de se tomar a geomorfologia como uma ciência física, fundamentada nos princípios da termodinâmica e análoga a uma visão de sistemas em equilíbrio que se modificam com base nas transformações das variáveis de

forma a adquirir novos ajustes, ao longo de um desenvolvimento dinâmico, seguido por e dentro de uma seqüência temporal.

Acreditamos que esses sejam os principais traços, que caracterizam essa disciplina, nesta passagem conturbada do século XX para o XXI.

### **1.3 – Da base teórica e metodológica adotada.**

Diante desta linha de periodização histórica de desenvolvimento e construção dos conceitos aplicados aos estudos da geomorfologia fluvial, que nos permitiu entrever o processo de nascedouro das concepções teóricas dessa disciplina, e, sua relação com outros campos científicos, bem como certos problemas que ainda persistem quanto as suas alternativas metodológicas, torna-nos mais acessível e segura à escolha de uma sólida opção teórica e de método, sem a qual todo trabalho acaba declinando em escolástica.

Por meio do acompanhamento e estudo dessa seqüência histórica, e, em face das descobertas conceptuais que nos é proporcionada nesta apreensão da continuidade histórico-temporal, fica simples e mais óbvio deduzir que o melhor pressuposto teórico para subsídio ao estudo da configuração e evolução das redes fluviais na sua relação com a dinâmica do modelado – característica principal deste trabalho – é a teoria que trata das *forças exógenas, endógenas e do jogo de equilíbrio de forças, entre taxas de denudação e soergimento* de Walter Penck (1953), sem fazer aqui qualquer juízo de valor.

Nossa escolha não é uma abstração pessoal, embora haja neste importante autor certos fatos da geomorfologia que não são levados em consideração na sua análise e que, de certo modo, influenciam no estudo de redes hidrográficas, como os problemas ligados ao desenvolvimento do relevo na interface continente-oceano por exemplo. Entretanto, a sua percepção dos *níveis de base geral de denudação, nível local e absoluto de erosão*, na relação com os dois conjuntos de forças, que respondem pela origem e evolução das formas da paisagem morfológica é uma teoria que nos permite um tratamento de cunho muito mais interdisciplinar, até porque a concepção de Penck, como já foi dito anteriormente, é um sistema físico-dinâmico de abordagem do objeto da geomorfologia.

Assim sendo, nos é permitido trabalhar dentro de uma proposta de estudo que não cria obstáculos à contextualização de certos conceitos que foram elaborados ao longo da história de desenvolvimento desse ramo da ciência, e, que mantém profunda conexão com a ciência hidrológica e com a hidráulica fluvial, mesmo porque, implícito ou explicitamente, estão contidos na concepção Penckiana. Ela é, sobretudo, um sistema interdisciplinar.

Nossa opção de escolha pela teoria da mobilidade de Penck é fundamentada não somente na possibilidade de se fazer contextualização e transposição de conceitos, mas, especialmente, no desejo de se poder trabalhar conjugado a um método que vem sendo muito pouco utilizado nas pesquisas geomorfológicas. Trata-se do método da associação e indeterminação geomorfológica de Leopold e Langbein (1970).

Este método consiste em um tipo de lógica científica, em uma construção argumentativa, baseado em uma linha de raciocínio, a partir da associação de diferentes fatos geomórficos observados. A associação de diferentes observações de fatos geomórficos pode ser considerado como um tipo de lógica científico-metodológica.

Não se trata somente da busca de relações entre processos, mas de produzir interpretações de eventos, manifestações, fenômenos e processos baseando-se na associação com aqueles já conhecidos, documentados e estudados, e, que ocorrem sob as condições atuais ou em um passado recente. Pois esta pesquisa tem forte dependência das informações que são coletadas nos trabalhos de campo que servem de direção ao plano de execução dessa metodologia. Assim, por ser a geometria da superfície dos terrenos, algo extremamente variável no território, o método da associação, tem como melhor maneira de explicar essas variações, através da introdução de relações, que tem uma importância proporcional ao grau em que permitem assegurar, que concordam com a realidade do/e encontrada no campo. Portanto, as informações e fatos que são associados por ocasião do que é coletado em trabalhos de campo servem como variável indicadora do poder evocativo do método da associação e indeterminação na sua plena aplicação.

