



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

REINIS OSIS

INDICADORES MULTIVARIADOS PARA DEFINIÇÃO DE AMBIENTES FLUVIAIS
EM PEQUENOS CANAIS

Rio de Janeiro

2012



REINIS OSIS

INDICADORES MULTIVARIADOS PARA DEFINIÇÃO DE AMBIENTES FLUVIAIS
EM PEQUENOS CANAIS

Dissertação de Mestrado submetida ao corpo docente do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Geografia.

Orientador: Professor Dr. Antonio Paulo de Faria

Rio de Janeiro

2012

FICHA CATALOGRÁFICA

O82 Osis, Reinis
 Indicadores Multivariados para Definição de Ambientes Fluviais em
 Pequenos Canais / Reinis Osis. – 2012
 196 f.: il.

 Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de
 Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geografia, Rio de
 Janeiro, 2012.

 Orientador: Antonio Paulo de Faria

 1. Geomorfologia 2. Indicadores ambientais.

 I. Faria, Antonio Paulo de (Orient.).

 II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Programa de Pós-graduação
 em Geografia.

 III. Título.

CDD: 551.4

REINIS OSIS

INDICADORES MULTIVARIADOS PARA DEFINIÇÃO DE AMBIENTES FLUVIAIS
EM PEQUENOS CANAIS

Dissertação de Mestrado submetida ao corpo docente
do Programa de Pós-graduação em Geografia da
Universidade Federal do Rio de Janeiro como
requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre
em Geografia.

Orientador: Professor Dr. Antonio Paulo de Faria

Aprovada em ____/____/____ por:

Antonio Paulo de Faria, D.Sc. (UFRJ)

André de Souza Avelar, D.Sc. (UFRJ)

Evaristo de Castro Junior, D.Sc. (UFRJ)

Jorge Soares Marques, D.Sc. (UERJ)

Rio de Janeiro

2012

À minha família e amigos!

AGRADECIMENTOS

Àqueles que auxiliaram diretamente no desenvolvimento deste trabalho, Prof. Antonio Paulo de Faria, pelo apoio integral a esse estudo e apreço pela busca de novos pontos de vista na geomorfologia, a Felipe Alves Cavani, pelo auxílio no tratamento dos dados multivariados, e a Vanessa Cristina dos Santos, minha geocompanheira, pela paciência e pelo auxílio nos diversos campos, nas revisões dos textos e na elaboração de mapas.

Ao Prof. Thomaz Alvisi de Oliveira pelo incentivo a uma pesquisa geomorfológica integrada com a biogeografia, bem como aos demais professores da FEPI – Fundação de Ensino e Pesquisa de Itajubá. Aos professores do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) que muito contribuíram na formação da base teórica do estudo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de estudo, sem a qual este trabalho não poderia ser realizado. À professora Eliane Guimarães Pereira Melloni, Bárbara Flauzino, Tânia Aparecida de Souza Barbosa e Josivaldo Júnior da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), pelo grande auxílio nas análises granulométricas.

À Companhia Melhoramentos pelas autorizações de passagem pela sua área. À banca examinadora, pelas valiosas recomendações ao trabalho e, finalmente, aos amigos que conheci no Rio de Janeiro e que me receberam muito bem em sua cidade.

RESUMO

OSIS, Reinis. **Indicadores Multivariados para Definição de Ambientes Fluviais em Pequenos Canais**. Dissertação (Mestrado em Geografia na Área de Concentração de Planejamento e Gestão Ambiental) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

O presente estudo teve por objetivo verificar a relação entre indicadores do meio físico e biótico com níveis linimétricos associados a diferentes magnitudes de vazões. Para tanto, foram coletados ao longo de quatro seções em um canal aluvial de terceira ordem, dados referentes à granulometria dos sedimentos aluvionares, padrões de vegetação, serrapilheira e dossel. As correlações entre os indicadores do meio físico e biótico e os níveis de vazões foram observadas através de algoritmos de regras de associação e árvores de decisão. Os procedimentos adotados permitiram definir dois setores no ambiente fluvial em questão: 1) calha ($< 0,4 \text{ m}^3/\text{s}$) – onde ocorre predominância de sedimentos grosseiros, vegetação nula e serrapilheira inexistente e; 2) planície aluvial ($> 0,6 \text{ m}^3/\text{s}$), onde ocorre predominância de sedimentos finos, vegetação herbácea, e serrapilheira contínua. A conclusão consiste em uma hipótese: a de que este limiar separa dois ambientes cujos papéis dos processos hidrogeomorfológicos e bióticos são complementares na dinâmica dos fluxos, e ocorrem em proporções diferentes em cada um dos setores, o que permite a manutenção da atual calha única, padrão soleira-depressão, sinuosa, que escava um terraço e constrói uma nova planície aluvial, cuja estratigrafia também apresenta um padrão dual.

Palavras-chave: *Indicadores fluviais; Ambientes fluviais; Canal de terceira ordem, Padrão soleira-depressão.*

ABSTRACT

OSIS, Reinis. **Indicadores Multivariados para Definição de Ambientes Fluviais em Pequenos Canais**. Dissertação (Mestrado em Geografia na Área de Concentração de Planejamento e Gestão Ambiental) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

The purpose of the present study is to check the relationship between channel indicators and fluvial discharge levels. Data related to granulometry of alluvium, vegetation patterns, litter and canopy were collected. Discharge levels were determined by applying the Manning's equation, whereas different levels were associated with indicator data through rule association and decision tree algorithms. The main results to define two areas in the fluvial environment were: 1) channel bed ($< 0,4 \text{ m}^3/\text{s}$) – in which granulometry is coarse, pattern vegetation is null and litter is absent and 2) alluvial plain ($> 0,6 \text{ m}^3/\text{s}$) – in which fine granulometry predominates, pattern vegetation is herbaceous and litter is continuous. The conclusion consists in the hypothesis: the threshold limits two environments whose hidrogeomorphic and biological processes are complementary in the flux dynamics. Processes also can occur in different quantities in the environments identified, which allows maintenance of present straight channel, sinuous, riffle-pool pattern, erode the terrace and building a new alluvial plain, whose stratigraphy also presents a dual pattern.

Key words: Fluvial indicators, Fluvial environment, Third-order channel; Riffle-pool pattern.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Objetivo geral	3
1.2. Objetivos específicos	3
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
2.1. A geomorfologia e sua característica sistêmica	4
2.2. Processos físicos e bióticos em pequenas bacias de drenagem	6
2.3. Indicadores biológicos e geomorfológicos de processos fluviais.....	16
2.4. Zoneamento de ambiente fluviais	19
2.5. Padrão fluvial soleira-depressão	21
2.6. Análise de dados ambientais multivariados	23
2.7. Árvores de Decisão	25
2.8. Regras de Associação	28
3. ÁREA DE ESTUDO	30
3.1. Geomorfologia	31
3.2. Geologia.....	34
3.3. Pedologia	35
3.4. Clima.....	38
3.5. Vegetação.....	40
3.6. Hidrologia	41
4. MÉTODOS.....	43
4.1. Definição de seções.....	43
4.2. Seleção e coleta de indicadores.....	45
4.3. Estimativa de vazões	61
4.4. Ensaio de granulometria	64
4.5. Tratamento dos dados	70
5. RESULTADOS	74
5.1. Seções e dados coletados	74
5.2. Estimativa de vazões	75
5.1. Indicadores coletados.....	77
5.1. Organização dos dados	80
5.2. Aplicação de regras de associação	82
5.3. Aplicação de árvores de decisão	82
5.4. Análises sedimentológicas	86
5.1. Relações entre débitos, indicadores, morfologia e estratigrafia	94
5.2. Definição de ambientes.....	106
6. CONCLUSÕES.....	112
7. REFERÊNCIAS	115

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Modelo de formas fluviais onde 1 – alto terraço; 2 – baixo terraço; 3 – planície de inundação; 4 – patamares do canal ativo; 5 – barranca do canal ativo; 6 – barra deposicional; 7 – leito do canal; 8 – barranca da planície de inundação e; 9 – vertente. Adaptado de Osterkamp e Hupp (1984).	9
Figura 2.2 Modelo simplificado da mudança potencial da largura do canal após um evento extremo em quatro contextos bioclimáticos diferentes. Adaptado de Knighton (1998).	15
Figura 2.3 Fotografia de um trecho de depressão, na porção direita, e soleira, à esquerda. Trinity River, Califórnia, Estados Unidos (Pasternak, 2008).	21
Figura 2.4 Representação de um padrão comum de morfologia soleira-depressão. Baseado em Richards (1982).	22
Figura 2.5: Estruturação de uma árvore de decisão com base em um exemplo clássico do KDD, sobre se jogar golfe ou não, com base no tempo, na umidade e no vento. Veja a correspondência dos nós em laranja no Quadro 2.2.	26
Figura 3.1: Localização da área de estudo, contextualizada na bacia do ribeirão do Cadete, e a posição aproximada das seções realizadas neste estudo. Baseado em cartografia 1:1.000.000 e 1:50.000 do IBGE (1991). Coordenadas UTM SAD 69 zona 23.	31
Figura 3.2 Perfil longitudinal do canal principal da bacia estudada e posicionamento da área de estudo neste.	32
Figura 3.3: Mapa hipsométrico da região compreendida pela porção oeste da serra da Mantiqueira, e localização da bacia em estudo na mesma.	33
Figura 3.4: Foto de um bloco rolado de granitóide da área de estudo.	34
Figura 3.5: Mapa geológico regional, e posição da bacia em estudo.	35
Figura 3.6: Perfis de solos pouco desenvolvidos, com horizontes B incipientes, sobrepostos por horizonte A proeminente, situados à alta vertente convexa na bacia em estudo, com possibilidade de serem enquadrados na ordem dos Cambissolos. Fotos: Osis, R.	36
Figura 3.7 Pluviosidade e temperatura médias para a bacia de drenagem do rio Jaguari e ribeirão do Cadete. Fonte: SISCOM (2007).	38
Figura 3.8: Gráfico com representação das médias de temperaturas mínima, máxima e pluviosidade mensais da estação climatológica de Monte Verde (Fonte: Somar Meteorologia, 2011).	39
Figura 3.9: Série histórica, com as vazões máximas mensais no período de 1990 a 2000. Fonte: EIA PCH Tombo (2002).	41
Figura 4.1: Levantamento em campo das informações referentes à geometria das seções na calha fluvial do ribeirão do Cadete-MG.	44
Figura 4.2 Exemplo de padrão de vegetação herbácea na área de estudo. A escala possui 1 m. Fotografia de 01-03-2012.	48
Figura 4.3 Exemplo de padrão de vegetação arbustivo, com plantas apresentando em torno de 1 m de altura, presentes na área de estudo. Escala com 1 m. Fotografia de 01-03-2012.	49
Figura 4.4 Exemplo de padrão de vegetação predominantemente arbórea, apresenta na planície de inundação da área de estudo. Fotografia de 01-03-2012.	49
Figura 4.5 Fuste de <i>Araucaria angustifolia</i> posicionado junto à calha na margem direita da seção S1. Nota-se também a presença de folhagens de <i>Dicksonia sellowiana</i> . Fluxo da direita para a esquerda.	50

Figura 4.6 Exemplo de cobertura de serrapilheira contínua, presente na área de estudo. A escala possui 1 m. Fotografia de 01-03-2012.	52
Figura 4.7 Exemplo de cobertura de serrapilheira descontínua, presente na área de estudo. A escala possui 1 m. Fotografia de 01-03-2012.	52
Figura 4.8 Aspecto da cobertura de serrapilheira inexistente na área de estudo. A escala possui 1 m. Fotografia de 01-03-2012.....	53
Figura 4.9 Exemplo do estrato arbóreo localizado próximo à área de estudo, e a abertura no dossel desse estrato devido à presença da calha do ribeirão do Cadete.	55
Figura 4.10 Exemplo de dossel na classe definida como aberto (o extrato emergente não é considerado). Fotografia capturada sob vegetação situada junto à área de estudo. Fotografia de 01-03-2012.	56
Figura 4.11 Exemplo de dossel na classe aberto parcial, em vegetação situada junto à área de estudo. Fotografia de 01-03-2012.....	57
Figura 4.12 Exemplo de dossel na classe fechado parcial, em vegetação situada junto à área de estudo. Fotografia de 01-03-2012.....	57
Figura 4.13 Exemplo de dossel na classe fechado, em vegetação situada junto à área de estudo. Fotografia de 01-03-2012.....	58
Figura 4.14 Exemplo de indicador sedimento “grosseiro”, presente na área de estudo. A escala possui 1 m. Fotografia de 01-03-2012.	59
Figura 4.15 Exemplo de indicador sedimento “fino”, presente na área de estudo. A camada superficial de serrapilheira foi removida evidenciando a natureza fina dos sedimentos no ponto. A escala possui subdivisões de 20 cm. Fotografia de 01-03-2012.	60
Figura 4.16 Exemplo de como cada parâmetro foi inferido nas cotas das seções da área de estudo. Os valores representam a composição da fórmula de Cowan (1956), que resulta no n da fórmula de Manning.	63
Figura 4.17 Preparação inicial do ponto de amostragem com o trado tipo caneca. Fotografia de 01-03-2012.	65
Figura 4.18 Principais eixos de um clasto, sendo o B o utilizado para mensuração direta utilizada no estudo. Adaptado de University of Wisconsin-Madison (2012).	67
Figura 4.19 Determinação do diâmetro do eixo intermediário de um clasto. Fotografia de 01-03-2012.	67
Figura 4.20: Layout da aplicação <i>Explorer</i> do pacote Weka, onde estão os principais algoritmos.	71
Figura 5.1: Planta das seções realizadas, com indicação das estacas de referência em cada extremo de seção e distâncias entre as estacas.	74
Figura 5.2: Curvas que relacionam a vazão estimada com base na equação de Manning e as cotas relativas nas seções S1, S2, S3 e S4.	76
Figura 5.3 Número e percentagem de ocorrências das classes de serrapilheira no total de pontos levantados nas seções.	78
Figura 5.4 Número e percentagem de ocorrências das classes de padrões de vegetação no total de pontos levantados nas seções.	78
Figura 5.5 Número e percentagem de ocorrências das classes de sedimentos no total de pontos levantados nas seções.	79
Figura 5.6 Número e percentagem de ocorrências das classes de dossel no total de pontos levantados nas seções.	79

Figura 5.7 Posicionamento em planta dos furos de trado e pontos de medição direta de clastos (<i>pebble count</i>) junto das seções em estudo.	86
Figura 5.8 Histograma da distribuição granulométrica da seção S2 levantada pelo método <i>pebble count</i>	90
Figura 5.9 Histograma da distribuição granulométrica de todos os pontos levantados pelo método <i>pebble count</i>	90
Figura 5.10 Perfil estratigráfico com indicação do pontos de coleta de amostras para análise granulométrica. Siglas de identificação: PS – perfil superior, FS – fácies superior, FI – fácies inferior e PG – perfil grosseiro. Escala com subdivisões de 20 cm. Fotografia de 01-03-2012.	91
Figura 5.11 Fácies grosseira situada na base do perfil estratigráfico analisado, superposta por uma fácies fina. Fotografia de 01-03-2012.	92
Figura 5.12 Aspecto da camada onde foi coletada a amostra 3 do perfil estratigráfico. Fotografia de 01-03-2012.	93
Figura 5.13 Camada superficial com grande quantidade de matéria orgânica e de coloração escura. Fotografia de 01-03-2012. A escala apresenta 7 cm de altura.	93
Figura 5.14 Perfil estratigráfico da barranca da margem esquerda da seção S3, que erode a superfície identificada como sendo do terraço local.	94
Figura 5.15 Aspecto do nível d'água em 02/04/2012 junto à margem direita da seção S3, e a transição entre a ausência e a presença de vegetação em função da proximidade com a água. Nota-se também a ausência de serrapilheira junto ao fluxo d'água. Fluxo da direita para a esquerda. Escala com intervalos de 20 cm.	96
Figura 5.16 Arbustos de <i>Myrciaria sp.</i> na borda da calha, posicionada aproximadamente 50 m a jusante da seção S4. O fuste apresenta-se inclinado, com marcas de impactos e com acumulações de detritos, porém, o mesmo está firmemente fixo no substrato. Sentido do fluxo da esquerda para a direita. Fotografia de 04-04-2011. Canivete de escala.	97
Figura 5.17 “Bloco” de materiais finos e coesos, desprendidos da barranca erosiva do ribeirão do Cadete, junto à seção S3. Fluxo da esquerda para a direita. Fotografia de 01-03-2012.	99
Figura 5.18 Saliência na barranca formada pela erosão dos materiais subjacentes pelos fluxos. Nota-se a presença de raízes expostas e a cobertura de musgos na barranca junto da escala. Seção S3. Escala com divisões de 20 cm. Fotografia de 01-03-2012.	99
Figura 5.19: Seções analisadas no ribeirão do cadete, com indicação dos níveis referentes à vazão 0,2 m³/s e margens com predominância de processos erosivos e deposicionais.	100
Figura 5.20: Seções analisadas com indicação do nível d'água estimado a > 0,6 m³/s e indicação das margens deposicionais, opostas às erosivas.	102
Figura 5.21 Seção vertical de depósito quaternário, exibindo nível conglomerático sobreposto por materiais finos. Setor aluvial da bacia de drenagem do ribeirão Piranguçu, Minas Gerais. Fácies classificadas segundo Miall (1978): Sh – areia muito fina a grossa, podendo ter grânulos; Gcm – cascalho maciço sustentado por clastos. (Baseado em Osís e Oliveira 2008).	104
Figura 5.22 Visão geral do terraço fluvial na média bacia do ribeirão Entupido. Adaptado de Arruda (2004). .	105
Figura 5.23: Síntese das informações obtidas com o estudo: bloco diagrama apresentando as principais componentes do meio físico analisadas (1- cobertura contínua de serrapilheira; 2- vegetação arbustiva; 3- vegetação arbórea; 4- fácies finas; 5- fácies grosseiras; 6- cobertura descontínua de serrapilheira; 7- barra).	107
Figura 5.24 Ambientes fluviais definidos segundo as inter-relações entre componentes do meio físico e débitos.	110

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 Fases biogeomórficas e processos correlatos em ambiente fluvias, segundo Corenblit et al. (2007).	12
Quadro 2.2: Dados utilizados para a construção da árvore da Figura 2.2, com utilização do algoritmo <i>J48</i> . Os dados marcados em laranja são correspondentes aos nós também marcados em laranja da árvore.	27
Quadro 3.1: Valores médios mensais de temperatura máxima, mínima e precipitação da estação climatológica de Monte Verde, entre 1961 e 1990 (Fonte: Somar Meteorologia, 2011).	39
Quadro 4.1 Valores do coeficiente de Manning (<i>n</i>) de acordo com as condições do canal. Adaptado de Arcement e Schneider (1989).	62
Quadro 5.1 Valores de vazões em m ³ /s calculadas para cada cota das seções consideradas no estudo. Os valores em destaque foram eliminados devido a grande possibilidade erros de estimativa.	76
Quadro 5.2 Organização dos dados para tratamento pelos algoritmos.	81
Quadro 5.3 Regra selecionada nº 23 gerada pelo algoritmo <i>Apriori</i> .	82
Quadro 5.4 Regra selecionada nº 25 gerada pelo algoritmo <i>Apriori</i> .	82
Quadro 5.5: Valores em porcentagem dos itens classificados corretamente segundo diferentes algoritmos de árvores de decisão. Classificações segundo os testes <i>Training Set</i> e <i>Cross Validation</i> .	83
Quadro 5.6: Algoritmos eliminados devido características limitantes a análise dos dados.	83
Quadro 5.7: Matriz de confusão resultante da execução dos dados com o algoritmo <i>J48</i> .	84
Quadro 5.8 Itens selecionados da árvore de decisão <i>J48</i> .	84
Quadro 5.9: Matriz de confusão resultante da execução dos dados com o algoritmo <i>REPTree</i> .	85
Quadro 5.10 Itens selecionados da árvore de decisão <i>REPTree</i> .	85
Quadro 5.11 Furos de sondagem a trado e coleta pelo método <i>pebble count</i> em cada seção.	87
Quadro 5.12 Mediana das amostras (<i>D</i> ₅₀ em mm) com os valores médios de cada profundidade de coleta e média em relação aos setores geomorfológicos.	88
Quadro 5.13: Classes mais relevantes de vazão (<i>Q</i>) e associações entre indicadores obtidos pelos algoritmos de regras de associação e árvore de decisão.	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1: Indicadores e suas variáveis levantadas em cada ponto ao longo das seções de canal.	70
Tabela 5.1: Intervalos de vazões utilizados nas classes criadas para execução nos algoritmos.....	80
Tabela 5.2 Classes de vazões e média do D_{50} das amostras situadas em cada classe. “ n ” é número de amostras em cada classe.	89

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice 1.....	128
Apêndice 2.....	129
Apêndice 3.....	131
Apêndice 4.....	133
Apêndice 5.....	135
Apêndice 6.....	137
Apêndice 7.....	139
Apêndice 8.....	141
Apêndice 9.....	143
Apêndice 10.....	145
Apêndice 11.....	146
Apêndice 12.....	149
Apêndice 13.....	152
Apêndice 14.....	154
Apêndice 15.....	156
Apêndice 16.....	157
Apêndice 17.....	158
Apêndice 18.....	162
Apêndice 19.....	166
Apêndice 20.....	170
Apêndice 21.....	171
Apêndice 22.....	171
Apêndice 23.....	173
Apêndice 24.....	177

1. INTRODUÇÃO

O estudo geomorfológico, uma vez que se preocupa em explicar os fenômenos hoje reconhecidos como complexos (Murray et al., 2009), necessita de uma abordagem ampla em seu referencial teórico e metodológico. Neste contexto, consideramos o estudo de processos geomorfológicos sob a ótica sistêmica na interação com os processos biológicos, neste caso, aqueles referentes à dinâmica integrada entre vegetação e morfologia.

Em alguns canais fluviais de montanha, características vegetacionais e superfícies morfológicas têm mostrado correspondência com o regime de débitos e também delimitam limiares no canal, tal como nos trabalhos de Osterkamp e Hupp (1984), Hupp (1986) e Pike e Scatena (2010).

Nessas zonas geomorfológicas com grande influência de processos fluviais existem diversas evidências de interações entre o arranjo da comunidade vegetacional e os tipos de formas deposicionais e erosivas, características dos solos, padrões de inundação e umidade no solo (Hughes e Rood, 2001).

Nos ambientes fluviais, a variação em termos de frequência e magnitude das descargas, assim como a carga sedimentar, é responsável pela definição do ajuste básico da forma do canal (Knighton, 1998). Além dos aspectos morfológicos, diversas são as evidências de que as mesmas variáveis citadas apresentam interações com os componentes bióticos presentes neste meio (Naiman e Décamps, 1997), sobretudo os padrões de vegetação (Hupp e Osterkamp, 1985; Stromberg et al., 1993; Hupp e Osterkamp, 1996).

Considerando a mutualidade entre processos fluviais e aspectos bióticos do canal, destacamos a importância dos estudos nesta temática que, por um lado, auxiliam no manejo de florestas ripárias, importantes pela sua alta produtividade de biomassa e sua função no controle de cheias e erosões (Kozłowski, 2002) e, por outro lado, possibilitam o estabelecimento de indicadores de padrões de descargas (Bedinger, 1971) cujas informações podem ser úteis nos estudos geomorfológicos e de planejamento urbano e rural.

Na determinação de padrões de vazões, os dados oriundos de postos fluviométricos, usualmente utilizados para realizar essa determinação, são frequentemente pouco extensos (Knox e Kundzewicz, 1997), ou mesmo inexistentes, no caso de bacias de drenagem de pequena ordem. A escassez de dados hidrológicos tem incentivado o desenvolvimento de metodologias que envolvem a utilização de indicadores naturais para a determinação de padrões de débitos fluviais, tal como Kochel e Baker (1982), que

denominam de paleohidrologia os estudos que consideram indicadores naturais na reconstrução de eventos hidrológicos.

Podem assim ser delineados dois principais focos de estudo nesse campo: um relativo à eventos catastróficos, onde é utilizado uma abordagem de extensão da série histórica hidrológica, e cuja aplicação é um planejamento de longo prazo, e o outra referente à dinâmica geomorfológica fluvial no estado atual do sistema, cuja aplicação é o planejamento de curto a médio prazo. O presente trabalho se insere na segunda perspectiva.

Entretanto, grande parte dos estudos paleohidrológicos é desenvolvida em ambientes temperados, áridos ou semiáridos, o que dificulta uma transposição direta de métodos para a realidade tropical. Segundo Pike e Scatena (2010), em ambientes tropicais, os estudos que relacionam indicadores presentes na calha e vazões são escassos.

Para tanto, foi realizado o levantamento dos indicadores ao longo de quatro seções de canal, compondo um banco de dados multivariados. Para seu tratamento, foram utilizados algoritmos de regras de associação e classificação, todos implementados na ferramenta WEKA (*Waikato Environment for Knowledge Analysis*) (Witten e Frank, 1999). Esta ferramenta auxiliou na determinação das relações e padrões intrínsecos no conjunto de variáveis do meio físico, em função da variação das vazões.

Considerando esta possibilidade de que aspectos do meio físico podem fornecer informações relevantes a respeito do padrão fluvial de canais de montanha, o objetivo deste trabalho é delineado com vistas à resolução da seguinte questão: existe possibilidade de um conjunto de atributos do meio físico/biótico da calha fluvial funcionar como marcador de limiares da dinâmica fluvial atual?

Este trabalho é justificável pelo fato de contribuir no conhecimento das interações que envolvem os padrões físicos e bióticos e suas respostas em função dos processos geomorfológicos. Os estudos geomorfológicos fluviais que levam em consideração a vegetação ainda são parte de um campo que pode ser muito explorado Brasil, embora seja evidente o potencial para tal, dado a extensão dos biomas florestais e rede hidrográfica.

O levantamento de dados referentes aos padrões hidrogeomorfológicos é fundamental ao planejamento de obras de infraestrutura ou na realização de zoneamentos urbanos ou rurais situados no contexto ou próximos à ambientes fluviais. Os métodos a serem testados, desta forma, poderão servir de referência a estudos de mapeamento geomorfológico em canais de pequena ordem, que constituírem a maior parcela do comprimento total de canais de uma bacia, ou mesmo no contexto de delimitação de áreas definidas legalmente.

1.1. Objetivo geral

Verificar a relação entre indicadores e processos fluviais, com enfoque no auxílio à delimitação espacial de ambientes.

1.2. Objetivos específicos

- Realizar seções transversais ao longo de um canal aluvial de uma bacia de pequena ordem, com aquisição de dados referentes à geometria do canal.
- Realizar, nas mesmas seções, a coleta de dados referentes à posição e características de indicadores selecionados previamente.
- Estimar as vazões para diversas cotas nas seções, através da aplicação da equação de Manning.
- Verificar a relação entre os indicadores e as vazões estimadas, através da aplicação de algoritmos de associação e classificação.
- Delimitar setores do ambiente fluvial em função da relação entre débitos e indicadores, através da definição de limiares das condições físicas da calha.
- Elaborar um modelo explicativo da dinâmica fluvial local.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. A geomorfologia e sua característica sistêmica

De forma generalista, a geomorfologia é a compreensão da dinâmica da morfologia de determinada porção da superfície terrestre. Tampouco se restringe ao estudo das formas através de classificações, mas avança no entendimento dos processos que, ao interagirem com a morfologia, condicionam a forma ou são condicionados por ela.

Desde os primórdios do pensamento registrado houve referência a diversos elementos disponíveis a percepção do homem que podem ser vinculados a um pensamento geográfico. O termo “geográfico” aqui é utilizado no sentido de qualquer referência sistemática da percepção que esteja fundamentalmente baseada em sua espacialidade.

A ciência geomorfológica nasceu das indagações provenientes da vivência do homem com o meio natural com o qual interage (Tinkler, 1985), ou seja, interação com a espacialidade de seu ambiente. As formas de relevo oferecem condições físicas para a ação do homem, e não raro elas participam da organização de determinado sistema antrópico, embora estas possam não ser a causa e sustentação de um sistema social de forma direta.

O entendimento da forma passa não só pelo estudo morfológico em si, como classificação, mas também deve considerar a componente dinâmica de modificação da forma, ou seja, como os processos influenciam no padrão espacial e como o padrão espacial influencia os processos.

Se atentarmos bem, temos que se algo geográfico pode ser considerado um conjunto de objetos que possuem uma relação espacial, isso em quase nada difere da definição de sistema. A geografia, tomada nesse sentido, pode ser amplamente discutida no âmbito dos avanços conceituais que envolvem a dinâmica de sistemas complexos, como os mecanismos de retorno e a auto-organização.

A teoria sistêmica se infiltrou na geografia por diversas frentes e atualmente se encontra generalizada no arcabouço teórico de diversas linhas de pesquisa. A geomorfologia, cujo estudo quase sempre leva em consideração uma extensa gama de relações, desde o princípio teve trabalhos em que a noção sistêmica se mostrou presente. Pode-se notar em textos clássicos, como no relatório sobre as montanhas Henry de Gilbert (1877) e no trabalho sobre o ciclo geográfico de Davis (1899), que a noção sistêmica de processos físicos se estabelece no arcabouço metodológico da geomorfologia neste período.

Após este momento, a teoria sistêmica passa a fazer parte da fundamentação de uma diversidade de trabalhos, onde podemos destacar a importância das conceitualizações de

Bertalanfy (1950) para as ciências naturais, bem como o início das discussões sobre a definição de geossistema por Sochava (1977) e Bertrand (1968) (Rodrigues, 2001).

Esta visão, tida como holística, em contraponto à reducionista (Christofolletti, 2002), considera que devemos ponderar as partes do sistema em seu nível hierárquico e não em função de níveis inferiores.

Atualmente a visão de construção sistêmica se fundamenta frequentemente em dois principais estágios: o primeiro envolve a elaboração de modelos conceituais de processos geodinâmicos, onde os mecanismos mais evidentes de interação e realimentação são desenhados de acordo com o conhecimento atual de processos físicos. O segundo passo seria a validação do modelo através da análise empírica dos processos envolvidos no modelo conceitualizado. A análise empírica bem fundamentada auxilia na reformulação do modelo e subsidia a obtenção de dados com melhor representatividade estatística.

As bases proporcionadas por esta geração possibilitaram o surgimento de uma linha de elaboração de modelos fundamentados no equilíbrio dinâmico. Esta linha é bem representada por trabalhos como os de Richard Jonh Chorley, entre outros (Osterkamp e Hupp, 1996).

Tais nomes foram sucedidos por um grupo em que a principal marca foi a sistematização da análise. Os modelos deveriam ser validados e resposta foi procurada na quantificação empírica. Esta característica é evidenciada nos trabalhos de Luna Bergere Leopold, Gordon Wolman e Stanley Shumm, geomorfólogos de grande destaque do século 20, principalmente no campo da geomorfologia fluvial e hidrologia (Graf, 2005).

Atualmente são frequentes os trabalhos em que são construídos modelos com bases físicas através de conceitualizações lógicas ou modelagem computacional. Tais modelos, depois de definidos, são avaliados à luz de correlações de dados empíricos.

A crescente importância do componente dinâmico implícito na configuração geomorfológica levou ao melhor tratamento dos dados em termos de taxas e razões. As razões são tidas através de funções extraídas da correlação de parâmetros. Segundo Strahler (1952), a interpretação dos padrões de funções depende basicamente do ponto de vista termodinâmico e geral dos sistemas.

Diversos trabalhos mais atuais, como em Hupp (1996), são resultantes dessa linha que coloca em destaque a importância dos processos na geomorfologia, mas e que também estão considerando o aspecto biótico em relação com os processos geomorfológicos.

Sob este ponto de vista, foi considerado neste trabalho que os padrões bióticos podem ser tão importantes quanto os fluxos fluviais e sedimentares nos processos típicos de

ambientes de fundo de vale. Assim, indicadores físicos e bióticos, utilizados em conjunto, podem ser úteis na definição de ambientes fluviais separados em função de processos com tipologias e intensidades distintas.

A interação entre aspectos físicos e bióticos pode ser explorada no campo de estudos dos sistemas dinâmicos, que segundo Capra (1996), é como uma nova matemática, porém mais qualitativa do que quantitativa e, desse modo, incorpora a mudança de ênfase característica do pensamento sistêmico: de objetos para relações, da quantidade para a qualidade, da substância para o padrão.

2.2. Processos físicos e bióticos em pequenas bacias de drenagem

A bacia de drenagem, tida como unidade fundamental do estudo geomorfológico de processos (Chorley, 1969), constitui a base física onde ocorrem as interações entre os diversos componentes físicos da paisagem, tanto bióticos quanto abióticos. A interação entre *inputs* climáticos e a morfologia e litologia da bacia, intermediados pelos mantos de intemperismo e cobertura superficial, resulta em *outputs* traduzidos por processos complexos nas encostas e nos fundos de vale.

Os processos de vertente envolvem o escoamento superficial de água e diversas configurações de movimentos de massa, enquanto que os processos fluviais correspondem à resposta dos processos de vertente, porém, devido à configuração morfológica, são dominados pela dinâmica reológica da água.

Tais processos interagem em função da escala espacial de drenagem, tal como demonstra Montgomery e Foufoula-Georgiou (1993) num modelo que integra a morfologia e processos: constataram uma inflexão na curva área/declividade na altura de $\sim 1 \text{ km}^2$, ou seja, esta área delimita aproximadamente o limiar da dominância entre canais coluviais ($< 1 \text{ km}^2$) e canais aluviais ($> 1 \text{ km}^2$).

Bacias com menos de 1 km^2 quase que exclusivamente apresentaram canais de 1ª ordem. Em canais desta ordem, devido sua pequena largura e capacidade de transporte reduzida, troncos, galhos e raízes podem formar barragens com expressivo acúmulo de matéria orgânica, reduzindo assim a capacidade de transporte sedimentar (Faria, 2000). Nestes canais, existe uma maior dominância de processos externos, como a sucessão vegetacional e os movimentos de massa, sendo dominantes os processos hidrogeomórficos apenas durante eventos de pluviosidade intensa, quando os materiais da calha são removidos para jusante.

Já as bacias de ordem um pouco mais elevada, como as de 2ª, 3ª, e 4ª ordens, apresentam crescente dominância de processos hidrogeomórficos sobre o ambiente fluvial. É neste contexto que uma bacia de 3ª ordem (classificada em cartografia 1:50.000) foi selecionada, justamente por poder receber alguma influência dos processos de vertente (como fluxos de detritos ou fluxos hiperconcentrados canalizados), ao mesmo tempo em que encerra uma dinâmica tipicamente fluvial, por possuir um fluxo de base consistente. Esta foi utilizada neste estudo como unidade básica para a caracterização de processos hidrogeomórficos e sua relação com possíveis indicadores de natureza biótica.

O estudo de padrões geomorfológicos em bacias e sua interface com a vegetação é relevante não apenas do ponto de vista teórico, mas também como ferramenta de predição e planejamento de áreas de risco. Eventos extremos de cheia são um dos mais importantes desastres naturais que causam mortes e perdas econômicas (Knox e Kundzewics, 1997).

A definição de recorrências ou taxas de processos é possível através de indicadores sistemático ou não. A coleta sistemática é possível através de réguas fluviométricas de leitura periódica. Os dados não sistemáticos incluem os indicadores naturais ou históricos que possibilitam a estimativa de eventos fluviais.

Indicadores naturais de fluxos podem ser levantados tanto na planície de inundação quanto no canal confinado. A planície de inundação envolve uma dinâmica vinculada à estocagem e transporte de sedimentos, estes que constituem o suporte à vegetação.

Segundo Bridge (2003), as unidades básicas de sedimentação das planícies de inundação são constituídas de estratos milimétricos a decimétricos de clastos oriundos de fluxos de extravasamento de canal (*overbank flooding*). Relata também que os sedimentos de canal e os de extravasamento são semelhantes, porém decrescem em granulometria e mudam em estrutura em função da distância do canal.

Em planícies de inundação com sedimentos grosseiros (Nanson e Croke, 1992), como a da presente área de estudo, a sedimentação baseada em eventos extremos condiciona uma acreção vertical pronunciada. São comuns os sedimentos grosseiros pobremente selecionados, cascalhos basais, solos enterrados (influência dos processos de vertente), bem como areias e siltes sobrepostos.

Já nos canais confinados, a dinâmica fluvial é distinta, uma vez que em estágios mais elevados a capacidade erosiva e de transporte se elevam imensamente, e a disponibilidade de sedimentos decresce (Baker, 1988).

O componente biótico considerado nos canais confinados e nos canais aluviais possui diversas maneiras de interação com os mecanismos de erosão, transporte e deposição de materiais por eventos fluviais. Hupp (1988) e Oliveira-Filho et al. (1994) consideram que a magnitude, frequência e duração de eventos de cheia, bem como o transporte de sedimentos, frequentemente determinam a idade, distribuição e estrutura das comunidades ripárias.

Por outro lado, a estrutura física estabelecida pela comunidade vegetacional constitui importante componente geomorfológico. Keller e Swanson (1979) destaca que toros expressivos de árvores (*large wood*) podem constituir parte importante da estocagem total de sedimentos em bacias de cabeceiras de drenagem. Os mesmos atuam não só como sedimentos, mas também como retentores dos sedimentos clásticos normais dos canais de pequena ordem, uma vez que frequentemente a dimensão dos toros é superior à da largura dos canais.

Conforme se avança para canais de ordem superior, a importância da entrada do componente orgânico lenhoso diminui (May e Gresswell, 2003). Nas bacias de pequena ordem, a vegetação estabelecida junto aos canais interage com os sedimentos produzidos predominantemente por movimentos de massa das encostas. Estes sedimentos, em geral oriundos de fluxos de detritos, ao chegarem ao canal e se transformarem basicamente num fluxo com maior concentração de água (Costa, 1988), possuem granulometria significativamente superior a de canais maiores (Benda et al. 2005).

A dinâmica geomórfica, que pode alternar processos de vertente e processo fluviais, pode colocar nos fundos de vale, além de toros de árvores, grandes blocos e matações, que obstruem fisicamente o transporte de sedimentos menores e causar uma redução da declividade e da velocidade superficial da água. Este processo pode iniciar uma série de realimentações positivas que elevam a taxa de retenção de sedimentos nas zonas de cabeceiras de drenagem (Benda et al. 2005).

Segundo o mesmo autor, a retenção de sedimentos nos vales é menor em regiões secas, onde os detritos orgânicos não contribuem de forma eficiente na retenção de sedimentos. Com base neste modelo, bacias submetidas a alternâncias climáticas entre úmidas e secas podem apresentar uma resposta sedimentológica em função do componente biótico.

Hupp (1988) delimita, com base em estudos fitossociológicos e geomorfológicos, determinadas áreas de fundo de vale que possuem forte correlação entre característica vegetacional e os processos fluviais. Se por um lado os processos fluviais são condicionados pela vegetação, a vegetação delinea a elevação, abrangência e estabilidade das formas fluviais.

São duas as principais interferências de longo termo dos processos fluviais sobre a vegetação lenhosa: em primeiro, cheias periódicas de variada magnitude afetam os padrões de vegetação, incluindo a criação de “novas” áreas para o estabelecimento de vegetação, como as barras de pontal. Em segundo lugar, cheias infrequentes podem danificar (usualmente não destroem) a vegetação dos fundos de vale, tal como evidenciado pelos efeitos de cheias passadas sobre os anéis de incremento, que incluem deformações no fuste ou séries de crescimento anômalas.

Desta forma, as vias de interpretação de processos fluviais através da vegetação, passam pelo reconhecimento dos padrões espaciais dos conjuntos morfológicos /fitossociológicos, e pelas anomalias de crescimento causadas por eventos de menor frequência.

Seguindo o ponto de vista dos padrões espaciais de vegetação e formas de relevo fluviais, foi delineado por Osterkamp e Hupp (1984) um modelo de interação forma-vegetação, sendo composto pelos seguintes elementos: *channel bed* (leito do canal), *depositional bar* (barra), *active-channel shelf* (patamar do canal ativo), *floodplain bank* (barranca da planície de inundação), *floodplain* (planície de inundação), *low terrace* (terraço inferior), *upper terrace* (terraço superior) e *hillslope* (vertente) (Figura 2.1).

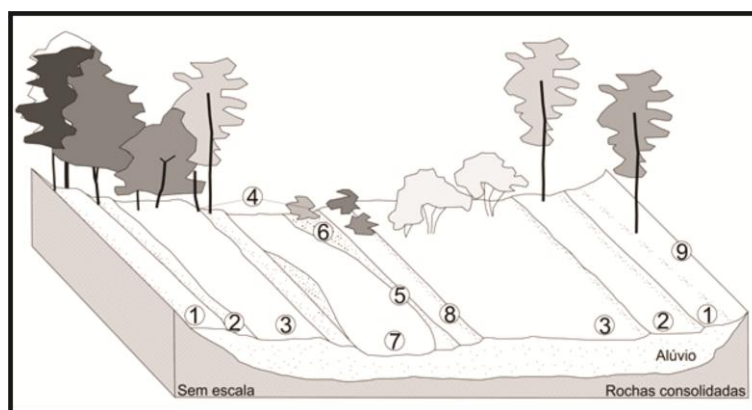


Figura 2.1: Modelo de formas fluviais onde 1 – alto terraço; 2 – baixo terraço; 3 – planície de inundação; 4 – patamares do canal ativo; 5 – barranca do canal ativo; 6 – barra deposicional; 7 – leito do canal; 8 – barranca da planície de inundação e; 9 – vertente. Adaptado de Osterkamp e Hupp (1984).

O leito do canal (*channel bed*) constitui a porção mais baixa do canal, se estendendo do patamar lateral (*active-channel shelf*) até o talvegue, sendo inundado em geral em > 90% do tempo. A grande permanência da água nessa forma limita o desenvolvimento da grande maioria de espécies vegetais, embora leitos com maior rugosidade, como em canais de menor ordem, a vegetação pode se estabelecer sobre blocos de transporte esporádico. No leito

do canal, quando ocorrem cheias de elevada magnitude e com expressiva erosão e alargamento do canal, a vegetação neste nível possui função de estreitar o leito por aumento da rugosidade das formas fluviais laterais geradas (Friedman et al., 1996).

As barras (*Depositional bar*) constituem formas que se estabelecem de acordo com a disponibilidade de sedimentos e o padrão hidráulico na seção no canal. Podem ser extremamente dinâmicas e se modificarem com os fluxos ordinários. São formas que podem ficar submersas até 40% do tempo, limitando a vegetação de maior porte, persistindo em geral as herbáceas como fitofisionomia dominante.

O patamar do canal (*Active-channel shelf*) representa uma superfície horizontal à levemente inclinada, que usualmente se estende da quebra topográfica junto ao leito e o limite inferior da vegetação arbórea de maior porte. A forte influência dos fluxos fluviais de maior frequência, nas cotas abaixo do nível de margens plenas, limita a existência de espécies menos tolerantes a inundação ou danos mecânicos, resultando numa vegetação de padrão fitofisionômico arbustivo (*shrubs*). Espécies com raízes e fustes com grande resistência a impactos mecânicos tangenciais e tracionais são comuns nesse meio, sendo mais evidentes estas características conforme se diminui a cota na seção do canal.

A barranca da planície de inundação (*floodplain bank*) consiste numa espécie de transição morfológica, que ocorre entre a planície de inundação e o canal ativo e recebe influência direta dos fluxos mais frequentes, ou seja, níveis inferiores ao de margens plenas. A vegetação é condicionada por processos fluviais que incluem a erosão lateral nas barrancas erosivas e a deposição sequencial nas barrancas convexas, bem como diversas morfologias intermediárias a estes ambientes de características contrastantes.

Nas barrancas vinculadas às margens côncavas a taxa de erosão lateral possibilita a manutenção de um banco com declividades mais expressivas em relação às margens convexas, o que dificulta o desenvolvimento da vegetação. Nas margens convexas, a deposição frequentemente sequencial de sedimentos possibilita a criação de ambientes favoráveis a determinados tipos de vegetação, como as herbáceas nas deposições mais recentes e arbustos nas mais antigas.

A planície de inundação (*floodplain*) é a morfologia de construção fluvial mais conhecida. Possui forma horizontalizada e é inundada por eventos de cheia com frequências mínimas de 1 a 3 anos. Em geral, ocorre o predomínio do processo de sedimentação por *overbank*, onde os finos são depositados por diminuição da competência na direção canal-planície. Quando o volume por tempo do fluxo ultrapassa a capacidade do canal, ocorre a dispersão de água pela planície através dos diques naturais. O aumento do raio hidráulico e a

diminuição da velocidade é o que possibilita a deposição do material até então sendo transportado.

O fluxo limiar que antecede o espriamento das águas pela planície é denominado nível de margens plenas (*bankfull stage*, Wolman, 1955). A superfície da planície de inundação é recoberta em geral por vegetação arbórea florestal, muito devido à menor influência dos fluxos ordinários e maior estabilidade geomorfológica, o que possibilita o desenvolvimento de indivíduos arbóreos por uma escala temporal superior a da do canal. Em planícies de inundação com meandramento pronunciado, árvores de grande porte são tombadas quando atingidas pela margem côncava de um canal migrante, realizando um tipo de renovação na fitossociologia local.

O terraço inferior (*low terrace*), bem como o terraço superior (*upper terrace*), são termos próprios do modelo de Osterkamp e Hupp (1984). Porém, o termo terraço é referente a um componente do sistema deposicional fluvial que pode ter diversas gêneses e representa em geral ao nível de uma antiga planície de inundação cujo canal atualmente corre em um nível inferior e com nova superfície de inundação. Devido à posição superior à da planície, os terraços recebem pouca ou nenhuma influência dos fluxos fluviais com período de retorno de 2 ou 3 anos.

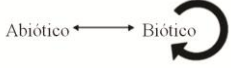
Em sistemas fluviais de dinâmica sedimentar pronunciada ou tectônica ativa, a criação de superfícies de terraços de diferentes idades pode influenciar na composição por idades da comunidade vegetal. Uma vez que determinada superfície possui a influência de eventos fluviais reduzida, ela passa a constituir um meio mais favorável a espécies com menor tolerância a água ou eventos destrutivos.

A vertente (*hillslope*) representa os demais setores geomorfológicos da bacia que não são de construção fluvial, embora possam receber grande influência da dinâmica superficial e sub-superficial da água. A vegetação pode variar de acordo com a tolerância das espécies regionais a determinados ambientes condicionados pelos padrões de solos, morfologia e orientação.

É importante destacar também que, na interação entre os processos geomorfológicos e a dinâmica vegetal, existem escalas temporais e espaciais próprias a cada sistema, e que possuem importâncias relativas a cada fase de desenvolvimento no ambiente fluvial.

Corenblit et al. (2007) distinguem quatro principais fases na interação entre processos bióticos (dinâmica da vegetação) e abióticos (processos hidrogeomorfológicos e formas de relevo fluvial) em ambiente temperados (Quadro 2.1).

Quadro 2.1 Fases biogeomórficas e processos correlatos em ambiente fluviais, segundo Corenblit et al. (2007).

Fases	Principais processos bióticos e abióticos	Duração no contexto de clima temperado	Estrutura das interações entre processos hidrogeomórficos a a dinâmica da vegetação
1 - “Geomórfica”	-Total destruição da vegetação -Dispersão de sementes -Erosão de formas -Deposição transitória -formação de barra de pontal	-Poucas horas ou poucos meses após a cheia	
2 – “Pioneira”	-Estabelecimento de vegetação pioneira nos sedimentos	-Poucas horas a poucos meses	
3 – “Biogeomórfica”	-Estabelecimento de vegetação -Sucessões alogênicas secundárias -Acreção em formas fluviais vegetadas (bancos, ilhas, planície aluvial)	-Poucos meses a poucas décadas	
4 – “Ecológica”	-Sucessões autogênicas de vegetação -Estabilização de formas fluviais vegetadas e desconexão de distúrbios hidrogeomórficos	-Poucas décadas à poucos séculos	

Corenblit et al. (2007) considera um ciclo de distúrbio no sistema fluvial, que é iniciado por uma cheia de elevada magnitude, que pode ocorrer em dada frequência temporal e que abrange uma área relativa à capacidade destrutiva do evento.

A fase inicial, ou “fase geomórfica”, corresponde ao total rejuvenescimento da vegetação, o que implica na destruição completa das comunidades vegetais prévias e mobilização de formas fluviais. Neste estágio, o sistema geomórfico é totalmente orientado às interações entre o fluxo e as propriedades dos sedimentos. Esta fase é usualmente observada em escala local imediatamente após o evento de cheia e a área afetada pela destruição da vegetação depende principalmente da magnitude da cheia e da resistência da vegetação aos impactos.

Segundo Corenblit et al. (2007), essa fase é importante nos ambientes temperados e tropicais por que representa o período na qual locais são disponibilizados para a colonização

de vegetação pioneira, com novas combinações florísticas com ou sem introdução de espécies exóticas. A “fase pioneira” corresponde ao recrutamento de vegetação sobre os sedimentos expostos. Isso envolve um forte controle da dinâmica das plantas pelos processos hidrogeomórficos, os quais influenciam a dispersão de sementes e deposição, germinação e sobrevivência de plântulas.

A fase pioneira tem uma importância crítica para a dinâmica da morfologia porque esta determina a futura distribuição espacial da vegetação pioneira adulta. Assim, durante a fase de recrutamento, pequenas mudanças (naturais ou antropogênicas) nas condições hidrogeomórficas iniciais, podem produzir resultados desproporcionais ao longo do corredor fluvial.

A “fase biogeomórfica” é a fase mais ativa no senso biofísico. Esta ocorre quando a vegetação pioneira estabelecida tem o potencial de interagir mecanicamente com os processos hidrogeomórficos durante as cheias subsequentes. De acordo com Corenblit et al. (2007), em zonas com elevada frequência de eventos extremos, a fase biogeomórfica é caracterizada por numerosas ligações entre vegetação, fluxo d’água e dinâmica sedimentar.

Durante as cheias médias anuais, em rios vegetados, as plantas controlam processos morfogenéticos na calha e na planície aluvial ao induzirem erosão em algumas áreas (como na barranca erosiva), e ao promover acreção e estabilização de sedimentos em outras áreas (como a jusante de estruturas de vegetação). Segundo o autor citado no último parágrafo, são diversos os trabalhos que destacam o efeito de bioproteção (proteção dos sedimentos) e bioconstrução passiva (acreção sedimentar) proporcionados pela vegetação ripária pioneira.