Segundo Leopold e Langbein (op. cit.), fundamentalmente, existem quatro tipos diferentes de associações que não necessariamente necessita seguir uma ordem seqüencial e de hierarquia, que são:

- *Associação indicativa do processo em ação.* É o tipo de associação de processos mais simples e fundamental que existe na natureza. Por exemplo, um depósito sedimentar originado pela gênese de uma planície de inundação, quando descrito permite a rápida correlação com os processos de deposição operantes em outras áreas e/ou planícies de formação atual. Assim, a simples observação desses depósitos permite inferir a atuação de processos pretéritos responsáveis por sua gênese, podendo ser associados aos que estão agindo na atualidade. Uma planície de inundação, portanto, é uma forma de relevo que com sua dinâmica de deposição permite investigar os processos em ação, sendo perfeitamente ilustrativa dos ambientes onde pode ser feito este tipo de associação.

- *As associações de processos particulares.* Refere-se a um tipo de associação em que as peculiaridades dos processos ocorrentes permitem entendê-los em função dessas características particulares. O melhor exemplo é a ocorrência de paisagens em que a presença de um relevo na forma de leques aluviais possibilita compreendê-los como uma forma resultante de processos particulares vinculados aquele setor da paisagem. Sabe-se, portanto, que aquele material formador do leque aluvial está associado aquela feição da paisagem, originada por processos em um setor de vale, que ao ser erodido originou uma outra forma de relevo. Neste sentido as duas formas de relevo, o vale e o leque aluvial, estão profundamente associados.

A análise da organização e o arranjo dos processos particulares por meio da associação nos permite fazer referências às sucessões de acontecimentos no tempo. Um bom exemplo seria o conhecimento que se pode abstrair da observação



dos estágios diferenciais de evolução das cabeceiras de drenagem, em vertentes colinosas ou de morros nos diversos segmentos das paisagens tropicais.

- *A associação de processos locais.* É a que trata de relações de processos que são ocorrentes fora do contexto observado, ou seja, eles se situam em uma condição de observação que possibilita entendê-los como ocorreram fora do contexto em que estão posicionados. O melhor exemplo disto é a ocorrência de um depósito sedimentar localizado que permite inferir as condições de paisagem, formadora dos materiais desse registro sedimentar.

- *Síntese das observações.* A síntese de uma variedade de observações efetuadas é, com efeito, uma ampliação do alcance das associações consideradas em um contexto determinado. Ela é, simplesmente, a projeção ampliada do contexto das associações.

A quantidade de associações em um processo mental é a medida do grau de realização que alcança esta síntese. Quanto melhor a síntese, maior o número de associações que podem ser feitas no contexto considerado. Em outras palavras, a síntese é o processo de considerar as pequenas porções individuais do conhecimento dentro de um sistema mais amplo, sendo, no entanto, um processo de generalização. A síntese é simplesmente a ampliação esquemática e sistemática do contexto da associação.

Conjugado às associações tem-se o princípio da indeterminação geomorfológica. Este princípio é muito utilizado na física para tratar das variáveis que não podem ser

entendidas individualmente, ou seja, trata-se da situação em que as leis físicas, podem ser satisfeitas por um grande número de valores (combinados) de variáveis interdependentes. Quando os valores dessas variáveis ocorrem em casos individuais, eles se tornam improváveis de serem estabelecidos, porque não são regidos por leis físicas, mas são de natureza estocástica, probabilística. Portanto, são improváveis, incertos e indeterminados.

O valor dessas variáveis que são indeterminadas em certas situações da natureza, somente pode ser satisfeita por meio da probabilidade estatística. Uma interessante citação de Leopold e Langbein (1970. p. 240.), a respeito da probabilidade, por exemplo, retrata bem essa condição em hidrodinâmica de canais fluviais, quando os mesmos dizem,

Cualquier tendencia al cambio de un factor a expensas de otro induce una resistencia a aquel cambio, y así los factores hidráulicos rondan alrededor de un promedio o de un equilibrio, pero en cualquier momento, en el transcurso del tiempo, las relaciones específicas no pueden ser previstas excepto en un sentido estadístico.

Portanto, certos valores representativos de variáveis que agem na paisagem e nas redes e/ou canais fluviais, são somente compreendidos e avaliados, quando considerados dentro de uma proposição estatística, ou seja, dentro de um contexto de probabilidades.

Um exemplo bem elucidativo deste princípio é dado por Leopold e Langbein (1970. p. 239.), quando no segmento de um rio, após um evento de inundação, as variáveis profundidade da calha, declividade do leito, velocidade do fluxo e gradiente

hidráulico precisam se ajustar devido às mudanças provocadas pelo aumento da vazão e taxa de produção de sedimentos. Essas variáveis estão continuamente se modificando em relação às mudanças da vazão e de quantidade de sedimentos. Os mecanismos que regem os valores de mudança dessas variáveis só podem ser satisfeitos em termos de probabilidade. Eles são indeterminados individualmente.