Turner et al. (2008) considera que o aspecto da vegetação pioneira no canal pode iniciar um comportamento recursivo e não linear que confere certo grau de persistência a determinadas características das formas fluviais. Assim, estruturas de estabilidade dentro do corredor fluvial podem se desenvolver onde e quando distúrbios geomórfico ou antropogênicos forem nem tão grandes nem tão frequentes.

A construção de formas características a comunidades vegetais associadas (ilhas vegetadas, bancos vegetados e planícies aluviais vegetadas) ocorrem em duas fases: (i) durante cheias de alta frequência e baixa magnitude, quando a vegetação modifica as formas fluviais; e (ii) no intervalo entre cheias, quando as comunidades vegetacionais seguem a sucessão moderada pelas novas condições ambientais a as novas espécies.

Ainda segundo Corenblit et al. (2007), é comum que cheias de alta frequência e baixa magnitude apresentem um efeito construtor de formas, enquanto que apenas aquelas

grandes e infrequentes podem reiniciar o ciclo de construção através do rejuvenescimento da sucessão biogeomórfica em larga escala.

Por último, Corenblit et al. (2007) definem a “fase ecológica”, que é caracterizada pela estabilização de ilhas elevadas, bancos e planícies aluviais. Assim, comunidades vegetacionais podem ser parcialmente ou totalmente desconectadas da influência direta dos distúrbios hidrogeomórficos. Esta desconexão resulta principalmente da deposição recorrente de silte, que é induzida ou acentuada pelas comunidades de vegetação pioneira, pela migração lateral do canal e pela incisão da calha. Dessa forma, processos ecológicos autogênicos tais como competição, facilitação e tolerância podem vir a ser os fatores dominantes no ambiente fluvial.

Embora tais fases foram elaboradas considerando-se principalmente condições ambientais temperadas, parte das considerações podem ser aplicadas em meio tropical. A interação entre os processos bióticos e físicos é semelhante, mas a importância relativa da dinâmica da vegetação nos ambientes tropicais é distinta em função de determinado evento extremo. Segundo Knighton (1998), nos contextos bioclimáticos tropicais a resposta do canal frente a um evento extremo é discreta se comparada a outros contextos (Figura 2.2).

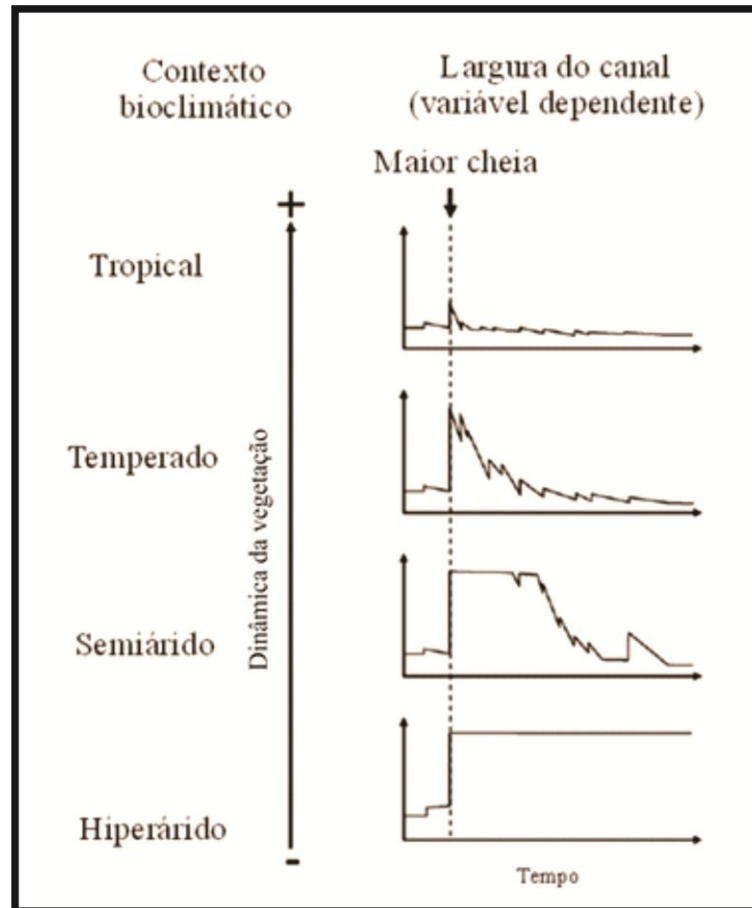


Figura 2.2 Modelo simplificado da mudança potencial da largura do canal após um evento extremo em quatro contextos bioclimáticos diferentes. Adaptado de Knighton (1998).

Pode-se verificar a importância da vegetação como um fator de absorção dos impactos provocados pelos processos hidrogeomórficos nas regiões tropicais, bem como na rapidez de retorno às condições antecedentes do sistema.

Segundo Corenblit et al. (2007), a dinâmica fluvial em ambientes tropicais e temperados é distinta de regiões áridas ou semiáridas. Devido ao crescimento constante e regular da vegetação entre as cheias extremas, e o efeito cumulativo de acreção sedimentar induzido por cheias ordinárias que ocorrem a cada ano ou dois, o potencial de rejuvenescimento no corredor fluvial decresce durante a sucessão. Isso ocorre por que o tempo de recobrimento pela vegetação é menor que o tempo entre as cheias extremas. Como resultado, esta dinâmica leva a retroalimentações positivas que são reforçadas pela coesão entre as formas fluviais e comunidades vegetacionais associadas.

Dessa forma, é possível que em ambientes tropicais, o tempo entre o distúrbio e as fases finais “biogeomórfica” e “ecológica” do esquema proposto por Corenblit et al. (2007) sejam menores em relação aos ambientes temperados.

Nos meios tropicais ou subtropicais, pode-se então considerar que os diversos componentes do meio físico, ou processos hidrogeomórficos, possuem uma relação não aleatória com a dinâmica vegetacional, evidenciando a complexidade do sistema fluvial.

Os padrões no qual se apresentam a vegetação ao longo da seção da calha e do corredor fluvial podem então potencialmente servir como indicadores da espacialidade, magnitude e temporalidade de eventos hidrogeomórficos, dimensões importantes na caracterização da dinâmica de ambientes fluviais.

2.3. Indicadores biológicos e geomorfológicos de processos fluviais

A relação entre processos morfogenéticos e as características e padrões de vegetação podem ser abordadas a partir de duas principais perspectivas: a primeira vinculada aos estudos da paisagem e às conceitualizações de geossistemas; e uma segunda vinculada a trabalhos quantitativos de processos na geomorfologia.

O presente trabalho possui foco na segunda perspectiva, uma vez que procura subsídios à modelagem e predição, porém, não ignora a base conceitual estabelecida nos estudos tradicionais de processos espaciais, comum aos geossistemas.

A abordagem processual é característica da escola de geomorfologia quantitativa norte-americana, da qual se origina a segunda perspectiva considerada neste trabalho. Nesse contexto, como o desenvolvimento mais pronunciado da geomorfologia fluvial, surgem metodologias que possibilitam o estabelecimento de relações básicas entre morfogênese e vegetação, relações estas colocadas nos termos estatísticos, uma vez que inclui o registro sistemático de variáveis espaciais e temporais do sistema fluvial.

A relação espaço-temporal entre vegetação, morfologia e fluxos foi em muito influenciada pelos estudos versados a magnitude e frequência de eventos geomorfológicos, dentre os quais podem ser destacados os trabalhos de Stanley Shumm e Luna Bergere Leopold (Graff, 2003), apoiados pela extensa rede de dados fluviais do USGS, sigla em inglês para Serviço Geológico dos Estados Unidos.

Desta forma, as seções seguintes colocam como a relação entre vegetação e fluxos podem proporcionar a modelagem e a previsão de eventos geomorfológicos através de indicadores especializados no meio fluvial, considerando os processos já estabelecidos pela geomorfologia, biologia, dendrologia e hidrologia.

No domínio fluvial, a vinculação entre frequência/magnitude de eventos e os componentes espaciais da morfologia e da vegetação são revelados por estudos criteriosos em

seções transversais de canais, onde a morfologia pode ser comparada com a fitofisionomia ou fitossociologia sobre ela estabelecida. Osterkamp e Hupp (1984) têm documentado regionalmente relações consistentes e discretas entre o padrão da vegetação de fundo de vale e diversas formas fluviais.

Cada conjunto de forma e fitofisionomia, por sua vez, são relacionados a determinado nível de fluxo. Os maiores fluxos estão relacionados a recorrências mais longas, enquanto que os menores, a recorrências mais rápidas. Considerando que os fluxos determinam em variados graus a natureza do substrato da região do canal, a vegetação pode apresentar uma resposta de desenvolvimento diferenciado em função do tipo de substrato e a frequência de eventos à qual esta possa ser exposta.

Além das variações no desenvolvimento, pode ocorrer também exclusão e/ou favorecimento de determinadas espécies, o que possibilita uma variação espacial de espécies. Nas porções mais próximas ao talvegue, a vegetação é mais condicionada pela maior recorrência de fluxos, enquanto que nos níveis mais elevados, a vegetação será mais influenciada pela natureza do substrato. Apesar da possibilidade de existir espécies diferentes das partes de fluxo de maior à menor recorrência, uma característica da vegetação parece ser relativamente uniforme: a idade dos indivíduos em geral aumenta do talvegue em direção à vertente, ou seja, correlação positiva entre magnitude dos fluxos e a idade dos indivíduos.

Cabe destacar aqui que os trabalhos desenvolvidos nesta linha são em grande parte fundamentados em dados oriundos de regiões muito diversas das tropicais. Entretanto, mais recentemente, autores como Pike e Scatena (2010) tem realizado estudos sobre indicadores de fluxos em regiões tropicais, como em Porto Rico, tendo alcançado resultados consistentes na relação entre fluxos e padrões de vegetação e características do canal, mesmo sob atividade biológica mais intensa que em climas temperados, semi-áridos ou áridos.

O trabalho supracitado consistiu na realização de nove seções transversais em cinco bacias de drenagem, com áreas que variam entre 3,3 e 38,0 km². A precipitação na região varia de 1500 mm a 4.500 mm acumulados anualmente, e a vegetação é descrita como floresta tropical úmida.

As seções foram realizadas em diferentes ambientes fluviais, distribuídos de áreas montanhosas a planícies aluviais. Em cada seção foram levantados pontos relativos a padrão de vegetação, substrato, cobertura de dossel, solo e serrapilheira, totalizando 309 pontos. As seções foram realizadas junto a postos fluviométricos, sendo possível relacionar a cota de cada indicador à determinada vazão.

Como resultado, observou-se que os indicadores utilizados eram associados a determinados níveis de vazão. O indicador que melhor representou determinados débitos foi o padrão de vegetação. Os dados de campo indicam que musgos e gramíneas pequenas são dominantes nos fluxos inferiores. Plantas herbáceas são vinculadas a descargas que correspondem ao limiar de mobilização de sedimentos, enquanto que arbustos lenhosos e árvores são estabelecidos a elevações ao longo da margem do canal que são inundados por descargas menos frequentes e que são coincidentes com a descarga efetiva de transporte de sedimentos do leito.

Com relação às áreas de planície aluvial que foram estudadas, os dados demonstram que ambas as descargas, a de margens plenas e a efetiva são associadas à presença de sedimentos finos e vegetação de grande porte, como árvores.

Enquanto que nas áreas montanhosas, o limiar caracterizado pela presença incipiente de solo, arbustos lenhosos e árvores é correspondente (em termos de frequência) ao nível de margens plenas presente nos canais das planícies aluviais das mesmas bacias.

Este trabalho possui certa vinculação com toda uma linha de estudos difundidos como hidrologia de paleocheias (Kochel e Baker, 1982) ou geomorfologia de cheias (Baker et al. 1988), onde são definidas relações entre eventos fluviais, principalmente os extremos, e uma série de indicadores geomorfológicos, geológicos e biológicos.

O reconhecimento de padrões de eventos em calhas fluviais através de indicadores apresenta êxito em locais onde as metodologias são mais desenvolvidas, como nos Estados Unidos e na Espanha, onde são utilizados principalmente para construção de séries históricas de bacias de drenagem sem postos fluviométricos, ou para a extensão temporal de dados de postos já existentes.

Segundo Kochel e Baker (1982), através de técnicas da geomorfologia de cheias, os dados hidrológicos podem ser estendidos a escalas temporais de centenas a milhares de anos, se existirem indicadores favoráveis.

Nesta vertente da geomorfologia, os indicadores de paleocheias podem ser agrupados em três principais tipos: 1- Depósitos de Águas Paradas (SWD -*Slack Water Deposits*) (Baker, 1987); 2- Indicadores de Paleoestágios (PSI -*Paleostage Indicators*) e 3- Marcas de Águas Altas (HWM - *High Water Marks*) (Ballesteros et al. (2009).

Os SWD's correspondem a deposições finas em locais de baixa energia atingidos pelo fluxo de cheia, e são utilizados em diversos estudos de paleocheias, entretanto, são condições físicas específicas que produzem tais depósitos.

Entre elas, a existência de um canal confinado e sobre leito rochoso, onde os fluxos de cheia apresentam cotas mais elevadas em relação aos vales abertos, presença de entradas de tributários laterais, onde as cotas de fluxo mais elevadas possam atingir locais de baixa energia e possibilitar a deposição de finos (ou cavidades na rocha laterais ao canal), bacias com produção significativa de sedimentos arenosos a argilosos e, por último, um clima que não permita intensa bioturbação da sequência sedimentar.

Os PSI's são quaisquer indicadores que demonstram pela sua posição ou característica, um nível mínimo de cheia. Neste grupo podem ser reunidos sedimentos, marcas erosivas e qualquer material que possa indicar um nível mínimo. Os HWM's correspondem a indicadores que demonstram níveis máximos de cheias recentes, como acúmulos de detritos orgânicos (*trash points*), marcas de finos (*silt lines*) e qualquer material flutuante depositado em um fluxo elevado.

Como se pode observar, os estudos de paleocheias dependem basicamente da disponibilidade de indicadores que possibilitem a inferência de determinada magnitude e determinada frequência de eventos.

2.4. Zoneamento de ambiente fluviais

A definição de áreas, segundo determinadas características nos ambientes de fundo de vale, pode ser vinculada a diferentes objetivos. Tanto pode ser voltado a facilitar o reconhecimento de processos hidrogeomorfológicos e sua abrangência espacial, auxiliando na compreensão da dinâmica fluvial e na elaboração de modelos teóricos, quanto para delimitação de áreas em vista do planejamento territorial.

O presente estudo possui foco na primeira linha de objetivos, no entanto, a proposição basicamente em função da compreensão da dinâmica fluvial pode auxiliar na delimitação de determinadas áreas de proteção permanente que já possuem amparo legal, mas que são por vezes dificultosas de se definir com precisão.

Este é o caso da Área de Proteção Permanente (APPs) de vegetação nativa nas margens de rios, definida pela Lei 4.771/65, do Código Florestal atual, mas que passa por recentes mudanças, tendo sido até a data deste trabalho, aprovado um novo texto pela Câmara. As áreas APPs em margem de corpos d'água possuem a função de

“(...) preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas.” (BRASIL, 2011 p.3)

Tais modificações nas APPs de margem de rio são relativas a determinadas larguras mínimas de proteção da vegetação a partir do “leito regular”, no caso do texto aprovado na Câmara, e a partir do nível de cheia ou “nível mais alto sazonal”, segundo o texto atual (BRASIL, 2012).

Segundo Scartazzini et al. (2008), a legislação atual é pouco precisa com relação à delimitação desse nível mais alto sazonal. Já com relação ao texto mais recente, a definição de leito regular como “(...) a calha por onde correm regularmente as águas do curso d'água durante o ano” BRASIL (2011 p. 6), também não define qual seria o procedimento mais adequado para determinação dessa calha.

Do ponto de vista hidrogeomorfológico, esta definição pode se assemelhar a parâmetros como a vazão média anual, ou mesmo ao nível de margens plenas (Williams, 1978). Também pode ser referente ao conceito de leito menor, definido através das equações da curva com 50% de permanência (Tucci, 2002) de vazões na calha.

Parâmetros como estes podem ser avaliados com facilidade se existem postos fluviométricos disponíveis. No caso de pequenas bacias, onde são menos frequentes os postos, métodos de determinação de zonas do ambiente fluvial onde os processos hidrogeomórficos são mais atuantes podem ser úteis na avaliação do leito regular de um rio.

Considerando as bacias de pequena ordem, a delimitação das áreas marginais das calhas apresenta diversas razões. Grande parte dos problemas que ocorrem à jusante, como enchentes, assoreamentos e erosão, tem vinculação com essas áreas de drenagem reduzida (Faria, 2000). Segundo Benda et al. (2005), os cursos de menor ordem podem representar de 60 a 80% do comprimento cumulativo dos canais de uma bacia.

Assim, pode-se avaliar a importância das áreas de proteção marginais de todos esses canais e para a bacia com um todo. As águas provenientes das cabeceiras de drenagem não só tem um importante papel geomorfológico e biológico para os processos de jusante, mas também possui grande importância para o planejamento urbano. Não é raro que as empresas responsáveis pela captação, tratamento e distribuição de água se aproveitem de pontos de coleta nesses canais menores devido à dispensa de sistemas de bombeamento, pois a água pode ser levada por gravidade.

Trabalhos para a delimitação de APPs fluviais são comuns através da utilização de Sistemas de Informação Geográfica, como Victoria e Mello (2011), mas tais trabalhos em geral consideram os corredores fluviais em escala menores e não consideram a dinâmica da calha. Estudos em escalas de maior detalhe são necessários quando os objetivos são pontuais,

como em Scartazzini et al. (2008), que considerou diferentes abordagens da delimitação de APPs para um licenciamento ambiental. O presente trabalho possui essa abordagem pontual, considerando um trecho de calha inferior a 50 m, com o que a dimensão lateral da calha pode apresentar os limiares hidrogeomórficos de forma evidente.

2.5. Padrão fluvial soleira-depressão

Em canais fluviais naturais, cujo gradiente varia de baixo a moderado e com leitos cascalhentos, as sequências de soleiras e depressões (*riffle-pool sequences*) são morfologias muito comuns (Sawyer, 2009). Este padrão também é reconhecido em diversos trabalhos realizados no Brasil (e.g. Fernandez et al., 2002, Fernandez, 2003).

As depressões são concavidades topográficas cobertas por sedimentos finos, enquanto que as soleiras são cobertas por materiais grosseiros, estando essas partes relacionadas uma com a outra (Figura 2.3).



Figura 2.3 Fotografia de um trecho de depressão, na porção direita, e soleira, à esquerda. Trinity River, Califórnia, Estados Unidos (Pasternak, 2008).

Sob condições de fluxo baixo, as variações verticais na topografia ao longo do comprimento do canal controla a hidráulica e o transporte de sedimentos: depressões apresentam fluxo lento e divergente, declividade reduzida da linha d'água, e baixa competência de transporte, enquanto que as soleiras possuem fluxo rápido e convergente, declividade elevada da linha d'água e competência moderada no transporte (O'Neill e Abrahams, 1984) (Figura 2.4).

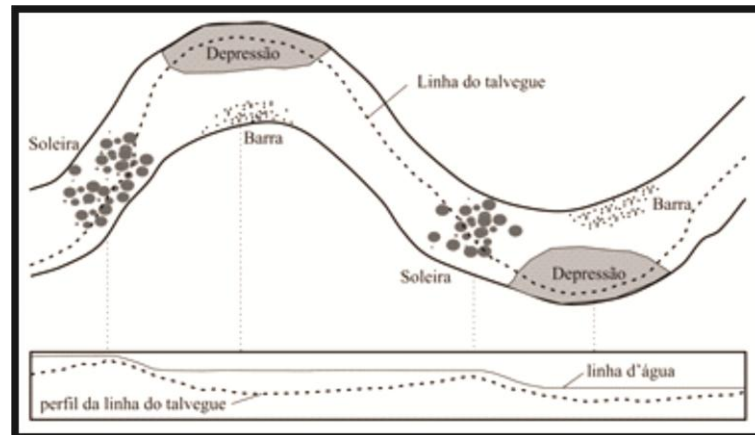


Figura 2.4 Representação de um padrão comum de morfologia soleira-depressão. Baseado em Richards (1982).

A gênese de padrões soleira-depressão em canais naturais não é claramente estabelecida. Uma das hipóteses considera que, em teoria, num canal retilíneo e uniforme, a turbulência no limite com o leito pode gerar fluxos helicoidais em larga escala associados a acelerações e desacelerações da velocidade. Este padrão contribuiria para produzir zonas de erosão (depressões) e de deposição (soleiras). E isso ocorreria apenas em fluxos elevados o suficiente para promover transporte efetivo da carga de fundo (Richards, 1982).

Essa consideração levou à elaboração da hipótese da reversão da velocidade (*velocity reversal hypothesis*), que declara que nos fluxos baixos, a velocidade é menor nas depressões do que nas soleiras adjacentes, enquanto que nos fluxos elevados, a velocidade nas depressões pode superar à das soleiras. Isso ocorre devido as depressões possuírem a seção mais estreita que nas soleiras (Keller, 1971). Este padrão faria com que as depressões fossem erodidas e a carga depositada nas soleiras durante os fluxos mais elevados.

No entanto, diversos estudos mais atuais de medição de velocidades em diferentes níveis e considerando diferentes parâmetros hidráulicos não corroboram com esta hipótese, que é aceita por uns e rejeitada por outros (Fernandez, 2003).

Os canais com padrão soleira-depressão ocorrem com frequência na transição entre áreas da bacia cujos canais fluem sobre o embasamento e os que fluem sobre aluviões, pois apresentam materiais grosseiros fornecidos de montante, mas já desenvolvem uma espécie de planície aluvial, tal como ocorre na sub-bacia estudada no contexto da bacia do ribeirão do Cadete.

As soleiras são definidas como corpos lóticos que formam um ambiente aquático cujos fluxos são mais velozes, possuem maior oxigenação, menor temperatura e menor

turbidez, enquanto que os trechos de depressão possuem um corpo d'água de fluxo lântico, uma maior coluna d'água, maior temperatura e maior turbidez, cujas comunidades ecológicas se organizam de acordo com estas condições (Margalef, 1983).

2.6. Análise de dados ambientais multivariados

Os estudos relativos às ciências ambientais, notadamente a geomorfologia, apresentam frequentemente a elaboração de modelos conceituais e a comprovação, adaptação ou refutação a partir de dados empíricos dos mesmos. Novas coletas de dados, por vezes, são necessárias, compondo procedimentos cíclicos de novas elaborações de modelos e refinamento dos mesmos.

Estes procedimentos acabam por levar ao desenvolvimento de técnicas de coleta e tratamento que não raro acabam por gerar grandes quantidades de dados. Este fato seria vantajoso não fosse uma nova dificuldade que se coloca: a impossibilidade de adquirir facilmente conhecimento simples e lógico de um emaranhado de dados multivariados.

Por exemplo, na ecologia, Prado et al. (2002) coloca que é difícil a visualização dos padrões de ocorrências e co-ocorrências de espécies pelos ambientes, ainda mais quanto se queira correlacionar tais ocorrências com variáveis físicas locais.

Entretanto, problemas com tratamentos de dados vêm sendo estudados há mais tempo por outro campo, o da ciência da computação, que lida diretamente o problema da aquisição de informações relevantes em grandes bancos de dados com numerosas variáveis.

Os recentes avanços na coleta e armazenamento de dados nas mais diversas áreas do conhecimento, como finanças, mercado de varejo e dados orbitais, têm incentivado o desenvolvimento de metodologias que objetivam reduzir um grande número de variáveis a poucas dimensões com o mínimo de perda de informação, permitindo a detecção dos principais padrões de similaridade, de associação e de correlação entre as variáveis.

Este é chamado de Descoberta de Conhecimento em Bancos de Dados (Fayyad et al., 1996). No texto que segue, esta área do conhecimento será referida como KDD, que é a sigla em inglês para *Knowledge Discovery in Databases*. Neste contexto, diversos algoritmos de foram desenvolvidos para o processamento automático de dados multivariados, sendo que cada um atende a determinados padrões, bem como a objetivos específicos.

Tais procedimentos podem ser utilizados para os campos da geomorfologia e estudos correlatos, uma vez que cada vez mais necessitam de análises entre diversas variáveis e uma variável resposta. Embora nem sempre apresentem bancos de dados muito extensos

como os da ciência da computação, os campos das ciências ambientais tem utilizado com sucesso os procedimentos comuns ao KDD.

Dentre os métodos mais utilizados no KDD, podemos mencionar os sistemas de Aprendizado de Máquina, cujo um dos objetivos principais é a construção de sistemas capazes de adquirir conhecimento de forma automática a partir de bancos de dados (Monard e Baranauskas, 2005).

Entre esses sistemas, podemos citar os paradigmas de aprendizado mais utilizados, como os Simbólicos (árvores de decisão e regras), Estatísticos (aprendizado Bayesiano), Baseado em Exemplos (*Nearest Neighbours* e Raciocínio Baseado em Casos), Conexionistas (Redes Neurais) e Algoritmos Genéticos.

No contexto das ciências ambientais, os sistemas de Aprendizado de Máquina vêm sendo utilizados em diversos campos, como para a determinação dos ambientes mais favoráveis a certas espécies, contribuindo para a delimitação de áreas de conservação (Aarts et al., 2004); na análise entre agrupamentos de espécies e variáveis ambientais (De'at, 2002); para caracterização de estratos florestais (Debeljak e Babic, 2004); na predição de macro invertebrados bênticos em rios (Goethals et al., 2001) e na classificação de comunidades de artrópodes do solo (Demšar et al., 2004). Outro uso recente também é na análise de dados paleoecológicos (Jeraj et al., 2004).

Nos campos de planejamento socioeconômico, o Aprendizado de Máquina também tem dado suas contribuições, como para a caracterização de cafeicultura familiar através de clusterização (Ferreira e Teixeira, 2007) ou para encontrar padrões entre comportamento da população e utilização de transporte coletivo (Salvador e Santos, 2004).

Dentre os trabalhos vinculados às geociências, a área de Sistemas de Informações Geográficas são uns dos que mais tem usufruído de classificadores automáticos e aprendizado de máquina, principalmente com relação à identificação automática ou manual de classes em imagens de sensor remoto, ou para a descoberta de correlações entre diferentes atributos especializados.

Já no contexto mais específico da geomorfologia, além das aplicações vinculadas à cartografia, existem aquelas relacionadas a processos, como a predição de estabilidade do canal através de características biogeomórficas (Moret et al., 2004); para predição de carga sedimentar segundo os débitos fluviais (Azamathulla et al., 2010) ou para modelagem de fluxos fluviais (Han et al., 2002).

São diversos os sistemas possíveis para a aquisição de conhecimento através da Aprendizagem de Máquina, entretanto, como o objetivo deste trabalho não possui foco em

qual sistema é o melhor para determinado conjunto de dados, discutiremos sobre dois sistemas que são de grande difusão entre os estudos ambientais e que são de fácil interpretação, que são as árvores de decisão e as regras de associação.

2.7. Árvores de Decisão

Árvores de decisão são expressões simples de lógica condicional que buscam a representação de uma série de questões que estão escondidas numa base de dados (Quinlan, 1993).

Segundo Fonseca (1994), o procedimento das árvores de decisão é bastante simples, sendo baseado na estratégia “dividir para conquistar”, ou seja, baseia-se na divisão do problema em vários subproblemas menores, até que uma solução para cada um dos problemas mais simples possa ser encontrada. A árvore de decisão pode manipular dados em diversas escalas sem suposições acerca das distribuições de frequência dos dados (Friedl e Brodley, 1997).

Nesse sistema de Aprendizagem de Máquina, existem dois tipos de atributos, os decisivos, que contém os resultados ao qual se deseja obter, e os não decisivos, que contém os valores que conduzem a uma decisão.

Para chegar à decisão, a árvore utiliza uma fórmula matemática denominada entropia, que calcula sobre os atributos não decisivos onde é escolhido um nó inicial, chamado raiz, sendo que a partir desse serão realizados os cálculos seguintes.

O conceito de entropia envolve uma grandeza que mede o grau de desordem de um sistema. Quanto maior a entropia, maior a desordem, e quanto menor a entropia, maior a organização. Desta forma, no contexto do KDD, o valor mais adequado de entropia é o menor (Ferreira, 2002). Consegue-se o valor da entropia através da seguinte fórmula (Quinlan, 1993):

$$E(A = v_j) = -\sum_{i=1}^n p(i) \log_2(p(i)) \quad (1)$$

Onde $A=v_j$ significa que o atributo A tem o valor v_j , n é o número de classes diferentes $c_1, c_2, \dots, c_n$ e $p(i)$ é a probabilidade de um registro pertencer à classe c_n . Esta equação é utilizada para o cálculo de todos os valores possíveis de um atributo, sendo que após deve-se relacionar todos estes valores para encontrar o ganho de informação de um atributo a partir da fórmula que segue:

$$Gain(D, T) = Info(D) - \sum_{i=1}^k \frac{|D_i|}{|D|} Info(D_i) \quad (2)$$

Onde $Info(D)$ corresponde a entropia da base como um todo, k representa a quantidade de subconjuntos do atributo T , $Info(D_i)$ denota a entropia de cada subconjunto $D_1, D_2, D_3, \dots, D_n$, enquanto que D_i representa a quantidade de exemplos de cada subconjunto, e D a quantidade de exemplos contidos na base. De forma simplificada, a o ganho de informação é zero quando qualquer um de “sims” e “nãos” forem iguais a zero, enquanto que o ganho de informação é máximo quando o número de “sims” e “nãos” for igual.

Com base no ganho de informação calculado por $Gain$, o processo é repetido dos nós (atributos) através de arcos (valores possíveis para os atributos) para outros nós ou para as folhas, que representam as classes do conjunto (Langargiola, 1996). A árvore chega aos nós folha quando uma das classes demonstra uma maioria que não justifica mais divisões, gerando assim uma folha contendo a classe maioritária.

A Figura 2.5 exemplifica a estruturação de uma árvore de decisão construída com o algoritmo *J48* (demonstração desse algoritmo no capítulo de Métodos) através do tratamento de um conjunto de dados que já se tornou um clássico para a exemplificação de procedimentos de KDD, onde a questão básica é se se deve jogar golfe ou não, segundo algumas condições ambientais.

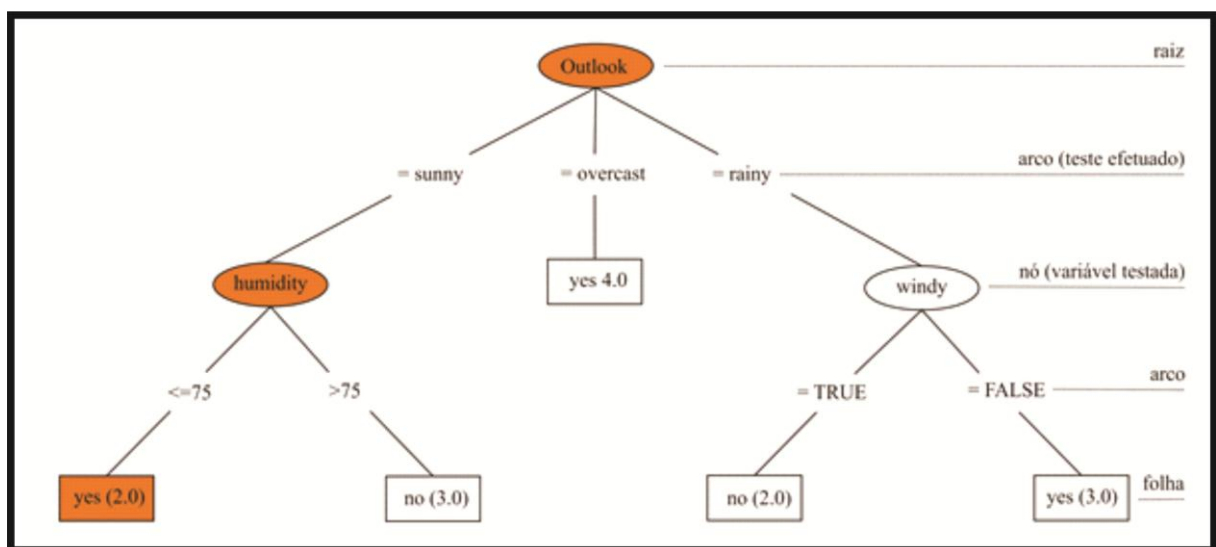


Figura 2.5: Estruturação de uma árvore de decisão com base em um exemplo clássico do KDD, sobre se jogar golfe ou não, com base no tempo, na umidade e no vento. Veja a correspondência dos nós em laranja no Quadro 2.2.

Os dados sobre o qual foi construída a árvore são listados no Quadro 2.2, com presença de atributos nominais (*outlook* e *wind*) e contínuos (*temperature* e *humidity*). Como são poucas instâncias (15), as operações realizadas pela árvore são facilmente visualizadas. Por exemplo, quando *outlook* é *sunny* e *humidity* é > 75 , a classe é *no*, ou seja, não jogar golfe. Os dados que formam este caminho na árvore, indicado em laranja, também são marcados no quadro apresentado a seguir.

Quadro 2.2: Dados utilizados para a construção da árvore da Figura 2.5, com utilização do algoritmo *J48*. Os dados marcados em laranja são correspondentes aos nós também marcados em laranja da árvore.

Instância	Outlook	Temperature	Humidity	Wind	Play
1	sunny	85	85	FALSE	no
2	sunny	80	90	TRUE	no
3	overcast	83	86	FALSE	yes
5	rainy	70	96	FALSE	yes
6	rainy	68	80	FALSE	yes
7	rainy	65	70	TRUE	yes
8	overcast	64	65	TRUE	yes
9	sunny	72	95	FALSE	no
10	sunny	69	70	FALSE	yes
11	rainy	75	80	FALSE	yes
12	sunny	75	70	TRUE	yes
13	overcast	72	90	TRUE	yes
14	overcast	81	75	FALSE	yes
15	rainy	71	91	TRUE	no

Nota-se que na folha da árvore, além do atributo classe, aparece também um número, que é referente ao número de instâncias que a relação ocorre no banco de dados. Na árvore apresentada acima, pode-se observar que a folha possui valor 2.0, que representa as duas instâncias marcadas nos dados do quadro. Para os valores das demais folhas também se pode verificar o mesmo padrão no banco de dados.

Esta é uma das vantagens da utilização de árvores de decisão: podem ser visualizadas todas as variáveis que compõem a árvore e verificar quais os nós e folhas mais relevantes, de forma independente do restante dos dados. Ao contrário de outros algoritmos, como as redes neurais, as árvores de decisão não são “caixas pretas” (Saito et al., 2009).

Podem-se verificar também quais os itens mais importantes. Segundo Witten e Frank (2005), a indução de “cima para baixo” nas árvores de decisão indica que as variáveis das ordens mais elevadas na estrutura da árvore são as mais importantes.

Segundo Fonseca (1994), dentre os aspectos dominantes para a seleção de um algoritmo de árvore de decisão, devem ser considerados os seguintes: critério para escolha da característica a utilizar em cada nó; como calcular a partição do conjunto de exemplos; quando decidir que um nó será uma folha e; qual o critério para selecionar a classe a atribuir a cada folha.

Com relação à utilização de árvores de decisão em estudos no campo das geociências, podemos citar Crivelenti et al. (2009), que desenvolveu uma metodologia para mapeamento digital de solos através da correlação de atributos do relevo e dados de mapas geológicos e pedológicos em diferentes escalas, enquanto que Saito et al. (2009) analisou a susceptibilidade à ocorrência de deslizamentos através de uma árvore de decisão embasada em dados topográficos, geológicos e de deslizamentos atuais.

Já o estudo de Pike e Scatena (2010) fornece uma base mais próxima ao presente trabalho, pois utiliza uma árvore de decisão simples para encontrar correlações entre alguns indicadores do meio fluvial e a magnitude/frequência de débitos fluviais em bacias de drenagem tropicais montanhosas.

Para o presente trabalho, serão testados algoritmos presentes na ferramenta gratuita WEKA, descrita mais adiante, onde são disponíveis algoritmos diversos como o *BFTree*, *Decision Stump*, *FT*, *Id3*, *J48*, entre outros.

2.8. Regras de Associação

Além das árvores de decisão, no contexto do paradigma de Aprendizado Simbólico também existem as Regras de Associação. Elas objetivam encontrar relacionamentos entre conjuntos de dados ou, mais especificamente, como afirma Ribeiro et al. (2005), é o processo de extração de regras de associação através de uma técnica que encontra relacionamentos entre a ocorrência de itens em transações de uma base de dados.

A declaração formal de um algoritmo de regra de associação é dada por Agrawal et al. (1993) e Agrawal e Srikant (1994), da seguinte forma: seja $I = \{i_1, \dots, i_n\}$ um conjunto de dados literais, denominados itens, e um conjunto $X \subseteq I$ que é chamado de *itemset*, temos em D uma base de dados com transações t que envolvem elementos que são subconjuntos de I , sendo que a transação t suporta um itemset X se $X \subseteq t$.

Uma regra de associação é uma expressão da forma $X \rightarrow Y$, onde X e Y são *itemsets*. O suporte da regra é a fração do número de transações que contém $X \cup Y$ em D . A confiança é a fração do número de transações contendo X que também contém Y . O nível de

confiança é medido com valores entre 0 e 1, sendo 0 confiança nula e 1 confiança total. Neste caso, foi definido para que fossem geradas apenas regras com confiança superior a 0.9. Um exemplo de regra de associação é demonstrado abaixo:

1. outlook=overcast 4 ==> play=yes 4 conf:(1)

2. temperature=cool 4 ==> humidity=normal 4 conf:(1)

Esta regra de associação de exemplo foi gerada com o algoritmo *Apriori* (Agrawal e Srikant, 1994), baseando-se nos dados de exemplo que vem no pacote do Weka 3.6.4. Estes dados são semelhantes aos do exemplo citado no capítulo anterior, apenas com a diferença que este só possui dados discretos.

Inicialmente, vemos na primeira regra (1.), que é o número da mesma, e depois é descrito o *itemset* *X*, discutido na declaração formal do algoritmo, que é representado por (outlook=overcast); em seguida o número 4 representa o número de vezes que o *itemset* *X* ocorre no banco de dados; o sinal ==> representa que o *itemset* *X* “está em...”; play=yes representa o *itemset* *Y* e o número que segue também se refere à quantas vezes este *itemset* ocorre no banco de dados. Já conf:(1) indica o valor da confiança da regra no contexto dos dados, ou seja, confiança 1 quer dizer que sempre que ocorre o *itemset* *X*, também ocorre o *itemset* *Y*. Caso o *itemset* *Y* ocorresse em 80% das instâncias com *itemset* *X*, a confiança seria 0.8.

Os algoritmos de Regras de Associação possuem a vantagem de apresentarem resultados de fácil interpretação, tanto é que são largamente utilizados em estudos de mineração de dados e descoberta de conhecimento. Nas geociências, ainda não são muitos os trabalhos com algoritmos de associação (excluindo-se nos Sistemas de Informações Geográficas), porém, temos o exemplo do trabalho de Chagas et al. (2010), que utilizou Regras de Associação para encontrar correlações entre as variáveis de um banco de dados de deslizamentos no Estado de São Paulo.

No presente estudo, serão testadas algumas regras de associação para auxiliar na análise do banco de dados gerado com as coletas de campo, bem como comparar os resultados com as árvores de associação.

3. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está inserida na bacia de drenagem do ribeirão do Cadete. É uma sub-bacia ou microbacia tributária do canal principal do ribeirão do Cadete, e apresenta aproximadamente 3,14 km², drenando parte da encosta da serra dos Poncianos, cujo interflúvio apresenta alguns pontos de visitação turística, conhecidos como Pedra Partida e Pedra Redonda. A bacia do ribeirão do Cadete apresenta uma área de aproximadamente 40,1 km².

O ribeirão do Cadete é tributário do rio Jaguari, que constitui uma bacia federal, pois deságua no estado de São Paulo. A bacia de drenagem do rio Jaguari é contribuinte do sistema produtor de água Cantareira, que abastece a Região Metropolitana de São Paulo. Até o sistema Cantareira, a bacia do rio Jaguari apresenta uma área de aproximadamente 1042 km². Após o Sistema Cantareira, o rio Jaguari se une ao rio Atibaia para formar o rio Piracicaba, contribuinte do rio Tietê.

A bacia do ribeirão do Cadete está inserida no município de Camanducaia, drenado a maior parte do distrito de Monte Verde, e se estabelece entre as coordenadas geográficas 46°1'5,5''W/22°52'5,3''S e 46°1'2,8''W/22°53'16,2''S (Figura 3.1).

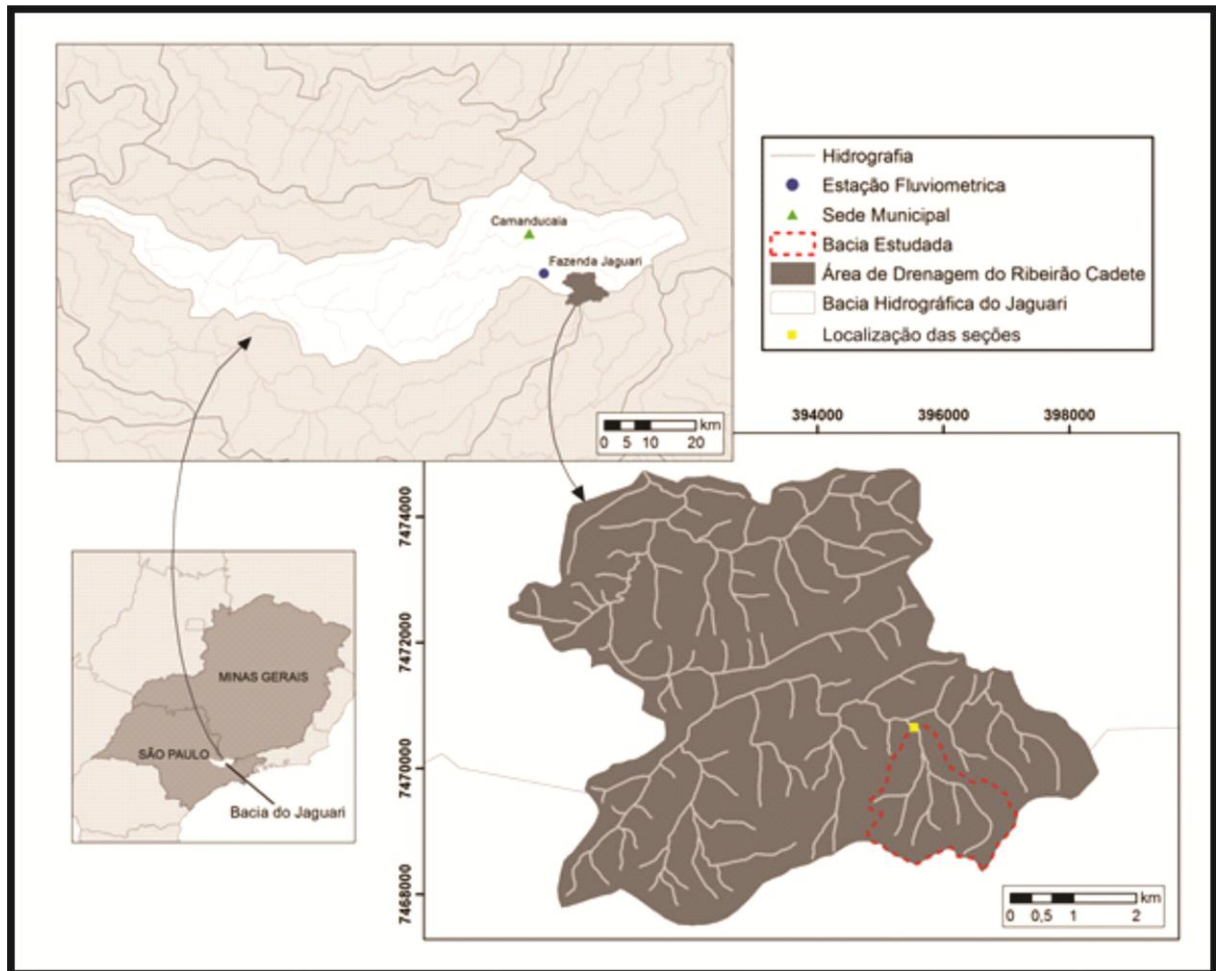


Figura 3.1: Localização da área de estudo, contextualizada na bacia do ribeirão do Cadete, e a posição aproximada das seções realizadas neste estudo. Baseado em cartografia 1:1.000.000 e 1:50.000 do IBGE (1991). Coordenadas UTM SAD 69 zona 23.

3.1. Geomorfologia

Nos termos tradicionais de classificação geomorfológica brasileira, a área de estudo está inserida numa superfície de cimeira correspondente à “Superfície Sulamericana”, segundo King (1956) ou “Japi”, segundo Almeida (1964). Superfícies estas que foram retrabalhadas sobre antigos domos do paleocontinente Gondwana (Ab’Sáber, 2000).

No contexto das compartimentações geomorfológicas existentes para a área, a área de estudo se estabelece, segundo Cavalcante et al. (1979), no Planalto Atlântico, unidade Serra da Mantiqueira, enquanto que RADAMBRASIL (1983) delimita o Planalto de Monte Verde, inserido no domínio das Faixas de Dobramentos Remobilizados.

A área escolhida para a aplicação das metodologias constitui uma bacia de drenagem de pequena ordem, 3ª ordem na classificação de Strahler (1954) (baseando-se em cartografia 1:50.000), situada na parte mais elevada do reverso da escarpa da serra da

Mantiqueira, em sua porção ocidental. Apresenta uma morfologia convexa mamelonar, com evolução marcada por fases de predomínio de processos químicos alternadas por fases com predomínio de processos físicos.

A bacia em questão, situado na encosta voltada a norte da serra dos Poncianos, possui formato tendendo a circular, com drenagem orientada mais ou menos ao seu centro, fazendo com que na junção dessas drenagens se estabeleça um setor de transição entre um padrão de canal confinado, sobre o embasamento e sem migração lateral, para um setor configurado como uma espécie de planície aluvial.

Esta planície aluvial é constituída por sedimentos grosseiros alternados por camadas de areias e argilas, formando uma superfície aluvial com declividade reduzida. Apresenta sinais de migração lateral do canal e possui um padrão morfológico soleira-depressão na calha. É neste ponto da drenagem que se estabelece a área de estudo (Figura 2.3).

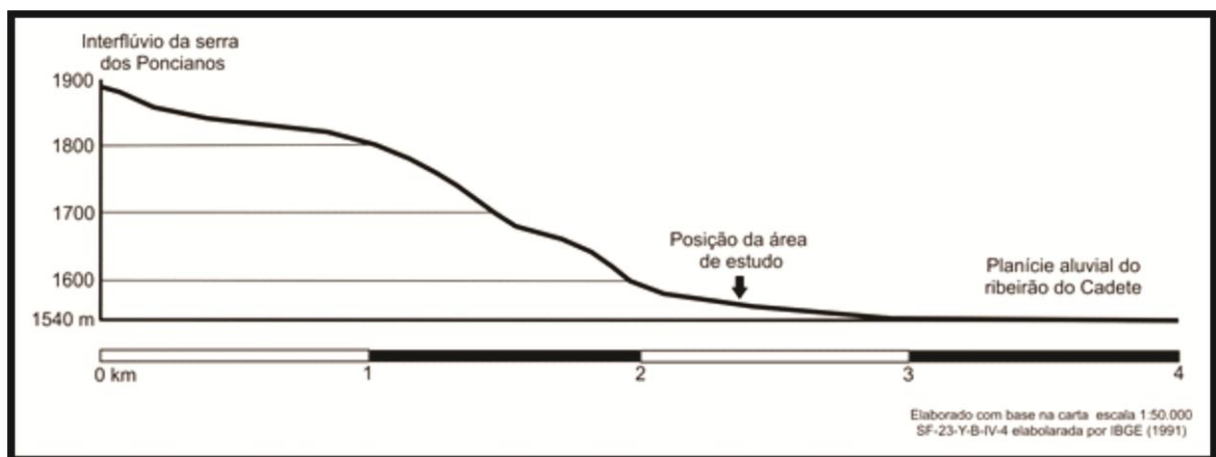


Figura 3.2 Perfil longitudinal do canal principal da bacia estudada e posicionamento da área de estudo neste.

Este setor de transição é recoberto por vegetação florestal, sendo possível observar diversas interações entre a dinâmica geomorfológica e o componente vegetacional presente. Mais a jusante, o sistema deposicional em leque toma feições mais usuais de planície de inundação com canal meândrico, predomínio de sedimentos finos, paleocanais e níveis de terraço.

A jusante a drenagem se encaixa em um vale de orientação NE-SW, seguindo um possível lineamento estrutural vinculado à evolução do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil (Riccomini, 1989), que envolve todo um sistema tectônico responsável por controlar em

diversas ocasiões os níveis de base dessas pequenas bacias sedimentares encaixadas em estruturas falhadas (Figura 3.3).

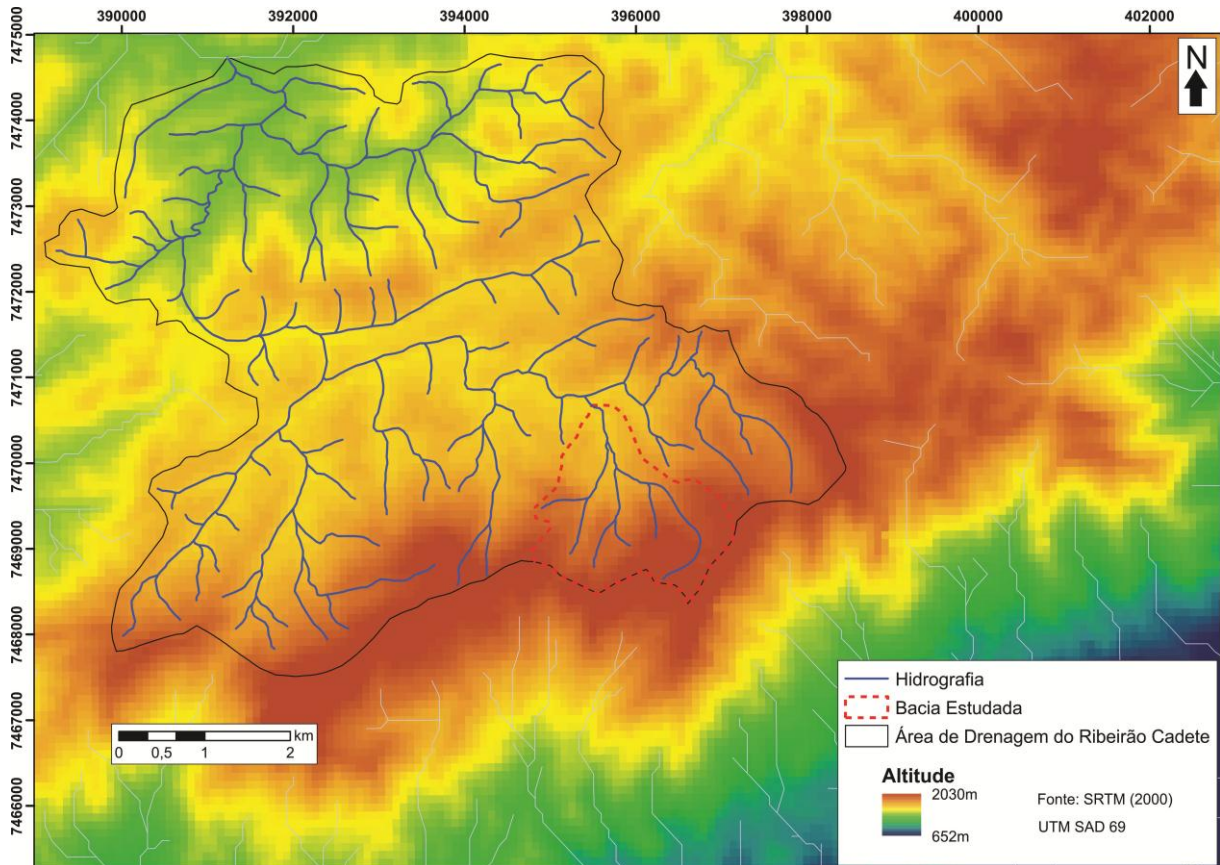


Figura 3.3: Mapa hipsométrico da região compreendida pela porção oeste da serra da Mantiqueira, e localização da bacia em estudo na mesma.

Através de um estudo com abordagem morfoestratigráfica na bacia do ribeirão dos Poncianos e do Cadete, Missura (2005) atribuiu fatores ligados às variações climáticas pleistocênicas na formação de sequências deposicionais em vales de anfiteatros (bacias de zero ordem), compreendendo colúvios oriundos de movimentos gravitacionais lentos e soterramento de material orgânico (turfeiras), que marcam limites de fases de formação e desmantelamento de solos.

Por outro lado, Modenesi-Gauttieri et al. (2002) também destaca a importância da tectônica recente na configuração do modelado da serra da Mantiqueira, como em processos de captura fluvial e vales suspensos.

3.2. Geologia

A bacia de drenagem estudada, tributária do ribeirão do Cadete, se estabelece sobre os terrenos metamórficos vinculados ao extremo sul da Faixa Brasília (*nappe* Socorro-Guaxupé), no contato com a Faixa Ribeira (Sistema de Empurrões Juiz de Fora) (Trouw et al., 2000).

Na bacia de drenagem em questão, tais terrenos são constituídos por granitóides do Domínio Socorro – Guaxupé e Complexo Varginha-Guaxupé, ambos pertencentes às províncias Tocantins e Paraná (Leite et al., 2004).

O Domínio Socorro – Guaxupé constitui-se de granitóides foliados tipo S, formados antes ou durante a orogênese brasileira, com idades entre 630-625 Ma U-Pb (Figura 3.4).

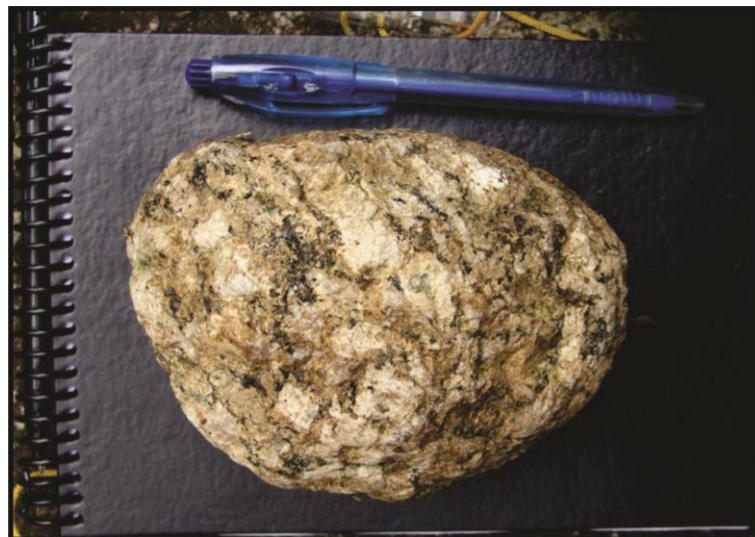


Figura 3.4: Foto de um bloco rolado de granitóide da área de estudo.

Forma um corpo ovalado com comprimento maior na direção NE-SW, sendo recortado por diversas estruturas tectônicas nesta mesma direção. Esta unidade é predominante na bacia, segundo o mapeamento de Leite et al. (2004), embora a escala de mapeamento possa não representar adequadamente os contatos.

O Complexo Varginha-Guaxupé, por sua vez, é composto por gnaisses migmatíticos paraderivados, formados durante o Criogeniano, 850 – 650 Ma (Neoproterozóico). Tais litologias ocorrem de forma restrita na bacia em estudo, junto aos interflúvios da porção sul da bacia.

As principais estruturas obedecem à direção NE-SW, sendo reconhecida em mapeamento uma importante falha transcorrente sinistral, denominada “Falha de São Bento do Sapucaí” por Cavalcante et al. (1979). A esta derivam diversos outros lineamentos na mesma direção e em menor escala, que condicionam fortemente o padrão de drenagem e o alinhamento de cristas (Figura 3.5).

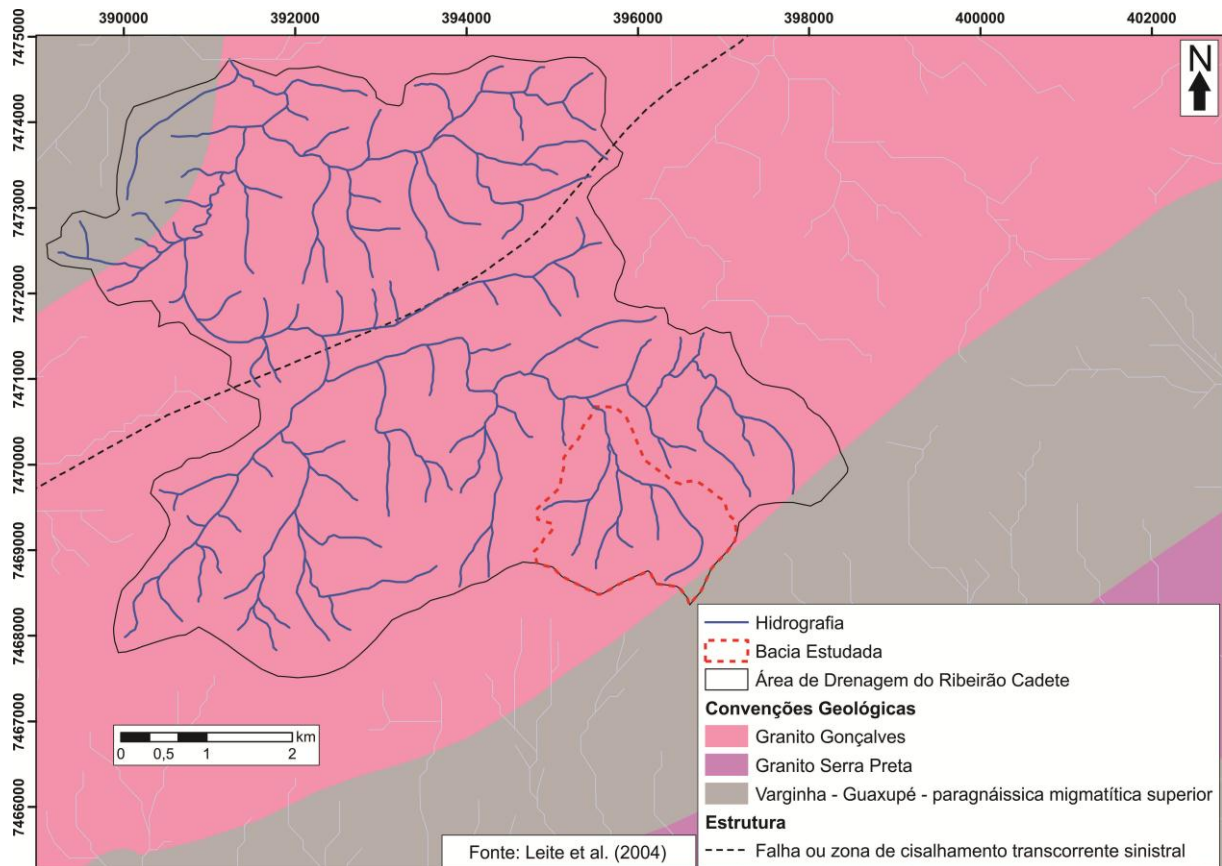


Figura 3.5: Mapa geológico regional, e posição da bacia em estudo.

3.3. Pedologia

As condições topográficas, hidrológicas e litológicas impõem uma diversidade de associações de solos que tem suas principais características definidas em primeiro nível taxonômico de ordem, através de observação expedita em campo, pois não existe mapeamento pedológico de detalhe para a área. São assim identificados Cambissolos, Argissolos, Neossolos, Organossolos e Plintossolos.

Segundo mapeamento realizado pela EMBRAPA (1981), em escala 1:5.000.000, a área da bacia está inserida totalmente na unidade Cambissolos. Isso se deve, por um lado, à escala pequena do mapeamento, e por outro, ao tamanho reduzido da área de estudo.

Entretanto, as condições de vertentes com declividades acentuadas na maior parte da bacia, fazem com que os perfis não se desenvolvam plenamente, o que confirma a predominância de Cambissolos.

A ordem dos Cambissolos envolve um grupamento de solos pouco desenvolvidos, sendo o horizonte B definido como incipiente. O processo de pedogênese pouco avançado, nos Cambissolos, é aliado a um bom desenvolvimento da estrutura do solo, o que consequentemente se reflete na quase ausência de estruturas oriundas da rocha.

Este solo também apresenta elevação do croma, matiz mais vermelho e conteúdos de argila mais elevados nos horizontes superiores. Seu critério de identificação considera a existência de horizonte B incipiente, sendo seguido por horizonte superficial de qualquer natureza (EMBRAPA, 1999) (Figura 3.6).



Figura 3.6: Perfis de solos pouco desenvolvidos, com horizontes B incipientes, sobrepostos por horizonte A proeminente, situados à alta vertente convexa na bacia em estudo, com possibilidade de serem enquadrados na ordem dos Cambissolos. Fotos: Osis, R.

Os Argissolos são solos cujo horizonte B possui concentração de textura arenosa em seu topo, ou seja, B textural, apresentando em geral argila de atividade baixa, ou alta se conjugada com saturação por bases baixa ou caráter alítico (EMBRAPA, 1999).

Os Argissolos são solos pouco mais desenvolvidos que os Cambissolos, e na bacia ocorrem em área que possibilitam um maior desenvolvimento do perfil, com em setores convexos situados a meia vertente. Possuem desenvolvimento avançado, embora com atuação incompleta do processo de ferralitização, cujos critérios de identificação incluem o desenvolvimento de horizonte diagnóstico B textural aliado a atributos que evidenciam a baixa atividade da fração argila ou caráter alítico (EMBRAPA, 1999).

Os Neossolos possuem ampla distribuição na bacia estudada, sendo também a classificação do substrato onde foram coletadas as informações sobre fluxos fluviais. Tal ordem de solos incluem perfis constituídos por material mineral, ou orgânico pouco espesso, e que não apresentam alterações expressivas em relação ao material originário (EMBRAPA, 1999).

São comuns também junto a afloramentos rochosos nos divisores de drenagem, onde formam perfis rasos, com grande quantidade de material inalterado e orgânico. Junto às drenagens se formam a partir do estabelecimento de deposições fluviais ou coluviais, podendo apresentar texturas diversas.

Os Organossolos são formados em locais de concentração da drenagem, como setores côncavos da vertente, onde a saturação hídrica e temperaturas amenas devido à altitude permitem o acúmulo de material orgânico em perfis por vezes superiores a um metro. Na área de estudo ocorrem nos fundos das cabeceiras de drenagem, em locais de morfologia côncava e declividade reduzida, e nas planícies de inundação, notadamente no contexto de paleocanais do ribeirão do Cadete.

Alguns perfis latossólicos na bacia apresentam ocorrência de petroplintitas em horizontes concrecionários. As petroplintitas são formadas em geral em superfícies suaves e com sazonalidade hídrica acentuada, com restrições à percolação da água, sujeito assim ao efeito temporário do excesso de umidade (EMBRAPA, 1999). Na área de estudo ocorrem junto a perfis mais ou menos espessos, formando horizontes de acumulação de crostas fragmentadas ou preservadas, podendo estar vinculadas a perfis de intemperismo originários de uma antiga superfície hoje dissecada.

3.4. Clima

O clima da região segundo Nimer (1989) compreende os domínios climáticos Mesotérmico Brando Úmido e Superúmido e Mesotérmico Médio Superúmido. O clima Mesotérmico Brando Úmido é característico das áreas entre 900 e 1600 m de altitude, com ocorrência de verões brandos. O mês mais quente apresenta média inferior a 22°C. Os invernos mais frios apresentam média mensal em torno de 15°C, podendo chegar a temperaturas diárias abaixo de 0°C.

Já o domínio do clima Mesotérmico Médio se estabelece nas cotas mais elevadas, acima de 1600 m de altitude, com ocorrência de temperaturas brandas o ano todo. As temperaturas dos meses mais quentes são inferiores a 17°C, e a média anual é de 14°. A distribuição das precipitações obedece em grande parte ao condicionamento proporcionado pela orografia, com ocorrência de regimes úmidos e superúmidos. A Figura 3.7 demonstra as médias anuais de precipitação e temperatura para a bacia do rio Jaguari e a bacia do Cadete (SISCOM, 2007).

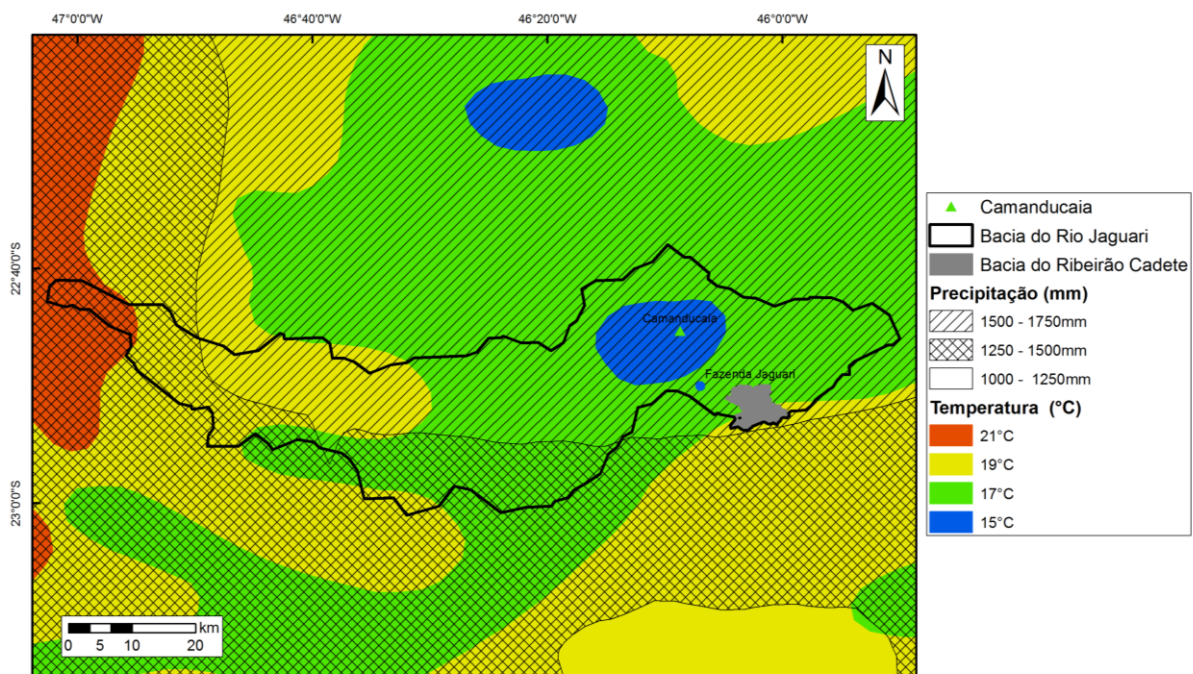


Figura 3.7 Pluviosidade e temperatura médias para a bacia de drenagem do rio Jaguari e ribeirão do Cadete.
Fonte: SISCOM (2007).

Segundo este mapeamento, a bacia em estudo está submetida a uma média de precipitação da ordem de 1500 a 1750 mm anuais, e uma média anual de temperatura de 19° C. A Figura 3.8 demonstra as médias mensais de temperatura máxima, mínima e precipitação

para a estação climatológica de Monte Verde, que apresenta dados que abrangem de 1961 a 1990 (Somar Meteorologia, 2011).

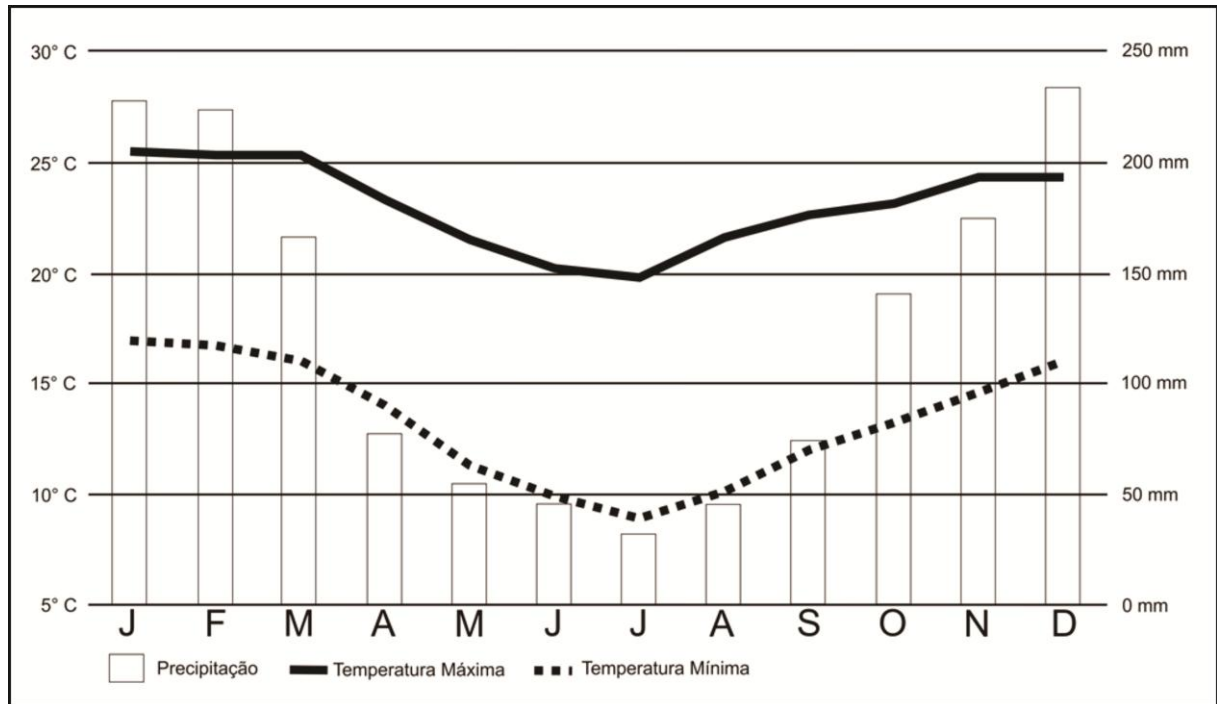


Figura 3.8: Gráfico com representação das médias de temperaturas mínima, máxima e pluviosidade mensais da estação climatológica de Monte Verde (Fonte: Somar Meteorologia, 2011).

Quadro 3.1: Valores médios mensais de temperatura máxima, mínima e precipitação da estação climatológica de Monte Verde, entre 1961 e 1990 (Fonte: Somar Meteorologia, 2011).

Mês	Temp. Min. (°C)	Temp. Máx. (°C)	Precipitação (mm)
Janeiro	16,9	25,5	228,1
Fevereiro	16,7	25,3	225,4
Março	16,0	25,3	166,4
Abril	14,0	23,3	77,4
Maio	11,3	21,5	54,9
Junho	9,9	20,2	46
Julho	8,9	19,8	32,2
Agosto	10,1	21,6	45,7
Setembro	12,0	22,6	74,3
Outubro	13,2	23,1	140,4
Novembro	14,6	24,3	174,6
Dezembro	16,0	24,3	233,9
Médias	13,3	23,0	Total anual: 1499,3

A precipitação na região varia e torno de 1500 mm anuais, sendo concentrados nos meses de Janeiro e Fevereiro, com seca de até um mês. O quadro anterior detalha os valores mensais dos mesmos dados. Com relação à história paleoclimática local, Siqueira (2006), através de uma análise polínica e datações, encontrou associações florísticas que indicam que o planalto de Monte Verde, onde está situada a bacia do ribeirão do Cadete, apresentou vegetação florestal desde o Último Máximo Glacial (23.000 a 19.000 antes do presente). Ou seja, se confirmadas essas condições, a região pode ter sido submetida a longos períodos de evolução morfológica sob condições úmidas e recobertas de vegetação florestal.

3.5. Vegetação

A região do Planalto de Monte Verde possui diversas associações florísticas que são fruto da elevada diversidade de ambientes proporcionados pelas condições fisiográficas como relevo, tipos de solos e topoclimas. De acordo com as definições do IBGE/IBDF (1993), ocorrem quatro principais formações:

- a) Floresta Ombrófila Densa: onde é característica a vegetação perenifólia, lianas lenhosas, epífitas em grande quantidade e um dossel de aproximadamente 30 m de altura;
- b) Floresta Ombrófila Mista: apresenta duas gimnospermas arbóreas que típicas nos estratos médio e superior: a *Araucaria angustifolia* (Bertol) O. Kuntze e o *Podocarpus lambertii* (Klotzsh ex Eichler), estas sendo entremeadas por espécies latifoliadas diversas.
- c) Floresta Estacional Semidecidual: apresenta espécies que apresentam queda de folhas durante a estação seca, bem como grande quantidade de lianas e menor quantidade de epífitas.
- d) Campos de Altitude: constitui uma formação com predomínio de herbáceas e gramíneas, bem como vegetação arbustiva e pteridófitas.

Demais formações são mais restritas e em geral são reflexo de condições físicas restritas, como a vegetação hidrófila, estabelecida sobre áreas saturadas, e vegetação rupestre, estabelecida sobre afloramentos rochosos. No contexto do Planalto de Monte Verde, boa parte da vegetação nativa foi removida, sendo substituída por áreas de pastagem, silvicultura, agricultura e áreas com diferentes graus de urbanização e ocupação tipo “chacreamento”.

No contexto da área de estudo, entretanto, apenas uma pequena fração da área possui interferência antrópica na forma de chácaras, sendo que o restante é coberto formado

por Floresta Ombrófila Mista, nas áreas mais baixas (~1.600 m), e Campos de Altitude, nas mais elevadas (~1.900 m).

3.6. Hidrologia

As informações hidrológicas aqui discutidas são referentes a áreas de drenagem superiores àquela da bacia em questão neste estudo. Desta forma, estas são colocadas em virtude de caracterização regional, não podendo ser transpostas diretamente para a área de drenagem do ribeirão do Cadete.

A maior parte dos postos fluviométricos do rio Jaguari, drenagem da qual o ribeirão do Cadete é tributário, encontra-se em seu médio e baixo curso, com destaque a porção de jusante do Sistema Cantareira, que abastece a região metropolitana de São Paulo (EIA PCH Tombo, 2002).

O posto fluviométrico posicionado mais a montante é o Fazenda Jaguari, situado onde a bacia drena aproximadamente 280 km². Este posto possui dados que abrangem o período entre os anos 1990 e 2000, sendo a vazão máxima registrada 20,2 m³/s, mínima de 2,28 m³/s e apresentando uma média de 5,77 m³/s. A série histórica das vazões máximas pode ser analisada no gráfico da Figura 3.9, que apresenta os dados do posto Fazenda Jaguari. Nesta série podemos notar o valor extremo que ocorre em 1995.

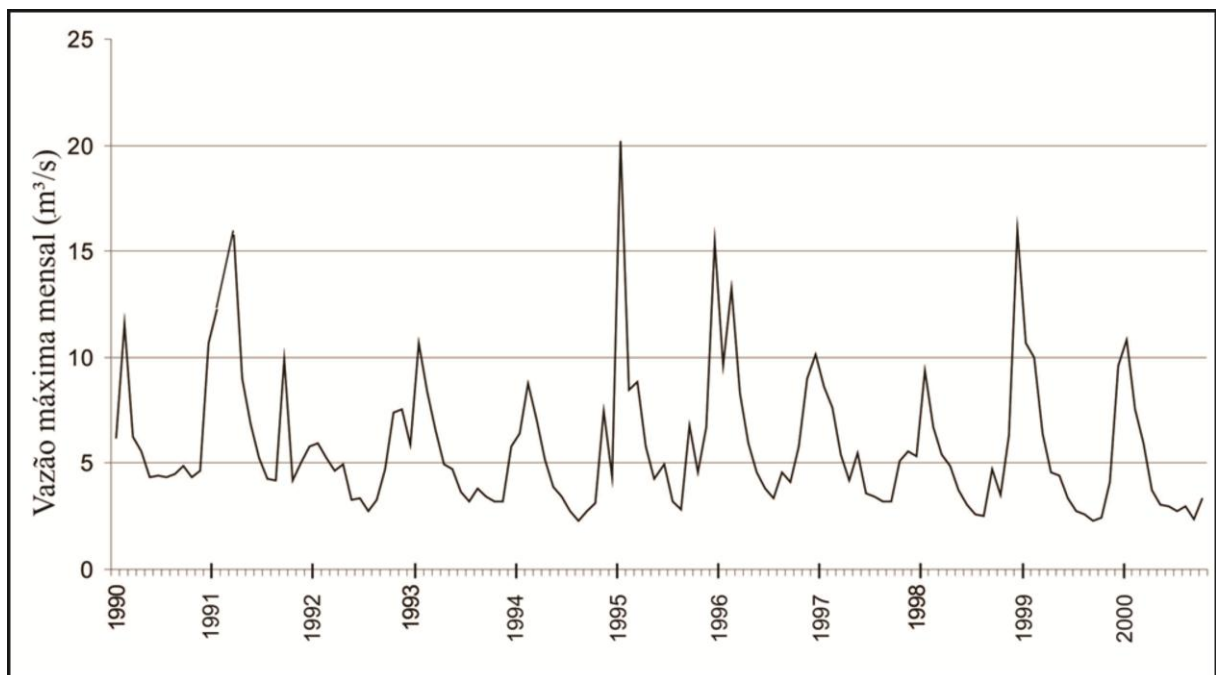


Figura 3.9: Série histórica, com as vazões máximas mensais no período de 1990 a 2000. Fonte: EIA PCH Tombo (2002).

A bacia de drenagem em estudo possui 3,15 km² e, a partir de uma relação simples entre área de drenagem e a média das vazões médias mensais do posto fluviométrico Fazenda Jaguari, no rio Jaguari, atribui-se para a mesma uma vazão média mensal de 0,06 m³/s. Entretanto, este valor pode apresentar uma variação para mais ou para menos difícil de ser mensurada apenas com dados disponíveis.

Desta forma, foi necessário correlacionar os indicadores levantados neste trabalho com a magnitude dos débitos calculados a partir de mensurações diretas no canal. A correlação com frequências de débitos seria possível se houvesse um posto fluviométrico próximo à área de estudo, o que não ocorre.

4. MÉTODOS

A primeira parte do trabalho foi definir as seções ao longo do ribeirão do Cadete, juntamente com a coleta sistemática de indicadores. Nessa fase ainda foi estimada a vazão para cada nível linimétrico, através da geometria e rugosidade do canal e a determinação da granulometria dos materiais presentes na calha e em perfis estratigráficos analisados na área de estudo. Posteriormente os dados foram tratados no âmbito dos algoritmos de classificação e associação. Os procedimentos relativos a cada etapa são descritos a seguir.

4.1. Definição de seções

Para a definição das seções, levou-se em consideração a existência de uma área com pouca intervenção antrópica, para facilitar a observação de um sistema em que predominem os controles geomorfológicos e bióticos no meio fluvial. A bacia de drenagem do ribeirão do Cadete apresenta diversos afluentes nessas condições. A porção do canal escolhida para o estudo é justificada pelas maiores vazões nesse ponto da drenagem, pois mais montante, supôs-se que a diminuição da dominância dos processos fluviais sobre a morfologia e aspectos bióticos nos fundos de vale poderia comprometer o estudo com foco nesta relação.

Definida a área aproximada na rede de drenagem, determinaram-se quais os locais mais adequados para o estabelecimento das seções, e a quantidade das mesmas. Considerando previamente as condições geomorfológicas da área, em termos de calha as feições mais marcantes são as sequencias de soleiras e depressões.

As soleiras são caracterizadas por calhas mais largas, cujo leito predominam sedimentos grosseiros, a relação largura/profundidade é maior que nas depressões, e o fluxo é turbulento. Já nas depressões, as calhas são um pouco mais estreitas, predominam sedimentos mais finos e o fluxo é laminar.

Levando em conta estas características, considerou-se adequado estabelecer seções em igual número para soleiras e depressões. Assim estabeleceu-se o levantamento de quatro seções, sendo duas em uma soleira e duas em depressões (Figura 4.1).



Figura 4.1: Levantamento em campo das informações referentes à geometria das seções na calha fluvial do ribeirão do Cadete-MG.

A extensão de cada seção foi definida de maneira que abrangesse toda a calha do ribeirão livre de vegetação densa, adicionado entre 1 e 3 m de superfície de planície aluvial ou terraço em cada margem.

A mensuração das seções foi realizada conforme procedimentos simples de topografia. Em cada seção foram estabelecidas uma ou mais estacas (piquetes) bem fixas e identificadas, através do qual cada medição de desnível e distância estará amarrada. Os instrumentos utilizados, apesar de simples, permitiram a leitura com precisão na escala de centímetros.

Posteriormente, com os dados foi elaborada uma planta simples cuja posição entre as estacas foi definida através de trena e bússola. Também foram tomados pontos com GPS de mão da marca Garmin, modelo Etrex®, cujo erro padrão é de aproximadamente 15 m, com finalidade de localização da área de estudo.

Este procedimento de mapeamento foi realizado tanto para o estabelecimento da geometria da seção e seus parâmetros derivados quanto ao levantamento de indicadores naturais. Também foi mensurada a declividade da lâmina d'água para subsidiar os cálculos de vazão.

A declividade foi levantada em intervalos regulares (a cada 5 m) onde foram estabelecidos pontos de controle (P0 a P8), sendo a diferença de cota medida com o nível de mangueira no trecho inteiro onde das seções. A declividade de cada seção foi determinada

calculando-se a diferença de cota entre as seções logo a montante e a jusante desta, e transformando esse valor em unidades m/m.

Para a coleta dos indicadores, foi anotada uma sequência de pontos (cujas posições são explicadas na seção seguinte), em cada uma das seções, com levantamento dos indicadores considerados no estudo. Cada ponto teve seus atributos anotados segundo as classes pré-definidas dos indicadores, gerando uma planilha de dados de campo com dados referentes à posição e características dos indicadores.

Após a definição da posição das seções, uma avaliação geral da geomorfologia local foi realizada, situando as principais superfícies deposicionais em relação às estacas de referência, com auxílio de uma trena, permitindo a elaboração de um croqui geomorfológico.

4.2. Seleção e coleta de indicadores

Dentre os indicadores pré-definidos para aferição em campo, foram considerados aspectos relacionados a marcas de cheias e *trashpoints* (Kidson et al., 2005); depósitos de águas paradas (Kochel e Baker, 1982; Benito et al., 2003); depósitos grosseiros (Costa, 1983); cicatrizes de impacto em árvores ripárias (Zielonka et al., 2008; Ruiz-Villanueva et al., 2010); serrapilheira, dossel (Pike e Scatena, 2010), padrões de vegetação (Hupp, 1988), bem como rupturas de declive na seção (Leopold et al., 1964).

Considerou-se inicialmente a coleta dos possíveis indicadores no contexto das seções, associados ainda a características que são presentes em qualquer ponto da seção: serrapilheira, substrato (sedimentos), tipos de vegetação e dossel.

Criou-se assim um banco de dados onde existe um indicador principal e, associado a este, dados de serrapilheira, sedimentos, vegetação e dossel. Entretanto, com o decorrer do levantamento, observou-se, com relação a estes indicadores principais, a escassez de padrões que justifiquem alguma relação com fluxos fluviais.

Marcas de cheia ou detritos acumulados foram observados em alguns pontos isolados, mas com representatividade reduzida, considerando-se que nesta fase procurou-se indicadores que pudessem ser facilmente identificados e que existissem em grande quantidade. Podemos tomar como exemplo estudos que relacionam determinados indicadores com níveis linimétricos, como em Hupp (1988), que levantou 200 indicadores (árvores) para correlacionar com débitos.

Depósitos grosseiros também foram observados, mas assumiu-se que a determinação de débitos pela magnitude dos sedimentos seria um procedimento de difícil

execução e não resultaria em um limiar específico na calha. Tal indicador assim não serviria aos propósitos deste estudo.

Cicatrizes de impactos em árvores ripárias seriam feições onde se poderia não apenas delimitar zonas de alcance de fluxos extremos, mas também sua frequência, através da aplicação de métodos de dendrocronologia (Alestalo, 1971), entretanto, a área em questão não apresentou número suficiente de troncos ou raízes de árvores com cicatrizes de impactos, devido possivelmente à natureza menos expressiva dos processos extremos nesse ponto da drenagem, onde os fluxos mais elevados tendem a se distribuir pela planície aluvial.

Os depósitos de águas paradas, que necessitam de condições físicas específicas para sua formação (Baker, 1987), se mostraram de ocorrência pouco frequente, ou mesmo inexistente na área em questão, estando restritos a pequenas confluências com canais de menor magnitude em relação ao ribeirão do Cadete.

A consideração de espécimes da vegetação de forma isolada, como *Dycsonia selowiana*, *Myrtaceae* sp., também não se mostrou produtiva, devido à pequena quantidade desses indivíduos levantados ao longo das seções.

Desta forma, criou-se um banco de dados cujos indicadores definidos para o posicionamento do ponto de coleta apresentam relevância reduzida em relação aos fluxos, principalmente pela ocorrência escassa de alguns desses, mas todos os pontos foram associados a dados de natureza biológica e física, ou seja, vegetação, serrapilheira, dossel e sedimentos. Estes dados podem ser verificados no Apêndice 2.

Optou-se assim por excluir estes indicadores principais, que definiram a posição de cada ponto na seção, considerando-se apenas os indicadores coletados de maneira comum a todos os pontos, que totalizaram em uma maior quantidade de dados, passíveis de uma relação mais consistente com os níveis de débitos.

Foram utilizados, portanto, os quatro indicadores coletados em todos os pontos, a serem explorados na relação com os débitos: padrão de vegetação, serrapilheira, dossel e sedimentos. A opção de utilização desses indicadores no início do trabalho foi baseada principalmente no trabalho de Pike e Scatena (2010), sendo que a descrição de cada um deles, com os procedimentos de coleta e avaliação, é feita com mais detalhes nas seções seguintes.

-Padrões de vegetação

Com relação ao padrão de vegetação ripária, Osterkamp e Hupp (1984) destacam que este possui ampla interação com as descargas fluviais, sendo comum a relação entre

frequência dos fluxos e o porte da vegetação ao longo da seção. Dessa forma, a maneira como ocorre a vegetação foi organizada em classes de forma que estas pudessem ser relacionadas a determinado nível linimétrico.

A vegetação, de acordo com diversos autores (vide levantamento bibliográfico) interage em termos de desenvolvimento e distribuição de diversas formas e intensidades junto às calhas fluviais. Supôs-se, nessa fase do trabalho, que o porte da vegetação teria relação com a variação de cota dos fluxos. Sigafos (1961) encontrou uma relação relevante entre o padrão fitofisionômico da vegetação ripária e diferentes recorrências de débitos de um canal fluvial, enquanto que Pike e Scatena (2010) relacionaram o porte e tipo de vegetação diretamente com as cotas linimétricas e frequências relacionadas.

Com o intuito de facilitar o trabalho de coleta, considerando que este não seria o único indicador, escolheu-se classificar a vegetação segundo o porte da mesma, seguindo os procedimentos de Pike e Scatena (2010).

As classes de vegetação definidas seguiram uma abordagem próxima das classificações fitofisionômicas da vegetação (e.g. Kuechler, 1949). Primeiramente verificou-se a adequação das classes utilizadas por Pike e Scatena (2010) em seu estudo em Porto Rico, que foram organizadas da seguinte forma: 0 - musgos e líquens (< 30 cm); 1 - ervas e samambaias (30 – 60 cm); 2 - gramíneas (60 – 90 cm); 3 - arbustos (90 – 120 cm) e; 4 - árvores (> 120 cm).

Esta organização de classes foi comparada à situação da vegetação presente na área de estudo, e concluiu-se que em grande parte as classes não corresponde ao observado na área de estudo. Com exemplo, são raras as gramíneas na área e estas ocorrem com distribuição aleatória que pouco pareceram, a princípio, ter relação com determinadas cotas linimétricas.

Optou-se, portanto, simplificar as classes para este estudo, considerando quatro principais classes baseadas no porte da vegetação normalmente encontrada neste trecho marginal ao ribeirão do Cadete: 1 - Padrão herbáceo: inclui plantas com porte até 0,5 m; 2 - Padrão arbustivo: porte entre 0,5 e 3,0 m; 3 - Padrão arbóreo: porte acima de 3,0 m e 4 - Padrão nulo: ausência de vegetação na abrangência do ponto de coleta.

O padrão Herbáceo inclui qualquer vegetação rasteira que não ultrapasse 0,5 m, como pteridófitas, plântulas jovens e, por vezes, gramíneas, musgos e líquens. Na área de estudo esta ocorre mais frequentemente junto à calha, onde recebe mais luminosidade direta, medrando sobre a porção mais elevada de barras, ou sobre a barranca quando esta não está coberta por dossel muito fechado (Figura 4.2). Segundo Hupp e Osterkamp (1996), vegetação

de pequeno porte, herbácea, pode se estabelecer sobre formas deposicionais, como barras, onde podem ficar recobertas por água até 40% do tempo.



Figura 4.2 Exemplo de padrão de vegetação herbácea na área de estudo. A escala possui 1 m. Fotografia de 01-03-2012.

O padrão arbustivo considera principalmente arbustos comuns ao gênero *Myrciaria*, que no contexto da área de estudo apresentam desde espécimes mais jovens, normalmente estabelecidos junto de barras ou na borda da planície aluvial, até mais velhos, na planície aluvial, com diâmetros na altura do peito superiores a 20 cm.

Entretanto, tais espécimes são mais comuns no porte arbustivo e encontrados junto à calha, possuindo no máximo 3,0 m de altura, com galhos pendentes sobre a calha. Segundo Hupp e Osterkamp (1996), arbustos ripários em geral se estabelecem junto à calha, submetidos a inundações com frequências entre 5 e 25% do tempo.



Figura 4.3 Exemplo de padrão de vegetação arbustivo, com plantas apresentando em torno de 1 m de altura, presentes na área de estudo. Escala com 1 m. Fotografia de 01-03-2012.

Com relação ao padrão arbóreo, este indicador é relativo à formações mais desenvolvidas de porte superior a 3,0 m na área de estudo, cujo dossel pode variar entre 10 e 20 m de altura. São presentes árvores de espécies comuns à Floresta Ombrófila Mista, como a *Araucaria angustifolia* (pinheiro-do-paraná), a *Dicksonia sellowiana* (xaxim) e o *Podocarpus* sp. (Figura 4.4).



Figura 4.4 Exemplo de padrão de vegetação predominantemente arbórea, presente na planície de inundação da área de estudo. Fotografia de 01-03-2012.

No estudo de Meireles et al. (2008), realizado em uma área florestada próxima ao local de estudo (~3 km), ao longo de uma parcela que compreende o topo da vertente ao fundo do vale, as principais famílias de vegetais arbóreos encontrados foram Myrtaceae, Melastomataceae, Proceaceae e Winteraceae.

As espécies da família Myrtaceae são comuns na área de estudo e podem ser observadas em associação com ambientes fluviais. Com relação à *Araucaria angustifolia*, embora na literatura esta espécie não seja diretamente relacionada a ambientes fluviais, esta é facilmente identificável e ocorre comumente na planície de inundação da área de estudo, sendo inclusive encontrada junto à calha (Figura 4.5).



Figura 4.5 Fuste de *Araucaria angustifolia* posicionado junto à calha na margem direita da seção S1. Nota-se também a presença de folhagens de *Dicksonia sellowiana*. Fluxo da direita para a esquerda.

O padrão arbóreo é mais frequentemente observado no contexto da planície aluvial local, ocorrendo indivíduos bem desenvolvidos, e com sub-bosque pouco denso. Possui também espessa camada serrapilheira. Segundo Hupp e Osterkamp (1996), a planície aluvial normalmente habitada por vegetação arbórea apresenta recorrências de cheias entre 1 e 3 anos. Sobre os terraços também medram vegetações de porte arbóreo, embora os mesmos autores supracitados considerem que se pode desenvolver uma assembleia distinta daquela presente na planície aluvial, devido à menor vinculação com os processos fluviais.

O padrão de vegetação definido como nulo foi acrescentado à classificação, pois se teve a necessidade de completar com informação relativa à vegetação nos pontos em que ela não existe, mas ocorrem demais indicadores aqui considerados, como nas áreas centrais da calha do ribeirão do Cadete.

A análise preliminar em campo permitiu averiguar a presença de algumas espécies comuns a estes ambientes, como as do gênero *Myrciaria*, e que poderiam servir a trabalhos futuros como possíveis espécies indicadoras de processos fluviais. No presente trabalho, os padrões de vegetação não foram considerados ao nível de espécies devido ao sobre trabalho de identificação sistemática, dado o tempo o tempo disponível ser limitado.

-Serrapilheira

O material denominado serrapilheira constitui a camada de material orgânico com diferentes níveis de decomposição presente sobre o solo de áreas com presença de vegetação. Para este estudo foi considerado apenas o material orgânico fino, sendo composto basicamente por folhas e galho de pequena dimensão, que forma uma cobertura homogênea e contínua quando a superfície sob a floresta não apresenta perturbações.

Segundo Backes et al. (2005), em estudo realizado em Floresta Ombrófila Mista, a produção total de serrapilheira não varia substancialmente ao longo do ano. Dessa forma, assume-se neste trabalho que, independentemente da época do ano, com maior ou menor fluxo na calha ou precipitações, a serrapilheira é depositada continuamente no ambiente recoberto pelo dossel da Floresta.

Com estas considerações, temos que a variação do fluxo pode remover a serrapilheira acumulada progressivamente quando atinge níveis em que esta foi acumulada. Assim, supôs-se que a remoção seja mais intensa próximo ao canal, onde o fluxo está presente com maior frequência, e menos intensa nas porções da calha, aonde os fluxos chegam com menos frequência.

Este indicador também foi baseado no trabalho de Pike e Scatena (2010), sendo a definição de classes idêntica à desse estudo: 1 - Contínua: quando a serrapilheira apresenta uma cobertura desenvolvida com diferentes níveis de decomposição, recobrindo toda a área considerada pelo ponto de coleta, sem falhas ou remoções evidentes por fluxos fluviais. Este padrão ocorre comumente na região da planície aluvial, sendo menos frequente quanto mais próximo da linha do talvegue (Figura 4.6).



Figura 4.6 Exemplo de cobertura de serrapilheira contínua, presente na área de estudo. A escala possui 1 m. Fotografia de 01-03-2012.

2 - Descontínua: quando a cobertura ocorre em pontos isolados e desconexos. Este padrão é comum nas áreas de transição entre a calha do ribeirão e a planície aluvial, onde se considerou que os fluxos chegam com maior frequência, removendo parte da serrapilheira acumulada ao longo do tempo em que o fluxo não estava presente. Nessas áreas também podem ocorrer acumulações descontínuas providas pelo próprio fluxo fluvial, estas também classificadas como cobertura descontínua (Figura 4.7).



Figura 4.7 Exemplo de cobertura de serrapilheira descontínua, presente na área de estudo. A escala possui 1 m. Fotografia de 01-03-2012.

3 - Inexistente: nos locais em que não está presente devido remoção pelo fluxo. Nos trechos da calha onde os fluxos são tão frequentes a ponto de impedir o acúmulo de qualquer serrapilheira, como, por exemplo, nos níveis relacionados ao fluxo de base. Se considerarmos que a serrapilheira cai continuamente nos locais submetidos a fluxos e esta não se acumula, este pode ser um débito próximo àquele que permanece 100% do tempo no canal (Figura 4.8).



Figura 4.8 Aspecto da cobertura de serrapilheira inexistente na área de estudo. A escala possui 1 m. Fotografia de 01-03-2012.

A serrapilheira é um material de acúmulo superficial que pode estar submetida à influência a outros processos, como o escoamento superficial, remoção por bioturbação (animais), ou redução de acúmulo devido à declividade do terreno, bem como o transporte de serrapilheira pelo próprio fluxo de montante, que pode ser depositado em diferentes áreas da calha. Embora tais processos sejam menos evidentes que a dinâmica fluvial, eles podem ocorrer e acabam por constituir parte do erro do indicador.

A não ser quando o processo de remoção distinto do fluvial é evidente, como na bioturbação, em todos os demais casos, foi computado o dado como se apresenta em campo. Considerou-se que, se outros processos forem tão relevantes quanto a variação de fluxos, o tratamento posterior com utilização de correlação entre indicadores e fluxos revelará que não existe relação entre serrapilheira e fluxos.

Ainda segundo o trabalho de Backes et al. (2005), o total de acúmulo de serrapilheira na Floresta Ombrófila Mista é superior ao de outras fitocenoses tropicais, o que

indica a tendência de acúmulo de material, devido à lentidão do processo de decomposição pois, para a renovação, o tempo necessário é superior a um ano. Aventou-se que esta característica contribuiria para a delimitação do setor da calha em que os fluxos estão presentes pelo menos uma vez por ano.

-Dossel

O indicador dossel pretendeu avaliar se existe alguma relação entre a posição linimétrica de determinados fluxos fluviais e a cobertura proporcionada pela vegetação. O dossel, pelas suas características, também pode apresentar relação com demais fatores de natureza biológica, como a cobertura de serrapilheira e padrões de vegetação. Pike e Scatena (2010) utilizaram este indicador em seu levantamento e, embora não o correlacionarem diretamente com fluxos fluviais, foi observado que este componente é importante definidor de ambientes.

Como exemplo, destacaram que em ambiente de dossel completamente fechado, a vegetação de porte menor e fortemente dependente de luminosidade, como as gramíneas, são escassas, bem como a cobertura fica progressivamente fechada da calha em direção à planície aluvial ou vertente. Brokaw (1982) destaca que aberturas na floresta, onde a luminosidade pode entrar com maior intensidade, permitem o desenvolvimento de espécies tipicamente pioneiras, heliófitas.

Desta forma, escolhemos também utilizar este indicador pela sua relevância junto a tipologias de vegetação que dependem de uma maior ou menor luminosidade, e também na relação como produtor de serrapilheira. O fluxo canalizado em meio à vegetação ripária por vezes permite uma abertura no dossel semelhante a uma clareira, e esta pode estar relacionada com a ocorrência de um padrão específico de vegetação.

Pike e Scatena (2010) não descrevem em pormenores a maneira com que realizaram a coleta de dados sobre a cobertura de dossel, mas descrevem as classes que utilizaram: 0 – Nulo: dossel completamente aberto, com luminosidade total; 1 – Sombra parcial: sob dossel, mas recebe luminosidade indireta através de aberturas; 2 – Sombra total: sob dossel fechado e; 3 – Dossel arbóreo: dossel com dominância de vegetação arbórea.

Para utilizar este indicador, procedemos a elaboração de uma classificação de graus de abertura do dossel, onde diferentes tipos de dosséis seriam enquadrados através da observação direta na área delimitada pelo ponto de coleta em questão. As classes foram

definidas de acordo com a verificação prévia em campo, e ajustadas de acordo com as condições gerais do dossel na área de estudo.

No local são destacadas três principais características com relação ao dossel. A primeira se refere ao estrato arbóreo da floresta no local, possuindo em geral mais de 10 m de altura, e que imprime forte sombreamento nas áreas de fundo de vale. A segunda é referente à faixa que quebra esta continuidade no dossel arbóreo, referente à calha do ribeirão do Cadete (Figura 4.9).



Figura 4.9 Exemplo do estrato arbóreo localizado próximo à área de estudo, e a abertura no dossel desse estrato devido à presença da calha do ribeirão do Cadete.

Esta faixa de quebra no dossel é descontínua, tendo locais em que este pode recobrir completamente a calha formando uma espécie de mata de galeria, sendo que tais setores de recobrimento total aparentemente são mais frequentes quanto mais a montante no canal. E a terceira característica refere-se ao dossel arbóreo superior, dominado por espécimes de *Araucaria angustifolia*. Embora sejam frequentes na área de estudo, o espaçamento relativo em que tais árvores ocorrem localmente, e o porte elevado dos mesmos em relação ao dossel arbóreo inferior, estas não chegam a constituir um dossel completamente fechado para os estratos situados abaixo.

Assim, em função destas características, delimitamos quatro classes de abertura de dossel, definidas da seguinte forma: 1 - Aberto: quando a falha na cobertura do dossel apresentou um mínimo de 5,0 m de diâmetro acima do ponto aferido, sem considerar o extrato emergente, composto por *Araucaria angustifolia*; 2 - Aberto parcial: entre 2,0 e 5,0 m de

abertura do dossel; 3 - Fechado parcial: entre 2,0 m e dossel contínuo, e 4 - Fechado: se restringe a locais com dossel completamente fechado.