Isso implica trabalhar com certos parâmetros seja matemático ou estatístico, que permite uma dependência menor, com relação aos problemas ligados à universalidade da observação empírica. A análise empírica geomórfica pode e deve ser tratada dentro de um contexto de investigação com parâmetros que permitem visualizar dados do fenômeno que vão além da sua essência empírica. Mais uma vez, aqui, queremos salientar a escolha pela teoria de Penck, por permitir a introdução de um contexto que possibilita tratar destes assuntos, através dos níveis de transposição de conceitos interdisciplinares de outras disciplinas que são afins à moderna ciência do relevo.

## **1.4 – Do procedimento técnico-operacional utilizado e dos objetivos da pesquisa.**

Para se chegar ao conjunto de informações, que nos concederá à operacionalização do método vinculado à teoria, dois procedimentos técnicos serão realizados neste trabalho.

O primeiro se refere a compartimentação e sub-compartimentação geomorfológica da área da bacia, que permite conhecer os setores de semelhança, no que diz respeito a fisionomia topográfica dos grupos de formas de relevo, dos processos morfogenéticos e hidrogeomórficos, bem como a cronologia relativa da superfície dessas formas. O segundo diz respeito à aplicação nestes compartimentos e sub-bacias hidrográficas, inseridas nos mesmos, de treze parâmetros hidrográficos – que são comumente e erroneamente tratados na literatura de análise morfométrica<sup>4</sup> – que de maneira correlacionada e seqüencial, possibilitarão inferir sobre a dinâmica geomórfica atrelada a hidrografia destes setores, e aos estágios de evolução geomórfica determinados por fatores estruturais, tectônicos e litológicos. Estes dois procedimentos possibilitam também a seleção dos alvos para trabalhos de campo.

---

<sup>4</sup> Existe uma grande quantidade de trabalhos que designam a análise de bacias hidrográficas, erroneamente como análise morfométrica. A análise morfométrica é um procedimento clássico de investigação do relevo, por meio de suas características morfométricas, como hipsometria, comprimento de vertentes, arredondamento e topos, declividades, etc. Tal procedimento investigativo sobre o relevo, pode ser realizado sem que, necessariamente, se faça uso de dados hidrográficos. Do mesmo modo nem toda a análise de dados hidrográficos é, essencialmente, uma análise morfométrica, pois os dados densidade de drenagem e densidade hidrográfica, por exemplo, não se relacionam diretamente com aspectos do relevo. Por isso, consideramos equivocado, utilizar o termo análise morfométrica, com o mesmo sentido de análise hidrográfica. Tal fato tem, provavelmente, origem na tradução errada dos textos de geomorfologia “quantitativa” americana da década de 1940.

Estes procedimentos operacionais serão aplicados com o objetivo de permitir a compilação de informações e dados sobre os processos geomórficos, hidrogeomórficos, hidrodinâmicos e litoestruturais do relevo da bacia. Portanto, a compartimentação geomorfológica e a análise dos parâmetros hidrográficos da drenagem, são considerados neste trabalho, como procedimento técnico-operacional em subsídio ao método, e, não como nível metodológico de pesquisa. Embora se deva admitir que mesmo sendo tratados, a partir de um contexto em que se faz um uso puramente técnico, um *certo ar de metodologia* sempre permanece implicitamente presente.

A compartimentação geomorfológica da bacia, será realizada a partir da aplicação dos conceitos morfotectônicos de Summerfield (1991), dos tipos de padrões de drenagem de Zernitz (1932) e Howard (1967) e por meio da interpretação morfológica de sub-compartimentos de relevo. Não entraremos aqui em todos os detalhes e problemas advindos dos critérios de compartimentação e sub-compartimentação, porque isso será tratado no sub-capítulo 3.1.

A referência espacial para a realização desses dois procedimentos técnicos foi o espaço da bacia, tomado através de seu divisor topográfico. Embora sejamos críticos quanto aos estudos que tomam a linha do divisor topográfico, como denotativo do espaço da bacia, aqui a necessidade se impõe, devido ao fato de que certos parâmetros hidrográficos, somente são aplicáveis em condições que permitem fechar os valores das variáveis, como por exemplo, a densidade de drenagem, densidade hidrográfica, fator de forma, etc., somente se calcula em áreas de perímetro fechado.