O procedimento de coleta inicia-se com o estabelecimento do ponto de coleta de indicadores, situado junto à seção a ser levantada. Estabelecido o ponto, verificou-se se o dossel apresenta abertura numa linha vertical a partir do ponto. Ao ser observada alguma abertura, mensurou-se com a trena, junto ao nível do solo, a abrangência dessa abertura, de acordo com as medidas descritas no parágrafo anterior. Caso não fosse observada nenhuma abertura no dossel, esta seria classificada como fechado. Nas figuras seguintes são mostrados exemplos de diferentes aberturas no dossel enquadradas nas classes definidas (Figura 4.10, Figura 4.11, Figura 4.12 e Figura 4.13).



Figura 4.10 Exemplo de dossel na classe definida como aberto (o extrato emergente não é considerado).
Fotografia capturada sob vegetação situada junto à área de estudo. Fotografia de 01-03-2012.

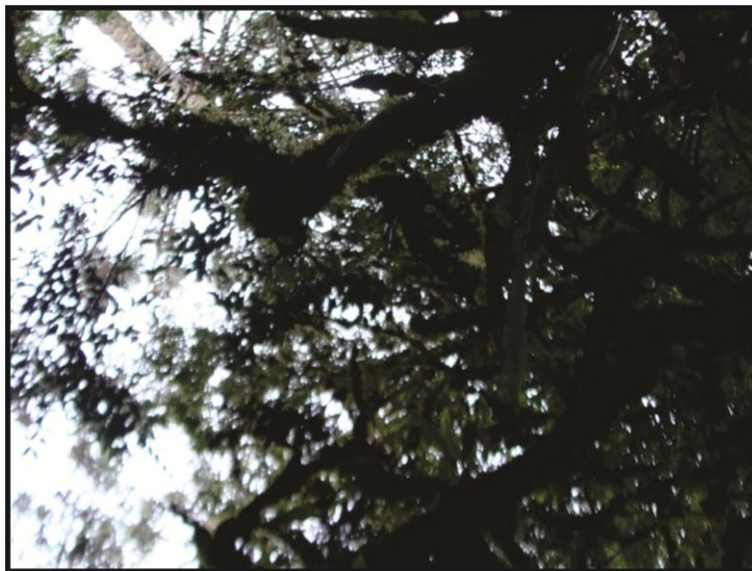


Figura 4.11 Exemplo de dossel na classe aberto parcial, em vegetação situada junto à área de estudo. Fotografia de 01-03-2012.



Figura 4.12 Exemplo de dossel na classe fechado parcial, em vegetação situada junto à área de estudo. Fotografia de 01-03-2012.



Figura 4.13 Exemplo de dossel na classe fechado, em vegetação situada junto à área de estudo. Fotografia de 01-03-2012.

-Sedimentos

Neste estudo, o termo sedimento se refere aos depósitos aluvionares existentes na calha e nas margens, estes dão suporte à vegetação, modificam, e são modificados pelos fluxos. A consideração do tipo de material sedimentar no contexto do ambiente fluvial é fundamental, uma vez que este tem relação com os processos dominantes, bem como na definição da morfologia fluvial. Tais materiais devem ser caracterizados em qualquer estudo que leve em conta a dinâmica fluvial.

No estudo de Pike e Scatena (2010), os materiais que constituem os ambientes estudados foram descritos como “substrato”, em alusão ao seu papel no sustento da vegetação. No trabalho desses autores, o indicador substrato foi dividido em cinco classes: 0 – solo/argila; 1 – areia, silte; 2 – seixo; 3 – bloco/matacão e 4 – embasamento. Segundo os autores, esse indicador foi relevante uma vez que a presença de substrato argiloso, associado a outros indicadores, como vegetação arbórea, foi correlacionado ao nível de margens plenas na área de estudo em Porto Rico.

O trabalho de Pike e Scatena (2010) ainda levou em consideração o indicador solo, classificado em inexistente, descontínuo e contínuo. Não utilizamos este indicador pois a área em questão é composta basicamente por depósitos aluvionares recentes, não sendo reconhecíveis perfis de solos desenvolvidos.

No presente estudo, foi levada em conta a predominância determinados tipos de materiais existentes na área. De forma geral, os sedimentos podem ser distinguidos em duas ocorrências marcadamente distintas: os sedimentos grosseiros e os sedimentos finos, sendo o primeiro tipo mais presente juntos da calha, e o segundo, nas áreas além da calha, como na planície aluvial. Dessa forma, em função das características locais, o indicador sedimentos foi dividido em duas classes: 1 – Grosseiro e 2 – Fino.

A maneira de aferição em cada ponto considerado das características do indicador sedimento foi feito através da constatação visual característica predominante, se fina ou grosseira. Tendo como base o ponto central de interesse, definiu-se uma área de aproximadamente 1 m² ao redor do mesmo, com auxílio de uma régua de madeira. Delimitada esta área, avaliou-se a predominância de um tipo ou outro de sedimento e marcou-se o dado na planilha na área referente ao ponto (Figura 4.14).



Figura 4.14 Exemplo de indicador sedimento “grosseiro”, presente na área de estudo. A escala possui 1 m.
Fotografia de 01-03-2012.

No caso de áreas fora da calha do ribeirão do Cadete, a cobertura de serrapilheira encobria o material sedimentar de natureza mineral, exigindo-se que retirasse esta camada superficial com auxílio de uma pequena enxada, em diferentes pontos de modo que se cobrisse aproximadamente a área do ponto onde os dados referentes aos indicadores estavam sendo levantados (Figura 4.15).



Figura 4.15 Exemplo de indicador sedimento “fino”, presente na área de estudo. A camada superficial de serrapilheira foi removida evidenciando a natureza fina dos sedimentos no ponto. A escala possui subdivisões de 20 cm. Fotografia de 01-03-2012.

Com relação à granulometria desse indicador, inferiu-se que, grosso modo, os finos sejam constituídos predominantemente por areia, silte e argila, e os grosseiros por medidas superiores a grânulos. Para confirmação da granulometria predominante dos indicadores levantados, amostras de sedimentos para análise sedimentológica foram coletadas nas seções levantadas, da porção superficial do terreno, excluindo-se a serrapilheira quando esta era presente.

Nos trecho de calha onde predominavam sedimentos grosseiros, em geral com tamanhos acima de seixos, não foi realizada coleta de amostra, em função do tamanho necessário quando em sedimentos dessa magnitude (Wentworth, 1926 *apud* Kondolf et al., 2003), sendo que foi realizado um levantamento através da medição direta de clastos, seguindo o método de Wolman (1954).

O levantamento de campo foi realizado no período compreendido pelos meses de outubro, novembro e dezembro de 2010, início da estação chuvosa na região. Embora o estudo não compreenda análises temporais dos processos fluviais, tomou-se a precaução de realizá-lo antes do período de ocorrência de fluxos mais elevados, que são mais comuns a partir do mês de janeiro, pois o mesmo dificultaria os levantamentos junto à calha.

4.3. Estimativa de vazões

A medição da vazão envolve a aquisição de dados de duas variáveis básicas, sendo uma vinculada à geometria do canal, ou seja, a área da seção, e outra, à velocidade do fluxo. Os estudos paleohidrológicos envolvem a estimativa de fluxos que já não estão mais disponíveis para a medição da velocidade, portanto, a mesma é retirada da função hidráulica que relaciona a geometria do canal e a declividade. Tais relações foram calculadas de acordo com os enunciados de Collischon e Tassi (2008). Dentre as equações mais comuns para estimativa da velocidade, utilizamos a de Manning:

$$u = \frac{R_h^{2/3} \cdot S^{1/2}}{n} \quad (3)$$

Onde u é a velocidade média da água em m/s-1; R_h é o raio hidráulico da seção transversal; S é a declividade (m/m) e n é um coeficiente empírico, conhecido como coeficiente de Manning, descrito posteriormente. O raio hidráulico é obtido através da relação entre a área de escoamento e o perímetro molhado, definido por

$$R_h = \frac{A}{P} \quad (4)$$

Onde A é a área (média da profundidade multiplicada pela largura da seção) e P é o perímetro molhado. O perímetro molhado é definido pela equação

$$P = B + 2y \quad (5)$$

Que é aplicada em seções retangulares onde B é a largura e y a profundidade. Já canais com maior rugosidade, como os naturais, o perímetro molhado corresponde à linha de contato do líquido com a fronteira sólida da seção do canal.

A declividade é colocada em termos adimensionais, ou seja, em metros por metro, enquanto que o coeficiente de Manning “ n ” é obtido através das características da rugosidade da seção. Este coeficiente é estimado com base em características observadas no canal, sendo computados diversos atributos de forma qualitativa que ao final resultam no parâmetro n , através da fórmula proposta por Cowan (1956):

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m \quad (6)$$

Onde n_b é o valor básico de n para um canal retilíneo e livre de obstruções e em função dos materiais naturais em que ele se estabelece; n_1 é o fator de correção para o efeito das irregularidades da superfície, n_2 é o valor das variações em forma e tamanho da seção do canal, n_3 é referente às obstruções, n_4 corresponde à importância da vegetação e m é o fator de correção para todos os demais em função da sinuosidade do canal. Para a definição dos valores necessários a obtenção de n , foi utilizada as classes padrão apresentadas no Quadro 4.1.

Quadro 4.1 Valores do coeficiente de Manning (n) de acordo com as condições do canal. Adaptado de Arcement e Schneider (1989).

Condição do canal		Valores	
Material envolvido	Rocha	N_b	0.025
	Solo		0.025-0.032
	Areia (0.2-2 mm)		0.026-0.035
	Seixo (2-64 mm)		0.028-0.035
	Cascalho (64-256 mm)		0.030-0.050
	Matacão (>256 mm)		0.040-0.070
Grau de irregularidade	Liso	n_1	0.000
	Insignificante		0.005
	Moderado		0.010
	Severo		0.020
Variações na seção transversal	Gradual	n_2	0.000
	Alternado ocasionalmente		0.005
	Alternado frequentemente		0.005-0.015
Efeito relativo das obstruções	Desprezível	n_3	0.000
	Insignificante		0.010-0.015
	Apreciável		0.020-0.030
	Severo		0.040-0.060
Vegetação	Baixa	n_4	0.005-0.010
	Média		0.010-0.025
	Alta		0.025-0.050
	Muito alta		0.050-0.100
Grau de sinuosidade	Insignificante	m	1.000
	Apreciável		1.150
	Severa		1.300

Foram definidos os valores de n para as quatro seções de acordo com a cota e características do leito em cada nível, o que foi possibilitado pelo levantamento de detalhe das características de cada seção, com descrição dos materiais e suas respectivas condições de rugosidade.

Com o intuito de buscar um maior detalhamento na estimativa de vazões, estas foram calculadas para cotas com intervalos de 0,1 m. Foram determinados os devidos parâmetros geométricos necessários para a execução da fórmula e levantado dos valores de n específicos de cada atributo. A Figura 4.16 exemplifica a maneira como os valores foram considerados para cada nível da seção.

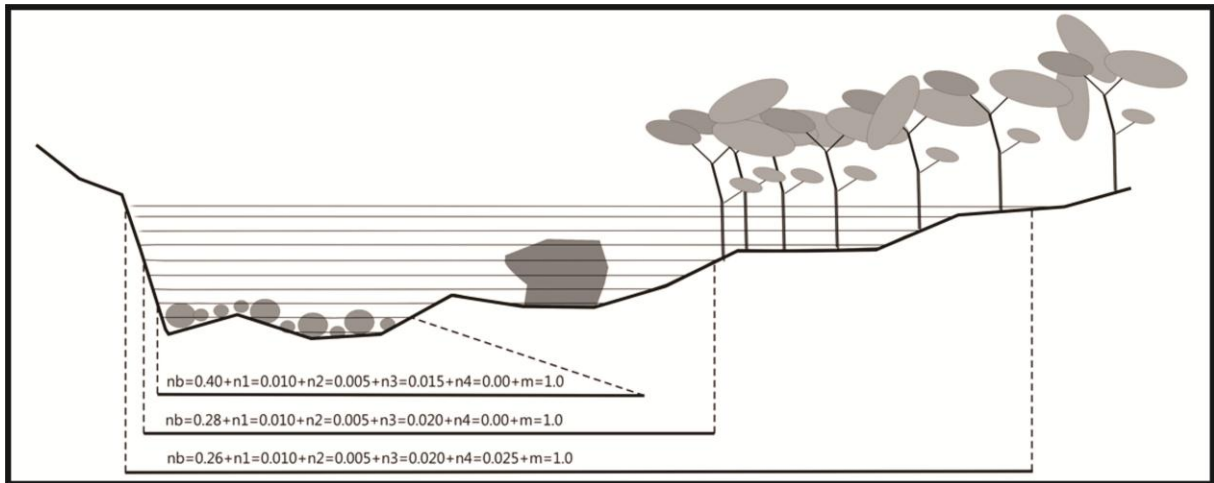


Figura 4.16 Exemplo de como cada parâmetro foi inferido nas cotas das seções da área de estudo. Os valores representam a composição da fórmula de Cowan (1956), que resulta no n da fórmula de Manning.

A atribuição dos valores para cada cota foi feita posteriormente ao levantamento dos demais indicadores considerados nesse estudo e da determinação da topografia da seção. As condições de materiais envolvidos e vegetação foram obtidas com os indicadores referentes à vegetação e material de composição da calha (sedimentos) e as irregularidades, variações na seção, obstruções e sinuosidade foram obtidas com a topografia das seções. Para checagem as condições das seções, também foram avaliadas fotos das seções, conforme sugestão de Arcement e Schneider (1989). Tais fotos estão presentes no Apêndice 9.

Com relação ao papel de cada atributo na calha que tem relação com a rugosidade, Arcement e Schneider (1989) considera que o material envolvido na calha é uma das principais características referentes ao grau de rugosidade, pois se dá suporte do fluxo e está relacionado à escala em que os demais parâmetros geométricos são considerados para determinação da vazão. Como exemplo, a rugosidade em um canal com matacões é muito superior àquela de um canal compreendido por apenas por material arenoso ou argiloso.

Embora os materiais envolvidos sejam importantes, a rugosidade também é afetada pelos demais fatores descritos na fórmula de Cowan (1956). Esta fórmula, embora lide apenas com variáveis qualitativas, avaliadas pela observação direta da calha fluvial ou

planície aluvial, procura organizar tais informações e gerar um coeficiente n o mais preciso o possível, embora o erro ainda seja elevado. Herchy (1985) considera normal um erro entre 10 e 20% na estimativa de vazões pela equação de Manning.

Os materiais da calha foram avaliados segundo os procedimentos descritos por Arcement e Schneider (1989). Com relação à irregularidade, os autores destacam àquelas presentes principalmente em canais cuja relação largura/profundidade é pequena, como barrancas erosivas com materiais depositados ou raízes de árvores, situações que fazem a rugosidade aumentar.

Variações no formato da calha também podem causar mudanças no grau de rugosidade. Esta não é severamente afetada se tais mudanças na morfologia forem graduais, mas, do contrário, o valor de n tende a aumentar consideravelmente. Estreitamentos abruptos podem elevar a rugosidade de forma considerável.

O efeito de obstruções no canal também é levado em conta quando estimada a rugosidade. Tais obstruções podem ser troncos, grandes matacões, estacas, pontes, ou qualquer objeto em meio à calha que pode afetar o fluxo. A interferência na rugosidade será em função da forma, tamanho, número e arranjo dessas obstruções na calha. Outro fator que foi levado em conta é a influência a jusante de determinada obstrução, que é mais forte quanto mais rápido for o fluxo.

A vegetação também tem um papel importante no aumento da rugosidade, sendo que esta deve ser avaliada em função da profundidade do fluxo, da porção de perímetro molhado que a vegetação recobre, da densidade da vegetação e do alinhamento dos agrupamentos de vegetação. Em canais estreitos com barrancas íngremes e vegetação densa, o valor de ajuste máximo é de aproximadamente 0,03. Para valores superiores a este, a aplicação é adequada apenas a canais onde a vegetação cobre a maior parte deste.

A sinuosidade depende do grau de meandramento que determinado canal possui, sendo que a rugosidade é menor para sinuosidades inferiores a 1,2; moderada entre 1,2 e 1,5 e severa para aquelas superiores 1,5. O grau de sinuosidade foi obtido pela relação entre comprimento do canal e o comprimento do vale no trecho compreendido pelas seções.

4.4. Ensaio de granulometria

Visando a caracterização sedimentológica dos materiais estudados, a coleta de amostras para análise granulométrica foi dividida em dois grupos, sendo um considerando

amostras coletadas junto da linha das seções, e outro de amostras coletados ao longo de um perfil estratigráfico situado em uma das seções.

Amostras foram coletadas em intervalos regulares ao longo das quatro seções em estudo. O intervalo médio estabelecido foi de uma coleta a cada 2 m. Considerando a tipologia dos materiais analisados, diferentes métodos foram utilizados para determinação da granulometria. Fora da calha, onde predominam materiais finos, foram coletadas amostras com auxílio de um trado, e recolhida amostra pra análise em laboratório. Nas partes centrais da calha, onde predominam materiais grosseiros, foi utilizado o método de medição direta de clastos, ou *pebble count*.

Sondagem a trado

As sondagens a trado foram realizadas com um trado tipo caneca, com capacidade aproximadamente de 470 cm³ de amostra coletada e com haste que possibilita furos de até 1 m de profundidade. O comprimento da parte que aloja a amostra é de 25 cm, fazendo com que fosse definida a coleta da uma amostra a cada 25 cm perfurados, contemplando todo o perfil.

Os procedimentos consistiram em, primeiramente, definir o ponto de amostragem medindo com uma trena a partir da estaca da margem esquerda de cada seção. Definido o ponto, retirou-se com uma pequena enxada a camada superficial de serrapilheira, chegando ao primeiro nível de materiais minerais (Figura 4.17).



Figura 4.17 Preparação inicial do ponto de amostragem com o trado tipo caneca. Fotografia de 01-03-2012.

Após esta preparação inicial, executou-se a tradagem até o primeiro nível de 25 cm, sendo aí retirado o trado e coletada a amostra para condicionamento em saco plástico com marcação da seção, número do furo e número da amostra. Feita a limpeza da caneca, reintroduziu-se o trado e prosseguiu-se com a tradagem retirando amostras a cada 25 cm, parando apenas quando encontrada rocha, que o trado não perfura, ou se atingido o limite da haste de 1 m.

Para coleta no perfil estratigráfico, procedeu-se a limpeza da camada superficial do perfil, com retirada de galhos, raízes e plantas. Feita a limpeza, realizou-se a coleta em pontos numa sequência vertical. Foi coletado aproximadamente 1 kg de amostra em cada ponto, sendo também acondicionadas em sacos plásticos. Estas coletas, associadas às demais realizadas com o trado, serão utilizadas para a elaboração de perfis estratigráficos.

Pebble count

Para a coleta dos pontos com predomínio de sedimentos grosseiros, utilizou-se o método de Wolman (1956). A razão para utilização desse método é a dimensão pouco prática das amostras recomendadas quando os sedimentos são grosseiros. Como exemplo, quando diâmetro máximo dos clastos for 64 mm, Wentwort (1926) apud Kondolf et al. (2003) afirma que uma amostra estatisticamente relevante deve ter no mínimo 256 kg, mas para fins práticos, neste caso, recomendam que esta deve ter no mínimo 32 kg.

O método *pebble count* de Wolman (1956) é mais prático nesse sentido. Este consiste na medição de aproximadamente 100 clastos do leito do canal obedecendo a uma grade ou uma linha. No caso deste estudo, a referência para coleta foi uma área de 1 m² o redor do ponto definido na sequência de coletas da seção.

Esta área foi definida com auxílio de uma régua de madeira de 1 m com intervalos de 20 cm. Foram medidos os clastos presentes nesta área tomando a precaução de não medir os mesmos duas vezes. Devido ao tamanho da área, definiu-se inicialmente a medição de 50 clastos em cada área de 1 m², levando em consideração que demais pontos de coleta desse tipo na seção completarão os 100 clastos recomendados pelo método (Figura 4.18).

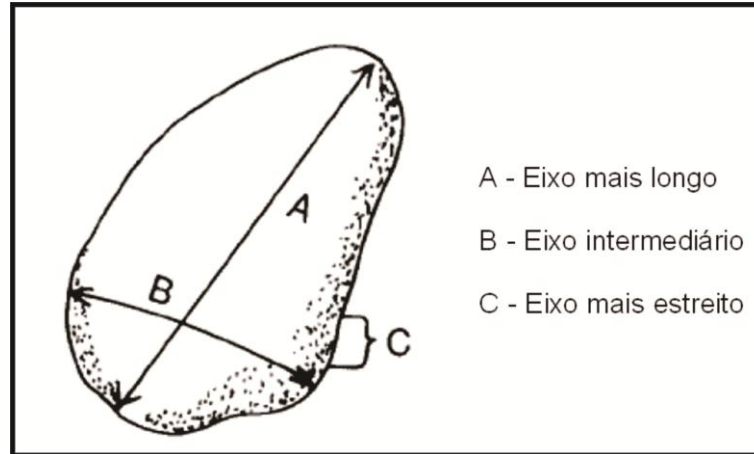


Figura 4.18 Principais eixos de um clasto, sendo o B o utilizado para mensuração direta utilizada no estudo. Adaptado de University of Wisconsin-Madison (2012).

A medição dos clastos é feita com auxílio de uma régua graduada em milímetros, considerando o eixo *b* ou eixo intermediário, anotando-se o valor numa planilha (Figura 4.19). Para blocos presos no leito, mediu-se o menor eixo visível. Clastos com menos de 2 mm foram considerados na classe de < 2 mm.

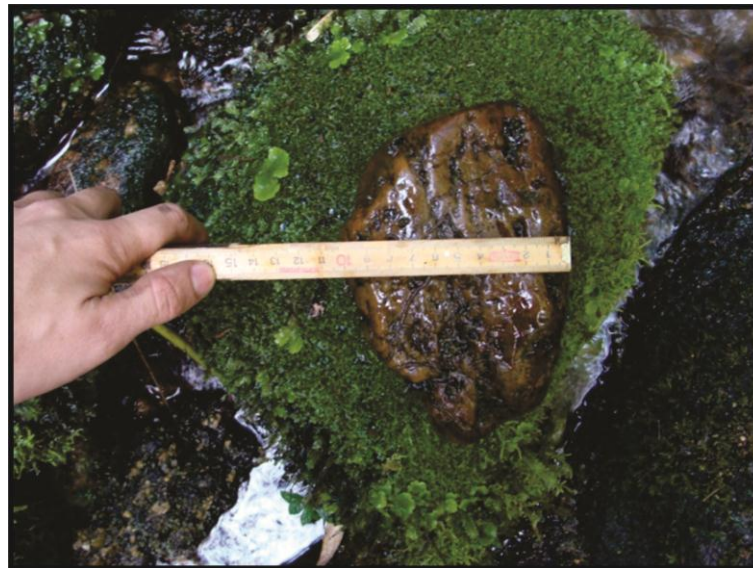


Figura 4.19 Determinação do diâmetro do eixo intermediário de um clasto. Fotografia de 01-03-2012.

Após a coleta dos dados referentes a cada clasto, estes foram organizados em classes granulométricas segundo a classificação de Wentworth (Suguio, 1973). Foram enquadrados em menor que cascalho muito fino (<2 mm), cascalho muito fino (<2-4 mm), fino (4-8 mm), médio (8-16 mm), grosseiro (16-32 mm), muito grosseiro (32-64 mm), bloco pequeno (64-128 mm), bloco grande (128-256 mm) e matacões (>256 mm). Posteriormente,

foram determinados os valores de D_{50} para todas as séries de dados, que é a mediana da granulometria da amostra.

Caracterização granulométrica

A análise granulométrica das amostras apresenta dois procedimentos principais, um voltado à determinação de granulometrias mais grosseiras, como as areias e os cascalhos, e outro para a determinação da textura de materiais mais finos, como a distinção entre argila e silte. O primeiro envolve a utilização de peneiras e agitadores, e o segundo é referente ao método de pipetagem. Por convenção, sedimentos grosseiros são separados dos finos pela granulometria 0,062 mm (Suguio, 1973). Essa granulometria é correspondente à areia muito fina na classificação de Wentworth. Os procedimentos de peneiramento foram baseados em Carvalho et al. (2000).

Inicialmente foi realizada a preparação das amostras, o que envolve a secagem completa em estufa durante 24 horas das amostras, a quarteação e a retirada de materiais orgânicos das mesmas. A quarteação consiste em obter uma porção representativa de todas as granulometrias da amostra, pois esta pode ter sido submetida ao selecionamento durante o transporte ou passagem de um recipiente ao outro, fazendo com que frações mais grossas se acumulem no fundo (Suguio, 1973). A quarteação é feita até obter-se uma quantidade de 200 g. Algumas amostras foram consideradas 400 g por possuírem clastos maiores que 8 mm.

Depois dessa preparação, as amostras foram pesadas em balança de precisão, e o valor anotado em planilha. Após a pesagem, as amostras foram lavadas em uma peneira de 0,062 mm para eliminação das frações silte e argila (estas frações foram determinadas pelo método de pipetagem). A amostra foi colocada no agitador de peneiras onde estas estão organizadas das malhas mais grossas para as mais finas, seguindo os diâmetros da escala granulométrica de Wentworth até 2 mm, (peneiras de 2, 1, 0.5, 0.25, 0.125 e 0,062 mm) e peneiras de 3.36 e 19.1 mm para as frações mais grosseiras. A agitação foi feita durante 10 minutos, após o qual as frações acumuladas nas peneiras foram cada uma pesadas em balança de precisão e anotadas em planilha.

Análise de textura

A análise de textura sedimentos mais finos foi realizada através do método de pipetagem descrito por EMBRAPA (1997). Inicialmente procedeu-se a quarteação das

amostras coletadas em campo, para se evitar porções selecionadas durante o transporte da mesma.

Selecionou-se então aproximadamente 50 g de cada amostra que foram colocadas em cadinhos em estufa a 100° C durante 24 horas para secagem completa. Após secagem, a amostra foi passada em peneira de 2,0 mm para eliminação das frações mais grosseiras. Depois se pesou 10 g que foram colocadas em solução em NaOH (0,1 mol L⁻¹) e água destilada para dispersão química durante 15 minutos.

Depois se procedeu a dispersão mecânica em dispersor de agitação rápida por 20 minutos. A solução foi então adicionada a provetas de 1000 ml, onde foram agitadas durante um minuto. Determinada a temperatura, foi estimado o tempo de decantação para a realização da pipetagem.

A pipetagem foi feita retirando-se 10 ml dos 5 cm superiores da proveta, sendo levados à estufa para secagem durante 24 horas a 100° C. Posteriormente, o conteúdo da proveta foi lavado em uma peneira de malha 0,062 mm para eliminação do silte, e a fração restante na peneira foi colocada na estufa para secagem durante 24 horas a 100°. Após a secagem por 24 horas, os pesos da argila pipetada e da areia restante foram determinados com balança de precisão. Os valores percentuais de silte, argila e areia foram conseguidos através das fórmulas:

$$\text{Argila} = 1000(a-b)$$

$$\text{Areia} = 10c$$

$$\text{Silte} = 100-(\% \text{Argila} + \% \text{Areia})$$

Onde *a* é o peso da argila em gramas, *b* é o valor de sobra do dispersante (NaOH) diluídos em 1000 ml de água destilada, com valor igual a 0,004 g. E *c* é o peso da areia em gramas.

Análise estatística

Após a determinação da granulometria pelos métodos de peneiramento, pipetagem e mensuração direta, procedeu-se a realização da determinação de parâmetros estatísticos mais comuns, como a elaboração de curvas de frequência e a determinação do D₅₀ (mediana) das amostras.

Os cálculos foram realizados com auxílio do Gradistat 4.0, que é uma aplicação escrita com o Microsoft Visual Basic e integrado no Excel. Este gera uma série de parâmetros estatísticos ao se entrar com os dados obtidos pela peneiragem e pipetagem em valores percentuais. A saída do programa apresenta valores de média, desvio padrão, assimetria, curtose, D_{50} e D_{90} , entre outros (Blott e Pye, 2001).

4.5. Tratamento dos dados

Após a fase de coleta nas seções de canal do ribeirão do Cadete os dados foram transferidos para uma planilha de extensão XLS, onde foram relacionados aos respectivos valores obtidos de vazões. Cada instância ou linha no banco de dados é representada por um ponto específico na seção, e possui um dado para cada um dos cinco indicadores (Tabela 4.1).

Tabela 4.1: Indicadores e suas variáveis levantadas em cada ponto ao longo das seções de canal.

Padrão de vegetação	Serrapilheira	Dossel	Granulometria do sedimento
-herbáceo	-contínua	-fechado	-fina
-arbóreo	-descontínua	-aberto	-grosseira
-arbustivo	-inexistente	-fechado parcial	
-nulo		-aberto parcial	

Destaca-se que a variável vazão, originalmente contínua, teve que ser transformada em valores nominais, pois os algoritmos utilizados não operam com valores contínuos. Ao se transformar os valores contínuos em classes, foi escolhida determinada amplitude de vazões para cada classe.

Para o tratamento dos dados com os algoritmos, foi utilizado o *software* livre Weka (*Waikato Environment for Knowledge Analysis*). O Weka é um pacote escrito em linguagem de programação Java, sendo um programa desenvolvido na Universidade de Waikato, Nova Zelândia. No presente estudo foi utilizada a versão 3.6.4 do mesmo.

O Weka tem por objetivo reunir algoritmos vindos de diferentes abordagens e paradigmas pertencentes ao campo da inteligência artificial, que se dedica ao aprendizado de máquinas, ou seja, técnicas que permitem um computador obter novo conhecimento de maneira indutiva ou dedutiva. O Weka encontra-se licenciado ao abrigo da *General Public License* sendo, portanto, possível estudar e alterar o respectivo código fonte (Figura 4.20).

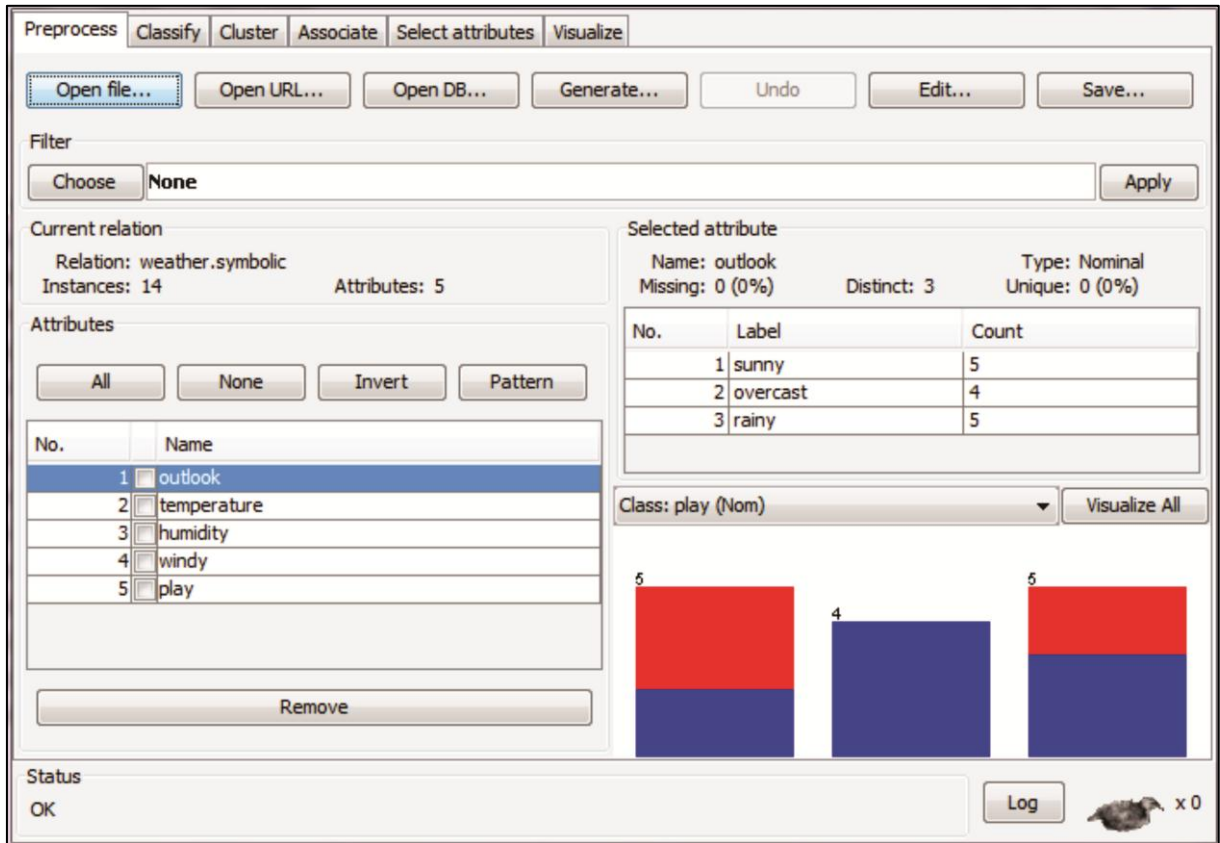


Figura 4.20: Layout da aplicação *Explorer* do pacote Weka, onde estão os principais algoritmos.

Este programa pode tratar uma variada gama de dados multivariados através de algoritmos que podem ser executados de acordo o padrão dos dados, possibilitando a realização de testes para encontrar as melhores classificações conforme o interesse do estudo. Os dados para serem tratados no pacote devem estar na extensão do tipo ARFF, necessária para o correto funcionamento do pacote.

Os algoritmos testados neste estudo se encontram na aplicação denominada *Explorer*, onde pode ser realizado o pré-processamento dos dados, e a execução de algoritmos de classificação, clusterização, associação, bem como possui diferentes maneiras de selecionar determinados atributos para teste e de visualização gráfica dos dados.

Aplicação de Regras de Associação

Embora existam diversos algoritmos que geram regras de associação na plataforma Weka, como o *Tertius*, o *FilteredAssociator* e o *PredictiveApriori*, escolhemos o *Apriori* para execução dos dados, pois as diferentes maneiras de funcionamento dos algoritmos dificulta a adoção de um parâmetro comum que permita escolher o melhor

algoritmo, considerando também que cada algoritmo gera um série de regras cada uma com um grau de confiança e independência em relação às demais.

Dessa forma, cada arquivo foi processado no ambiente Weka *Explorer*, na aba *Associate*, onde foi escolhido o algoritmo *Apriori*. Na opção *GenericObjectEditor*, com exceção de *numRules*, todos os demais parâmetros foram mantidos nos valores padrão, ou seja, opções *carFalse*; *classIndex* 1; *delta* 0.05; *lowerBoundMinSupport* 0.1; *metricType* *Confidence*; *minMetric* 0.9; *outputItemSets* *False*; *remove AllMissingCols* *False*; *significance Level* -1.0; *upperBoundMinSupport* 1.0 e *verbose* *False*.

A opção *numRules*, que define a quantidade de regras a serem geradas pelo algoritmo, foi definida para gerar o máximo de regras. Pois uma pequena quantidade de regras frequentemente apresenta associações sem relação com classes de vazão, que é o interesse desse trabalho. As regras geradas apresentam determinados níveis de confiança, que podem ser pré-estabelecidos. Foi determinado que o algoritmo gere apenas regras com confiança superior a 0.9.

No entanto, o elevado número de regras gerado implicou na necessidade de um procedimento de escolha das melhores regras. Das regras geradas, foram escolhidas aquelas que apresentassem as seguintes condições: 1ª- associação com a componente vazão, 2ª- menor número de itens na regra e 3ª- maior ocorrência de instâncias no banco de dados.

A primeira condição elimina as regras em que as associações formadas não apresentam a componente vazão, portanto, não contribuem para a resolução do problema aqui colocado. Enquanto que a segunda condição elimina aquelas regras em que nos *itemsets* apresentam mais de três componentes associados, pois um grande número de componentes dificulta a interpretação da regra. Já a terceira prima pela escolha de regras com maior número de instâncias que ocorrem no banco de dados em relação às outras, assim, uma regra que ocorra 50 vezes no banco de dados, mas com confiança 0.9 foi preferente a uma regra que ocorra apenas 5 vezes e com confiança 1.

Aplicação de Árvores de Decisão

Para a aplicação dos algoritmos de árvores de decisão, foi utilizado o mesmo banco de dados processado pelo algoritmo de regras de associação. Foram realizados testes com todos os algoritmos de árvores de decisão disponíveis na ferramenta Weka, sendo utilizados dois critérios para a escolha do algoritmo: taxa de erro de classificação e facilidade

de interpretação das informações. Os algoritmos foram executados de acordo com dois principais modos de treinamento dos dados, o *Training Set* e o *Cross Validation*.

O modo *Training Set* utiliza parte dos dados para descobrir relações potencialmente preditivas, enquanto que o *Cross Validation* avalia a capacidade de generalização do modelo particionando o conjunto de dados em subconjuntos, e posteriormente, utiliza-se alguns destes subconjuntos para a estimação dos parâmetros do modelo e o restante dos subconjuntos são empregados na validação do modelo (Koravi, 1995).

A análise dos resultados das classificações iniciou-se pelas matrizes de confusão geradas pelos algoritmos, onde podem ser verificadas as classes com mais acertos e as com mais erros de classificação. A matriz de confusão exhibe a relação entre os erros e acertos da classificação. Os itens melhor classificados são relacionados a determinados indicadores na árvore de decisão. Assim sendo, a avaliação de quais indicadores são mais relevantes é feita através da análise da estrutura da árvore.

5. RESULTADOS

5.1. Seções e dados coletados

O primeiro passo da coleta de dados foi a definição da posição das seções destinadas a servir de referência para a estimativa dos níveis de vazões e coleta dos indicadores. Foram assim definidas quatro seções, de montante para jusante, denominadas S1, S2, S3 e S4, sendo que S2 e S3 abrangem um trecho de soleira e S1 e S4 cada uma abrangem trechos distintos de depressão (Figura 5.1). A definição desta planta foi possível com a amarração topográfica entre as estacas.

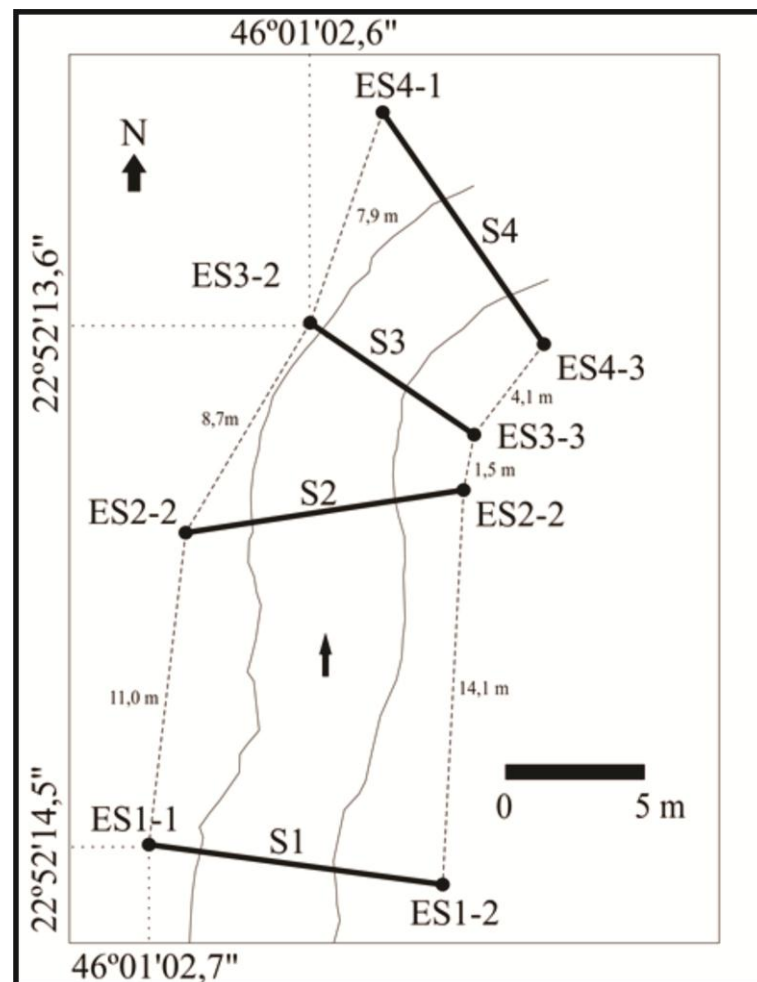


Figura 5.1: Planta das seções realizadas, com indicação das estacas de referência em cada extremo de seção e distâncias entre as estacas.

Numa primeira avaliação, foram identificadas algumas superfícies geomorfológicas de origem fluvial: terraço, planície aluvial, barra vegetada, barra grosseira,

barra fina, soleira e depressão. O terraço é uma feição destacada na área de estudo, sendo seus limites marcados por uma barranca que varia entre 1 e 3 m de altura em relação à planície aluvial nas áreas próximas do local de estudo.

Entre as seções S1 e S2 na margem esquerda, o terraço é evidenciado por um desnível de aproximadamente 2 m, enquanto que na margem direita, junto da seção S1, a estaca de referência dessa seção situa-se no meio da barranca do terraço.

A planície aluvial se caracteriza por uma superfície posicionada entre 0,5 e 1,5 m acima do talvegue, apresentando limites definidos junto às feições deposicionais da calha, como as barras, e junto ao terraço, com que estabelece limite inferior. Nesta feição, junto da seção S1 na margem esquerda, ocorre uma área deprimida, saturada, que pode estar relacionada a um paleocanal.

As barras não possuem quebra topográfica em relação à calha, mas a possuem em relação à planície aluvial. Nessa transição entre planície aluvial e barras, a quebra topográfica é inferior a 0,5 m, mas é bem definida. Fotografias relativas a algumas destas feições geomorfológicas podem ser visualizadas no Apêndice 10.

A topografia das seções, necessária para o cálculo das vazões e análise com os indicadores, foi levantada de acordo com os procedimentos descritos no capítulo de métodos, sendo que os desenhos das mesmas se encontram no Apêndice 17, bem como os dados referentes ao posicionamento das estacas, que estão no Apêndice 2. Já os dados referentes à declividade das seções se encontram no Apêndice 1.

5.2. Estimativa de vazões

A estimativa de vazões, feita através da equação de Manning associada à definição do parâmetro n com os procedimentos de Cowan (1956) e Arcement e Schneider (1989), calculada para cada cota, obteve os valores de vazões definidas no Quadro 5.1. Os valores utilizados para o cálculo, como raio hidráulico, declividade, largura do canal, área da seção, perímetro molhado, bem como os índices de rugosidade n_b , n_1 , n_2 , n_3 , n_4 e m , são definidos para cada cota no Apêndice 4, enquanto que os desenhos das seções com representação das cotas levantadas e respectivas vazões, são apresentados no Apêndice 18. Os perfis longitudinais desenhados são apresentados no Apêndice 20.

Quadro 5.1 Valores de vazões em m^3/s calculadas para cada cota das seções consideradas no estudo. Os valores em destaque foram eliminados devido a grande possibilidade erros de estimativa.

Cotas (m)	Vazões (m^3/s)			
	S1	S2	S3	S4
0,1	0,0001	0,0003	0,0003	0,0008
0,2	0,001	0,007	0,004	0,007
0,3	0,004	0,018	0,016	0,018
0,4	0,006	0,042	0,059	0,035
0,5	0,011	0,103	0,103	0,057
0,6	0,018	0,171	0,177	0,100
0,7	0,037	0,240	0,256	0,143
0,8	0,050	0,340	0,346	0,192
0,9	0,070	0,426	0,448	0,293
1	0,087	0,500	0,496	0,368
1,1	0,105		0,627	0,476
1,2	0,109		0,752	0,524
1,3	0,131			0,625
1,4	0,150			0,727
1,5	0,169			

Aquelas vazões com valores mais baixos, associadas a níveis muito reduzidos na calha, com os das cotas 0,1 e 0,2 m, foram eliminadas da análise da relação entre cota e vazão, pois se considerou que tais estimativas podem apresentar erro muito elevado, devido à grande rugosidade das condições reais em relação às seções com áreas de seção reduzidas. Os valores inferiores a $0,009 \text{ m}^3/\text{s}$, portanto, foram desconsiderados, estes sendo destacados no Quadro 5.5. A relação entre cotas e vazões das seções pode ser visualizada na Figura 5.2, onde foram estabelecidas curvas polinomiais de 4º ordem, para melhor adequação aos dados.

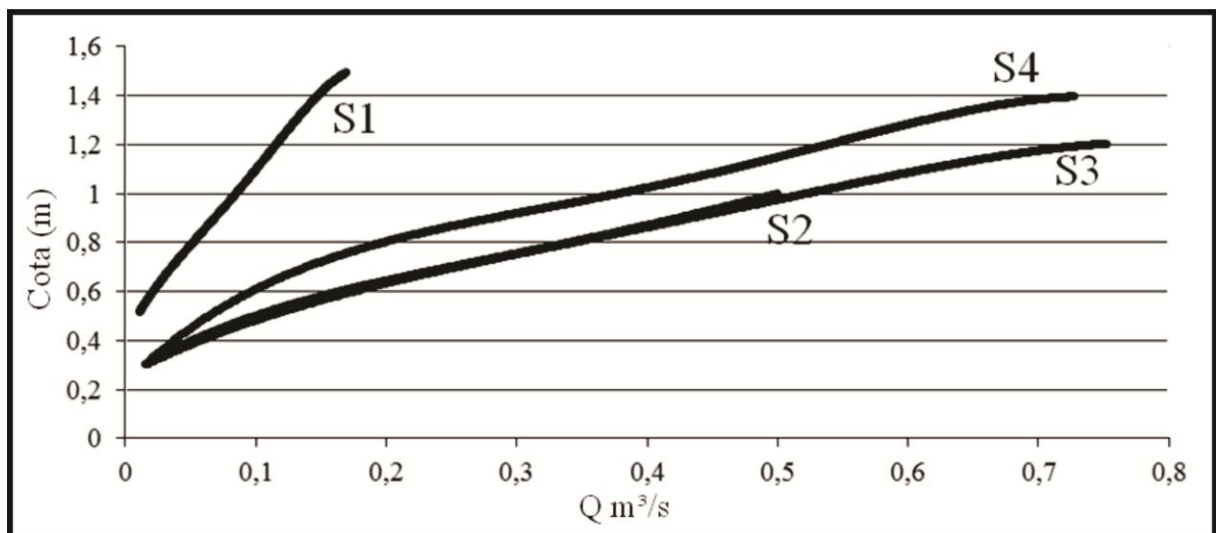


Figura 5.2: Curvas que relacionam a vazão estimada com base na equação de Manning e as cotas relativas nas seções S1, S2, S3 e S4.

Podemos destacar que estas curvas se assemelham às curvas-chave hidrológicas, estabelecidas com medições diretas de vazão em diversos níveis e a relação destas vazões com determinadas cotas linimétricas. As curvas-chave normalmente apresentam um achatamento na parte superior da mesma, relativo em geral ao fato de que as cotas não acompanham o crescimento dos valores de vazão a partir de certo ponto, devido à presença da planície aluvial, onde as águas tendem a se espalhar.

No caso das presentes curvas, estas não apresentam um achatamento pronunciado na parte superior devido à pequena porção de planície aluvial levantada em cada seção. Entretanto, uma característica relevante entre as seções é a inclinação das mesmas. A curva S1 apresenta declividade mais pronunciada que as demais, indicando que possivelmente a relação largura/profundidade desta é maior que as demais. Isso indica ser uma calha com morfologia mais entalhada.

As demais seções apresentam declividades semelhantes. Outra característica importante é a abrangência de vazões de cada seção, condição que foi limitada pelas condições do levantamento em campo. A seção S1 abrangeu vazões até 0,17 m³/s, enquanto que a S3, até 0,75 m³/s. Estas curvas podem ser visualizadas individualmente no Apêndice 6.

5.1. Indicadores coletados

A coleta de indicadores ao longo das seções resultou num total de 188 pontos, sendo que cada ponto possui dados relativos ao posicionamento na seção e aos quatro indicadores considerados: serrapilheira, padrões de vegetação, dossel e sedimentos. Na seção S1 foram coletados 50 pontos, na S2, 34 pontos, na S3, 53 pontos e na S4, 51 pontos. Esta coleta resultou numa planilha que pode ser verificada no Apêndice 3.

Cada indicador apresentou características próprias durante a coleta. A serrapilheira, sendo que algumas classes dos indicadores apresentaram maiores predominâncias que outras. Com relação à serrapilheira, a classe mais frequente foi a inexistente, seguida de descontínua e contínua, indicando que foram levantados mais pontos em locais desprovidos de serrapilheira (Figura 5.3).

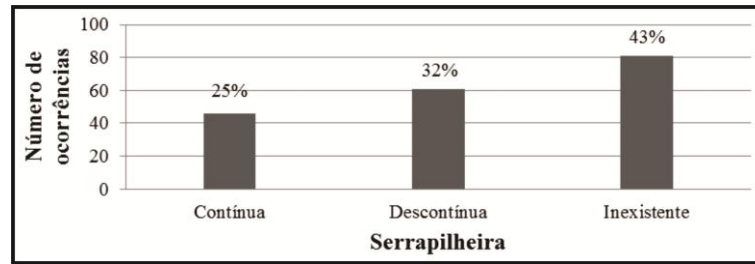


Figura 5.3 Número e percentagem de ocorrências das classes de serrapilheira no total de pontos levantados nas seções.

O procedimento de coleta de dados sobre a serrapilheira não apresentou problemas, devido à facilidade de observação do padrão de distribuição dentro da área definida com auxílio da régua graduada. Considerando os padrões de vegetação, é evidente a relação entre o número de pontos levantados em função do porte da vegetação. O Padrão arbóreo foi o menos frequentemente coletado, enquanto que o padrão nulo, típico das partes centrais do canal, foi o mais frequente, com 49% das ocorrências (Figura 5.4).

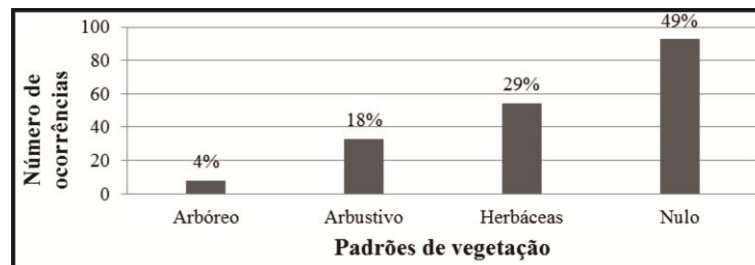


Figura 5.4 Número e percentagem de ocorrências das classes de padrões de vegetação no total de pontos levantados nas seções.

A coleta dos dados relativos à vegetação foi um pouco mais dificultosa devido à superposição em alguns locais de diferentes padrões. Como exemplo, em alguns locais ocorreram no ponto considerado plantas herbáceas em proporção semelhante à de arbustos. Nesse caso, optou-se por considerar apenas o padrão de maior porte, pois plantas de menor porte são presentes em quase toda a extensão das calhas levantadas.

Com relação à ocorrência de tipos de materiais sedimentares que compõe as seções levantadas, verifica-se uma clara predominância de sedimentos finos, totalizando 65% dos 188 pontos coletados (Figura 5.5).

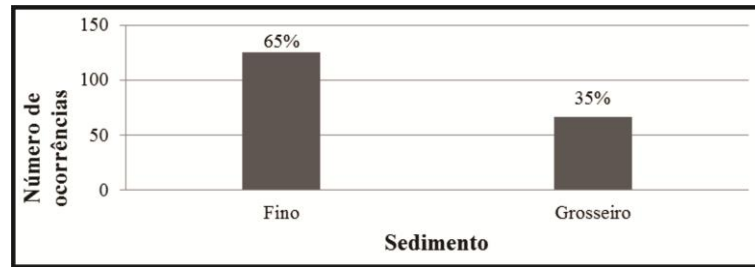


Figura 5.5 Número e percentagem de ocorrências das classes de sedimentos no total de pontos levantados nas seções.

Os dados sobre o tipo de sedimentos não tiveram dificuldades para sua coleta, pois as áreas de ocorrência de sedimentos grosseiros ou finos são bem definidas na área de estudo. Em geral, sedimentos grosseiros ocorrem nas partes mais baixas da calha, expostos e com pouco serrapilheira, já os finos, frequentemente estão cobertos por uma camada de serrapilheira e por alguma vegetação de pequeno porte. Nesses casos utilizou-se uma pequena enxada para retirar a serrapilheira e verificar a predominância de determinado tipo sobre a superfície do terreno.

O indicador dossel, cujas classes são definidas em função do grau de cobertura, apresentou forte predominância da classe aberto parcial, com 56% dos pontos coletados, seguido de fechado parcial. A classe aberto, por outro lado, foi pouco frequente, com apenas 3% do total (Figura 5.6).

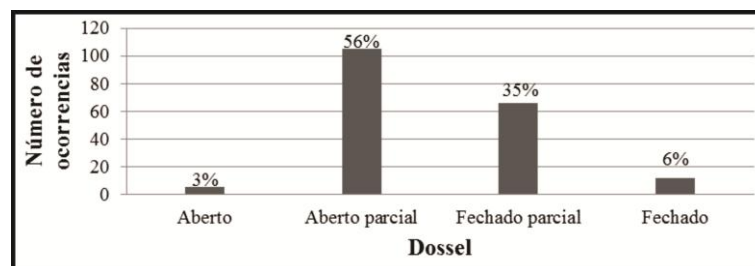


Figura 5.6 Número e percentagem de ocorrências das classes de dossel no total de pontos levantados nas seções.

Este indicador, embora utilizado com sucesso por Pike e Scatena (2010) em seu trabalho em Porto Rico, foi o que apresentou maiores dificuldades para o enquadramento nas classes elaboradas. Devido esta ser uma consideração visual da cobertura acima do ponto, esta avaliação pode estar sujeita a erros consideráveis em função da perspectiva de diferentes observadores que queira repetir o procedimento.

Ainda assim, este indicador foi incluído no tratamento dos dados pelos algoritmos, pois através das classificações e associações obtidas, foi possível verificar a

coerência (ou não) do mesmo em relação aos demais indicadores e aos débitos fluviais. Em estudos posteriores, podem ser coletados dados relativos à densidade de cobertura do dossel através da utilização de luxímetro, ou mesmo através de fotografias da cobertura retiradas sequencialmente ao longo de um eixo.

5.1. Organização dos dados

A parte seguinte do tratamento dos dados consistiu na associação de cada ponto a uma determinada vazão. Cada ponto, possuidor de dados dos quatro indicadores, apresenta uma posição na seção, e esta posição é relacionada à determinada cota. Cotas essas em que foram estimadas as vazões. Desta forma foi criado um banco de dados com todos os pontos contendo os dados dos indicadores associados a determinada vazão. Esses dados podem ser verificados no quadro do Apêndice 8 e nos desenhos das seções do Apêndice 18.

Durante o estabelecimento das cotas para serem estimadas as vazões, diversos pontos ficaram fora das áreas abrangidas pelas seções, devido à assimetria de elevação entre uma margem e outra. Esses pontos externos foram enquadrados na cota máxima calculada, pois em todas as seções, esta cota máxima está próxima ou junto da quebra topográfica para a planície aluvial ou para o topo do terraço, onde esses pontos estão situados.

Após montada esta planilha de base, procedeu-se a transformação das vazões em classes discretas para a realização do tratamento com os algoritmos de aprendizado de máquina. Foi elaborada uma planilha cujos dados de vazões contínuas foram transformadas em classes com amplitudes de 0,2 m³/s. Escolheu-se a amplitude de maneira que esta não fosse tão ampla que encobrisse possíveis limiares no banco de dados, mas nem tão restrita que impedisse qualquer relação entre indicadores e vazões (Tabela 5.1).

Tabela 5.1: Intervalos de vazões utilizados nas classes criadas para execução nos algoritmos.

Vazão (m ³ /s)	Classe
<0,2	A
0,2-0,4	B
0,4-0,6	C
>0,6	D

Os dados vinculados a determinados pontos nas seções foram então associados a certas classes de vazões. A planilha é composta por uma série de linhas, onde cada linha corresponde a um ponto na seção, contendo os dados dos indicadores e a classe de vazão. Cada linha é denominada, ao longo desse trabalho, de instância. Como foi coletado um total de 188 pontos nas quatro seções, a planilha apresenta 188 instâncias.

Após este tratamento preliminar, os dados foram organizados de maneira que possam ser tratados nos algoritmos. Esta organização compreendeu primeiramente a elaboração de um cabeçalho para o banco de dados onde foram descritos nos nomes dos parâmetros utilizados (no caso, serrapilheira, padrões de vegetação, sedimentos e dossel) e cada classe vinculada a cada um desses parâmetros. O Quadro 5.2 exemplifica esta organização dos dados na planilha final.

Quadro 5.2 Organização dos dados para tratamento pelos algoritmos.

Cabeçalho	@relation dados02 @attribute vegetacao {Herbáceas, Nulo, Arbóreo, Arbustivo} @attribute serrapilheira{Contínuo, Descontínuo, Inexistente} @attribute dossel {Fechado, Aberto, FechadoP, AbertoP} @attribute sedimentos {Fino, Grosseiro} @attribute vazao {A, B, C, D}
Dados	@data Herbáceas,Contínuo,FechadoP,Fino,C Herbáceas,Contínuo,FechadoP,Fino,C Herbáceas,Contínuo,FechadoP,Fino,C Nulo,Contínuo,FechadoP,Fino,C Nulo,Descontínuo,FechadoP,Fino,C Nulo,Descontínuo,FechadoP,Fino,B Nulo,Inexistente,FechadoP,Fino,A Nulo,Inexistente,FechadoP,Fino,A Herbáceas,Descontínuo,FechadoP,Fino,C (...)

A planilha completa pode ser visualizada no Apêndice 11. Com esta organização, procedeu-se o teste em diferentes algoritmos, para verificar a correlação entre os indicadores e as vazões, cujos resultados são descritos nas seções seguintes.

5.2. Aplicação de regras de associação

A execução dos dados com o algoritmo *Apriori* resultou em um total de 26 regras, estabelecidas com confianças entre 1 e 0.9, sendo 14 regras com confiança 1. As menores regras apresentaram dois *itemsets*, enquanto que as maiores, até cinco. Conforme definido nos métodos, foram escolhidas apenas as regras que tivessem relação com alguma classe de vazão, as menores regras, e aquelas com maior número de ocorrências no banco de dados. As regras completas podem ser visualizadas no Apêndice 12, enquanto que as selecionadas são apresentadas a seguir. Foram selecionadas duas regras, sendo que a primeira, de nº 23, apresenta uma relação entre o indicador sedimentos e a vazão de classe D (Quadro 5.3).

Quadro 5.3 Regra selecionada nº 23 gerada pelo algoritmo *Apriori*.

23. vazão=D 44 ==> sedimento=Fino 40 conf:(0.91)

Esta regra indica que nas 44 vezes que a vazão D ocorre no banco de dados, em 40 estas estão relacionadas a sedimentos da classe finos, apresentando assim um nível de confiança de 0.91. A classe de vazão D é relativa ao intervalo de vazões superiores a 0,6 m³/s. Essa associação ocorre em 21% das instâncias do banco de dados, sendo assim bem representativa em relação às demais.

A segunda regra selecionada (Quadro 5.4), vinculada à classe de vazão A, apresenta uma associação relevante com os indicadores serrapilheira e padrões de vegetação. Segundo a regra, do total de 63 vezes que a associação serrapilheira inexistente e vazão A ocorrem, em 57, a vegetação apresenta classe nulo. Ou seja, confiança de nível 0.9. A classe de vazão A é vinculada ao intervalo de vazões inferiores a 0,2 m³/s. Esta associação ocorre em 30% das instâncias do banco de dados analisado.

Quadro 5.4 Regra selecionada nº 25 gerada pelo algoritmo *Apriori*.

25. serrapilheira=Inexistente vazão=A 63 ==> vegetação=Nulo 57 conf:(0.9)

5.3. Aplicação de árvores de decisão

Inicialmente os dados foram executados em doze algoritmos disponíveis no Weka, sendo avaliados os que resultaram em um maior número de itens do banco de dados

classificados corretamente. No Quadro 5.5 pode-se observar a eficiência na classificação de cada algoritmo com os testes *Training Set* e *Cross Validation*.

Quadro 5.5: Valores em porcentagem dos itens classificados corretamente segundo diferentes algoritmos de árvores de decisão. Classificações segundo os testes *Training Set* e *Cross Validation*.

Árvores	<i>Training Set</i>	<i>Cross Validation</i>
<i>Bftree</i>	75,4	62,7
<i>Decision Stump</i>	56,9	56,9
<i>FT</i>	70,7	65,9
<i>Id3</i>	75,0	63,2
<i>j48</i>	70,7	61,7
<i>LAD tree</i>	69,6	61,7
<i>LMT</i>	69,1	64,3
<i>NBTree</i>	74,4	62,2
<i>Ramdom Forest</i>	74,4	64,8
<i>Ramdom Tree</i>	75	63,2
<i>REPTree</i>	67,5	61,1
<i>Simple Cart</i>	74,4	60,1

Nota-se que os algoritmos que executaram as melhores classificações foram o *Bftree* e o *Id3*, apresentando as maiores porcentagens de itens classificados corretamente. Percebe-se também que o modo de teste *Training Set* é mais eficiente no tratamento desses bancos de dados. Embora apresentassem boas classificações, diversos desses algoritmos foram eliminados devido muito aos resultados de interpretação complexa (Quadro 5.6).

Quadro 5.6: Algoritmos eliminados devido características limitantes a análise dos dados.

<i>FT</i>	Árvore de difícil interpretação
<i>NBTree</i>	Árvore de difícil interpretação
<i>RamdomForest</i>	Árvore de difícil interpretação
<i>Radomtree</i>	Pouca referência
<i>Id3</i>	Árvore extensa
<i>LAD tree</i>	Árvore de difícil interpretação e pouca referência
<i>Bftree</i>	Árvore de difícil interpretação
<i>LMT</i>	Árvore de difícil interpretação
<i>Simple Cart</i>	Não gera árvore gráfica no Weka
<i>Decision Stump</i>	Árvore de difícil interpretação

Desta forma, foram escolhidos os dois algoritmo que apresentaram melhor interpretação dos resultados e maiores taxas de itens classificados corretamente, o *J48* e o *REPTree*. O *J48* é uma implementação do algoritmo *C4*, e que gera árvores de decisão baseado num conjunto de dados de treinamento (Quinlan, 1993), enquanto que o *REPTree*

constrói uma árvore de classificação ou regressão utilizando o ganho de informação e realiza a poda através de redução de erro por *back-fitting* (Kusiak et al., 2009).

Para a seleção dos itens melhor classificados, ou seja, os conjuntos melhor relacionados entre indicadores e vazões, foram utilizadas as matrizes de confusão geradas pelos algoritmos. São representados nas células destacadas em negrito na diagonal os valores classificados corretamente para o algoritmo *J48*, e os demais, os classificados incorretamente (Quadro 5.7).

Quadro 5.7: Matriz de confusão resultante da execução dos dados com o algoritmo *J48*.

<i>J48</i>				
A	B	C	D	Classificado como
96	0	0	5	A
11	2	2	4	B
11	1	5	7	C
14	0	0	30	D

Esta matriz de confusão representa como os dados foram classificados de acordo com o modelo de treinamento gerado. Segundo a classificação geral, 70,7% dos dados foram classificados corretamente. A classe de vazões A foi classificada corretamente em 96 instâncias, e incorretamente como D em cinco instâncias. A classe D foi classificada corretamente em 30 instâncias e incorretamente como A em 14 instâncias.

As demais classes, B e C, apresentaram um número de classificações incorretas elevado, sendo desconsideradas. Com a análise da árvore de decisão, foram selecionadas as relações indicadores/classes de vazão que tiveram maior frequência no banco de dados, ou seja, o maior valor do primeiro item entre parênteses na árvore. O Quadro 5.8 demonstra os itens das árvores selecionadas de acordo com este critério.

Quadro 5.8 Itens selecionados da árvore de decisão *J48*.

vegetacao = Nulo: A (93.0/22.0)

vegetacao = Arbustiva

| **sedimentos = Fino**

| | **serrapilheira = Contínua: D (14.0/8.0)**

Esses itens representam os indicadores mais relevantes na construção das árvores pelo algoritmo. Segundo esta árvore, quando a vegetação é nula, a vazão é classificada como A. Enquanto que, quando a vegetação é arbustiva, os sedimentos forem finos e a serrapilheira for contínua, a vazão é classificada como D. A árvore completa está situada no Apêndice 13 e sua representação gráfica no Apêndice 15. Na execução dos dados no algoritmo *REPTree*, foi gerada a matriz de confusão representada no Quadro 5.9, sendo classificados corretamente 63,4% dos dados.

Quadro 5.9: Matriz de confusão resultante da execução dos dados com o algoritmo *REPTree*.

<i>REPTree</i>				
A	B	C	D	Classificado como
93	0	4	4	A
10	0	5	4	B
10	0	12	2	C
10	0	12	22	D

A estrutura dessa matriz gerada pelo algoritmo *REPTree* é bem semelhante à da gerada pelo J48, com a diferença de que o número de classificações corretas para a vazão D é igual ao número de classificações incorretas. O caminho mais relevante na árvore gerada pelo *REPTree* são demonstrados no Quadro 5.10.

Quadro 5.10 Itens selecionados da árvore de decisão *REPTree*.

```

vegetacao = Nulo
| serrapilheira = Inexistente
| | dossel = AbertoP : A (25/1) [15/0]

```

Esse item classifica como vazão A de acordo com a vegetação classe nulo, serrapilheira inexistente e dossel aberto parcial. Os resultados desse algoritmo foram inferiores no processo de classificação em relação ao algoritmo *J48*, tanto com relação ao total de classes classificadas corretamente (70,7% do *J48* contra 63,4% do *REPTree*), quanto em relação à itens tomados isoladamente. A árvore completa, com os demais dados de menor relevância, está no Apêndice 14, e sua representação gráfica no Apêndice 16.

5.4. Análises sedimentológicas

As coletas de amostras nas seções resultaram em 14 furos de trado (T1 a T14), situados principalmente fora da calha, e seis coletas através de medição direta de clastos (PC1 a PC6), posicionados dentro da calha. A coleta no perfil estratigráfico foi realizada junto à barranca da seção S3, na margem esquerda da calha (Figura 5.7).

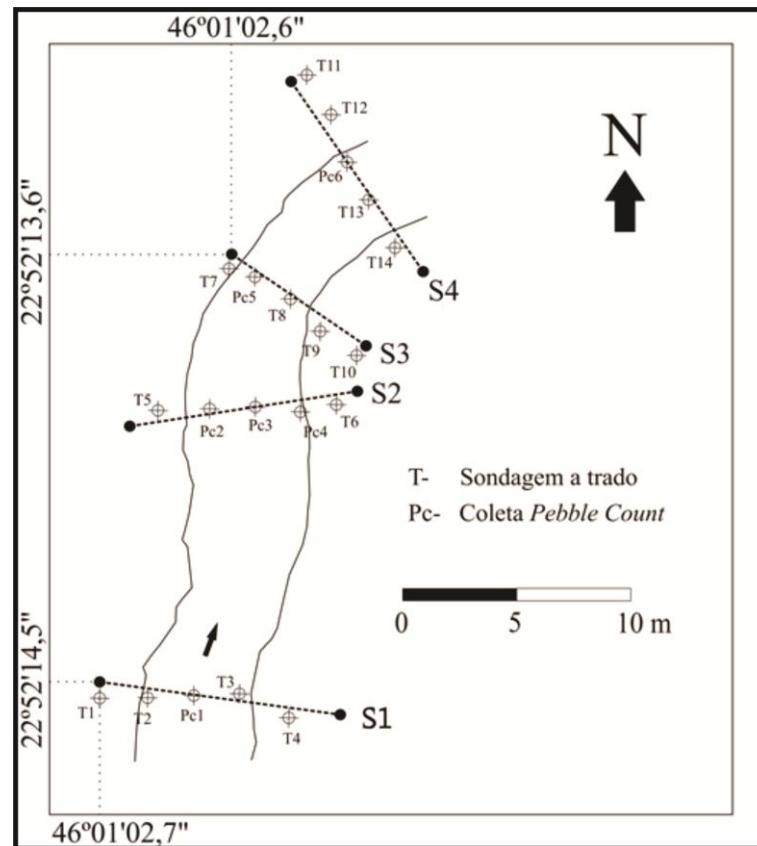


Figura 5.7 Posicionamento em planta dos furos de trado e pontos de medição direta de clastos (*pebble count*) junto das seções em estudo.

A coleta com o trado resultou em 30 amostras deformadas de aproximadamente 0,6 kg cada. Os furos T1, T4, T7, T11 e 12 foram os únicos não limitados em profundidade pela presença de blocos de rocha, estes sendo restringidos pelo alcance do trado. (Quadro 5.11).

Quadro 5.11 Furos de sondagem a trado e coleta pelo método *pebble count* em cada seção.

Seção	Código	1 (0 - 25 cm)	2 (25 - 50 cm)	3 (50 - 75 cm)	4 (75 - 100 cm)
S1	T1	A1	A2	A3	
	T2	A1			
	PC1	-			
	T3	A1			
	T4	A1	A2	A3	
S2	T5	A1	A2	A3	
	PC2	-			
	PC3	-			
	PC4	-			
	T6	A1			
S3	T7	A1	A2	A3	A4
	PC5	-			
	T8	A1			
	T9	A1			
	T10	A1	A2		
S4	T11	A1	A2	A3	
	T12	A1	A2	A3	
	PC7	-			
	T13	A1			
	T14	A1	A2		

Granulometria das amostras

Após os procedimentos que permitiram aferir a distribuição granulométrica das amostras, os resultados foram unidos em uma tabela geral (Apêndice 22) em unidades de peso por classes de granulometria. A partir desta tabela, os valores foram aplicados à planilha do Gradistat para determinação da distribuição de frequência, classe textural e D_{50} . As amostras foram associadas a níveis de vazão das seções e às unidades geomorfológicas inferidas preliminarmente (Quadro 5.12).

Quadro 5.12 Mediana das amostras (D_{50} em mm) com os valores médios de cada profundidade de coleta e média em relação aos setores geomorfológicos.

T – Furos trado PC – <i>Pebble count</i>	Nº Amostra*				Média total
	1	2	3	4	
Terraço					
T5	0,21	0,2	0,25	-	0,24
T7	0,24	0,29	0,23	0,29	
T11	0,21	0,22	0,19	-	
T12	0,2	0,23	0,19	-	
Média	0,21	0,23	0,21	0,29	
Planície aluvial					
T1	0,28	0,24	0,29	-	0,26
T4	0,29	0,27	0,19	-	
Média	0,29	0,26	0,24	-	
Barra Vegetada					
T6	0,24	-	-	-	0,51
T9	0,35	-	-	-	
T10	0,4	0,91	-	-	
T14	0,16	0,56	-	-	
Média	0,29	0,74	-	-	
Leito					
T2	8,6	-	-	-	56,7
PC1	72,2	-	-	-	
T3	0,6	-	-	-	
PC2	91,1	-	-	-	
PC3	109,3	-	-	-	
PC4	90,5	-	-	-	
PC5	74,1	-	-	-	
T8	19	-	-	-	
PC6	100	-	-	-	
T13	1,7	-	-	-	
Média	56,7	-	-	-	
* (0 - 25 cm) 2 (25 - 50 cm) 3 (50 - 75 cm) 4 (75 - 100 cm)					

Considerando os valores médios de D_{50} para cada setor, nota-se que os valores do leito em relação aos demais setores são muito superiores, em virtude das ocorrências de sedimentos predominantemente cascalhosos neste nível, em face dos mais finos que predominam nos níveis superiores. De forma semelhante, ao se comparar o D_{50} médio de cada amostra superficial (Amostra 1) que ocorre em determinada classe de vazão, pode-se observar uma transição brusca dos valores das classes A e B para as classes C e D (Tabela 5.2).

Tabela 5.2 Classes de vazões e média do D_{50} das amostras situadas em cada classe. “ n ” é número de amostras em cada classe.

Classes Q	Média do D_{50} (mm)	n
A	43,3	11
B	30,31	3
C	0,51	2
D	0,26	4

Embora esta abordagem considere poucas amostras ($n=20$), os resultados são bem semelhantes àqueles obtidos com o levantamento visual dos sedimentos juntamente aos demais indicadores utilizados neste trabalho. O D_{50} médio da classe A é referente a cascalho muito grosso, podendo ser comparado à classe “sedimentos grosseiros” do levantamento visual, e o D_{50} da classe D é relativo à areia média, podendo ser comparada à classe de sedimentos “finos” do levantamento visual.

É importante destacar que o parâmetro D_{50} não representa toda a distribuição granulométrica de dada amostra. Como exemplo, as amostras presentes nas classes de vazão C e D possuem D_{50} na classe de areia média, no entanto, as amostras não são compostas unicamente por areia média, apresentando também frações lamosas que conferem coesão ao material. A fração mais fina pode ser verificada pelo parâmetro D_{10} , que representa os 10% de partículas finas da amostra. O D_{10} das amostras junto ao à vazão de classe D varia em torno de 0,005 mm, diâmetro relativo à silte muito fino segundo a escala de Wentworth.

Ao se observar as distribuições granulométricas presentes no Apêndice 24, nota-se em grande parte das amostras analisadas dois picos de frequência. Esta quebra nos histogramas com dois picos principais pode ter relação com a junção das distribuições oriundas de diferentes métodos de estimativa granulométrica (Suguio, 1973).

Para que erros na distribuição devido a diferenças nos procedimentos de determinação granulométrica não afetem diretamente os objetivos desta análise, foi considerado o valor de D_{50} como parâmetro de comparação entre as amostras e com as coletas do indicador pelo método de estimativa visual. O valor de D_{50} é o valor central da distribuição e, portanto, não é afetado por valores extremos.

Resultados do método Pebble Count

O método *pebble count*, que consiste na mensuração direta de 100 clastos de acordo com uma grade ou linha, foi realizada em cada seção no centro da calha, onde

predomina um leito cascalhento. O procedimento consistiu na realização de amostragem de sedimentos a cada 2,0 m na seção, sendo que cada ponto de mensuração abrangeu aproximadamente 50 clastos.

Durante a coleta, apenas a seção S2 abrangeu dois pontos consecutivos, completando 100 clastos necessários para a determinação da granulometria. As demais seções contemplaram apenas um ponto de coleta desse tipo cada. O histograma de frequência granulométrica dos pontos coletados na seção S2 apresenta uma distribuição tendendo a normal e com predomínio de cascalho muito grosseiro, moderadamente selecionado, cujo D_{50} é igual a 96,3 mm (Figura 5.8).

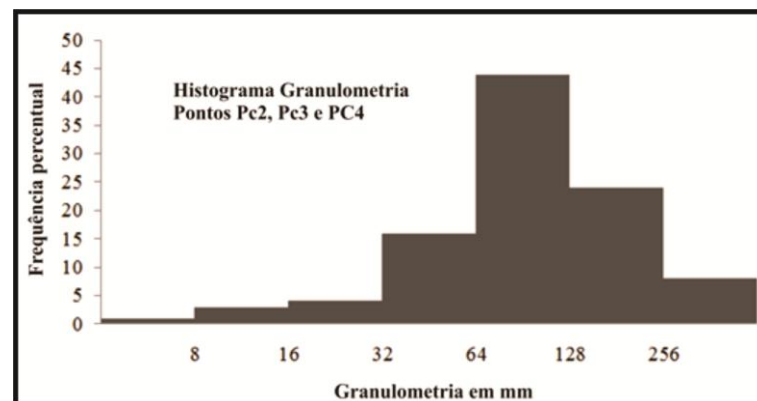


Figura 5.8 Histograma da distribuição granulométrica da seção S2 levantada pelo método *pebble count*.

Também foi determinada a frequência granulométrica e D_{50} de todos os pontos conjuntamente. A Figura 5.9 demonstra o histograma da frequência percentual de cada fração granulométrica encontrada no levantamento considerando-se todos os pontos (PC1 ao PC7).

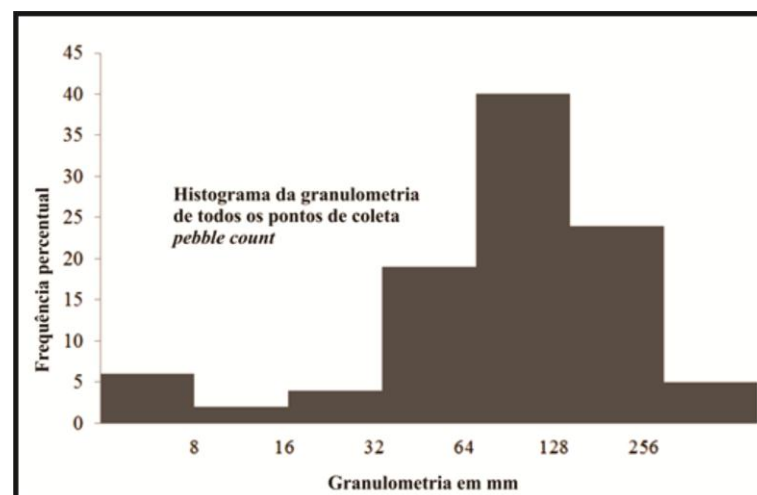


Figura 5.9 Histograma da distribuição granulométrica de todos os pontos levantados pelo método *pebble count*.

Os sedimentos levantados no leito de todas as seções são cascalhos muito grosseiros, pobremente selecionados, cujo D_{50} em milímetros é 88,9. Existem dois picos de frequência, sendo o primeiro vinculado a clastos menores que 8 mm e frequência em cerca de 5% das amostragens, e outro, mais importante, é relativo aos cascalhos muito grosseiros, que apresentam frequência superior a 40% dos clastos. Os dados referentes à granulometria dessas coletas são apresentados no Apêndice 21.

Resultados da análise estratigráfica

Um perfil estratigráfico foi analisado junto à barranca esquerda da seção S3. Neste ponto a calha erode a superfície identificada como sendo a de um terraço, portanto, este perfil é relativo ao terraço fluvial local. O perfil apresenta aproximadamente 1,8 m de altura, apresentando sedimentos grosseiros em sua base, gradando bruscamente para finos logo acima. Na Figura 5.10 podem-se observar os pontos onde foram coletadas amostras para análise granulométrica.

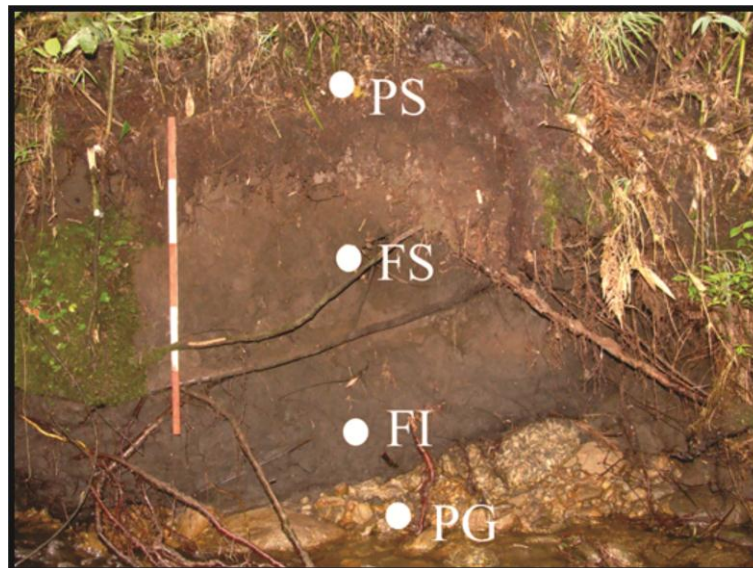


Figura 5.10 Perfil estratigráfico com indicação do pontos de coleta de amostras para análise granulométrica. Siglas de identificação: PS – perfil superior, FS – fácies superior, FI – fácies inferior e PG – perfil grosseiro. Escala com subdivisões de 20 cm. Fotografia de 01-03-2012.

A coleta do ponto PG é situada numa fácies sedimentar caracterizada por predomínio de sedimentos grosseiros. A base visível desta fácies se encontra junto ao nível do

leito, este sendo constituído por um material de características semelhantes. O talvegue é situado junto a este nível grosseiro.

São presentes clastos de grandes dimensões, suportados por uma matriz um pouco mais fina. Uma amostra dessa matriz foi coletada para caracterização granulométrica, sendo encontrado um predomínio de cascalho areno-lamoso, e D_{50} 5,54 mm. O posicionamento dos clastos não apresenta evidências de imbricação. Na Figura 5.11 podem ser observadas as principais características dessa fácies.



Figura 5.11 Fácies grosseira situada na base do perfil estratigráfico analisado, superposta por uma fácies fina. Fotografia de 01-03-2012.

Acima dessa fácies se superpõe fácies de granulometria mais fina, sendo distinguidos três tipos de materiais, sendo que o primeiro é posicionado logo acima da fácies grosseira, apresentando elevada coesão ao tato, coloração escura e algumas raízes. A espessura dessa camada varia entre 30 e 40 cm nesse local. A análise granulométrica (ponto FI) deste material resultou em areia lamosa ligeiramente cascalhenta, cujo D_{50} em milímetros é 0,14 e o D_{10} é 0,0032.

A camada posicionada logo acima no perfil apresenta características muito semelhantes ao este último descrito, porém com menor coesão ao tato. A espessura desta camada varia no entorno de 40 cm (Figura 5.12). Neste nível, a análise granulométrica (ponto FS), indicou um grupo textural também definido como areia lamosa ligeiramente cascalhenta, cujo D_{50} é 0,19 mm e o D_{10} é 0,0045 mm.



Figura 5.12 Aspecto da camada onde foi coletada a amostra 3 do perfil estratigráfico. Fotografia de 01-03-2012.

No topo do perfil, é evidente uma camada com forte presença de raízes e de materiais decompostos de origem orgânica, como folha e galhos. Possui espessura que varia no entorno de 20 cm, e apresenta uma gradação de materiais unicamente orgânicos na superfície (serrapilheira), até crescentes níveis de decomposição conforme se avança em profundidade, onde ocorre uma mistura de materiais minerais e orgânicos (Figura 5.13). A análise granulométrica dessa camada (ponto PS) apresentou uma predominância de areia lamosa ligeiramente cascalhenta e D_{50} de 0,22 mm.



Figura 5.13 Camada superficial com grande quantidade de matéria orgânica e de coloração escura. Fotografia de 01-03-2012. A escala apresenta 7 cm de altura.

Esta análise permitiu a elaboração de um perfil estratigráfico simples, com indicação das fácies fluviais identificadas e a granulometria das mesmas, organizadas da maneira como foram reconhecidas em campo (Figura 5.14).

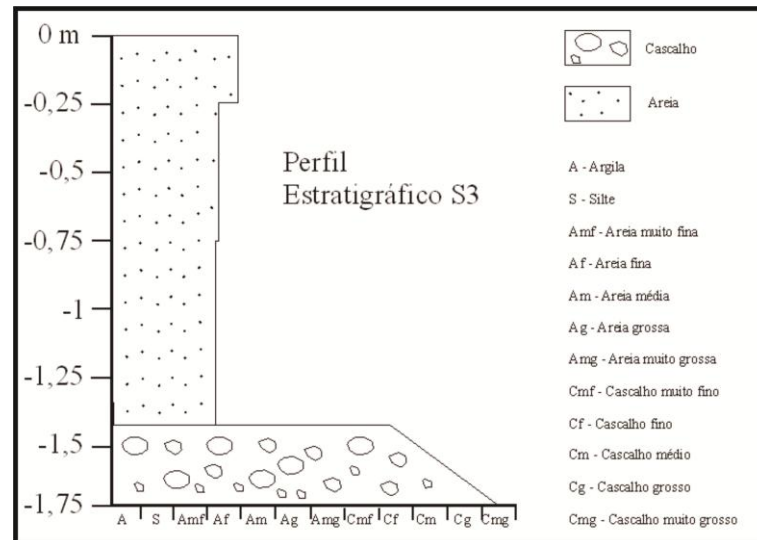


Figura 5.14 Perfil estratigráfico da barranca da margem esquerda da seção S3, que erode a superfície identificada como sendo do terraço local.

5.1. Relações entre débitos, indicadores, morfologia e estratigrafia

Considerando os resultados obtidos pelas classificações dos algoritmos de árvores de decisão e de regras de associação, foi construído um quadro onde são comparadas as principais classes de vazão correlacionadas aos indicadores (Quadro 5.13).

Quadro 5.13: Classes mais relevantes de vazão (Q) e associações entre indicadores obtidos pelos algoritmos de regras de associação e árvore de decisão.

Classe de Q/ Algoritmo	A	B	C	D
Regras de associação	serrapilheira=inexistente vegetação=nulo	-	-	sedimento=fino
Árvores de decisão	vegetação=nulo dossel=aberto parcial	-	-	vegetação=arbustiva sedimentos=fino serrapilheira-contínua

As melhores classificações, conforme evidenciado pela tabela anterior, são referentes às vazões de amplitude inferior a 0,2 m³/s (classe A) e aquelas superiores a 0,6 m³/s

(classe D), ou seja, os indicadores levantados possuem vinculação importante com estas duas classes, mas pouca vinculação com as classes intermediárias (B e D).

Pode-se notar que os indicadores são basicamente antagônicos entre uma classe e outra. Enquanto na classe A a serrapilheira é inexistente, na classe D esta é nula e, enquanto a vegetação na classe A é nula, na classe D esta é arbustiva. Este aspecto demonstra a nítida variação de condições físicas da calha que se processa dos níveis mais baixos até os mais elevados da calha fluvial.

Dessa forma, embora as classes de vazões intermediárias não tenham apresentado correlações relevantes com os indicadores utilizados neste estudo, assume-se que existe uma gradação das características dos indicadores entre uma classe extrema a outra. Assim, entre 0,2 e 0,6 m³/s existe distribuições descontínuas de serrapilheira, sedimentos finos e grosseiros e vegetação desde nula a arbustiva. Este intervalo constitui assim uma espécie de transição entre condições “opostas” no ambiente fluvial. São descritas a seguir as relações entre débitos fluviais e os indicadores utilizados em cada uma dessas classes, considerando os processos envolvidos e a espacialidade dos mesmos.

Segundo os dados classificados pelo algoritmo de regras de associação, esta classe é delimitada em função dos indicadores padrão de vegetação e serrapilheira. Quando a vegetação é classificada como nula e a serrapilheira é inexistente, o ponto na maior parte das ocorrências pertence à classe de vazão >0,2 m³/s.

Os algoritmos de árvores de decisão relacionam a classe A aos indicadores padrão de vegetação e dossel. Quando a vegetação é nula e o dossel for aberto parcial, é grande a possibilidade da classe de vazão ser <0,2 m³/s. Ambos os algoritmos exibiram nas melhores classificações o indicador padrão de vegetação, resultando em ambos a classe nulo. Neste nível da calha, portanto, o indicador vegetação possui maior importância em relação aos demais indicadores, serrapilheira e dossel, que vem em planos secundários (Figura 5.15).



Figura 5.15 Aspecto do nível d'água em 02/04/2012 junto à margem direita da seção S3, e a transição entre a ausência e a presença de vegetação em função da proximidade com a água. Nota-se também a ausência de serrapilheira junto ao fluxo d'água. Fluxo da direita para a esquerda. Escala com intervalos de 20 cm.

Estas descargas frequentes neste nível definem um ambiente em que as condições físicas são constantemente influenciadas pela presença da água corrente. Com relação à escassez de vegetação nesse nível, os fluxos são importantes vias de dispersão de sementes de espécies pioneiras ripárias, mas a semeadura depende da variação entre as águas elevadas, onde são transportadas, e as baixas, quando as mesmas são depositadas (Mahoney e Rood, 1998). Ou seja, a vegetação se estabelece logo acima do nível mínimo que permanece na calha, mas quanto mais perto do nível d'água, menor a possibilidade de germinação. Segundo Hupp (1988), barras que apresentam mais de 40% do tempo de recobrimento pela água, raramente apresentam vegetação lenhosa.

Embora a germinação seja dificultada nesses níveis, algumas espécies são mais tolerantes tanto à presença de água quanto aos impactos provenientes de materiais carregados durante fluxos mais elevados. Hupp (1988) destaca que, no leito do canal, nas bordas ou mesmo no centro, podem ser povoadas por um tipo de vegetação adaptada à maior frequência dos fluxos de menor magnitude, pois apresentam em geral pequeno porte, caules resistentes e raízes de maior poder fixador no leito da calha.

Na área de estudo, observa-se que nas bordas da calha, junto à transição para a barranca lateral ou planície aluvial, também podem ser observados espécimes vegetais como as *Myrciarias spp.* adaptadas aos impactos dos fluxos fluviais (Figura 5.16). Estas espécies, ao contrário de outras que comumente povoam setores geomorfológicos além da barranca do canal, são tolerantes às inundações frequentes.



Figura 5.16 Arbustos de *Myrciaria sp.* na borda da calha, posicionada aproximadamente 50 m a jusante da seção S4. O fuste apresenta-se inclinado, com marcas de impactos e com acumulações de detritos, porém, o mesmo está firmemente fixo no substrato. Sentido do fluxo da esquerda para a direita. Fotografia de 04-04-2011. Canivete de escala.

Nos fluxos até $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$, estes são submetidos à rugosidade acentuada dos trechos de soleira, por vezes se dividindo em fluxos diversos por entre blocos e matações, enquanto que nos trechos de depressão, este exibe maior profundidade e um fluxo único com menos obstáculos. Estas diferenças em função do padrão morfológico da calha, observadas em campo, também influenciam na distribuição da vegetação. Nas áreas de soleira, durante os fluxos inferiores, ficam expostas superfícies de sedimentos grosseiros sem vegetação e muito pouca serrapilheira. Na área de estudo, esta superfície foi identificada como sendo uma barra cascalhosa.

No setor de depressão, também ocorre uma barra não vegetada e sem presença de serrapilheira, porém esta possui granulometria mais fina (vide foto Apêndice 10) e é menor em área ocupada na calha. Estas formas sedimentares não são recobertas por serrapilheira e tampouco pela vegetação devido à elevada mobilidade (ou trânsito) de sedimentos que se processa nessas áreas em durante os eventos cuja frequência é comum a este nível linimétrico, e que são recorrentes o suficiente para impedir o estabelecimento dos indicadores referidos.

Com relação à serrapilheira, esta é impedida de se acumular nos níveis inferiores a $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ principalmente devido à capacidade de transporte dos fluxos que, mesmo reduzidos, são competentes o bastante para levar a jusante folhas e demais materiais de densidade reduzida. Materiais orgânicos de maior volume, como galhos ou troncos de árvores, em geral

são removidos apenas por fluxos de maior intensidade (Faria, 2000), não sendo considerados no presente trabalho.

O indicador sedimento não apresentou correlações com a classe de vazão $< 0,2 \text{ m}^3/\text{s}$. Isso se deve possivelmente à mescla de sedimentos finos e grosseiros presentes ao nível do leito ao longo do trecho estudado. As observações em campo, bem como diversas referências, demonstram que nos ambientes de soleira predominam sedimentos mais grosseiros e nas depressões predominam os mais finos. Como as seções de estudo abrangem ambas as unidades morfológicas de soleira e depressão, não houve predomínio de uma classe de sedimentos específica.

No entanto, de acordo com as análises granulométricas executadas, existe uma graduação evidente de sedimentos de diâmetro maior no fundo da calha até mais finos nos níveis elevados em todas as seções, independentemente se a calha for em soleira ou em depressão (vide seções estratigráficas no Apêndice 19).

A morfologia da calha neste nível é nitidamente assimétrica e apresenta dois ambientes distintos em cada margem, de acordo com os processos fluviais predominantes. De forma abrangente, as seções apresentam uma margem de declividade suave e, a oposta, íngreme. Na margem suave, depósitos de finos sugerem que predominam os processos de deposição de sedimentos (acrecção), enquanto que na margem íngreme, desbarrancamentos e “blocos” de finos coesos na calha indicam a predominância de processos de erosão lateral (degradação).

Estas condições podem estar associadas à morfologia em planta do canal, que apresenta, tipicamente, o padrão meandrante, cujas margens deposicionais se encontram na porção convexa da curva, enquanto que as erosivas, na margem côncava da curva.

Na margem erosiva, em geral, ocorre uma barranca íngreme e escavada na base pelo fluxo. Conforme os fluxos erodem a barranca, a porção superior da mesma colapsa, pois é perdido o suporte dos materiais subjacentes. Dessa forma a calha libera sedimentos ao fluxo d'água. Nas margens erosivas, as vazões até $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$, embora não cheguem a cobrir a barranca erosiva, é possível que sejam o suficientemente competentes para promover o recuo da margem erosiva de forma efetiva. Esses tanto podem integrar a carga de fundo, na forma de “blocos”, quando são compostos por sedimentos coesos (Figura 5.17), ou na forma de carga suspensa.



Figura 5.17 “Bloco” de materiais finos e coesos, desprendidos da barranca erosiva do ribeirão do Cadete, junto à seção S3. Fluxo da esquerda para a direita. Fotografia de 01-03-2012.

A vegetação também possui um papel importante na margem erosiva. Esta pode contribuir na estabilidade da mesma, contrapondo o poder erosivo dos fluxos, e fornecer matéria orgânica que pode aumentar a coesão dos agregados. Não raro o sistema radicular superficial promove alta coesão na barranca, formando uma espécie de saliência sobre o leito, enquanto os materiais, mas abaixo são erodidos (vide seção S3 na Figura 5.18 Figura 5.19).



Figura 5.18 Saliência na barranca formada pela erosão dos materiais subjacentes pelos fluxos. Nota-se a presença de raízes expostas e a cobertura de musgos na barranca junto da escala. Seção S3. Escala com divisões de 20 cm. Fotografia de 01-03-2012.

Segundo Friedman et al. (1996), a vegetação presente na calha também contribui para manter a largura da mesma, evitando o alargamento contínuo erosão lateral. Em um estudo com monitoramento da morfologia de uma calha após um evento extremo, onde houve erosão lateral expressiva, os autores notaram que a vegetação tinha papel ativo no estreitamento do canal até atingir uma largura semelhante à anterior ao evento.

Nas barrancas que ocorrem na área de estudo os sedimentos podem ser protegidos de forma eficiente se forem recobertos por uma camada de briófitas (musgos e/ou líquens), formando uma espécie de barreira que impede a remoção do material pelo fluxo. O papel fixador de sedimentos por musgos e líquens já foi destacado por outros estudos geomorfológicos, como em Martínéz e Maun (1999), que verificaram a estabilização de sedimentos por musgos em sistemas de dunas costeiras. Na Figura 5.19 são demonstradas as seções com o nível $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ indicado e as margens deposicionais, e as opostas, erosivas.

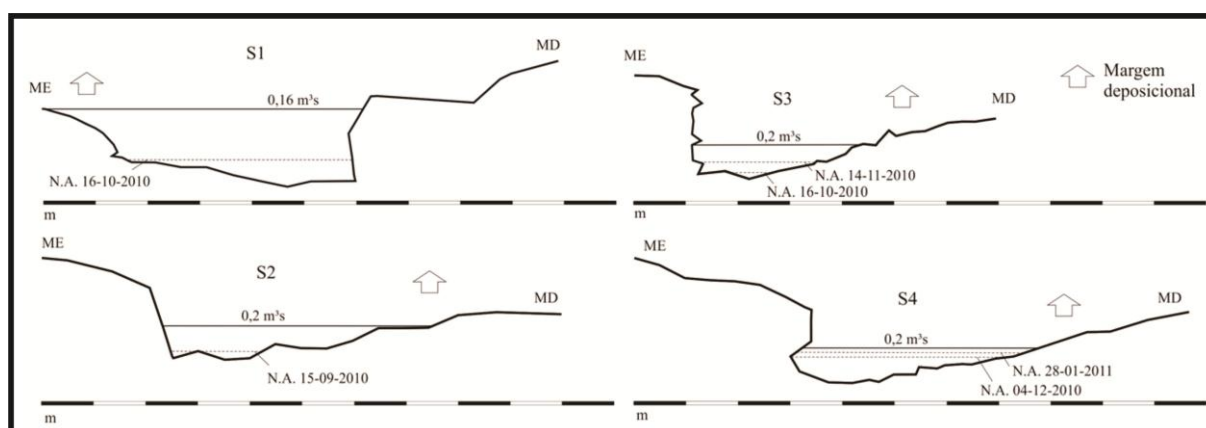


Figura 5.19: Seções analisadas no ribeirão do cadete, com indicação dos níveis referentes à vazão $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ e margens com predominância de processos erosivos e deposicionais.

Nota-se que o talvegue se posiciona junto à barranca erosiva em todas as seções e, com exceção da seção S1, o nível de vazão $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ apresenta uma posição morfológica semelhante em todas as seções. A seção S1 apresenta a cota de $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ bem mais elevada que as demais, em virtude da declividade reduzida desse trecho (vide tabela do Apêndice 1), sendo que o limite máximo de vazões calculadas não excede $0,16 \text{ m}^3/\text{s}$ neste trecho.

No caso da classe de vazão D ($> 0,6 \text{ m}^3/\text{s}$), a aplicação do algoritmo de regras de associação resultou na associação desta com o indicador sedimentos (classe fino), enquanto que os algoritmos de árvores de decisão obtiveram melhores classificações com as classes de vegetação (arbustiva), sedimentos (fino) e serrapilheira (contínua).

Ambos os algoritmos obtiveram classificações relativas ao indicador sedimentos, sugerindo que este indicador é o mais relevante neste caso. Ao contrário da classe de débitos inferior a esta ($< 0,2 \text{ m}^3/\text{s}$), que não apresentou correlação com de qualquer classe de sedimento, a classe de vazão $> 0,6 \text{ m}^3/\text{s}$ apresentou uma relação como a classe de sedimentos fina. Isso se deve provavelmente à homogeneidade com que a classe fino ocorre nos níveis superiores a esta cota.

Essa predominância de sedimentos finos é uma condição importante que se relaciona a diversos aspectos dos padrões geomorfológicos e estratigráficos do ambiente aluvial. É comum que nas planícies aluviais, quando o fluxo acima do nível de margens plenas transborda para além dos diques marginais levando sedimentos finos, formam depósitos de *overbank* (Wolman e Leopold, 1987). Este padrão leva à formação de uma estratigrafia cuja principal característica é a granodecrescência ascendente.

Nos depósitos aluviais recentes formados pelo ribeirão do Cadete, verifica-se a importância da fração granulométrica fina, o que pode indicar uma elevada importância da deposição de finos em níveis acima de $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$, condicionados pela morfologia e pela presença de vegetação densa.

De acordo com os dados tratados com auxílio dos algoritmos, temos que a vegetação predomina de forma mais densa após o nível $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$ e, conseqüentemente, é responsável pela diminuição da velocidade da água, o que pode promover uma maior deposição de finos quando o fluxo atinge cotas mais elevadas. A presença de vegetação densa é destacado por diversos estudos como um importante mecanismo de aumento de rugosidade na calha (Arcement e Schneider, 1989), promovendo a deposição e estabilização de sedimentos, mecanismos nomeados por Corenblit et al. (2007) de bioconstrução passiva.

A classe de vegetação identificada pelos algoritmos ao nível de débitos $> 0,6 \text{ m}^3/\text{s}$ é a classe arbustiva. O padrão arbustivo nesse nível indica um maior desenvolvimento da vegetação e uma menor influência dos fluxos fluviais. Segundo Pike e Scatena (2010), nas calhas fluviais tropicais de Porto Rico, a ocorrência de arbustos e árvores é relativa à estágios elevados que são inundados, ao menos brevemente, diversas vezes ao ano (sob pluviosidade mais intensa e frequente que na presente área de estudo).

Segundo o mesmo estudo, arbustos lenhosos e árvores também são relacionados ao nível de descarga de fundo efetiva e ao nível de margens plenas nos canais estudados. Osterkamp e Hupp (1984) também considera que o limite mais baixo de ocorrência de arbustos marca em geral o início de barras deposicionais na calha.

Com relação ao indicador serrapilheira, a menor influência de fluxos neste nível permite o acúmulo da mesma e recobrimento completo dos sedimentos. Este recobrimento é mais homogêneo nas margens deposicionais, pois nas margens erosivas a declividade acentuada e os processos de erosão lateral pelos fluxos por vezes não possibilita a manutenção desse recobrimento contínuo. Nessas margens erosivas, o recobrimento contínuo ocorre apenas na porção onde a seção apresenta topografia plana, como no topo do terraço ou superfície da planície de inundação.