A compartimentação tem como produto a geração do mapa geomorfológico da bacia, respeitando-se os critérios morfométrico, morfográfico, morfodinâmico e de cronologia relativa das formas, que aparecem neste mapeamento geomorfológico. Este vai ser gerado, a partir da interpretação de um modelo digital de terreno, executado em programa de SIG (Sistemas de Informação Geográfica), onde a base cartográfica para realização do mesmo, são cartas topográficas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (1978), na escala 1: 50.000, em formato digital e impresso e por meio de trabalhos de campo. Melhores detalhes no sub-capítulo 3.1.

Os parâmetros hidrográficos que serão aplicados aos compartimentos e sub-bacias hidrográficas relacionam-se, todos eles, aos elementos hidrográficos e aos aspectos da drenagem. Christofolleti (1969) dividiu-os em *análise linear, areal, hipsométrica e topológica*, na sua tese de livre-docência. Tendência que evidentemente não procuramos seguir, devido ao fato de que tal divisão, dificulta relacionar os resultados dos cálculos desses parâmetros, com as informações obtidas na compartimentação geomorfológica. Alguns dados dos parâmetros hidrográficos também serão calculados a partir de programa de SIG.

Foram compilados na literatura vinte e dois parâmetros de estudos de redes hidrográficas, no entanto, para realização deste procedimento da pesquisa, optamos pela aplicação, como já foi dito anteriormente, de somente trezes parâmetros, uma vez que, alguns deles refletem informações redundantes. Eles são:

01) *Ordenação de canais*. É o processo de hierarquização fluvial dos canais que compõem a rede fluvial da bacia. A técnica adotada será a de Strahler (1952). Procuramos elaborar um mapa da bacia com as respectivas ordenações dos canais, mas devido a grande quantidade de canais e grau de ramificação da rede hidrográfica, tal produto fica inviável para apresentação. No entanto, sempre que possível, a ordenação dos canais fluviais analisados ao longo do trabalho serão apresentadas.

02) *Densidade de drenagem*. Correlaciona o comprimento total dos canais ou rios com a área da bacia, Horton (1945). É expresso pela equação:

$$Dd = \frac{L}{A} \quad (01)$$

onde, Dd é a densidade de drenagem e L o comprimento total dos rios e A é a área da bacia.

A densidade de drenagem é um dos parâmetros mais importantes na análise hidrográfica, porque permite inferir sobre a natureza dos diferentes graus de permeabilidade dos materiais, que sustentam os terrenos, além de ser imprescindível no auxílio da interpretação, sobre informações ligadas à morfogênese da paisagem. Ela é inversamente proporcional aos resultados de outros parâmetros, isto é, à medida que ela aumenta, há diminuição proporcional de outros componentes fluviais que integram as redes de drenagem.

03) *Densidade hidrográfica*. Relação existente entre o número de rios ou cursos d'água e a área da bacia hidrográfica, Horton (1945). É expresso pela equação:

$$Dh = \frac{N}{A} \quad (02)$$

onde, Dh é a densidade hidrográfica e N é o número de rios.

Trata-se de um índice que compara a freqüência ou a quantidade de cursos d'água existentes em uma área de unidade padrão. Este parâmetro é fortemente influenciado pela técnica escolhida para realização da ordenação dos canais, tendo diferentes resultados numéricos conforme a técnica de ordenação de Strahler, de Horton ou de Shreve. Não pode ser analisada individualmente, e deve estar sempre associada a análise da densidade de drenagem e outros parâmetros.

04) *Coeficiente de manutenção*. Fornece a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento permanente de 1° ordem, Schum (1956). É expresso pela relação:

$$Cm = \frac{1}{Dd} \cdot 1000 \quad (03)$$

onde, Cm é o coeficiente de manutenção e Dd é a densidade de drenagem.

É um coeficiente que permite ter uma noção geral do comportamento hidrodinâmico de uma região. Ele revela características hidrológicas de processos de escoamentos, ocorrentes na superfície dos terrenos, que se relacionam as taxas de infiltração e circulação das águas sobre as vertentes e canais fluviais.



05) *Extensão do Percurso Superficial*. Trata da distância média que as águas têm de percorrer antes de se concentrar em um canal permanente, Horton (1945). É expresso pela fórmula:

$$Eps = \frac{1}{2.Dd} \quad (04)$$

onde, Eps é a extensão do percurso superficial e Dd é a densidade de drenagem.