A Figura 5.20 mostra o nível $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$ para as seções S2, S3 e S4 e o limite máximo calculado da seção S1. Verifica-se que estes níveis se encontram próximos ao limite superior das barrancas erosivas.

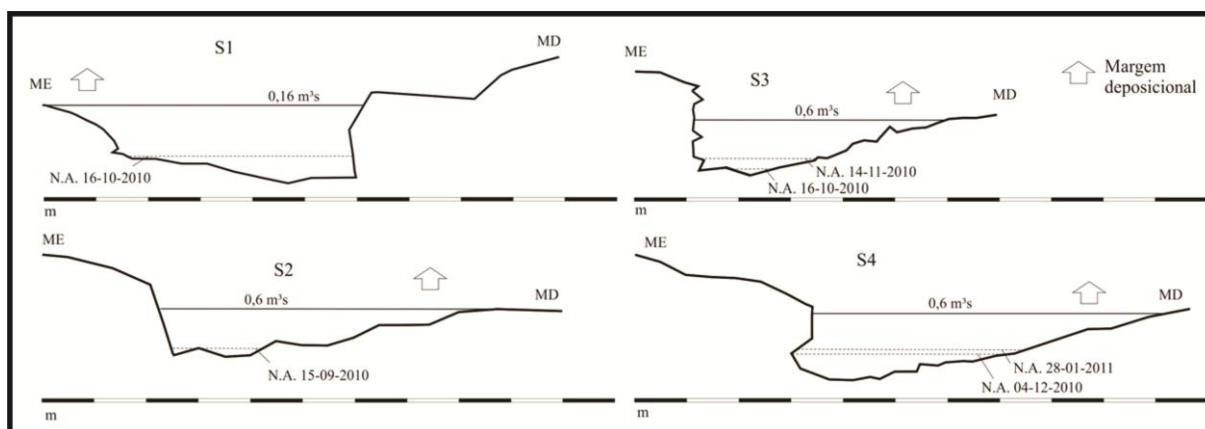


Figura 5.20: Seções analisadas com indicação do nível d'água estimado a $> 0,6 \text{ m}^3/\text{s}$ e indicação das margens deposicionais, opostas às erosivas.

Tal como já destacado anteriormente, as classes dos indicadores de cada nível considerado são basicamente opostas em suas características. Na classe $< 0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ são evidentes feições típicas de calha, com influência de fluxos frequentes, enquanto que na classe $> 0,6 \text{ m}^3/\text{s}$, são evidentes características de planície aluvial. Considerou-se, portanto, que existe um limiar neste ambiente fluvial que define até onde os processos fluviais são mais atuantes sobre os materiais aluviais e comunidades vegetacionais, e este limiar se encontra entre as classes $< 0,2$ e $> 0,6 \text{ m}^3/\text{s}$.

Foi, portanto, adotado o valor $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ como limite onde abaixo deste pode existir uma espécie de equilíbrio na relação entre frequência e magnitude de eventos onde os mesmos são capazes de manter a configuração morfológica típica de calha aluvial, eliminar a serrapilheira e interagir com a vegetação.

De forma semelhante, o levantamento de indicadores de Pike e Scatena (2010) resultou em correlações relevantes entre os débitos e os padrões de vegetação e tipo de substrato. Musgos, gramíneas, herbáceas, arbustos e árvores foram zonados de acordo com a elevação ao longo da seção transversal dos canais analisados.

Através de uma árvore de decisão, encontraram que quando a vegetação é de pequeno porte e o substrato é grosseiro, a vazão vinculada é de $0,08 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ para canais aluviais. Se compararmos este valor com a área de drenagem da bacia do presente trabalho ($3,14 \text{ km}^2$), resultaria em $0,25 \text{ m}^3/\text{s}$, vazão semelhante à classe A ($< 0,2 \text{ m}^3/\text{s}$) relacionada à sedimentos grosseiros e à vegetação nula na área de estudo.

Já a ocorrência de sedimentos finos no estudo de Pike e Scatena (2010) é vinculada à vazão de $0,64 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, o que se comparado à bacia em estudo, resultaria numa vazão de $2,1 \text{ m}^3/\text{s}$. Esta vazão se enquadraria na classe D ($> 0,6 \text{ m}^3/\text{s}$), que também está relacionada à presença de sedimentos finos.

Embora a vazão $2,1 \text{ m}^3/\text{s}$ predita com base no estudo de Pike e Scatena se enquadre na classe $> 0,6 \text{ m}^3/\text{s}$ do presente trabalho, esta é bem superior a qualquer vazão estimada nas seções levantadas na bacia do ribeirão do Cadete. Isso se deve possivelmente à uma maior precipitação total (4.500 mm) anual e à ocorrência de eventos extremos de até 600 mm diários na região montanhosa de Porto Rico. Tais *inputs* extremos de precipitação podem ser a razão de o início da presença de sedimentos finos na calha ser a um nível mais elevado.

Com relação a trabalhos que consideram indicadores ripários para determinados débitos, Williams (1978) descreve diversas formas de determinação do nível de margens plenas. Discute o papel da vegetação perene, principalmente o limite mais baixo da ocorrência de plantas arbóreas, que seria coerente com o nível de extravasamento para a planície aluvial. O autor comenta que esse limite é útil para ajudar a definir a planície aluvial ativa, entretanto, se utilizado independentemente, este é passível de erros, devido às características por vezes peculiares da cada espécie em relação a tolerâncias ambientais no corredor fluvial.

No presente trabalho, ficaram evidentes dois padrões de vegetação que apresentaram de modo geral uma correlação satisfatória com determinados níveis fluviais, que são as classes nulo, nos fluxos até $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$, e classe arbustiva, nos fluxos superiores a $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$. Já Pike e Scatena (2010) encontraram relações relevantes entre níveis de vazão com diversos padrões de vegetação: musgos, herbáceas, gramíneas, arbustos e árvores, relacionados cada um respectivamente a níveis cada vez mais elevados na calha.

A vegetação, no entanto, faz parte de um conjunto que compõem o corredor fluvial e sua distribuição de débitos, sedimentos e vegetação, que da maneira que avança

lateralmente cria uma estratigrafia específica. Da mesma forma que pode ser observado um misto de sedimentos finos e grosseiros no fundo da calha e exclusivamente finos nas porções superiores, as análises estratigráficas dos depósitos mais antigos também demonstram um padrão semelhante.

Alguns trabalhos em contextos geomorfológicos semelhantes também demonstram padrões parecidos aos observados na área de estudo, como em Osis e Oliveira (2008) e Arruda (2004), cujos trabalhos evidenciam estratigrafias aluviais formadas por canais com elevada carga grosseira no leito, sendo superpostos por finos (Figura 5.21).

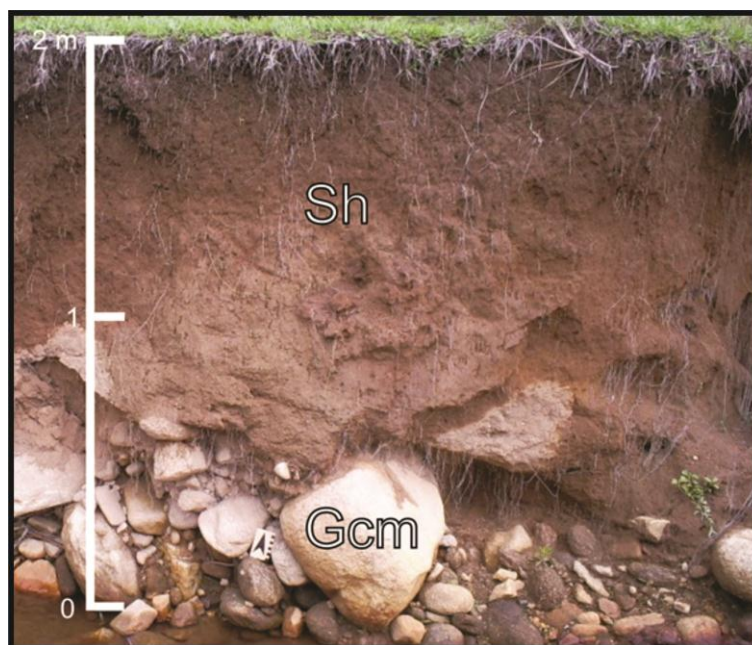


Figura 5.21 Seção vertical de depósito quaternário, exibindo nível conglomerático sobreposto por materiais finos. Setor aluvial da bacia de drenagem do ribeirão Piranguçu, Minas Gerais. Fácies classificadas segundo Miall (1978): Sh – areia muito fina a grossa, podendo ter grânulos; Gcm – cascalho maciço sustentado por clastos. (Baseado em Osis e Oliveira 2008).

No trabalho de Osis e Oliveira (2008), foi analisada a estratigrafia de um depósito fluvial posicionado na transição entre os setores erosivo e aluvial de bacias tributárias do rio Sapucaí, Minas Gerais, assentadas sobre gnaisses, onde ocorrem padrões soleira-depressão, também sendo identificadas fácies finas sobrepostas a grosseiras.

A interpretação desses depósitos, segundo os autores, permitiu inferir que os mesmos estão relacionados a duas fases: sendo a primeira corresponde à aggradação dos fundos de vale, devido ao excesso de disponibilidade de sedimentos e/ou diminuição da competência das drenagens, o que gerou fácies grosseiras, oriundas de fluxo de detritos e depósitos de corrente e, uma segunda fase, de sobreposição por materiais finos, possivelmente vinculados à diminuição da disponibilidade de sedimentos da vertente à calha e instalação do

sistema fluvial atual. As principais causas externas foram creditadas a mudanças climáticas no Quaternário Tardio e a possíveis efeitos da tectônica.

Arruda (2004) interpreta as fácies grosseiras e finas do setor aluvial da bacia do ribeirão Entupido, no Complexo Alcalino de Passa Quatro (São Paulo), ambas como sendo resultantes de estágios distintos de disponibilidade de determinados tipos de sedimentos da bacia. Segundo o autor, através de análises estratigráficas e datações por termoluminescência, interpretaram que a ocorrência de depósitos de detritos na porção média da bacia e que podem ser observados na base de diversos perfis, pode estar relacionada a um período mais seco no Pleistoceno inferior a médio. Após este período, a drenagem holocênica, influenciada pelas condições mais úmidas, retrabalhou estes materiais formando os depósitos observados na atualidade (Figura 5.22).

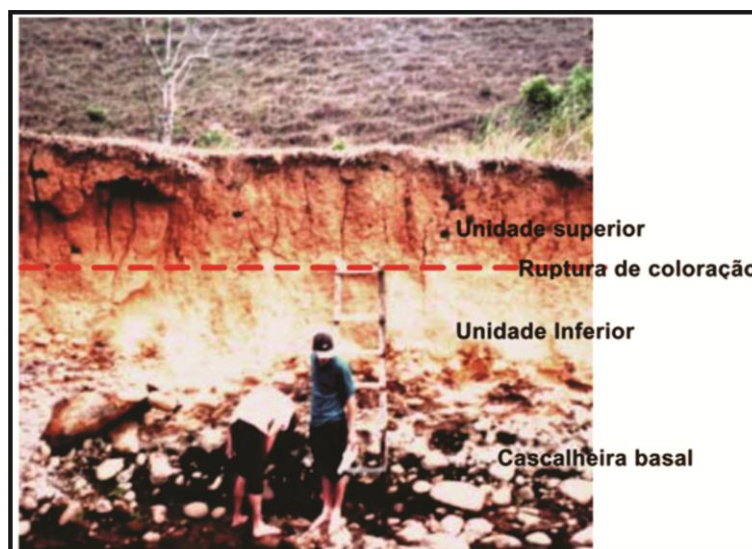


Figura 5.22 Visão geral do terraço fluvial na média bacia do ribeirão Entupido. Adaptado de Arruda (2004).

Os depósitos descritos neste e nos trabalhos de Arruda (2004) e Osis e Oliveira (2008), formados sob litologias diferentes, mas sob condições morfológicas semelhantes (superfícies aluviais junto de áreas de elevada energia) são semelhantes do ponto de vista estratigráfico. Em todos os casos são característicos os processos de erosão lateral da calha sobre o terraço, e o mesmo demonstrando granodecrescência ascendente com ruptura nítida de cascalhos para finos.

Com este contexto geomorfológico e processual estabelecido, é possível tecer uma hipótese de que, na presente área de estudo, as fácies observadas atualmente no início do

trecho aluvial do ribeirão do Cadete é produto da dinâmica hidrológica holocênica, quando são estabelecidas condições climáticas mais úmidas.

De forma independente da história climática anterior e seus depósitos, é possível que os aluviões foram retrabalhados num sistema fluvial soleira-depressão, selecionando os clastos de maior dimensão para o leito, gerando fácies de leito do canal, e os mais finos formando as barras, que são relativas as fácies finas.

5.2. Definição de ambientes

Esta seção abrange uma síntese que reúne as principais características morfológicas resultantes dos componentes geomorfológicos, biológicos e hídricos da porção inicial do trecho aluvial do ribeirão do Cadete. Baseando-se na interpretação dos resultados dos algoritmos, bem como das campanhas de campo e no auxílio da pesquisa bibliográfica, foi elaborado um esquema explicativo, ou uma hipótese, dos processos que ocorrem no corredor fluvial estudado do ribeirão do Cadete, e que permitem a definição de ambientes segundo os indicadores utilizados.

Na presente abordagem, três principais componentes interagem para compor o sistema fluvial em questão: débitos, sedimentos e vegetação. As variações temporais e espaciais de débitos, associados intensamente com os *inputs* de sedimentos, constroem e destroem formas fluviais segundo suas propriedades físicas na interação com a calha.

Nesse contexto, a vegetação, aparentemente, constitui-se em um importante componente de “manutenção” de formas fluviais, uma vez que contribui na coesão das margens erosivas, através do sistema radicular, e na promoção de deposição sedimentar, através do aumento da rugosidade, processos também observados por outros trabalhos (e.g. Corenblit et al., 2007).

Esta rugosidade promovida pela vegetação pode explicar a ocorrência de fácies mais finas nas porções mais elevadas dos depósitos sedimentares, em contraste com os depósitos grosseiros do leito. Para este trecho do ribeirão do Cadete, o limiar aproximado que separa a formação de tais fácies mais “elevadas” das fácies “basais” é a cota relativa à vazão de 0,4 m³/s.

Abaixo desse limiar, os débitos e cargas sedimentares são frequentes o bastante para impedir o desenvolvimento pleno de vegetação, o que acaba por formar um ambiente dominado pelos processos hidrogeomorfológicos, enquanto que acima desse limiar, a menor

frequência de débitos (e sedimentos associados), gradativamente apresenta condições mais favoráveis ao desenvolvimento de processos bióticos.

Para exemplificar as condições morfológicas resultantes destes processos, foi elaborado um bloco diagrama que resume as principais características físicas do corredor fluvial analisado (Figura 5.23).

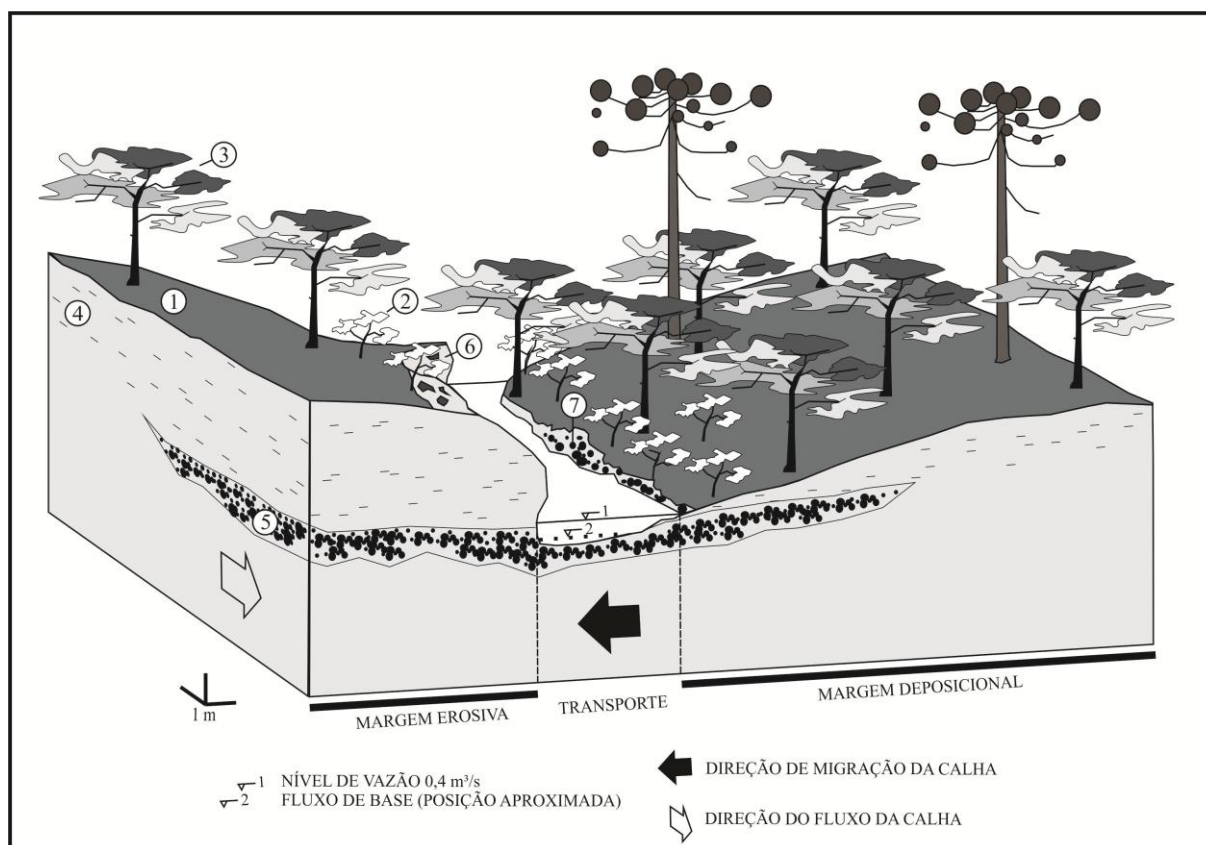


Figura 5.23: Síntese das informações obtidas com o estudo: bloco diagrama apresentando as principais componentes do meio físico analisadas (1- cobertura contínua de serrapilheira; 2- vegetação arbustiva; 3- vegetação arbórea; 4- fácies finas; 5- fácies grosseiras; 6- cobertura descontínua de serrapilheira; 7- barra).

Com a definição deste limiar, podem ser delimitados dois ambientes no corredor fluvial, sendo distintos pelos processos e formas envolvidos: o primeiro relacionado aos níveis abaixo de 0,4 m³/s, cujo formato e características de maior influência dos processos hidrogeomorfológicos suportam a definição de calha, e o segundo ambiente, relacionado aos níveis acima de 0,4 m³/s, cujos indicadores do meio físico e morfologia sugerem que este seja definido com planície aluvial ou terraço.

No ambiente calha os processos fluviais erosivos e deposicionais são mais intensos que os processos predominantes na área além da calha, onde prevalece a acumulação de serrapilheira e a dinâmica pedológica.

A vegetação não se desenvolve plenamente devido à frequência elevada de fluxos que impede o desenvolvimento de plântulas e também devido à alta mobilidade do substrato pelos fluxos. Embora não seja contemplado nesse estudo, este nível superior é o que mais se aproxima do conceito de descarga efetiva.

Segundo Wolman e Miller (1960), a descarga efetiva é aquela que transporta a maior proporção de sedimentos ao longo do tempo e, normalmente, sua recorrência é entre 1 e 2 anos. A descarga efetiva é correlacionada por muitos autores com a descarga ao nível de margens plenas, que é tida como a que recobre os diques marginais. No entanto, na presente área de estudo, cuja morfologia assimétrica proporciona uma margem íngreme (que pode ser a do terraço) e outra suave, sem quebras expressivas em direção à planície aluvial, fica pouco evidente a identificação do nível de margens plenas apenas por critérios morfológicos.

A serrapilheira na calha é predominantemente nula, pois esta é removida pelos fluxos de maior frequência. O recobrimento da superfície apresenta de forma geral uma gradação contínua que abrange desde a zona sem presença de serrapilheira, junto aos níveis mais baixos, até a zona de serrapilheira contínua, predominante além do nível de $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$.

A calha apresenta granulometria predominante grosseira junto ao leito e conforme a elevação existe a tendência de diminuição da granulometria dos sedimentos. Esta característica que promove a formação de uma estratigrafia aluvial com granodecrescência ascendente, conforme processo explicado anteriormente.

Na maior parte do tempo, os débitos do ribeirão do Cadete se restringem a uma porção inferior ao nível da calha, porção esta referente ao fluxo de base. No entanto, quando ocorrem pulsos de fluxos maiores que este nível, próximo ao nível máximo calha, mais comuns nas épocas chuvosas, são formadas barras que variam de areia a cascalho, variações que podem estar em dependência da disponibilidade de sedimentos e da competência do fluxo no local da deposição.

Barras arenosas ocorrem em geral em locais condicionados por obstáculos presentes na calha, como matacões, cuja dimensão e posição condicionam a forma deposicional. Estas formas também podem ser condicionadas pela morfologia em planta da calha, que condiciona a formação de uma barra arenosa na margem convexa, logo após um trecho de soleira.

Já a planície aluvial é representada por todos os níveis acima de $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ e são limitados superiormente pelo terraço. Este ambiente é contemplado por débitos de menor frequência e magnitude superior, que cobrem a planície de inundação até a base do terraço. A planície aluvial, por vezes, se desenvolve apenas de um lado da calha, este sendo geralmente a

margem deposicional, enquanto que na margem erosiva, a calha escava lateralmente o terraço, tal como demonstrado na representação do bloco diagrama (vide Figura 5.23).

Enquanto a calha recorta os sedimentos na margem erosiva, na margem deposicional este vai construindo as fácies correspondentes aos níveis fluviais já discutidos anteriormente, ou seja, no leito e calha são depositados predominantemente grosseiros, enquanto que nos níveis acima, são depositados finos. Dessa forma, a planície aluvial é formada a um nível mais baixo que o terraço. A presença de paleocanais paralelos à calha atual do ribeirão do Cadete sugere ainda que esse sistema geomorfológico pode estar sujeito a avulsões laterais da calha.

A vegetação nesse ambiente é predominante arbórea, com menor expressão dos estratos inferiores (arbustivas e herbáceas), e a cobertura de serrapilheira é bem desenvolvida, podendo formar turfeiras nos paleocanais, onde frequentemente o nível do lençol freático aflora formando lagoas intermitentes.

Na planície aluvial, a granulometria é predominante arenosa em função da deposição dos fluxos de cheia, pois a superfície aluvial apresenta elevada rugosidade, onde os fluxos apresentam competência unicamente para transportar finos.

A morfologia da planície aluvial é complexa e não obedece ao padrão normalmente encontrado em planícies aluviais mais desenvolvidas, onde existe predominância de sedimentos finos. Isso se deve provavelmente à elevada energia dos fluxos de água e sedimentos que este ambiente recebe do setor erosivo da bacia, posicionado logo a montante da área de estudo, e que apresenta declividades acentuadas.

O setor erosivo da bacia fornece uma grande proporção de sedimentos grosseiros e finos oriundos dos canais de menor ordem e de movimentos de massa das vertentes laterais a estes canais. Eventos de maior magnitude são importantes para liberar tanto sedimentos grosseiros como finos das margens dos canais confinados através da erosão lateral.

As estruturas e processos discutidos permitiram delimitar, portanto, uma série de superfícies geomorfológicas que respondem cada uma a determinados processos. Foram definidas três superfícies principais, relacionadas aos processos de maior abrangência no ambiente fluvial: calha, planície aluvial e terraço. A calha constrói a planície aluvial através do movimento lateral e deposição da margem convexa, enquanto que a margem côncava recorta a planície ou o terraço.

Na calha os ambientes são definidos em função da morfologia em planta, perfil transversal e longitudinal. A calha é definida pelo limiar de vazão $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$, onde foram

identificados os subambientes barra vegetada, barra de sedimentos finos, barra de sedimentos grosseiros, e os trechos identificados como soleira e depressão (Figura 5.24).

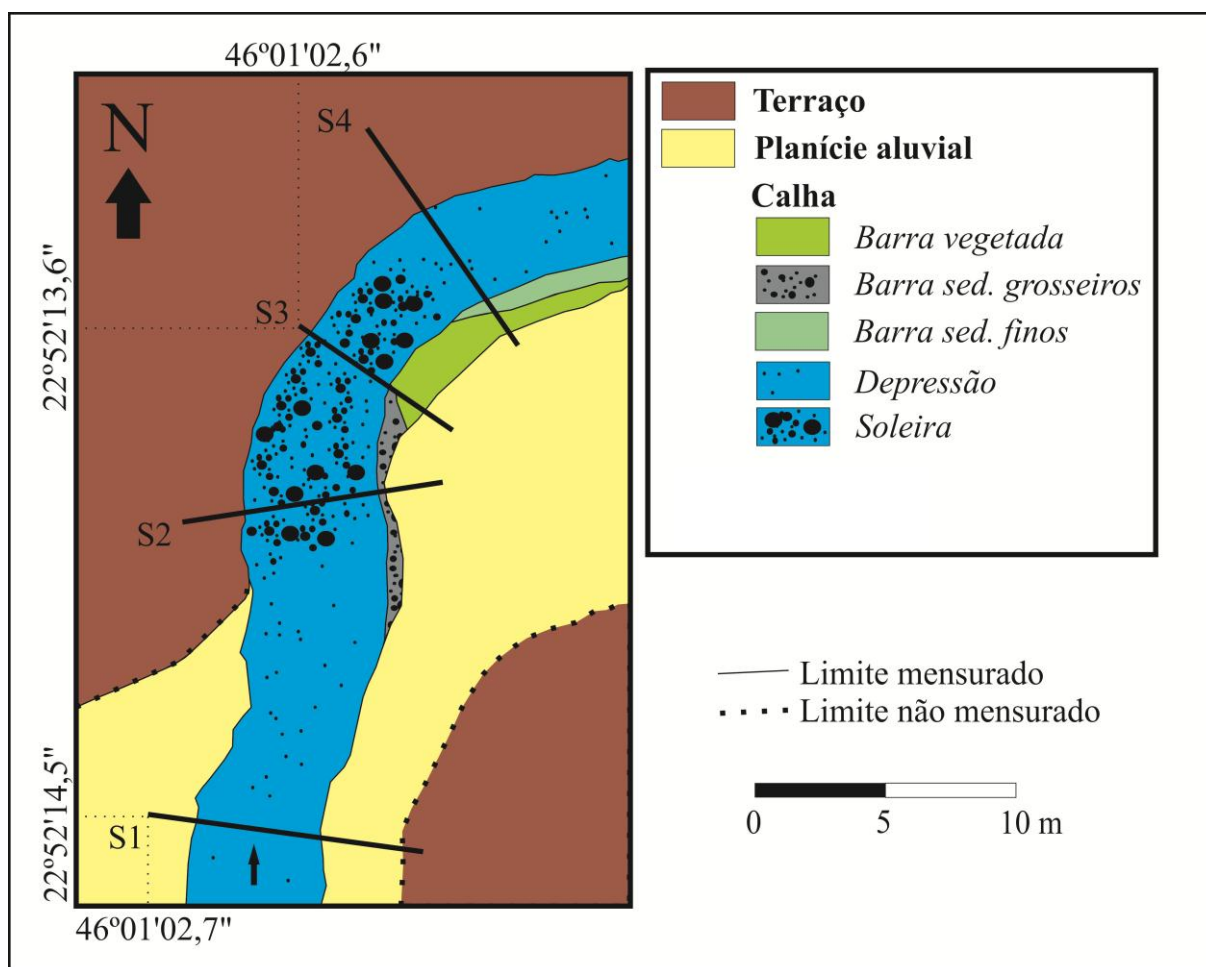


Figura 5.24 Ambientes fluviais definidos segundo as inter-relações entre componentes do meio físico e débitos.

No trecho de soleira associado à ao início da margem convexa ocorre um barra grosseira, enquanto que na parte central do trecho de soleira a vegetação recobre a barra, formando uma barra vegetada, enquanto que no trecho final da curva convexa, já em trecho de depressão, se estabelece uma barra de sedimentos finos. Observa-se, desta forma, uma gradação de barras com sedimentos mais grosseiros no início da curva da margem convexa e de trecho de soleira, para sedimentos mais finos no final da curva da margem convexa e fim do trecho de soleira.

Na margem oposta, côncava e erosiva, em toda a extensão é característica a barranca íngreme e com avanço por remoção da base e solapamento dos materiais superiores.

São definidos assim ambientes fluviais não através da análise de dados hidrológicos, mas através de uma via contrária, ou seja, através da interpretação das respostas que os padrões de débitos causam nos componentes físicos e bióticos da calha e planície aluvial.

6. CONCLUSÕES

A metodologia empregada, com tratamento dos dados pelos algoritmos, foi indispensável para identificar quais indicadores são correlatos a certos níveis de débitos. Desta forma foi possível identificar dois principais setores cujos processos físicos e bióticos são interatuantes, mas ocorrem em diferentes proporções: calha e planície aluvial. A análise conjunta dos dados evidenciou a importância de parâmetros bióticos na configuração do canal, além de características unicamente morfológicas que são comumente utilizadas nos estudos de geomorfologia fluvial.

Dentre as dificuldades encontradas do método empregado, destaca-se o montante de trabalho na coleta dos indicadores em cada seção. É possível desenvolver outros métodos de coleta mais rápidos, como a partir de fotografias da seção, ou mesmo a definição de um número limitado de dados de indicadores. Outro problema enfrentado constituiu o tratamento do banco de dados e a escolha dos algoritmos mais adequados, o que envolve testes para a definição dos melhores resultados.

A coleta em campo de dados referentes aos indicadores também ofereceu dificuldades em algumas ocasiões, como no indicador dossel, onde a avaliação da abertura do dossel conforme o procedimento adotado é sujeita a erros mais grosseiros que os dos demais indicadores levantados. Com relação às potencialidades do método, algumas são listadas a seguir:

- aplicação de métodos de Descoberta de Conhecimento em Banco de Dados para a definição de limites legais como Áreas de Proteção Permanente (APP) e Faixas Marginais de Proteção (FMP), em conjunto com estudos hidrológicos;
- se aliado a estudos hidrossedimentológicos, a correlação de indicadores bióticos pode ser relevante na definição do nível de margens plenas e da descarga dominante de um canal;
- pode auxiliar na definição de magnitudes de eventos extremos se aliados a dados temporais extensos, como os adquiridos por métodos dendrocronológicos ou datações radiométricas;
- para definição de áreas de risco a cheias e outros processos geomorfológicos de maior frequência em áreas urbanas e rurais;

- auxiliar na definição de ambientes físico/bióticos para fins de manejo e planejamento de áreas em degradadas, unidades de conservação ou de utilidade pública e privada;
- na definição espacial de planícies aluviais, em seu contato com os terraços e encostas laterais.
- na definição de limiares geoecológicos para usos sustentáveis dos recursos presentes nos ambientes fluviais.

O limiar de ambientes definido com base em indicadores do meio físico, com destaque aos padrões de sedimentos e vegetação, mostraram-se eficientes como medida não paramétrica para a delimitação de espaços no ambiente fluvial. Considera-se então que, os indicadores vegetação e sedimentos foram relevantes na maior parte das associações geradas em função de determinadas classes de vazões, possibilitando a identificação de limiares físicos definidos pelo padrão de débitos de determinado canal.

Os procedimentos adotados apontam também para duas considerações, uma referente aos procedimentos, e outra mais geral, relativa à geomorfologia.

A primeira é referente à utilização de métodos de descoberta de conhecimento para o tratamento de dados multivariados. Por vezes, podem ocorrer pobreza dos dados, mas, por outro lado, uma grande quantidade de dados também pode dificultar a aquisição de informações relevantes. O uso destas ferramentas pode ser útil no ultimo caso.

As classificações e associações proporcionadas pelos algoritmos se mostraram de grande valia no tratamento de dados geomorfológicos, e indicam que podem ser utilizados em um extenso campo de estudos, principalmente se considerarmos a demanda cada vez mais intensa de pesquisa voltada ao planejamento de uso racional dos recursos naturais.

A segunda consideração é referente à integração de estudos de natureza geomorfológica e biológica. Por vezes, nos estudos geomorfológicos, o menor papel relegado aos sistemas vivos pode fazer com que o entendimento dos processos na paisagem seja parcial.

De forma direta, a definição de ambientes fluviais pode auxiliar em diversos campos, de procedimentos acadêmicos ao planejamento do espaço. Estudos sedimentológicos, ecológicos, geotécnicos e geológicos, entre outros, frequentemente se utilizam de amostragem em campo para definição de proposições e verificação de hipóteses. A definição precisa dos processos no espaço é fundamental para a realização de amostragens coerentes.

A definição precisa de ambientes fluviais também pode auxiliar na identificação de formas fluviais que, posteriormente, podem ser identificadas na forma de fácies sedimentares. Um melhor detalhamento dos processos de deposição e dos depósitos mais antigos, bem como a mensuração da velocidade em que a calha migra lateralmente, pode quantificar os processos relativos às interações hidrogeomorfológicas e biológicas, resultando numa abordagem acurada para o entendimento do sistema fluvial e suas respostas geomorfológicas.

7. REFERÊNCIAS

- AARTS, G.; MATTHIOPOULOS, J.; MCCONNEL, B.; MACKENZIE, M.; FEDAK, M. Accounting for Different Sources of Temporal and Spatial Autocorrelation in Non-linear Habitat Preference Models. **The Fourth International Workshop on Environmental Applications of Machine Learning EAML2004**. Proceedings Bled, Slovenia September 27, 2004.
- AB' SÁBER, A. N. Summit Surfaces in Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30. n. 3, p. 515-516, 2000.
- AGRAWAL, R.; IMIELINSKI, T.; SWAMI. A. Mining Association Rules Between Sets of Items in Large Databases in: ACM SIGMOD INT'L CONFERENCE ON MANAGEMENT OF DATA, Washington, 1993. **Proceedings of the ACM SIGMODInt'l Conf. on Management of Data**, Washington, D.C., USA, p. 207-216, 1993,
- AGRAWAL, R.; SRIKANT, R. Fast Algorithms for Mining Association Rules in: 20th INT'L CONFERENCE ON VERY LARGE DATABASES, Santiago, Chile, Set. 1994 **Proceedings of the 20th Int'l Conference on Very Large Databases**. Santiago, 1994.
- AGRAWAL, R.; SRIKANT, R. Fast Algorithms for Mining Association Rules in Large Databases in: **20th International Conference on Very Large Data Bases**, p. 478-499, 1994.
- ALESTALO, J. Dendrochronological Interpretation of Geomorphic Processes. **Fennia**, v. 105, p. 1-140, 1971.
- ALMEIDA, F.F.M. de. Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista in: Instituto Geográfico e Geológico. **Geologia do Estado de São Paulo**. São Paulo: IGG. v. 41, p. 167-263, 1964.
- ARCEMENT, G. J.; SCHNEIDER, V. R. **Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains**. U.S. G.P.O. Washington and Denver, CO, 1988.
- ARRUDA, E. M. Caracterização dos Ambientes Depositionais na Bacia do Ribeirão Entupido, Complexo Alcalino do Passa Quatro, Estado de São Paulo. **Dissertação de Mestrado**, Universidade Estadual Paulista, 2004.
- AZAMATHULLA, H. M 1; GHANI, A .A.; CHANG, C. K .; HASAN, Z. A.; ZAKARIA, N.A. Machine Learning Approach to Predict Sediment Load – A Case Study. **Clean. Soil, Air, Water**. v. 38, n. 10, p. 969-976, 2010.
- BACKES, A.; PRATES, F. L. Produção de Serapilheira em Floresta Ombrófila Mista, em São Francisco de Paula, Rio Grande do Sul, Brasil. **Acta Botânica Brasileira**, v. 19, n. 1, p. 155-160, 2005.

BAKER, V. R. Overview. In.: BAKER, V. R.; KOCHER, R. C.; PATTON, P. C. (Org.). **Flood Geomorphology**. New York: Wiley, 1988.

BAKER, V. R. Paleoflood Hydrology and Hydroclimatic Change: The Influence of Climate Change and Climatic Variability on the Hydrologic Regime and Water Resources in: BALLESTEROS, C. J.A.; EGUIBAR, M.; BODOQUE, J.M.; GUTIÉRREZ-PÉREZ, I.; DÍEZ-HERRERO, A.; STOFFEL, M. Combining Dendrogeomorphological and Topographical Techniques for Hydraulic Modelling in Mountain Streams. **18th World IMACS / MODSIM Congress**, Cairns, Australia, 2009.

BEDINGER, M. S. Forest Species as Indicators of Flooding in the Lower White River, Arkansas. **U.S. Geol. Survey Prof. Paper**, v. 150-C, p. 248-253, 1971.

BENDA, L.; HASSAN, M. A.; CHURCH, M.; MAY, C. Geomorphology of Steepland Headwaters: the Transition from Hillslopes to Channels. **Journal of the American Water Resources Association**, 2005.

BENITO, G.; SÁNCHEZ-MOYA, Y.; SOPENÁ, A. Sedimentology of high-stage flood deposits of the Tagus River, Central Spain. **Sedimentary Geology**, v. 157, p. 107–132, 2003.

BERTALANFFY, L. von. The Theory of Open Systems in Physics and Biology. **Science**, n. 13, v. 111, 1950.

BERTRAND, G. Paysage et Géographie Physique Global, **Revue Géographique des pyrénées et du Sud-Ouest**. Toulouse, v. 39, n. 3, p. 242-272, 1968.

BLOTT, S. J.; PYE, K. Surface Processes and Modern Environments Research Group, Department of Geology, Royal. Gradistat: a Grain Size Distribution and Statistics Package for the Analysis of Unconsolidated Sediments. **Earth Surf. Process. Landforms** n. 26, p. 1237–1248, 2001.

BRASIL. **Parecer Nº 1.358 de 2011**. Disponível em <http://www.senado.gov.br/atividade/materia/getPDF.asp?t=100772&tp=1>. Acessado em 22/03/2012.

BRASIL. **Código Florestal Brasileiro: Principais Diferenças Entre a Legislação Atual e o Texto Aprovado na Câmara**. Disponível em: http://www.senado.gov.br/noticias/agencia/infos/info_novo_codigo/novo_codigo.html. Acessado em 22/03/2012.

BRIDGE, J.S. **Rivers and Floodplains: Forms, Processes and Sedimentary Record**. Blackwell Science, 2003.

BROKAW, N. V. L. Treefalls: Frequency, Time, and Consequences. In: LEIGHT, Jr. E. G.; RAND, A. S.; Windsor, D. M. (eds.). **The Ecology of a Tropical Forest: Seasonal Rythms and Long-Term Changes**. Smith. Inst. Press, Washington, D.C., U.S.A. p.101-108, 1982.

CAPRA, F. **A Teia da Vida: uma Nova Compreensão Científica dos Sistemas Vivos**. Editora Cultrix. São Paulo, 1996.

CAVALCANTE, J.C.; CUNHA, H.C.S.; CHIEREGATI, L.A.; KAEFER, L.Q.; ROCHA, J.M.; DAITX, E.C.; COUTINHO, M.G.N.; YAMAMOTO, K.; DRUMOND, J.B.V.; ROSA, D.B.; RAMALHO, R. **Projeto Sapucaí (Relatório Final de Geologia)**. Brasília, DNPM/CPRM, Série Geologia, 5 (Seção Geologia Básica, 2), 299 p., 1979.

CARVALHO, N.O.; FILIZOLA JR, N.P.; SANTOS, P.M.C.; LIMA, J.E.F.W. **Guia de Práticas Sedimentométricas**. Brasília: ANEEL, 154 p., 2000.

CHAGAS, D. J.; CHAN, C. S.; CORSI, A. C. Análise do Banco de Atendimentos da Defesa Civil do Estado de São Paulo. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, v. 33–1, p. 35-43, 2010.

CHARRON, I.; JOHNSON, E. A.; MARTIN, Y. E. Tree Establishment on Bars in Low-order Gravel-bed Mountain Streams. **Earth-Science Reviews**, v. 1533, n. July, p. 1522-1533, 2011.

CHORLEY, R.J. (ed.). **Water, Earth and Man**. Methuen, London, 588 p., 1969.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. Edgard Blucher. 2. Ed., 2002.

CORENBLIT, D.; TABACCHI, E.; STEIGER, J.; GURNELL, A. M. Reciprocal Interactions and Adjustments between Fluvial Landforms and Vegetation Dynamics in River Corridors: A Review of Complementary Approaches. **Earth-Science Reviews**, n. 84, p. 56–86, 2007.

COSTA, J. E. Paleohydraulic Reconstruction of Flash-Flood Peaks From Boulder Deposits in The Colorado Front Range. **Geological Society of America Bulletin**. v. 94, p. 986-1004, 1983.

COSTA, J.E. Reology of Floods in: BAKER, V. R.; KOCHER, R. C.; PATTON, P. C. (Org.). **Flood Geomorphology**. New York: Wiley, 1988.

COWAN, W.L. Estimating Hydraulic Roughness Coefficients. **Agricultural Engineering**, v. 37, n. 7, p. 473-475, 1956.

CRIVELANTI, R. C.; COELHO, R. M.; ADAMI, S. F. E.; OLIVEIRA, S.R. M. Mineração de Dados para Inferência de Relações Solo-paisagem em Mapeamentos Digitais de Solo. **Pesq. Agropec. Bras.** Brasília, v.44, n.12, p.1707-1715, 2009.

DAVIS, W. M. The Geographical Cycle. **The geographical Journal**. Vol. 14, n. 5, p. 481-504., 1899.

DE'ATH, G. Multivariate Regression Trees: a New Technique for Modeling Species–Environment Relationships. **Ecology**, v. 83, n. 4, p. 1105–1117, 2002.

DEBELJAK, M.; BABIČ, J. Characterizing Vertical Forest Stands Structure Using Data Mining Methods. **The Fourth International Workshop on Environmental Applications of Machine Learning EAML 2004. Proceedings**. Bled, Slovenia September 27 – October 1, 2004.

DEMŠAR, D.; DŽEROSKI, S.; KROGH, P. H.; LARSEN, T. Using Multiobjective Classification to Model Communities of Soil Microarthropods. **Fourth International Workshop on Environmental Applications of Machine Learning EAML 2004 Proceedings**. Bled, Slovenia September 27 – October 1, 2004.

DINIZ, C. A. R.; LOUZADA-NETO, F. **Data Mining: Uma introdução**. São Paulo. Associação Brasileira de Estatística. 134p., 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA SOLOS. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, p. 412, 1999.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. 1981. Mapa de Solos do Brasil, 1:5.000.000. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Rio de Janeiro.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro. 212 p., 1997.

ERSA. **PCH Tombo: Atualização dos Estudos Hidrológicos**. Dezembro, 2009.

FAYYAD, U. M.; PIATETSKY-SHAPIO, G.; SMYTH, P. From Data Mining to Knowledge Discovery: An Overview. In: FAYYAD, U. M.; PIATETSKY-SHAPIO, G.; SMYTH, P.; UTHURUSAMY, R. (Ed.). **Advances in Knowledge Discovery and Data Mining**. MIT Press, 1ª edição, Cap. 1, 1996.

FARIA, A. P. Influência da Vegetação nos Processos Fluviais de Bacias de 1ª ordem. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, p. 59-68, 2000.

FERREIRA, A. M. F.; TEIXEIRA, S. M. Classificação da Cafeicultura Familiar Pelo Uso de Clusterização. Trabalho apresentado no Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil (5. 2007 : Águas de Lindóia, SP). **Anais**. Brasília, D.F. Embrapa Café, 2007.

FERREIRA, V. **Teoria Geral dos Sistemas**. IPEP: São Paulo, 2002.

FERNANDEZ, O. V. Q.; SANDER, C.; REBELATTO, G. E. Sequência de Soleiras e Depressões no Córrego Guavirá, Marechal Cândido Rondon, Região Oeste do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Ano 3, nº 1, p. 49-57, 2002.

FERNANDEZ, O. V. Q. Mudanças Topográficas e Sedimentológicas em uma Unidade Soleira-Depressão no Córrego Guavirá, Marechal Cândido Rondon, Paraná. **Pesquisas em Geociências**, n. 30. p. 53-63, 2003.

FONSECA, J. M. M. R. Indução de Árvores de Decisão *HistClass* - Proposta de um Algoritmo não Paramétrico. **Tese de Doutorado**. Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 1994.

FRIEDMAN, J.M.; OSTERKAMP, W.R.; LEWIS JR., W.M. The Role of Vegetation and Bed-level Fluctuations in the Processes of Channel Narrowing. **Geomorphology**, v. 14, p. 341-351, 1999.

FRITZ, H.C. **Tree Rings and Climate**. Academic Press, New York, p.567, 1976.

FRIEDL, M.; BRODLEY, C. Decision Tree Classification of Land Cover From Remotely Sensed Data. **Remote Sensing of Environment**, v. 61, p. 399-409, 1997.

GILBERT, G.K. **Report on The Geology of The Henry Mountains**. Department de The Interior, Washington, 1877.

GOETHALS, P. DZEROSKI, S.; VANROLLEGHEM, P.; DE PA, N. Prediction of Benthic Macro-Invertebrate Taxa (Asellidae and Tubificidae) in Watercourses of Flanders by Means of Classification Trees. **IWA 2nd WWC**, Berlin, 2001.

GOLDSCHMIDT, R.; PASSOS, E. **Data Mining: um guia prático**. Rio de Janeiro: Editora Campus - Elsevier, 2005.

GRAF, W. L. The Rate Law in Fluvial Geomorphology. **Am. J. Sci.** v. 277, p. 178-191 February 1, 1977.

GRAF, W. Geomorphology and American Dams: The Scientific, Social, and Economic Context. **Geomorphology**, Vol. 71, Is. 1-2, p. 3-26, 2005.

HAN, D.; CLUCKIE, I. D., KARBASSIOUN, D., LAWRY, J.; KRAUSKOP, B.F. River Flow Modelling Using Fuzzy Decision Trees. **Water Resources Management**. 16, p. 431-445, 2002.

HERSCHY, R. W. **Streamflow Measurement**. Londres: Elsevier, 553 p., 1985.

HUGHES, F.M.R.; ROOD, S.B. Floodplains. In: WARREN, A.; FRENCH, J.R. (Eds). **Habitat Conservation: Managing the Physical Environment**. New York, NY: Wiley, 2001.

HUPP, C. R. Plant Ecological Aspects of Flood Geomorphology and Paleoflood History. In: BAKER, V. R.; KOCHER, R. C.; PATTON, P. C. (Org.). **Flood Geomorphology**. New York: Wiley, 1988.

HUPP, C. R.; OSTERKAMP, W. R. Bottomland Vegetation Distribution along Passage Creek, Virginia, in Relation to Fluvial Landforms. **Ecology**, v. 66, n. 3, p. 670-681, 1985.

HUPP, C. R.; OSTERKAMP, W. R. Riparian Vegetation and Fluvial Geomorphic Processes. **Geomorphology**, v. 14. p. 277-295, 1996.

IBGE/IBDF. **Mapa de Vegetação do Brasil**. (1:5.000.000) Rio de Janeiro, IBGE, 1993.

INGARGIOLA, G. **Building Classification Models: ID3 and C4.5**. Disponível por WWW em: <http://www.cis.temple.edu/~ingargio/cis587/readings/id3-c45.html>, 1996. Acessado em 26/09/2011.

JERAJ, M.; DŽEROSKI, S.; TODOROVSKI, L.; DEBELJAK, M. Application of Machine Learning Methods to Palaeoecological Data. **Fourth International Workshop on Environmental Applications of Machine Learning EAML 2004 Proceedings** Bled, Slovenia, September 27 – October 1, 2004.

KELLER, E. A., SWANSON, F.J. Effects of Large Organic Material on Channel Form and Fluvial Processes. **Earth Surface Processes**, v. 4, is. 4, p. 361–380, 1979.

KELLER, E.A. Areal Sorting of Bed-load Material: The Hypothesis of Velocity Reversal. **Geological Society of America Bulletin**, n. 82, p. 753–756, 1971.

KIDSON, R.; RICHARDS, T, K.S.; CARLING, P.A. Reconstructing the ca. 100-year Flood in Northern Thailand. **Geomorphology**, v. 70, p. 279–295, 2005.

KING, L.C. A Geomorfologia do Brasil Oriental. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 18, p. 186-263, 1956.

KNIGHTON, D. **Fluvial Forms and Processes: A New Perspective**. London: Arnold, 1998.

KNOX, J. C.; KUNDZEWICZ, Z. W. Extreme Hydrological Events, Palaeo-Information and Climate Change. **Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques**, v. 42, n. 5, 1997.

KOCHEL, R. C.; BAKER, V. R. Paleoflood Hydrology. **Science**, v. 215, n. 4531, p. 353-361, 1982.

KOHAVI, R. A Study of Cross-validation and Bootstrap for Accuracy Estimation and Model Selection. In: **International joint Conference on artificial intelligence**. [S.l.: s.n.], v. 14, p.1137–1145, 1995.

KONDOLF, G. M.; LISLE, T.E.; WOLMAN, G.M. Bed Sediment Measurement. In: KONDOLF, M.; HERVÉ PIÉGAY. **Tools in Fluvial Geomorphology**, p. 0-471, 2003.

KOZLOWSKI, T. T. Physiological-ecological Impacts of Flooding on Riparian Forest Ecosystems. **Wetlands**, v. 22, n. 3, p. 550-561, 2002.

KUECHLER, W. A Physionomic Classification of Vegetation. **Annals of the American Geographers**, v. 39, n. 3, 1949.

KUSIAK, A.; ZHENG, H.; SONG, Z. Models for Monitoring Wind Farm Power. **Renewable Energy**, v. 34, p. 583–59, 2009.