Esse parâmetro oferece uma visualização sobre os processos de escoamento superficial ocorrentes na rede hidrográfica, em uma visão mais geral. Ele informa o quanto de comprimento mínimo que as águas pluviais em superfície, necessitam percorrer antes de se concentrarem em um canal fluvial, alimentando diretamente sua perenidade.

06) *Relação de bifurcação*. É a relação entre o número total de canais de certa ordem e os de ordem imediatamente inferior, Horton (1945). É expresso pela fórmula:

$$Rb = \frac{Nw}{Nw+1} \quad (05)$$

onde, Rb é a relação de bifurcação; Nw é o número total de canais de determinada ordem e Nw + 1 é o número total de canais de ordem imediatamente superior.

Esse parâmetro auxiliou Horton a definir uma das leis de composição da drenagem, ou seja, a lei do número de canais, que demonstra quantas vezes aumenta a quantidade de segmentos de rios, quando se passa de uma certa ordem para outra

inferior. Seu resultado numérico calculado (geralmente não inferior a 2) é muito estável, evidenciando pequenas variações, em obediência a controles geológicos e tectônicos, atuantes na evolução da rede hidrográfica.

07) *Relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem.* Trata da relação entre o comprimento médio dos canais de ordens subseqüentes, Horton (1945). É expresso pela fórmula:

$$Rlm = \frac{Lmw}{Lmw - 1} \quad (06)$$

onde, Rlm é a relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem; Lmw é o comprimento médio dos canais de determinada ordem e Lmw - 1 é o comprimento médio dos canais de ordem imediatamente inferior.

A importância desse parâmetro reside historicamente no fato, de que foi ele quem possibilitou a Horton, elaborar outra lei básica de composição da drenagem, manifestada da seguinte maneira, *“em uma bacia determinada, os comprimentos médios dos canais de cada ordem, ordenam-se segundo uma série geométrica direta, onde o primeiro termo é o comprimento médio dos canais de primeira ordem, e a razão é a relação entre os comprimentos médios”*, Horton (1945, p.291). Não há, necessariamente, uma relação direta entre o comprimento dos rios e a lei do número dos rios, segundo o estudo pioneiro de Schumm (1956). O comprimento dos canais pode, entretanto, ter relação direta com o comportamento hidrológico dos terrenos, influenciado pelo controle tectônico existente na região. Essa questão já deu margem a amplas discussões na literatura, não cabendo aqui externa-las.

08) *Relação entre o índice do comprimento médio dos canais e o índice de bifurcação*. Trata da relação que há entre o comprimento médio dos canais e o índice de bifurcação dos mesmos, Horton (1945). É expresso pela fórmula:

$$Rlb = \frac{Rlm}{Rb} \quad (07)$$

onde, Rlb é relação entre o índice de comprimento médio dos canais e o índice de bifurcação; Rlm é a relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem e Rb é a relação de bifurcação.

Trata-se de um parâmetro que demonstra uma forte relação existente entre o comprimento médio dos canais e a razão de bifurcação. Quando a ordem dos canais aumenta, progressivamente, cresce o comprimento médio dos mesmos, ao passo que o inverso, ocorre quando há diminuição da ordem na hierarquia da bacia. O valor numérico deste parâmetro dificilmente é superior a 1, sendo que quanto mais próximo deste número, melhor vai ser a relação entre comprimento médio dos canais e a razão de bifurcação, evidenciando que a bacia evolui, sem necessariamente ser controlada pela influência de fatores geológicos.

09) *Índice de forma*. Representa a relação existente entre o perímetro da bacia e a área que ela possui. É expresso pela fórmula:

$$K = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \quad (08)$$

onde, K é o índice de forma; P é o perímetro da bacia e A é a área da mesma.

O índice de forma é um parâmetro que trata apenas da forma da bacia, sendo que seu valor calculado não depende da área considerada. Ele é adimensional e nunca é menor do que 1, e quanto mais próximo deste valor, mais próxima estará a bacia de uma forma circular. Isso permite ter uma noção importante, sobre a tendência hidrológica da bacia em desenvolver áreas de inundação, com conseqüente deposição de sedimentos e formação de planícies de inundação.

10) *Índice de circularidade da bacia*. É a relação existente entre a área da bacia e a área do círculo de mesmo perímetro, Miller<sup>5</sup> (1953, apud Strahler, 1958). É expresso pela fórmula:

$$C = \frac{A}{Ac} \quad (09)$$

onde, C é o índice de circularidade da bacia; Ac é a área do círculo de mesmo perímetro e A é a área da mesma.