LEITE, C.A.S.; PERROTTA, M. M.; SILVA, L. C.; SILVA, M. A.; HEINECK, C. A.; SALVADOR, E. D.; VIEIRA, V. S. LOPES, R. C.; SILVA, M. G.M.; DRUMOND, J. B. V.; MALOUF, R. F.; LACERDA FILHO, J. V.; VALENTE, C. R.; GOMES, S. D.; SACHS, L. L. B.; OLIVEIRA, I. W. B.; RAMGRAB, G. E.; NETTO, C.; JUNQUEIRA, P. A.; PAES, V. J. C. Folha SF.23 – Rio de Janeiro. In: SCHOBENHAUS, C.; GONÇALVES, J. H.; SANTOS, J. A. S.; ABRAM, M. B.; LEÃO NETO, R. MATOS, G. M. M. JESUS, J. D. A. de (Eds.). **Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo**. Brasília, Escala 1:1.000.000, CD-ROM. Sistema de Informações Geográficas - Programa Geologia do Brasil - CPRM, 2004.

LEOPOLD, L.B.; WOLMAN, G.M.; MILLER, J.P. **Fluvial Processes in Geomorphology**. W.H. Freeman and Co. San Francisco, 1964.

LIMIAR ENGENHARIA AMBIENTAL. **EIA PCH Tombo**. Volume I Texto, 2002. Disponível em <http://www.comitepcj.sp.gov.br/Paginas.php?CodPagina=558>. Acessado em 04/03/2011.

LISLE, T.; MADEJ, M. Spatial Variation in Armouring in a Channel With High Sediment Supply. **Dynamics of Gravel-bed Rivers**, p. 277–296, 1992.

MARQUES, J. S. Ciência Geomorfológica. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Org.). **Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos**. 1 ed. Rio de Janeiro: Bertrand, v. 1, p. 23-50, 1995.

MARTÍNÉZ, M.L.; MAUN, M.A., Responses of Dune Mosses to Experimental Burial by Sand Under Natural and Greenhouse Conditions. **Plant Ecol.** v. 145, p. 209–219, 1999.

MAHONEY, J.M.; ROOD, S.B. Streamflow Requirements for Cottonwood Seedling Recruitment—an Integrative Model. **Wetlands**, n. 18, p. 634–645, 1998.

MAY, C.; GRESSWELL, R. Processes and Rates of Sediment and Wood Accumulation in Headwater Streams of the Oregon Coast Range, USA. **Earth Surf. Process. Landforms**, v. 28, p. 409–424, 2003.

MEIRELES, L. D.; JOHN, G.; KINOSHITA, L. S. Variações na Composição Florística e na Estrutura Fitossociológica de uma Floresta Ombrófila Densa Alto-montana na Serra da Mantiqueira, Monte Verde, MG. **Revista Brasileira de Botânica**, n. 1995, p. 559-574, 2008.

MISSURA, R. Análise Morfoestratigráfica da Bacia do Ribeirão dos Poncianos/MG. 150 f. **Dissertação de Mestrado em Geografia**. Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Campus de Rio Claro, 2005.

MODENESI-GAUTTIERI, M. C.; TAKASHI, S.; RICCOMINI, C. Morphotectonics of a High Plateau on the Northwestern Flank of the Continental Rift of Southeastern Brazil. **Geomorphology**, v. 43, p. 257-271, 2002.

MONARD, M.C.; BARANAUSKAS, J.A. Conceitos Sobre Aprendizado de Máquina in: RESENDE, S.O. (coord.). **Sistemas Inteligentes: fundamentos e aplicações**. Manole, 2005.

MONTGOMERY, D.R.; E. FOUFOULA-GEORGIOU. Channel Network Source Representation Using Digital Elevation Models. **Water Resources Research**, n. 29, p. 3925-3934, 1993.

MORET, S. L.; LANGFORD, W. T.; MARGINEANTU, D. D. Learning to Predict Channel Stability using Biogeomorphic Features. **Fourth International Workshop on Environmental Applications of Machine Learning EAML 2004 Proceedings**. Bled, Slovenia September 27 – October 1, 2004.

MURRAY, B.; LAZARUS, E.; ASHTON, A.; BAAS, A.; COCO, G.; COULTHARD, T.; FONSTAD, M.; HAFF, P.; MCNAMARA, D.; PAOLA, C.; PELLETIER, J.; REINHARDT, L. Geomorphology, Complexity, and the Emerging Science of the Earth's Surface. **Geomorphology**, v. 103, p. 496–505, 2009.

NAIMAN, R. J.; DECAMPS, H. The Ecology of Interfaces: Riparian Zones. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 28, p. 621-658, 1997.

NANSON, G.C.; CROKE, J.C. A Genetic Classification of Floodplains. **Geomorphology**, v. 4, p. 459-486, 1992.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**, 2ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1989.

OLIVEIRA, J.M. Anéis de Crescimento de *Araucaria Angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze: Bases de Dendrocronologia em Ecossistemas Subtropicais Montanos no Brasil. **Tese de Doutorado**. Universidade Federal do Rio grande do Sul. Programa de Pós-graduação em Ecologia. Porto Alegre, 2007.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; VILELA, E. A.; CARVALHO, D. A.; GAVILANES, M. L. Effects of Soils and Topography on the Distribution of Tree Species in a Tropical Riverine Forest in South-Eastern Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v. 10, n. 4, p. 483-508, 1994.

O'NEILL, M.P., ABRAHAM, A.D. Objective Identification of Pools and Riffles. **Water Resources Research**, n. 20, p. 921–926, 1984.

OSIS, R.; OLIVEIRA, T. A. Depósitos Quaternários no Alto Curso do Rio Sapucaí, Serra da Mantiqueira-MG: Neotectônica e Paleoclimas. **Anais do Simpósio Nacional de Geomorfologia**, Natal, 2008.

OSTERKAMP, W. R.; HUPP, C. R. Geomorphic and Vegetative Characteristics along Three Northern Virginia Streams. **Geological Society of America Bulletin**, v. 95, p. 1093-1101, 1984.

OSTERKAMP, W.R.; HUPP, C.R. The Evolution of Geomorphology, Ecology, and Other Composite Sciences The Scientific Nature of Geomorphology: **Proceedings of the 27th Binghamton Symposium in Geomorphology** held 27-29 September 1996. Edited by Bruce L. Rhoads and Colin E. Thorn, John Wiley & Sons Ltd., 1996.

PASTERNAK, G. B.; BOUNRISAVONG, M. K.; PARIKH, K. K. Backwater Control on Riffle–Pool Hydraulics, Fish Habitat Quality, and Sediment Transport Regime in Gravel-bed Rivers. **Journal of Hydrology**, Vol. 357, Is. 1–2, n. 30. p. 125–139, 2008.

PHILLIPS, J. D. Biogeomorphology and Landscape Evolution. **Geomorphology**, n. 13, p. 337-347, 1995.

PIEDEDE, M. T. F.; JUNK, W. J.; SOUSA JR, P. T.; CUNHA, C. N.; SCHÖNGART, J.; WITTMANN, F.; CANDOTTI, E.; GIRARD, P. Áreas Úmidas, Zonas de Risco e Biodiversidade in: COMITÊ BRASIL EM DEFESA DAS FLORESTAS E DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Código Florestal e a Ciência: o que Nossos Legisladores Ainda Precisam Saber**. Comitê Brasil. Brasília-DF, 2012.

PIKE, A. S.; SCATENA, F. N. Riparian Indicators of Flow Frequency in a Tropical Montane Stream Network. **Journal of Hydrology**. v. 382, p. 72-87, 2010.

PRADO, P. I.; LEWINSOHN, T. M.; CARMO, R. L.; HOGAN, D. J. Ordenação Multivariada na Ecologia e Seu Uso em Ciências Ambientais. **Ambiente e Sociedade**, Ano V – n. 10 - 1, 2002.

QUINLAN, R. C4.5: **Programs for Machine Learning**. Morgan Kaufmann Publishers, San Mateo, CA. 1993.

RADAMBRASIL. **Folhas SF. 23/24 Rio de Janeiro/Vitória: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**, 1983.

RIBEIRO, M. X.; VIEIRA, M. T. P.; TRAINA, A. J. M. Mineração de Regras de Associação Usando Agrupamentos. In: I WAMD e SBBD, Uberlândia, 2005. **Anais do SBBD/SBES**, Uberlândia, p. 9-16, 2005.

RICHARDS, K. **Rivers: Form and Process in Alluvial Channels**. Methuen, London and New York, 1982.

RICCOMINI, C.; PELOGGIA, A. U. G.; SALONI, J. C. L.; KOHNKE, M. W.; FIGUEIRA, R. M. Neotectonic Activity in the Serra do Mar Rift System (Southeastern Brazil). **Journal of South American Earth Sciences**. v. 2, ed. 2, p. 191–197, 1989.

RODRIGUES, C. A Teoria Geossitêmica e sua Contribuição aos Estudos Geográficos e Ambientais. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 14, p. 69-77, 2000.

RUIZ-VILLANUEVA, V.; DÍEZ-HERRERO, A.; STOFFEL, M.; BOLLSCHWEILER, M.; BODOQUE, J. M.; BALLESTEROS, J. A. Dendrogeomorphic Analysis of Flash Floods in a Small Ungauged Mountain Catchment (Central Spain). **Geomorphology**, v. 118, p. 383–392, 2010.

SAITO, H. A. B.; NAKAYAMA, D. A.; MATSUYAMA, H. A. Comparison of Landslide Susceptibility Based on a Decision-tree Model and Actual Landslide Occurrence: The Akaishi Mountains, Japan. **Geomorphology**, v. 109. p. 108–121, 2009.

SALVADOR, H. G.; SANTOS, W. L. M. Mineração de Dados no Aglomerado Urbano de Cuiabá e Várzea Grande. **Anais do Congresso Nacional de Tecnologia da Informação e Comunicação**, Florianópolis, 2004.

SCARTAZZINI, L. S.; KAUTZMANN, R. M.; FISCHER, A. C. Critérios para Delimitar Áreas de Preservação Permanente em Rios de Planície de Inundação. **RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Vol. 13, n.3. p. 83-91, 2008.

SIGAFOOS, R. S. Vegetation in Relation to Flood Frequency Near Washington, D.C. **Geol. Surv. Prof. Pap.** (U.S.) v. 424-C, p. 248-249, 1961.

SISCOM-IBAMA. **Temas Vetoriais**. Disponível em: <http://siscom.ibama.gov.br/shapes/>. Acessado em 20/04/2012.

SOMAR METEOROLOGIA. **Climatologia Monte Verde de 1961 - 1990**. Disponível em <http://www.tempoagora.com.br/previsaodotempo.html/brasil/climatologia/MonteVerde-MG/>. Acessado em 15/09/2011.

SOTCHAVA, V. B. **O Estudo de Geossistemas**. São Paulo, Instituto de Geografia, USP. 51 p., 1977.

SAWYER, A. M.; PASTERNAK, G. B.; MOIR, H. J.; FULTON A. A. Riffle-pool Maintenance and Flow Convergence Routing Observed on a Large Gravel-bed River. **Geomorphology**, n. 114 is. 103, 2009.

STALLINS J. A. Geomorphology and Ecology: Unifying Themes for Complex Systems in Biogeomorphology. **Geomorphology**, n. 77, p. 207–216, 2006.

STRAHLER, A. N. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. **Trans. Amer. Geophys. Union**, v. 38, p. 913-920, 1952.

STRAHLER, A. N. Quantitative Geomorphology of Erosional Landscapes. **Proceedings 19th Intern. Geol. Cong.**, sec. 13, p. 341-354, 1954.

STROMBERG, J. C.; RICHTER, B. D.; PATTEN, D. T.; WOLDEN, L. G. Response of a Sonoran Riparian Forest to a 10-year Return Flood. **Great Basin Naturalist**, v. 53, n. 2, p. 118-130, 1993.

SUGUIO, K. **Introdução à Sedimentologia**. São Paulo: Ergard Blucher, 1973.

TINKLER, K. J. **A Short History of Geomorphology**. Barnes and Noble Books, Totowa, NJ. p. 317, 1985.

TROUW, R.A.J.; HEILBRON, M.; RIBEIRO, A.; PACIULLO, F.V.P.; VALERIANO, C.M.; ALMEIDA, J.C.H.; TUPINAMBÁ, M. ANDREIS, R.R. The Central Segment of the Ribeira Belt. In: CORDANI, U.G.; MILANI E.J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D.A. (eds.) **Tectonic evolution of South America**. Rio de Janeiro, 31st International Geological Congress, p. 287- 310, 2000.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 3ª .ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, p. 573-619, 2002.

TURNER, M.G.; BAKER, W.L.; PETERSON, C.J.; PEET, R.K. Factors Influencing Succession: Lessons From Large, Infrequent Natural Disturbance. **Ecosystems**, n. 1, p. 511–523, 1998.

UNIVERSITY WISCONSIN-MADISON. **Wolman Pebble Count**. Center for Limnology. Disponível em <http://limnology.wisc.edu/>. Acessado em 21/01/2012.

VANCOUVER SYMPOSIUM. **Proceedings of the Vancouver Symposium**, 1987, Vancouver: IAHS **Publications**. n. 168, 1987.

WITING, P. J. Flow Measurement and Characterization In: KONDOLF, M.; PIÉGAY, H. (Eds.). **Tools in Fluvial Geomorphology**. John Wiley e Sons Ltd., 2003.

WITTEN, I. H.; FRANK, E. **Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques with Java Implementations**. Morgan Kaufmann, 1999.

WILLIAMS, G. P. Bank-Full Discharge of Rivers give bank-full discharge. **Water Resources Research**, v. 14, n. 6, 1978.

WOLMAN, M.G. The Natural Channel of Brandywine Creek, Pensylvannia. **United States Geological Survey Professional Paper**, n. 271, 1955.

WOLMAN, M.G.; LEOPOLD, L.B. River Flood Plains: Some Observations on Their Formation. Physiographic and Hydraulic Studies of Rivers. **Geological Survey Professional Paper**, Washington, v. 282-C, 1957.

WOLMAN, M.G., MILLER, J.P., Magnitude and Frequency of Forces in Geomorphic processes. **Journal of Geology**, v. 68, p. 54–74, 1960.

WOLMAN, M. G. A Method of Sampling Coarse River-bed Material. **Transactions American Geophysical Union**, n. 35, p. 951-956, 1954.

ZIELONKA, T.; HOLEKSA, J. CIAPAŁA, S. A Reconstruction of Flood Events Using Scarred Trees in the Tatra Mountains, Poland. **Dendrochronologia**, v. 26, p. 173–183, 2008.

APÊNDICES

APÊNDICE 1

Dados referentes à declividade dos trechos da seção, distância entre as estacas principais entre diferentes seções, distância das mesmas estacas em relação ao nível d'água (N.A.) e o comprimento das seções.

DECLIVIDADE				
Seção	Extremidades	Comprimento (m)	Diferença cota (m)	Declividade (m/m)
S1	P0-S2	14,4	0,039	0,0027
S2	S1-P4	17	0,39	0,022
S3	S2-S4	13,9	0,4	0,028
S4	S3-P8	16,8	0,2	0,011
DISTÂNCIA ENTRE ESTACAS				
Intevalo	Margem direita (m)	Margem esquerda (m)		
S1-S2	16,53	10,9		
S2-S3	1,5	9,1		
S3-S4	4,1	7,95		
DISTÂNCIA DAS ESTACAS EM RELAÇÃO AO N.A. (04/03/2012)				
Seções	ME (m)	MD (m)		
S1	1,4	2,1		
S2	2,7	2,3		
S3	0,7	2,8		
S4	3,2	3,2		
COMPRIMENTO DAS SEÇÕES (m)				
Seção	Comprimento (m)			
S1	10,3			
S2	10,5			
S3	7,05			
S4	10,72			
PONTOS DE CONTROLE DECLIVIDADE				
Intervalo de pontos	Diferença (m)			
P0-P1	0,01			
P1-P2	0,01			
P2-P3	0,05			
P3-P4	0,23			
P4-P5	0,18			
P5-P6	0,10			
P6-P7	0,02			
P7-P8	0,05			

APÊNDICE 2

Número, posição e indicadores utilizados para o levantamento das seções. Os números são correspondentes àqueles posicionados nas respectivas seções do Apêndice 18.

CD corresponde à código descritivo, referente aos indicadores utilizados na fase inicial do estudo para definir a posição da cada ponto (GRD – ruptura de declive, SWD – sedimentos finos, VRGR – vegetação herbácea, VRLI – líquens e musgos, SG – sedimentos grosseiros, PSIDO – detritos orgânicos, DAR indivíduo arbóreo, VRARB – vegetação arbustiva, VRDY – *Dycsonia selowiana*, VRMY – *Myrtaceae spp.*).

DE é referente à distância em metros da estaca situada na margem esquerda de cada seção.

CL é a cota em metros em relação à linha esticada entre as estacas da seção.

	S1			S2			S3			S4		
Nº	CD	DE	CL	CD	DE	CL	CD	DE	CL	CD	DE	CL
1	GRD	0,00	0,05	GRD	0,50	0,21	GRD	0	1,37	GRD	0,00	0,73
2	SWD	0,00	0,07	VRGR	0,50	0,21	GRD	0,5	1,23	GRD	0,50	0,76
3	VRGR	0,00	0,05	GRD	1,00	0,20	GRD	1	1,28	GRD	1,00	0,88
4	VRARB	0,00	0,10	GRD	1,80	0,31	DAR	0	1,35	GRD	1,50	0,82
5	GRD	0,50	0,24	GRD	2,60	0,53	VRLI	0,2	1,15	GRD	2,00	0,71
6	VRGR	0,50	0,24	GRD	2,86	1,26	VRB	0,2	1,15	GRD	2,50	0,66
7	GRD	1,00	0,50	GRD	3,04	1,79	VRARB	0,95	1,2	GRD	3,00	0,78
8	VRGR	1,00	0,50	PSIDO	3,04	1,72	VRGR	0,7	1,22	GRD	3,50	0,90
9	GRD	1,35	0,85	VRLI	2,55	0,53	GRD	1,28	1,67	VRB	1,40	0,73
10	GRD	1,30	1,07	VRLI	3,05	1,72	GRD	1,2	1,4	VRB	1,90	0,71
11	VRLI	1,20	0,64	SG	3,04	1,78	GRD	1,8	1,5	DAR	1,90	0,72
12	VRLI	1,50	0,96	SG	3,54	1,62	GRD	1,2	1,6	SG	3,30	2,15
13	GRD	1,00	0,50	SG	4,04	1,74	GRD	1,2	1,77	SG	3,80	2,21
14	GRD	1,40	1,00	SG	4,54	1,63	GRD	1,25	1,9	SG	4,30	2,11
15	GRD	1,50	1,11	SG	5,04	1,30	GRD	1,2	2,16	GRD	3,50	1,81
16	GME	1,40	1,06	SG	5,54	1,32	GRD	1,3	2,23	SG	4,80	1,96
17	SG	1,70	1,22	SG	6,04	1,26	GRD	1,2	2,35	SG	5,60	1,64
18	SG	2,20	1,27	SG	6,54	1,04	GRD	1,27	2,66	SWD	4,70	1,96
19	SWD	2,70	1,40	SG	7,04	0,75	VRLI	1,8	1,5	SWD	5,20	1,74
20	SWD	3,20	1,45	SG	7,54	0,68	VRLI	1,3	2,23	SWD	5,70	1,48
21	SWD	3,70	1,66	SG	8,00	0,61	GRD	1,28	2,88	SWD	6,20	1,33
22	SG	3,70	1,66	DAR	3,00	0,92	GRD	3,33	2,27	SWD	6,70	1,18
23	SG	4,20	1,82	GRD	2,60	0,53	SG	1,8	2,65	SWD	7,20	0,96
24	SWD	4,20	1,82	GRD	2,80	1,14	SG	2,3	2,65	GRD	6,70	1,14
25	SG	4,70	1,98	GRD	3,04	1,79	SG	2,8	2,35	SWD	7,50	0,84
26	SWD	4,70	1,98	GRD	3,04	1,72	SG	3,6	1,98	SWD	7,00	1,02
27	SG	5,20	1,91	VGLI	5,28	1,31	SWD	3,7	1,9	SWD	6,50	1,22
28	PSIDO	7,70	2,04	VGLI	5,78	1,22	GRD	7,28	0,05	SWD	6,00	1,43
29	GRD	6,00	2,00	VGLI	7,80	0,84	GRD	3,80	1,89	SG	6,00	1,43

Continua na página seguinte.

30	GRD	5,80	1,06	GRD	8,60	0,30	GRD	4,3	1,62	LI	3,40	0,90
31	GRD	6,30	0,39	GRD	9,33	0,15	GRD	4,80	1,27	LI	3,30	1,78
32	VRLI	5,90	1,51	PSIDO	8,40	0,26	GRD	5,3	0,97	VRARB	1,40	0,73
33	VRLI	5,80	0,69	VRARB	8,00	0,45	GRD	5,80	0,70	VRARB	3,30	1,40
34	GRD	6,10	0,53	GRD	10,60	0,04	GRD	6,3	0,41	GRD	3,40	0,88
35	GRD	5,78	2,05				GRD	6,80	0,22	GRD	3,50	1,10
36	VRGR	5,90	0,50				SG	4,4	1,46	GRD	3,10	1,89
37	VRGR	6,40	0,40				SG	4,9	1,2	GME	3,50	1,50
38	DAR	5,95	1,20				SWD	4,6	1,32	VRB	7,80	0,56
39	GRD	8,2	0,65				SWD	5,1	0,9	VRARB	8,00	0,49
40	GRD	8,70	0,80				SWD	5,6	0,8	VRGR	7,70	0,67
41	GRD	9,2	0,83				SWD	6,1	0,55	GRD	8,93	0,05
42	GRD	9,70	0,40				SWD	6,6	0,3	SWD	8,93	0,05
43	VRSM	5,9	0,82				VRARB	5,1	1,13	GRD	3,70	1,69
44	VRDY	6,20	0,53				VRARB	5,6	0,8	GRD	6,70	1,07
45	VRLI	9,4	0,73				VRARB	6,1	0,55	GRD	0,00	0,50
46	VRDY	9,80	0,27				VRARB	6,6	0,3	GRD	0,50	0,30
47	DAR	10	0,2				VRSM	5,9	0,66	GRD	1,40	0,62
48	GRD	5,50	1,57				VRB	5,2	1,02	GRD	2,00	0,89
49	GRD	1,7	1,18				VRMY	5,3	1,07	DAR	0,00	0,10
50	GRD	10,30	0,05				VRMY	6,7	0,15	VRDY	2,25	1,00
51							GRD	3,77	1,91	VRARB	1,00	0,40
52							GRD	1,3	2,64			
53							VRB	1,2	1,4			

APÊNDICE 3

Dados referentes aos indicadores coletados junto às seções. SE – serrapilheira (1 – contínua; 2 – descontínua; 3 – inexistente). DO – Dossel (1 – aberto; 2 – aberto parcial; 3 – fechado parcial; 4 – fechado). GR – tipo de sedimento (1 – fino; 2 – grosseiro).

	S1			S2			S3			S4		
Nº	SE	DO	GR	SE	DO	GR	SE	DO	GR	SE	DO	GR
1	1	3	1	1	3	1	1	2	1	1	2	1
2	1	3	1	1	3	1	1	2	1	1	2	1
3	1	3	1	1	3	1	2	2	1	1	2	1
4	1	3	1	1	3	1	1	2	1	1	2	1
5	1	3	1	2	3	1	2	2	1	1	2	1
6	1	3	1	2	3	1	1	2	1	1	2	1
7	2	3	1	3	3	1	2	2	1	2	2	1
8	2	3	1	3	3	1	1	2	1	2	2	1
9	2	3	1	2	3	1	3	4	1	1	2	1
10	3	3	2	3	3	1	3	4	1	1	2	1
11	2	3	1	3	3	2	3	4	1	1	2	1
12	3	3	1	3	3	2	3	4	1	3	3	2
13	1	3	1	3	3	2	3	4	1	3	2	2
14	3	3	1	3	2	2	3	4	1	3	2	2
15	3	3	2	2	2	2	3	4	1	3	2	2
16	3	3	1	2	2	2	3	4	1	3	2	2
17	3	2	2	2	2	2	3	4	1	3	2	2
18	3	2	1	2	2	2	3	3	2	3	2	2
19	3	2	1	2	2	2	3	4	1	3	2	2
20	3	2	1	2	2	2	3	4	1	3	2	1
21	3	2	1	2	2	2	3	3	2	3	2	1
22	3	2	2	2	2	1	3	1	2	3	2	1
23	3	2	2	2	3	1	3	2	2	2	2	1
24	3	2	1	2	3	1	3	1	2	3	2	1
25	3	2	2	3	3	2	3	1	2	2	2	1
26	3	2	1	3	3	2	3	1	2	3	2	1
27	3	2	1	2	2	2	3	1	1	3	2	1
28	3	2	2	2	2	2	1	3	1	3	2	2
29	3	2	1	2	2	2	3	2	1	3	2	2
30	3	2	1	2	3	1	2	2	2	2	2	1
31	1	2	1	1	3	1	2	2	2	3	2	1
32	3	2	1	2	3	1	2	3	1	1	2	1
33	2	2	1	2	3	1	1	3	1	3	2	1
34	1	2	1	1	3	1	1	3	1	2	2	1
35	3	2	2				1	3	1	2	2	1
36	2	2	1				2	2	2	3	4	2
37	3	2	1				2	2	2	3	2	1
38	2	2	1				2	2	2	2	2	1
39	1	3	1				2	3	2	2	2	1
40	1	3	1				2	3	2	2	2	1

Continua na página seguinte.

41	1	3	1				2	3	2	3	2	1
42	2	3	1				3	3	2	3	2	1
43	2	2	1				2	2	2	3	2	2
44	2	2	1				2	2	2	3	2	1
45	2	3	1				2	3	2	1	2	1
46	2	3	1				3	3	2	1	3	1
47	2	3	1				3	3	2	1	3	1
48	3	2	1				2	2	2	1	3	1
49	3	2	2				2	2	2	1	2	1
50	2	3	1				1	3	1	1	3	1
51							3	2	2	1	2	1
52							3	2	2			
53							2	2	1			

APÊNDICE 4

Dados referentes ao cálculo de vazões segundo a fórmula de Manning. Seção (S), largura da seção em metros, cota na seção em centímetros, área da seção em metros quadrados, perímetro molhado em metros, e valores de n e m .

Seção	Largura (m)	Cota (cm)	Área (m ²)	Per. Molh. (m)	nb	$n1$	$n2$	$n3$	$n4$	m
S1	6,13	10	0,04	0,92	0,04	0,01	0,01	0,05	0,00	1,15
		20	0,24	2,41	0,04	0,01	0,01	0,05	0,00	1,15
		30	0,49	2,88	0,04	0,01	0,01	0,05	0,00	1,15
		40	0,77	3,8	0,04	0,01	0,01	0,05	0,00	1,00
		50	1,16	4,87	0,04	0,01	0,01	0,05	0,00	1,00
		60	1,62	5,35	0,04	0,01	0,01	0,05	0,00	1,00
		70	2,05	5,55	0,03	0,01	0,01	0,03	0,00	1,00
		80	2,51	5,82	0,03	0,01	0,01	0,03	0,00	1,00
		90	2,97	6,01	0,03	0,01	0,01	0,03	0,00	1,00
		100	3,42	6,25	0,03	0,01	0,01	0,03	0,00	1,00
		110	3,9	6,51	0,03	0,01	0,01	0,03	0,00	1,00
		120	4,42	7,09	0,03	0,01	0,01	0,03	0,01	1,00
		130	4,91	7,16	0,03	0,01	0,01	0,03	0,01	1,00
		140	5,5	7,66	0,03	0,01	0,01	0,03	0,01	1,00
		150	6,03	8,06	0,03	0,01	0,01	0,03	0,01	1,00
S2	6,51	10	0,017	0,75	0,04	0,02	0,01	0,03	0,00	1,15
		20	0,13	1,37	0,04	0,02	0,01	0,025	0,00	1,15
		30	0,3	2,82	0,04	0,02	0,01	0,025	0,00	1,15
		40	0,63	3,86	0,04	0,02	0,01	0,025	0,00	1,00
		50	0,99	4,2	0,04	0,01	0,01	0,025	0,00	1,00
		60	1,38	4,55	0,04	0,01	0,01	0,025	0,00	1,00
		70	1,86	5,85	0,04	0,01	0,01	0,025	0,00	1,00
		80	2,38	6,21	0,04	0,01	0,01	0,025	0,00	1,00
		90	2,92	6,57	0,04	0,01	0,01	0,025	0,008	1,00
		100	3,37	7,44	0,04	0,01	0,01	0,025	0,008	1,00
S3	5,82	10	0,01	0,38	0,032	0,02	0,01	0,05	0,00	1,15
		20	0,1	1,73	0,032	0,02	0,01	0,05	0,00	1,15
		30	0,27	2,36	0,032	0,02	0,01	0,05	0,00	1,00
		40	0,52	3,1	0,032	0,01	0,01	0,025	0,00	1,00
		50	0,78	3,48	0,032	0,01	0,01	0,025	0,00	1,00
		60	1,05	3,72	0,032	0,01	0,01	0,025	0,00	1,00
		70	1,36	4,11	0,032	0,01	0,01	0,025	0,00	1,00
		80	1,73	4,73	0,032	0,01	0,01	0,025	0,00	1,00
		90	2,08	5,07	0,032	0,01	0,01	0,025	0,00	1,00
		100	2,51	6,11	0,031	0,01	0,01	0,025	0,008	1,00
		110	2,96	6,49	0,031	0,01	0,01	0,025	0,008	1,00
		120	3,55	7,66	0,031	0,01	0,01	0,025	0,008	1,00

Continua na página seguinte.

S4	7,26	10	0,05	1,26	0,04	0,02	0,01	0,013	0,00	1,15
		20	0,2	1,74	0,04	0,02	0,01	0,013	0,00	1,15
		30	0,41	2,51	0,04	0,02	0,01	0,013	0,00	1,15
		40	0,7	3,77	0,04	0,02	0,01	0,013	0,00	1,15
		50	1,07	4,27	0,04	0,02	0,01	0,013	0,00	1,00
		60	1,49	4,99	0,032	0,02	0,01	0,013	0,00	1,00
		70	1,96	5,78	0,032	0,02	0,01	0,013	0,00	1,00
		80	2,39	5,95	0,032	0,02	0,01	0,013	0,00	1,00
		90	2,89	6,41	0,032	0,01	0,01	0,013	0,00	1,00
		100	3,4	6,83	0,032	0,01	0,01	0,013	0,00	1,00
		110	3,99	7,69	0,032	0,01	0,01	0,013	0,00	1,00
		120	4,59	8,07	0,032	0,01	0,01	0,013	0,008	1,00
		130	5,25	8,67	0,032	0,01	0,01	0,013	0,008	1,00
		140	5,94	9,21	0,032	0,01	0,01	0,013	0,008	1,00

APÊNDICE 5

Dados referentes a raio hidráulico, n da equação de Manning obtido com o método de Cowan, a declividade no trecho da seção (m/m), velocidade média da água (u) em m/s e vazão (Q) obtida para cada cota de 0,1 m na seção em metros cúbicos por segundo. Na última coluna são demonstradas as classes de vazões utilizadas nos algoritmos.

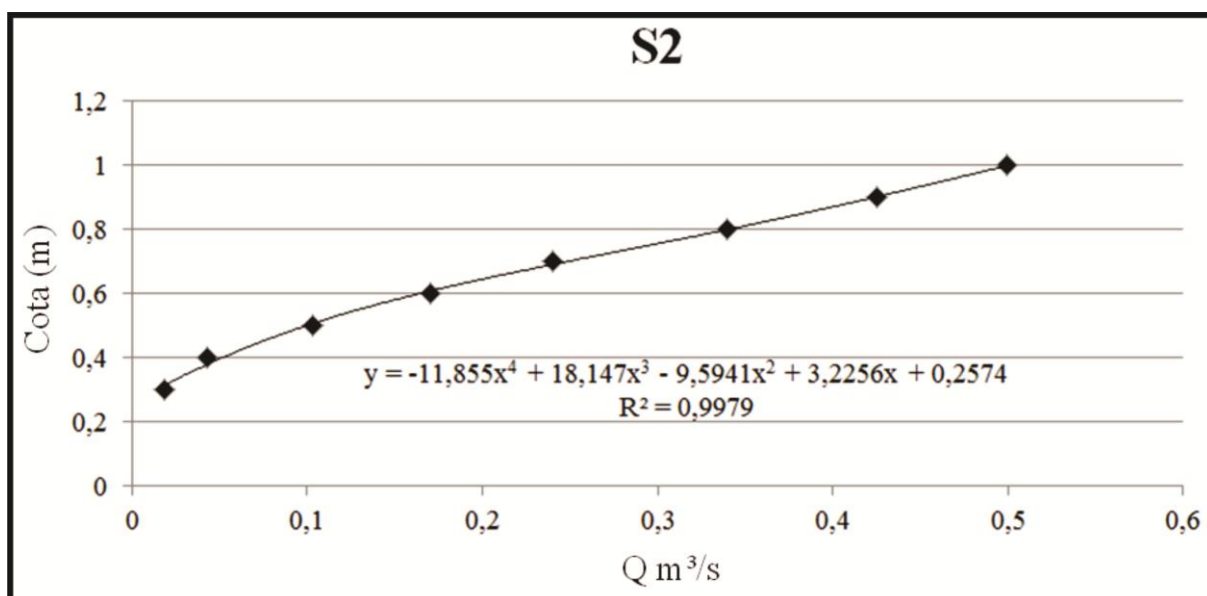
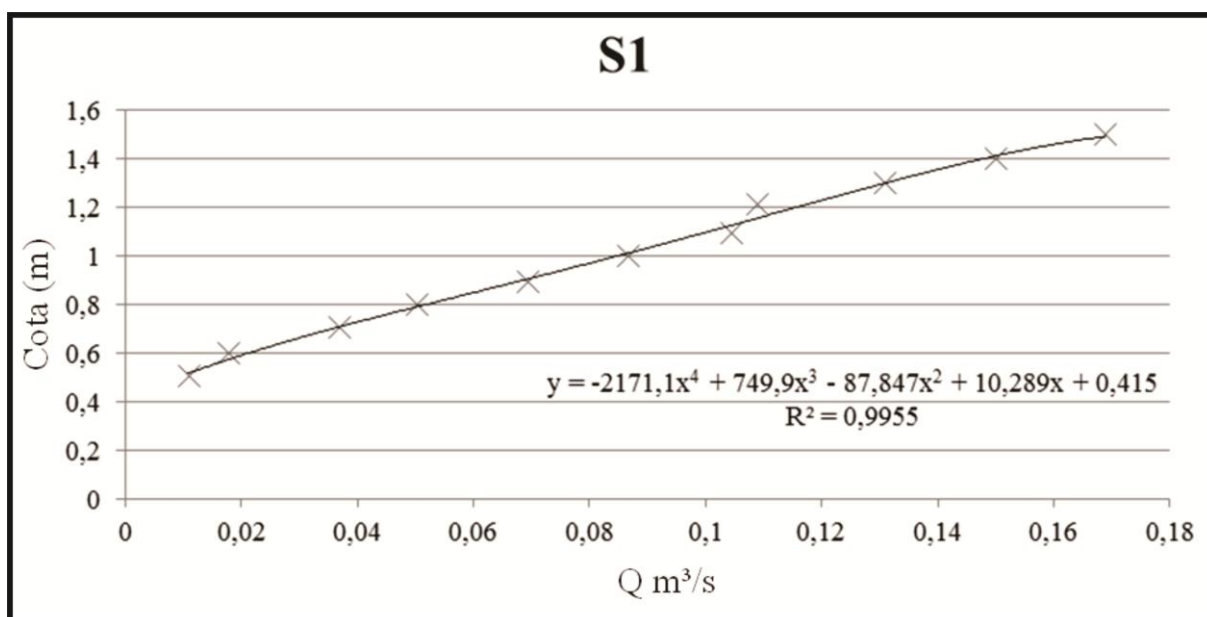
Seção	Raio hidráulico (m)	Raio hidráulico (0,66)	n	Declividade (m/m)	u	Q (m³/s)	Classes
S1	0,04	0,11	0,10	0,0027	0,05	0,00	A
	0,10	0,21	0,10	0,0027	0,09	0,00	
	0,17	0,31	0,10	0,0027	0,13	0,00	
	0,20	0,34	0,11	0,0027	0,12	0,01	
	0,24	0,38	0,11	0,0027	0,14	0,01	
	0,30	0,45	0,11	0,0027	0,16	0,02	
	0,37	0,51	0,08	0,0027	0,27	0,04	
	0,43	0,57	0,08	0,0027	0,30	0,05	
	0,49	0,62	0,07	0,0027	0,35	0,07	
	0,55	0,67	0,07	0,0027	0,37	0,09	
	0,60	0,71	0,07	0,0027	0,40	0,10	
	0,62	0,72	0,08	0,0027	0,36	0,11	
	0,69	0,78	0,08	0,0027	0,39	0,13	
	0,72	0,80	0,08	0,0027	0,41	0,15	
	0,75	0,82	0,08	0,0027	0,42	0,17	
S2	0,02	0,07	0,08	0,0220	0,08	0,00	A
	0,09	0,20	0,08	0,0220	0,24	0,01	
	0,11	0,23	0,08	0,0220	0,28	0,02	
	0,16	0,29	0,10	0,0220	0,31	0,04	
	0,24	0,38	0,08	0,0220	0,48	0,10	
	0,30	0,45	0,08	0,0220	0,56	0,17	
	0,32	0,47	0,08	0,0220	0,59	0,24	B
	0,38	0,52	0,08	0,0220	0,65	0,34	
	0,44	0,58	0,09	0,0220	0,66	0,43	C
	0,45	0,59	0,09	0,0220	0,67	0,50	
S3	0,03	0,09	0,10	0,0280	0,17	0,00	A
	0,06	0,15	0,10	0,0280	0,28	0,00	
	0,11	0,23	0,11	0,0280	0,37	0,02	
	0,17	0,31	0,08	0,0280	0,73	0,06	
	0,22	0,36	0,08	0,0280	0,85	0,10	
	0,28	0,43	0,07	0,0280	1,08	0,18	
	0,33	0,48	0,07	0,0280	1,21	0,26	B
	0,37	0,51	0,07	0,0280	1,28	0,35	
	0,41	0,55	0,07	0,0280	1,38	0,45	C
	0,41	0,55	0,08	0,0280	1,27	0,50	
	0,46	0,59	0,08	0,0280	1,36	0,63	D
	0,46	0,59	0,08	0,0280	1,36	0,75	
	0,64	0,74	0,07	0,0110	0,67	0,73	

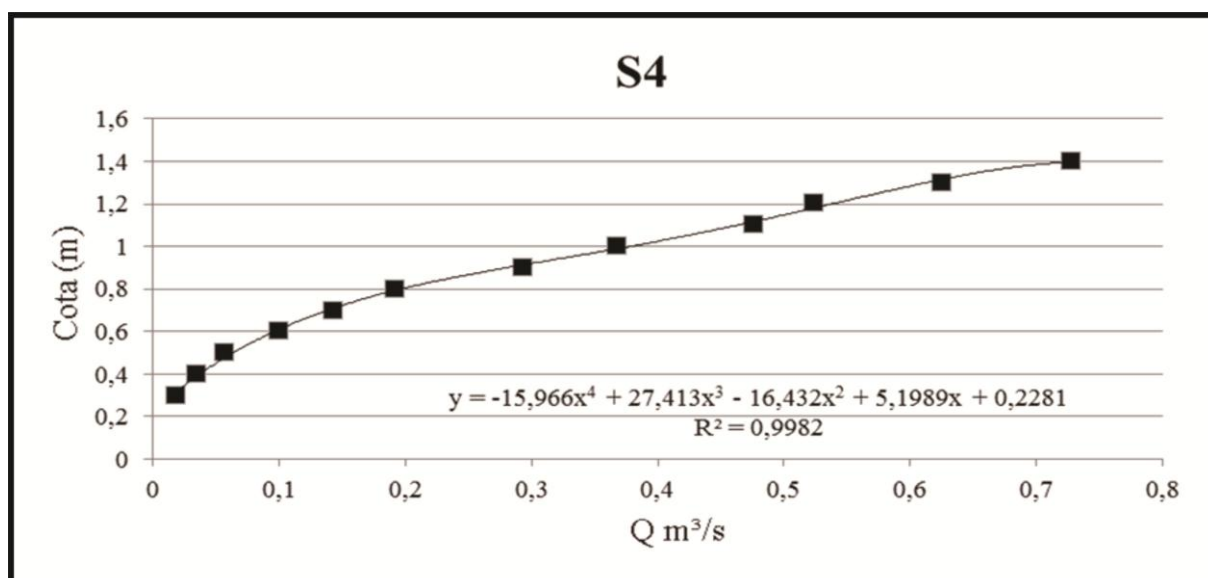
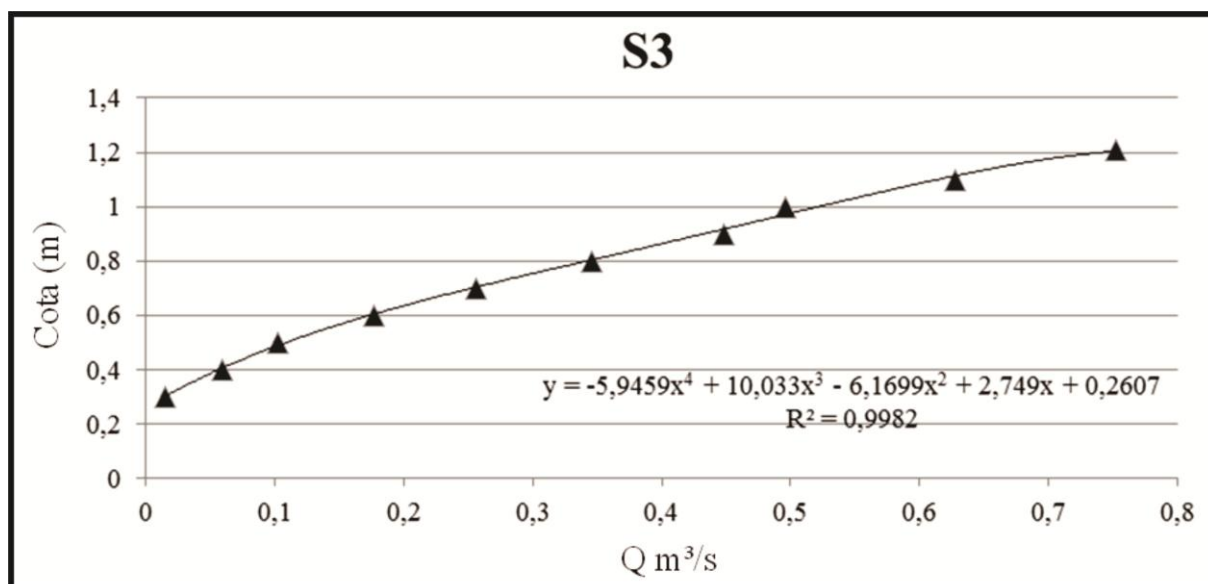
Continua na página seguinte.

S4	0,04	0,11	0,07	0,0110	0,09	0,00	A
	0,11	0,23	0,07	0,0110	0,19	0,01	
	0,16	0,29	0,07	0,0110	0,24	0,02	
	0,19	0,33	0,07	0,0110	0,28	0,04	
	0,25	0,40	0,08	0,0110	0,29	0,06	
	0,30	0,45	0,07	0,0110	0,36	0,10	
	0,34	0,49	0,07	0,0110	0,40	0,14	
	0,40	0,54	0,07	0,0110	0,44	0,19	
	0,45	0,59	0,06	0,0110	0,55	0,29	B
	0,50	0,63	0,06	0,0110	0,59	0,37	
	0,52	0,64	0,06	0,0110	0,65	0,48	C
	0,57	0,69	0,07	0,0110	0,62	0,52	
	0,61	0,72	0,07	0,0110	0,65	0,63	D
	0,64	0,74	0,07	0,0110	0,67	0,73	

APÊNDICE 6

Curvas polinomiais de 4ª ordem da relação entre cotas e vazões calculadas.





APÊNDICE 7

Atribuição de vazões para cada ponto coletado nas seções. O valor de vazão (Q) é referente à cota superior de cada nível. Os valores destacados correspondem aos pontos coletados além da seção máxima levantada.

	S1	S2	S3	S4
nº	Q (m³/s)	Q (m³/s)	Q (m³/s)	Q (m³/s)
1	0,169	0,500	0,752	0,727
2	0,169	0,500	0,752	0,727
3	0,169	0,500	0,752	0,727
4	0,169	0,500	0,752	0,727
5	0,150	0,500	0,752	0,727
6	0,150	0,240	0,752	0,727
7	0,109	0,007	0,752	0,727
8	0,109	0,007	0,752	0,727
9	0,070	0,500	0,752	0,727
10	0,018	0,007	0,752	0,727
11	0,105	0,000	0,752	0,727
12	0,050	0,018	0,752	0,018
13	0,105	0,007	0,752	0,001
14	0,037	0,007	0,752	0,001
15	0,018	0,042	0,448	0,100
16	0,037	0,018	0,346	0,001
17	0,011	0,018	0,256	0,007
18	0,011	0,103	0,059	0,001
19	0,004	0,240	0,752	0,007
20	0,004	0,240	0,346	0,035
21	0,004	0,240	0,004	0,035
22	0,001	0,500	0,004	0,035
23	0,001	0,500	0,016	0,057
24	0,001	0,340	0,004	0,057
25	0,001	0,007	0,016	0,100
26	0,001	0,007	0,059	0,057
27	0,001	0,042	0,004	0,035
28	0,018	0,018	0,752	0,035
29	0,001	0,500	0,059	0,018
30	0,037	0,500	0,177	0,727
31	0,169	0,500	0,256	0,727
32	0,018	0,500	0,448	0,727
33	0,150	0,240	0,496	0,368
34	0,169	0,500	0,752	0,727
35	0,001		0,752	0,625
36	0,169		0,256	0,100
37	0,169		0,346	0,293
38	0,070		0,346	0,192

Continua na página seguinte.

39	0,169		0,496	0,192
40	0,169		0,496	0,143
41	0,169		0,627	0,476
42	0,169		0,752	0,476
43	0,131		0,346	0,143
44	0,169		0,496	0,143
45	0,169		0,627	0,476
46	0,169		0,752	0,476
47	0,169		0,496	0,625
48	0,018		0,448	0,727
49	0,169		0,346	0,476
50	0,169		0,752	0,727
51			0,059	0,625
52			0,059	
53			0,75	

APÊNDICE 8

Vazões relativas a cada ponto nas seções e classes atribuídas.

nº	S1		S2		S3		S4	
	Q (m³/s)	Classe	Q (m³/s)	Classe	Q (m³/s)	Classe	Q (m³/s)	Classe
1	0,169	A	0,500	C	0,752	D	0,727	D
2	0,169	A	0,500	C	0,752	D	0,727	D
3	0,169	A	0,500	C	0,752	D	0,727	D
4	0,169	A	0,500	C	0,752	D	0,727	D
5	0,150	A	0,500	C	0,752	D	0,727	D
6	0,150	A	0,240	B	0,752	D	0,727	D
7	0,109	A	0,007	A	0,752	D	0,727	D
8	0,109	A	0,007	A	0,752	D	0,727	D
9	0,070	A	0,500	C	0,752	D	0,727	D
10	0,018	A	0,007	A	0,752	D	0,727	D
11	0,105	A	0,000	A	0,752	D	0,727	D
12	0,050	A	0,018	A	0,752	D	0,018	A
13	0,105	A	0,007	A	0,752	D	0,001	A
14	0,037	A	0,007	A	0,752	D	0,001	A
15	0,018	A	0,042	A	0,448	C	0,100	A
16	0,037	A	0,018	A	0,346	B	0,001	A
17	0,011	A	0,018	A	0,256	B	0,007	A
18	0,011	A	0,103	A	0,059	A	0,001	A
19	0,004	A	0,240	B	0,752	D	0,007	A
20	0,004	A	0,240	B	0,346	B	0,035	A
21	0,004	A	0,240	B	0,004	A	0,035	A
22	0,001	A	0,500	C	0,004	A	0,035	A
23	0,001	A	0,500	C	0,016	A	0,057	A
24	0,001	A	0,340	B	0,004	A	0,057	A
25	0,001	A	0,007	A	0,016	A	0,100	A
26	0,001	A	0,007	A	0,059	A	0,057	A
27	0,001	A	0,042	A	0,004	A	0,035	A
28	0,018	A	0,018	A	0,752	D	0,035	A
29	0,001	A	0,500	C	0,059	A	0,018	A
30	0,037	A	0,500	C	0,177	A	0,727	D
31	0,169	A	0,500	C	0,256	B	0,727	D
32	0,018	A	0,500	C	0,448	C	0,727	D
33	0,150	A	0,240	B	0,496	C	0,368	B
34	0,169	A	0,500	B	0,752	D	0,727	D
35	0,001	A			0,752	D	0,625	D
36	0,169	A			0,256	B	0,100	A
37	0,169	A			0,346	B	0,293	B
38	0,070	A			0,346	B	0,192	A
39	0,169	A			0,496	C	0,192	A
40	0,169	A			0,496	C	0,143	A
41	0,169	A			0,627	G	0,476	C

Continua na página seguinte.

42	0,169	A			0,752	D	0,476	C
43	0,131	A			0,346	B	0,143	A
44	0,169	A			0,496	C	0,143	A
45	0,169	A			0,627	G	0,476	C
46	0,169	A			0,752	D	0,476	C
47	0,169	A			0,496	C	0,625	D
48	0,018	A			0,448	C	0,727	D
49	0,169	A			0,346	B	0,476	B
50	0,169	A			0,752	D	0,727	D
51					0,059	A	0,625	D
52					0,059	A		
53					0,752	D		

APÊNDICE 9

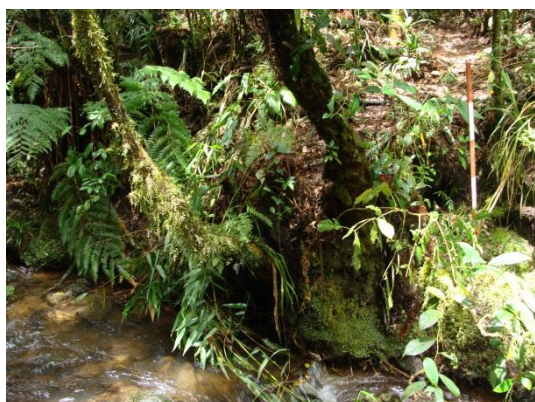
Fotografias tomadas junto às seções consideradas neste trabalho.