Trata-se de um parâmetro adimensional que permite comparar o perímetro da bacia com o perímetro de um círculo de mesmo tamanho ao da bacia. Seu valor não pode ser maior do que 1, sendo que quanto mais próximo deste, melhor a correlação entre o perímetro da bacia com o de um círculo de mesmo perímetro. É um parâmetro parecido com o índice de forma (K), com a diferença de que neste caso, há uma comparação com o perímetro de um círculo de mesmo tamanho.

---

<sup>5</sup> MILLER, V. C. A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristic in the Clinch Mountais area. New York, Columbia University, Dept. of Geology, Tec. Report nº3, 1953, 30 p.

11) *Declividade fluvial (S)*. É a relação entre a diferença máxima de altitude entre a nascente e a foz na extensão do curso d' água, Horton (1945). Esse parâmetro será calculado para trechos do perfil longitudinal, definidos com base em uma proposição de Schum (1981), que divide o perfil longitudinal de um rio, em trechos de alto curso, onde teria predominância de processos erosivos, médio curso, que demonstra processos erosivos e deposicionais e baixo curso, em que haveria predomínio de processos deposicionais.

12) *Perfil longitudinal fluvial*. Parâmetro que demonstra uma linha de perfil inclinada correspondente ao canal principal da bacia, na maioria das vezes em forma de parábola. Permite ter uma noção da evolução dos canais, evidenciando pontos de rupturas na evolução, onde se infere a presença de soleiras rochosas, tectônicas e knickpoints. Foi compilado nos canais principais das sub-bacias mais importantes.

13) *Índice de gradiente do canal (SL)*. É o produto da diferença de altitude e extensão do canal, em um trecho dividido pela metade do comprimento deste trecho até a nascente do canal, segundo nos apresenta Hack (1973a). É expresso pela fórmula:

$$SL = \frac{\Delta H \cdot L}{\Delta L} \quad (10)$$

onde, SL é o índice de gradiente do canal no respectivo trecho,  $\Delta H$  é a diferença altimétrica no trecho, L é a extensão do rio medido da nascente até a metade do trecho considerado, e  $\Delta L$  é a extensão do trecho onde o índice esta sendo calculado. Este parâmetro apresenta resultados mais realísticos quando aplicados para segmentos de drenagem. Neste trabalho, o mesmo foi calculado para trechos

de alto curso, médio curso e baixo curso dos principais canais fluviais, definidos através da elaboração de seus perfis longitudinais. Para maiores informações deve-se consultar o trabalho de Hack (op. cit.), onde o mesmo apresenta, por meio de pesquisas em áreas estáveis tectonicamente e com litologia homogênea, uma forte correlação entre a evolução do gradiente dos canais fluviais e a mediana do diâmetro das partículas da carga de fundo dos rios. Este índice evidencia também, o poder erosivo do canal, calculado nos trechos em que ele é compilado. Quanto maior o valor, mais eficiente será a energia erosiva atuante no canal, sendo fortemente dependente da escala da documentação cartográfica utilizada em seu cálculo.

Temos a total consciência de que a aplicabilidade destes parâmetros em análise de bacias já foi intensamente discutida na literatura e em numerosos trabalhos de pesquisa. No entanto, nossa preocupação não é discutir a operabilidade destes parâmetros, e, sim, o quanto a essência da natureza dos dados que eles representam, possibilita a compilação de informações que serão relacionadas aos conhecimentos gerados pela compartimentação geomorfológica da bacia. É tratá-los integradamente à essência geomórfica da hidrografia, instalada nos terrenos de cada setor da paisagem morfológica compartimentada. Isso, de certa forma, permite que se faça associação de processos e de grupos de formas de relevo que estão relacionados aos mesmos, evoluindo sobre complexas estruturas litológicas.

Assim sendo, esperamos atingir como objetivo geral, *a investigação dos fatores morfológicos e estruturais*, que determinam à evolução geomórfica e a dinâmica fluvial da bacia, frente aos condicionantes litoestruturais e litotectônicos.

De um ponto de vista mais específico, esperamos realizar uma *compartimentação geomorfológica*, que seja condizente com o cálculo dos parâmetros hidrográficos da rede de drenagem; verificar a *relação estrutural entre litologia, formas de relevo e dinâmica de canais fluviais* e comparar a *evolução hidrográfica da bacia* com os *modelos de evolução e desenvolvimento da rede de drenagem* que já existem na literatura acerca do tema.