(a) – S1 MD



(b) – S1 ME



(a) – S2 ME



(b) – S2 MD



(a) – S3 MD



(b) – S3 ME



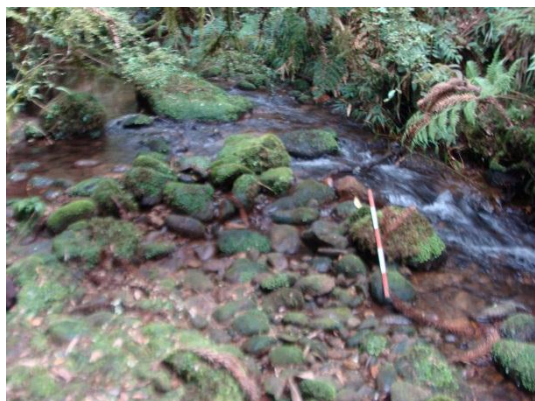
(a) – S4 ME



(b) – S4 MD

APÊNDICE 10

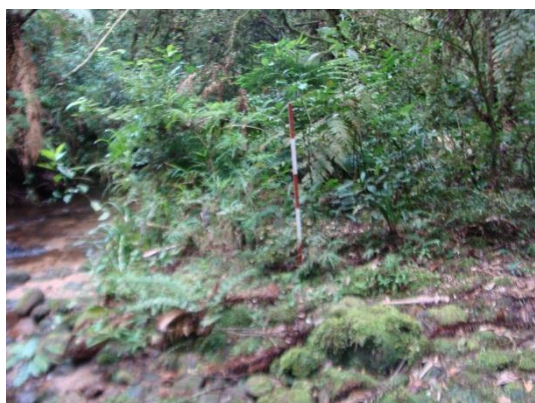
Fotografia dos setores geomorfológicos identificados. Escala com subdivisões de 20 cm. Data da fotos: 01/03/2012.



Barra de sedimentos grosseiros



Barra de sedimentos finos



Barra vegetada



Planície aluvial



Terraço



Sedimentos da calha

APÊNDICE 11

Dados referentes aos indicadores e vazões organizados de acordo com os requisitos para a execução dos algoritmos.

@relation classe02 @attribute vegetacao {Herbáceas, Nulo, Arbóreo, Arbustivo} @attribute serrapilheira {Contínuo, Descontínuo, Inexistente} @attribute dossel {Fechado, Aberto, FechadoP, AbertoP} @attribute sedimentos {Fino, Grossoiro}. @attribute vazao {A, B, C, D}	
@data Herbáceas,Contínuo,FechadoP,Fino,C Herbáceas,Contínuo,FechadoP,Fino,C Herbáceas,Contínuo,FechadoP,Fino,C Nulo,Contínuo,FechadoP,Fino,C Nulo,Descontínuo,FechadoP,Fino,C Nulo,Descontínuo,FechadoP,Fino,B Nulo,Inexistente,FechadoP,Fino,A Nulo,Inexistente,FechadoP,Fino,A Herbáceas,Descontínuo,FechadoP,Fino,C Herbáceas,Inexistente,FechadoP,Fino,A Nulo,Inexistente,FechadoP,Grossoiro,A Nulo,Inexistente,FechadoP,Grossoiro,A Nulo,Inexistente,FechadoP,Grossoiro,A Nulo,Inexistente,AbertoP,Grossoiro,A Nulo,Descontínuo,AbertoP,Grossoiro,A Nulo,Descontínuo,AbertoP,Grossoiro,A Nulo,Descontínuo,AbertoP,Grossoiro,A Nulo,Descontínuo,AbertoP,Grossoiro,A Nulo,Descontínuo,AbertoP,Grossoiro,B Nulo,Descontínuo,AbertoP,Grossoiro,B Nulo,Descontínuo,AbertoP,Grossoiro,B Arbóreo,Descontínuo,AbertoP,Fino,C Nulo,Descontínuo,FechadoP,Fino,C Nulo,Descontínuo,FechadoP,Fino,B Nulo,Inexistente,FechadoP,Grossoiro,A Nulo,Inexistente,FechadoP,Grossoiro,A Herbáceas,Descontínuo,AbertoP,Grossoiro,A Herbáceas,Descontínuo,AbertoP,Grossoiro,A Herbáceas,Descontínuo,AbertoP,Grossoiro,C Arbustivo,Descontínuo,FechadoP,Fino,C Arbustivo,Contínuo,FechadoP,Fino,C Arbustivo,Descontínuo,FechadoP,Fino,C Arbustivo,Descontínuo,FechadoP,Fino,B Arbustivo,Contínuo,FechadoP,Fino,B Arbustivo,Contínuo,FechadoP,Fino,A	Nulo,Inexistente,Fechado ,Fino,D Herbáceas,Inexistente,Fechado ,Fino,C Herbáceas,Inexistente,Fechado ,Fino,B Nulo,Inexistente,Fechado ,Fino,B Nulo,Inexistente,FechadoP,Grossoiro,A Herbáceas,Inexistente,Fechado ,Fino,D Herbáceas,Inexistente,Fechado ,Fino,B Nulo,Inexistente,FechadoP,Grossoiro,A Nulo,Inexistente,Aberto,Grossoiro,A Nulo,Inexistente,AbertoP,Grossoiro,A Nulo,Inexistente,Aberto,Grossoiro,A Nulo,Inexistente,Aberto,Grossoiro,A Nulo,Inexistente,Aberto,Grossoiro,A Nulo,Inexistente,Aberto,Fino,A Arbustivo,Contínuo,FechadoP,Fino,D Nulo,Inexistente,AbertoP,Fino,A Nulo,Descontínuo,AbertoP,Grossoiro,A Nulo,Descontínuo,AbertoP,Grossoiro,B Arbustivo,Descontínuo,FechadoP,Fino,C Arbustivo,Contínuo,FechadoP,Fino,C Arbustivo,Contínuo,FechadoP,Fino,D Arbustivo,Contínuo,FechadoP,Fino,D Nulo,Descontínuo,AbertoP,Grossoiro,B Nulo,Descontínuo,AbertoP,Grossoiro,B Nulo,Descontínuo,AbertoP,Grossoiro,B Arbustivo,Descontínuo,FechadoP,Grossoiro,C Arbustivo,Descontínuo,FechadoP,Grossoiro,C Arbustivo,Descontínuo,FechadoP,Grossoiro,D Arbustivo,Inexistente,FechadoP,Grossoiro,D Arbustivo,Descontínuo,AbertoP,Grossoiro,B Arbustivo,Descontínuo,AbertoP,Grossoiro,C Arbustivo,Descontínuo,FechadoP,Grossoiro,D Arbustivo,Inexistente,FechadoP,Grossoiro,D Herbáceas,Inexistente,FechadoP,Grossoiro,C Herbáceas,Descontínuo,AbertoP,Grossoiro,C Arbustivo,Descontínuo,AbertoP,Grossoiro,B Arbustivo,Contínuo,FechadoP,Fino,D

Arbustivo,Contínuo,FechadoP,Fino,A	Nulo,Inexistente,AbertoP,Grosseiro,A
Herbáceas,Contínuo,FechadoP,Fino,A	Nulo,Inexistente,AbertoP,Grosseiro,A
Arbustivo,Contínuo,FechadoP,Fino,A	Herbáceas,Descontínuo,AbertoP,Fino,D
Herbáceas,Contínuo,FechadoP,Fino,A	Herbáceas,Contínuo,AbertoP,Fino,D
Herbáceas,Contínuo,FechadoP,Fino,A	Herbáceas,Contínuo,AbertoP,Fino,D
Herbáceas,Descontínuo,FechadoP,Fino,A	Herbáceas,Contínuo,AbertoP,Fino,D
Herbáceas,Descontínuo,FechadoP,Fino,A	Herbáceas,Contínuo,AbertoP,Fino,D
Nulo,Descontínuo,FechadoP,Fino,A	Herbáceas,Contínuo,AbertoP,Fino,D
Nulo,Inexistente,FechadoP,Grosseiro,A	Herbáceas,Contínuo,AbertoP,Fino,D
Herbáceas,Descontínuo,FechadoP,Fino,A	Nulo,Descontínuo,AbertoP,Fino,D
Herbáceas,Inexistente,FechadoP,Fino,A	Nulo,Descontínuo,AbertoP,Fino,D
Herbáceas,Contínuo,FechadoP,Fino,A	Herbáceas,Contínuo,AbertoP,Fino,D
Herbáceas,Inexistente,FechadoP,Fino,A	Herbáceas,Contínuo,AbertoP,Fino,D
Nulo,Inexistente,FechadoP,Grosseiro,A	Arbóreo,Contínuo,AbertoP,Fino,D
Herbáceas,Inexistente,FechadoP,Fino,A	Nulo,Inexistente,FechadoP,Grosseiro,A
Nulo,Inexistente,AbertoP,Grosseiro,A	Nulo,Inexistente,AbertoP,Grosseiro,A
Nulo,Inexistente,AbertoP,Fino,A	Nulo,Inexistente,AbertoP,Grosseiro,A
Nulo,Inexistente,AbertoP,Fino,A	Nulo,Inexistente,AbertoP,Grosseiro,A
Nulo,Inexistente,AbertoP,Fino,A	Nulo,Inexistente,AbertoP,Grosseiro,A
Nulo,Inexistente,AbertoP,Grosseiro,A	Nulo,Inexistente,AbertoP,Grosseiro,A
Nulo,Inexistente,AbertoP,Grosseiro,A	Nulo,Inexistente,AbertoP,Grosseiro,A
Nulo,Inexistente,AbertoP,Fino,A	Nulo,Inexistente,AbertoP,Fino,A
Nulo,Inexistente,AbertoP,Grosseiro,A	Nulo,Inexistente,AbertoP,Fino,A
Nulo,Inexistente,AbertoP,Fino,A	Nulo,Inexistente,AbertoP,Fino,A
Nulo,Inexistente,AbertoP,Grosseiro,A	Nulo,Descontínuo,AbertoP,Fino,A
Nulo,Inexistente,AbertoP,Grosseiro,A	Nulo,Inexistente,AbertoP,Fino,A
Nulo,Inexistente,AbertoP,Fino,A	Nulo,Descontínuo,AbertoP,Fino,A
Herbáceas,Contínuo,AbertoP,Fino,A	Nulo,Inexistente,AbertoP,Fino,A
Herbáceas,Inexistente,AbertoP,Fino,A	Nulo,Inexistente,AbertoP,Fino,A
Herbáceas,Descontínuo,AbertoP,Fino,A	Nulo,Inexistente,AbertoP,Grosseiro,A
Nulo,Contínuo,AbertoP,Fino,A	Nulo,Inexistente,AbertoP,Grosseiro,A
Nulo,Inexistente,AbertoP,Grosseiro,A	Herbáceas,Descontínuo,AbertoP,Fino,D
Herbáceas,Descontínuo,AbertoP,Fino,A	Herbáceas,Inexistente,AbertoP,Fino,D
Herbáceas,Inexistente,AbertoP,Fino,A	Arbustivo,Contínuo,AbertoP,Fino,D
Arbóreo,Descontínuo,AbertoP,Fino,A	Arbustivo,Inexistente,AbertoP,Fino,B
Nulo,Contínuo,FechadoP,Fino,A	Herbáceas,Descontínuo,AbertoP,Fino,D
Nulo,Contínuo,FechadoP,Fino,A	Nulo,Descontínuo,AbertoP,Fino,D
Nulo,Contínuo,FechadoP,Fino,A	Nulo,Inexistente,Fechado ,Grosseiro,A
Nulo,Descontínuo,FechadoP,Fino ,A	Nulo,Inexistente,AbertoP,Fino,B
Herbáceas,Descontínuo,AbertoP,Fino ,A	Herbáceas,Descontínuo,AbertoP,Fino,A
Herbáceas,Descontínuo,AbertoP,Fino ,A	Arbustivo,Descontínuo,AbertoP,Fino,A
Herbáceas,Descontínuo,FechadoP,Fino ,A	Herbáceas,Descontínuo,AbertoP,Fino,A
Herbáceas,Descontínuo,FechadoP,Fino ,A	Arbustivo,Inexistente,AbertoP,Fino,C
Arbóreo,Descontínuo,FechadoP,Fino ,A	Arbustivo,Inexistente,AbertoP,Fino,C
Nulo,Inexistente,AbertoP,Fino ,A	Nulo,Inexistente,AbertoP,Grosseiro,A
Nulo,Inexistente,AbertoP,Grosseiro,A	Nulo,Inexistente,AbertoP,Fino,A
Nulo,Descontínuo,FechadoP,Fino,A	Arbustivo,Contínuo,AbertoP,Fino,C
Arbóreo,Contínuo,AbertoP,Fino,D	Arbustivo,Contínuo,FechadoP,Fino,C
	Arbóreo,Contínuo,FechadoP,Fino,D

Herbáceas,Contínuo,AbertoP,Fino,D Arbustivo,Descontínuo,AbertoP,Fino,D Arbóreo,Contínuo,AbertoP,Fino,D Herbáceas,Descontínuo,AbertoP,Fino,D Herbáceas,Contínuo,AbertoP,Fino,D Arbustivo,Descontínuo,AbertoP,Fino,D Herbáceas,Contínuo,AbertoP,Fino,D Nulo,Inexistente,Fechado ,Fino,D Herbáceas,Inexistente,Fechado,Fino,D Herbáceas,Inexistente,Fechado,Fino,D Nulo,Inexistente,Fechado,Fino,D Nulo,Inexistente,Fechado,Fino,D <i>Obs.: Continua na segunda coluna</i>	Nulo,Contínuo,FechadoP,Fino,D Arbóreo,Contínuo,AbertoP,Fino,B Herbáceas,Contínuo,FechadoP,Fino,D Arbustivo,Contínuo,AbertoP,Fino,D
--	--

APÊNDICE 12

Resultados com o tratamento dos dados no algoritmo de regras de associação (*Apriori*).
Regras selecionadas destacadas.

=== Run information ===

Scheme: weka.associations.Apriori -N 100 -T 0 -C 0.9 -D 0.05 -U 1.0 -M 0.1 -S -1.0 -c -1

Relation: dados02

Instances: 188

Attributes: 5

vegetacao

serrapilheira

dossel

sedimentos

vazao

=== Associator model (full training set) ===

Apriori

=====

Minimum support: 0.1 (19 instances)

Minimum metric <confidence>: 0.9

Number of cycles performed: 18

Generated sets of large itemsets:

Size of set of large itemsets L(1): 14

Size of set of large itemsets L(2): 39

Size of set of large itemsets L(3): 28

Size of set of large itemsets L(4): 8

Size of set of large itemsets L(5): 1

Best rules found:

1. serrapilheira=Contínuo 45 ==> sedimento=Fino 45 conf:(1)

2. serrapilheira =Inexistente sedimento =Grossoiro vazao=A 37 ==> vegetacao=Nulo 37
conf:(1)

3. vegetacao=Nulo litter=Inexistente sedimento =Grossoiro 37 ==> vazao=A 37 conf:(1)

4. canopy=AbertoP vazao=D 26 ==> sedimento =Fino 26 conf:(1)

5. serrapilheira =Contínuo dossel=FechadoP 25 ==> sedimento =Fino 25 conf:(1)
6. serrapilheira =Contínuo vazao=D 23 ==> sedimento =Fino 23 conf:(1)
7. serrapilheira =Inexistente dossel =AbertoP sedimento =Grosso 22 ==> vegetacao=Nulo 22 conf:(1)
8. serrapilheira =Inexistente dossel =AbertoP sedimento =Grosso 22 ==> vazao=A 22 conf:(1)
9. serrapilheira =Inexistente dossel =AbertoP sedimento =Grosso vazao=A 22 ==> vegetacao=Nulo 22 conf:(1)
10. vegetacao=Nulo serrapilheira =Inexistente dossel =AbertoP sedimento =Grosso 22 ==> vazao=A 22 conf:(1)
11. serrapilheira =Inexistente dossel =AbertoP sedimento =Grosso 22 ==> vegetacao=Nulo vazao=A 22 conf:(1)
12. vegetacao=Herbáceas serrapilheira =Contínuo 20 ==> sedimento =Fino 20 conf:(1)
13. vegetacao=Herbáceas vazao=D 20 ==> sedimento =Fino 20 conf:(1)
14. serrapilheira =Contínuo dossel =AbertoP 20 ==> sedimento =Fino 20 conf:(1)
15. vegetacao=Nulo litter=Inexistente dossel =AbertoP 40 ==> vazao=A 39 conf:(0.98)
16. sedimento =Grosso vazao=A 44 ==> vegetacao=Nulo 42 conf:(0.95)
17. serrapilheira =Inexistente dossel =AbertoP vazao=A 41 ==> vegetacao=Nulo 39 conf:(0.95)
18. canopy=AbertoP sedimento =Grosso vazao=A 29 ==> vegetacao=Nulo 27 conf:(0.93)
19. serrapilheira =Inexistente sedimento =Grosso 40 ==> vegetacao=Nulo 37 conf:(0.93)
20. serrapilheira =Inexistente sedimento =Grosso 40 ==> vazao=A 37 conf:(0.93)
21. serrapilheira =Inexistente sedimento =Grosso 40 ==> vegetacao=Nulo vazao=A 37 conf:(0.93)
22. vegetacao=Herbáceas vazao=A 24 ==> sedimento =Fino 22 conf:(0.92)
23. vazao=D 44 ==> sedimento =Fino 40 conf:(0.91)
24. vegetacao=Herbáceas 54 ==> sedimento =Fino 49 conf:(0.91)

25. serrapilheira =Inexistente vazao=A 63 ==> vegetacao=Nulo 57 conf:(0.9)

26. vegetacao=Nulo serrapilheira =Inexistente 63 ==> vazao=A 57 conf:(0.9)

APÊNDICE 13

Resultados com o tratamento dos dados no algoritmo de árvore de decisão (*J48*). Melhores classificações destacadas.

```
=== Run information ===
```

```
Scheme: weka.classifiers.trees.J48 -C 0.25 -M 2
```

```
Relation: dados02
```

```
Instances: 188
```

```
Attributes: 5
```

```
    vegetacao
```

```
    serrapilheira
```

```
    dossel
```

```
    sedimentos
```

```
    vazao
```

```
Test mode: evaluate on training data
```

```
=== Classifier model (full training set) ===
```

```
J48 pruned tree
```

```
-----
```

```
vegetacao = Herbáceas
```

```
| dossel = Fechado: D (6.0/3.0)
```

```
| dossel = Aberto: A (0.0)
```

```
| dossel = FechadoP: A (19.0/6.0)
```

```
| dossel = AbertoP
```

```
| | serrapilheira = Contínuo: D (12.0/1.0)
```

```
| | serrapilheira = Descontínuo: A (14.0/6.0)
```

```
| | serrapilheira = Inexistente: A (3.0/1.0)
```

```
vegetacao = Nulo: A (93.0/22.0)
```

```
vegetacao = Arbóreo
```

```
| serrapilheira = Contínuo: D (5.0/1.0)
```

```
| serrapilheira = Descontínuo: A (3.0/1.0)
```

```
| serrapilheira = Inexistente: D (0.0)
```

```
vegetacao = Arbustivo
```

```
| sedimento = Fino
```

```
| | serrapilheira = Contínuo: D (14.0/8.0)
```

```
| | serrapilheira = Descontínuo
```

```
| | | dossel = Fechado: C (0.0)
```

```
| | | dossel = Aberto: C (0.0)
```

```
| | | dossel = FechadoP: C (4.0/1.0)
```

```
| | | dossel = AbertoP: D (3.0/1.0)
```

```
| | serrapilheira = Inexistente: C (3.0/1.0)
```

```
| sedimento = Grosseiro
```

```
| | dossel = Fechado: D (0.0)
```

```
| | dossel = Aberto: D (0.0)
```

```
| | dossel = FechadoP: D (6.0/2.0)
```

```
| | dossel = AbertoP: B (3.0/1.0)
```

Number of Leaves : 20

Size of the tree : 28

Time taken to build model: 0 seconds

=== Evaluation on training set ===

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	133	70.7447 %
Incorrectly Classified Instances	55	29.2553 %
Kappa statistic	0.4768	
Mean absolute error	0.2153	
Root mean squared error	0.3281	
Relative absolute error	68.068 %	
Root relative squared error	82.6633 %	
Total Number of Instances	188	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	ROC	Area	Class
	0.95	0.414	0.727	0.95	0.824	0.806		A
	0.105	0.006	0.667	0.105	0.182	0.769		B
	0.208	0.012	0.714	0.208	0.323	0.838		C
	0.682	0.111	0.652	0.682	0.667	0.855		D
W. Avg.	0.707	0.25	0.702	0.707	0.658	0.818		

=== Confusion Matrix ===

```

a b c d <-- classified as
96 0 0 5 | a = A
11 2 2 4 | b = B
11 1 5 7 | c = C
14 0 0 30 | d = D

```

APÊNDICE 14

Resultados com o tratamento dos dados no algoritmo de árvore de decisão (*REPTree*).
Melhores classificações destacadas.

=== Run information ===

Scheme: weka.classifiers.trees.REPTree -M 2 -V 0.0010 -N 3 -S 1 -L -1

Relation: dados02

Instances: 188

Attributes: 5

vegetacao

serrapilheira

dossel

sedimentos

vazao

Test mode: evaluate on training data

=== Classifier model (full training set) ===

REPTree

=====

vegetacao = Herbáceas

| dossel= Fechado : D (5/2) [1/1]

| dossel = Aberto : A (0/0) [0/0]

| dossel = FechadoP : A (15/6) [4/0]

| dossel = AbertoP

| | serrapilheira = Contínuo : D (7/1) [5/0]

| | serrapilheira = Descontínuo : A (8/2) [6/4]

| | serrapilheira = Inexistente : A (2/0) [1/1]

vegetacao = Nulo

| serrapilheira = Contínuo : A (3/2) [3/0]

| serrapilheira = Descontínuo : A (16/9) [8/5]

| serrapilheira = Inexistente

| | dossel = Fechado : D (4/1) [2/1]

| | dossel = Aberto : A (3/0) [2/0]

| | dossel = FechadoP : A (8/0) [4/0]

| | dossel = AbertoP : A (25/1) [15/0]

vegetacao = Arbóreo : D (5/2) [3/2]

vegetacao = Arbustivo : C (24/18) [9/3]

Size of the tree : 19

Time taken to build model: 0 seconds

=== Evaluation on training set ===

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	127	67.5532 %
Incorrectly Classified Instances	61	32.4468 %
Kappa statistic	0.4466	
Mean absolute error	0.2014	
Root mean squared error	0.3173	
Relative absolute error	63.6669 %	
Root relative squared error	79.9462 %	
Total Number of Instances	188	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	ROC	Area	Class
	0.921	0.345	0.756	0.921	0.83	0.902		A
	0	0	0	0	0	0.861		B
	0.5	0.128	0.364	0.5	0.421	0.833		C
	0.5	0.069	0.688	0.5	0.579	0.876		D
W. Avg.	0.676	0.218	0.614	0.676	0.635	0.883		

=== Confusion Matrix ===

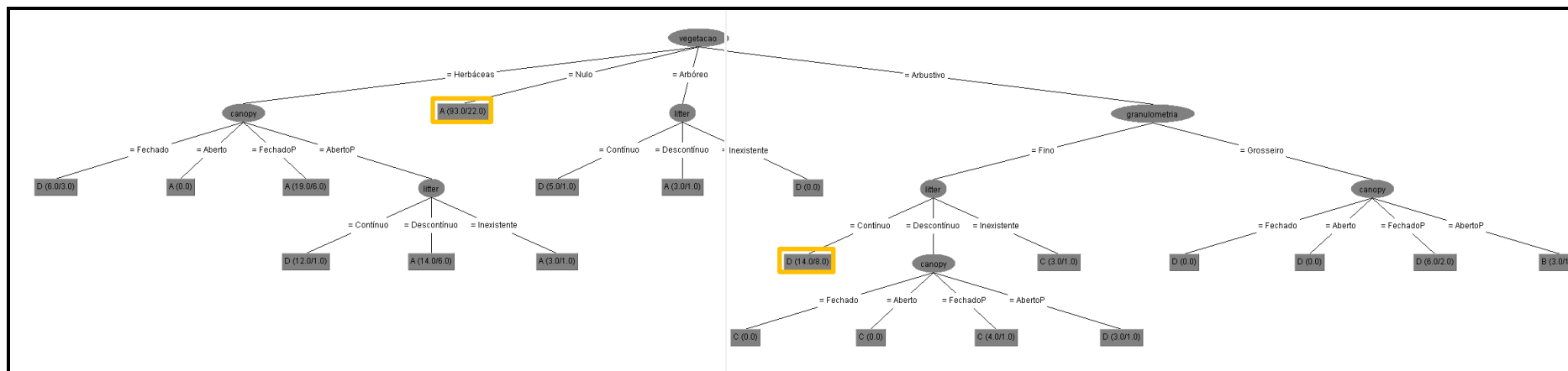
```

a  b  c  d  <-- classified as
93  0  4  4 |  a = A
10  0  5  4 |  b = B
10  0 12  2 |  c = C
10  0 12 22 |  d = D

```

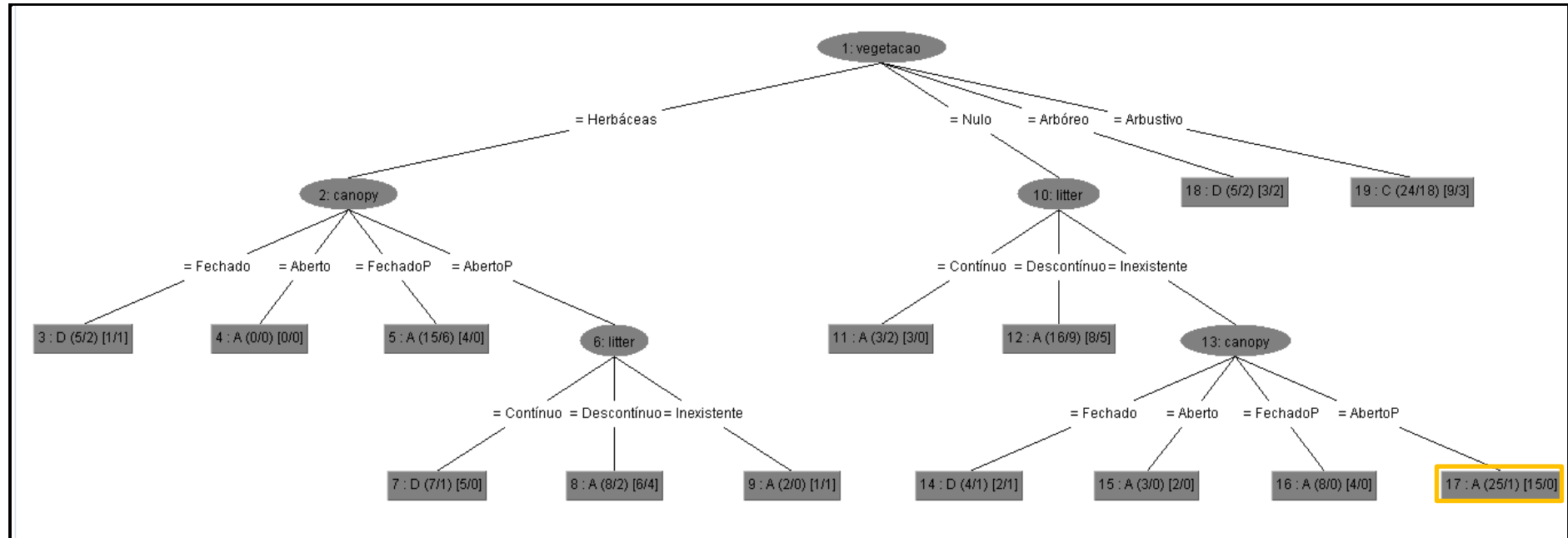
APÊNDICE 15

Representação gráfica dos algoritmos de árvore de decisão *J48*. Melhores classificações destacadas.



APÊNDICE 16

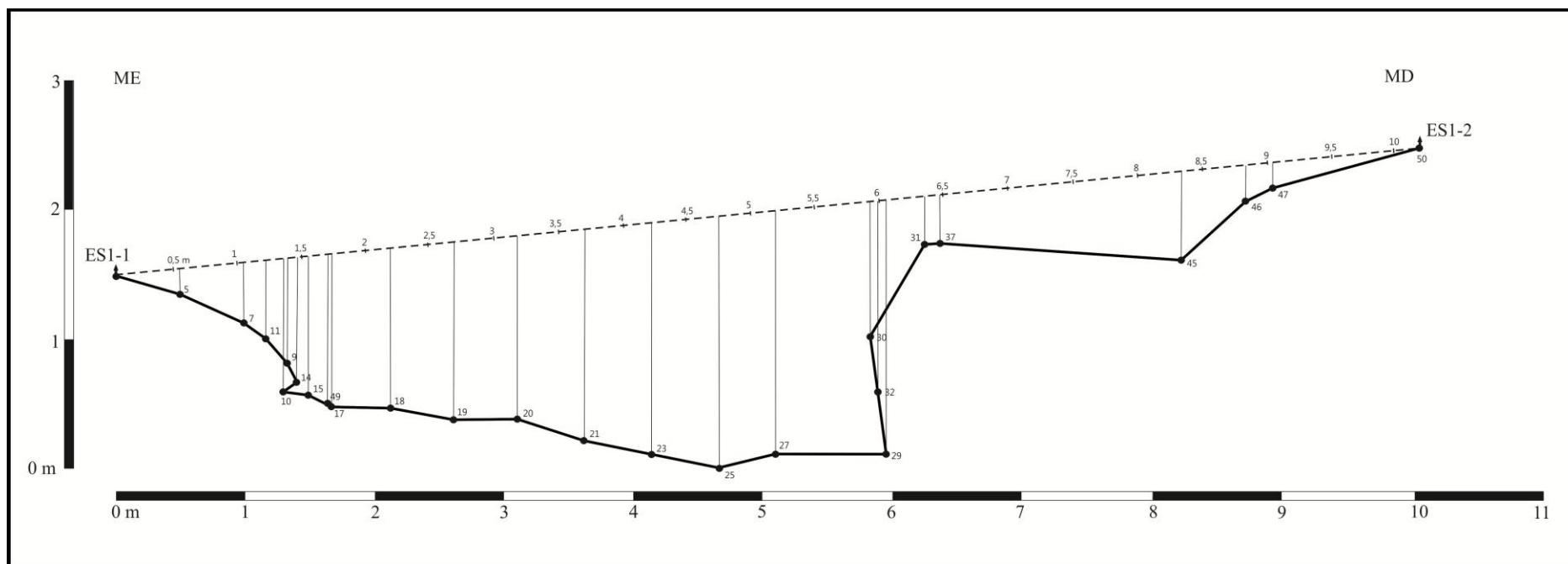
Representação gráfica dos algoritmos de árvore de decisão *REPTree*. Melhores classificações destacadas.



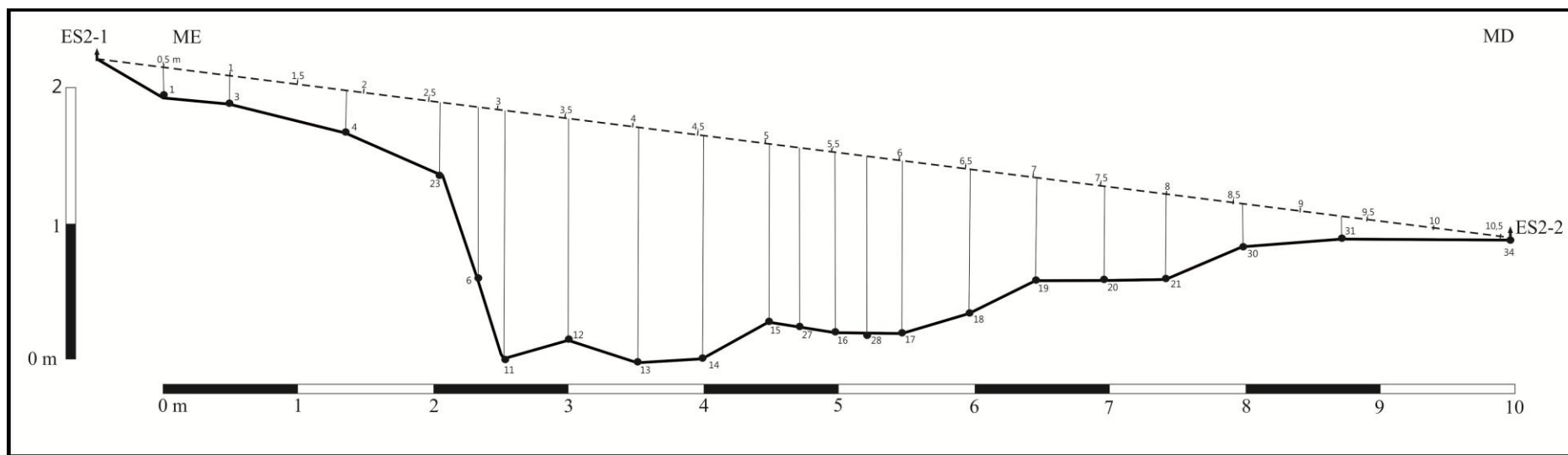
APÊNDICE 17

Posicionamento das estacas principais da seção e topografia da seção. As estacas são indicadas pelo código ES, enquanto que a linha de referência é representada pela linha tracejada. Cada ponto de referência da topografia da seção possui um número que cuja posição é dada na quadro do Apêndice 2.

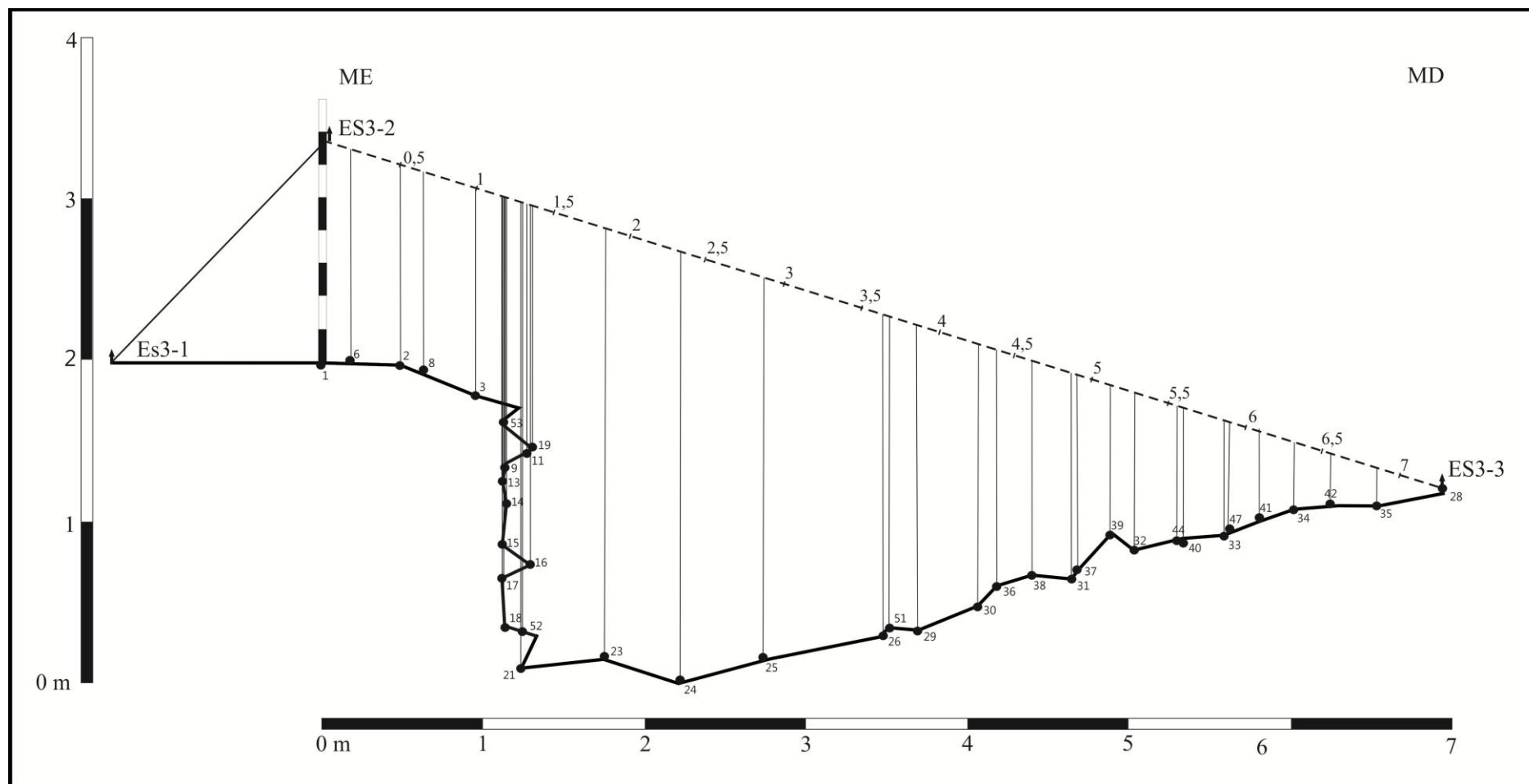
Seção S1



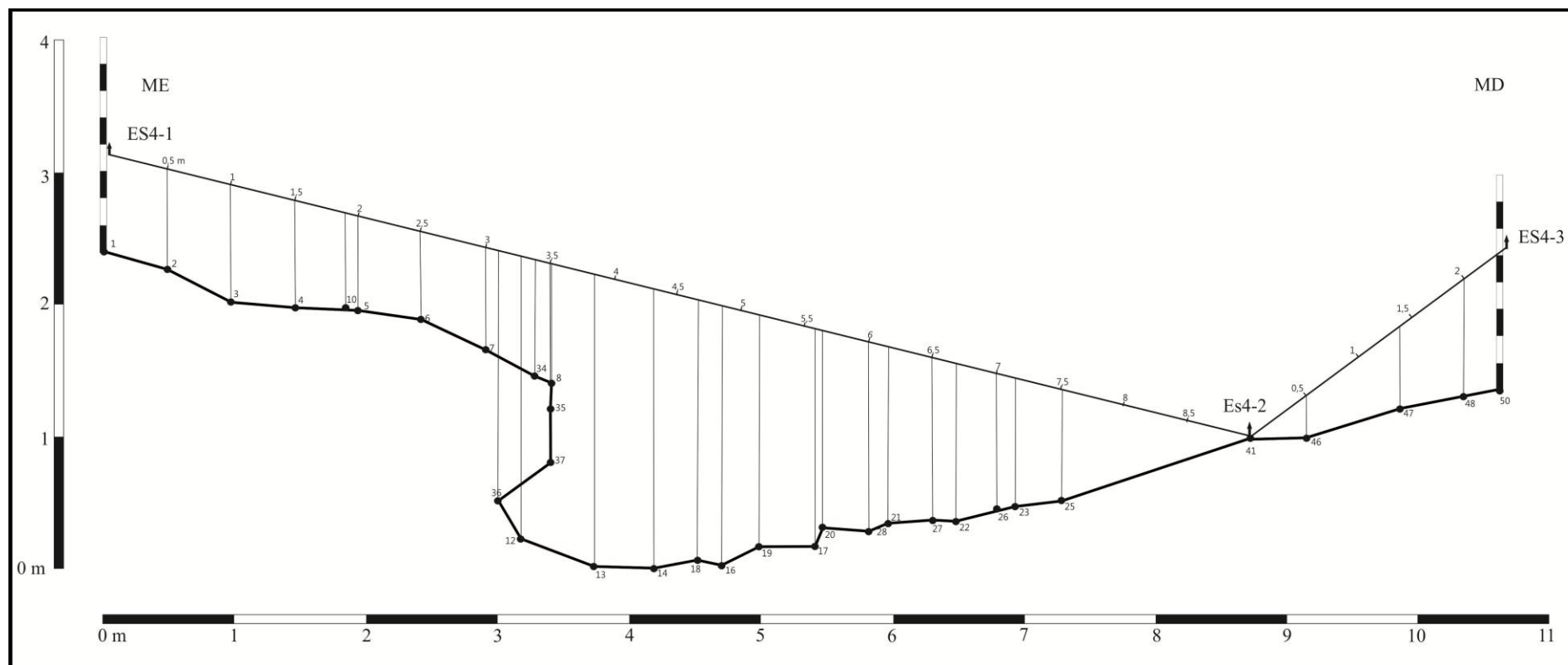
Seção S2



Seção S3



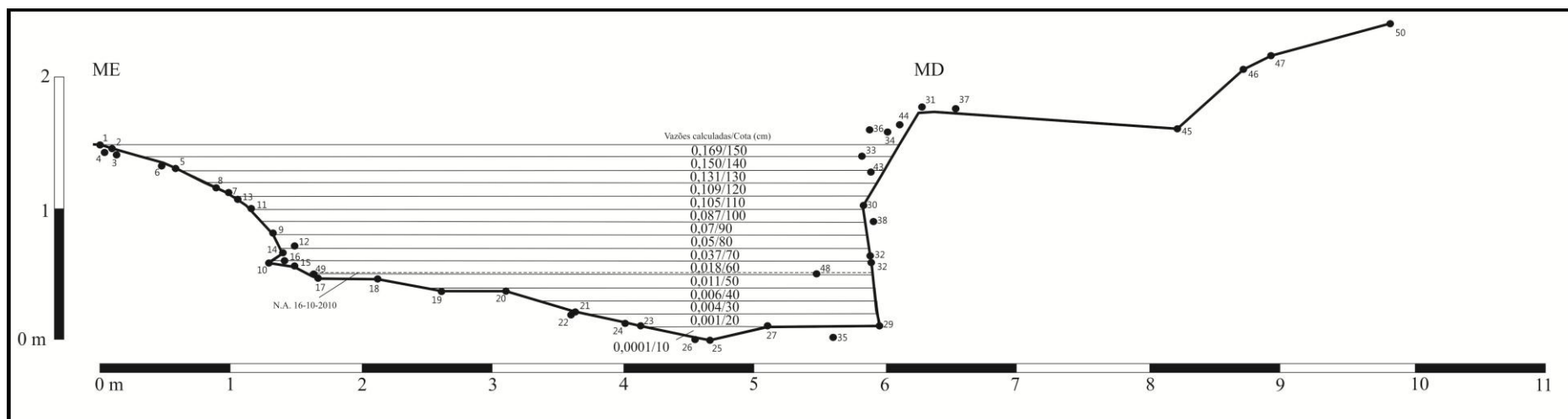
Seção S4



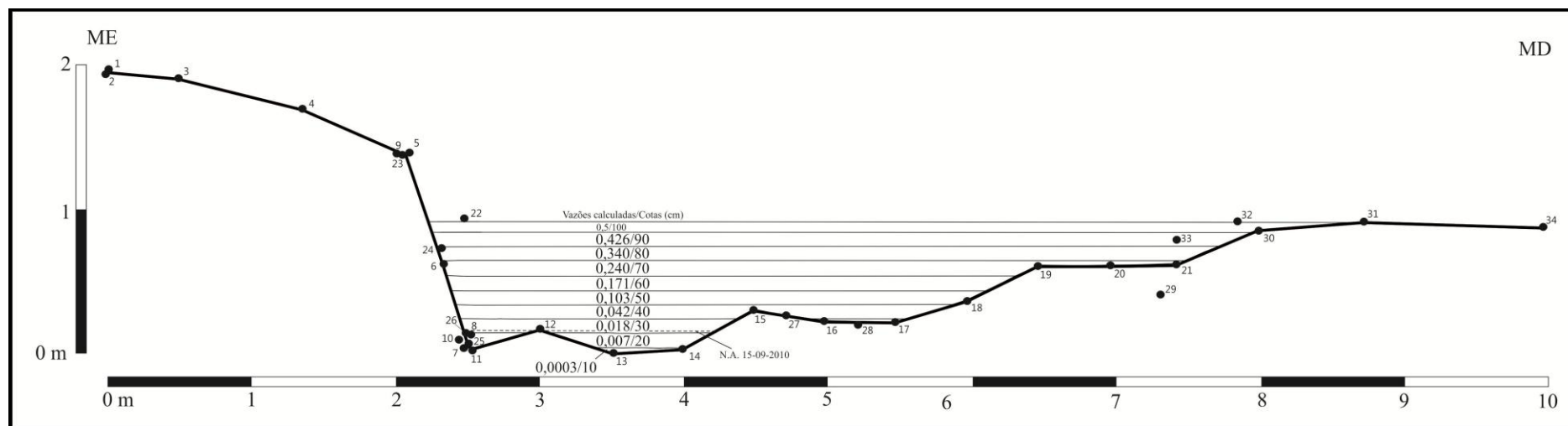
APÊNDICE 18

Neste Apêndice são apresentados os desenhos das seções com as cotas definidas e as respectivas vazões calculadas. Os pontos de referência da topografia e de coleta de indicadores são indicados pelos pontos pretos, enquanto que os números associados a cada ponto possuem suas informações apresentadas no quadro do Apêndice 2.

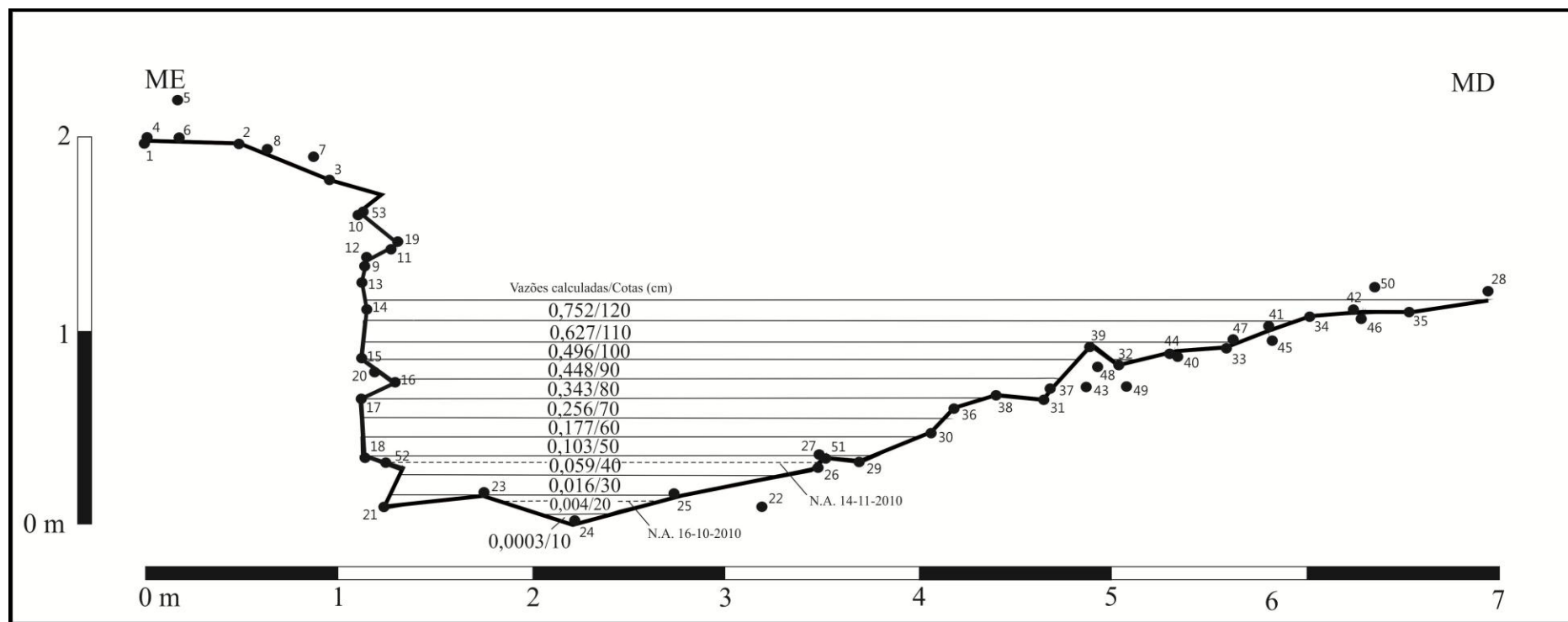
Seção S1



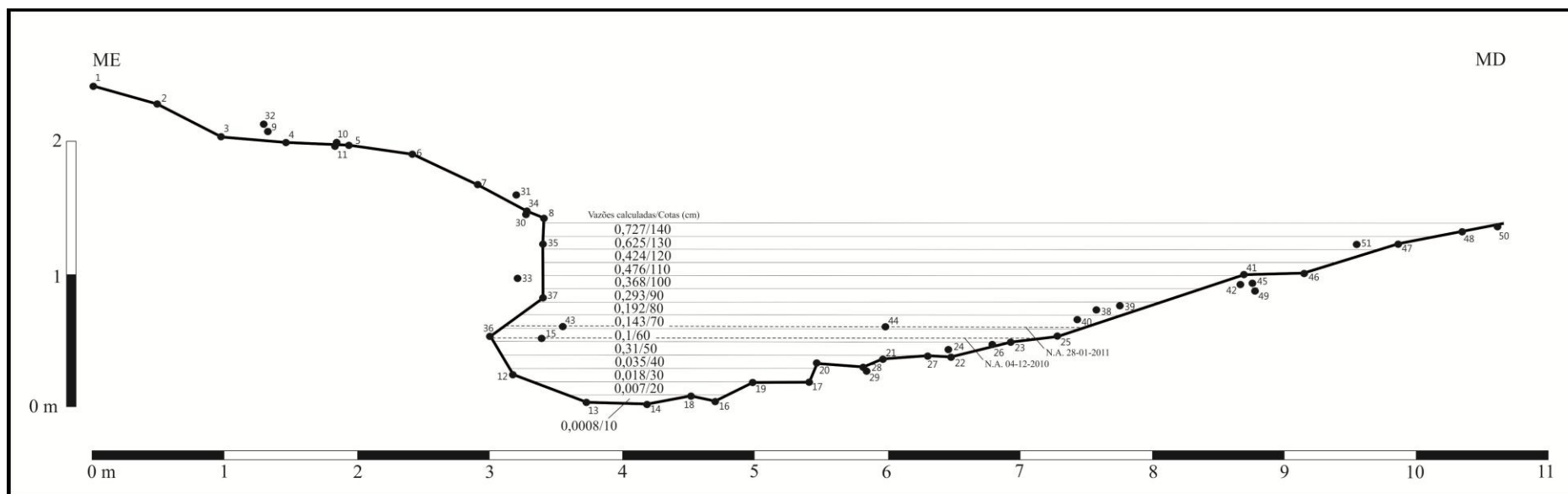
Seção S2



Seção S3



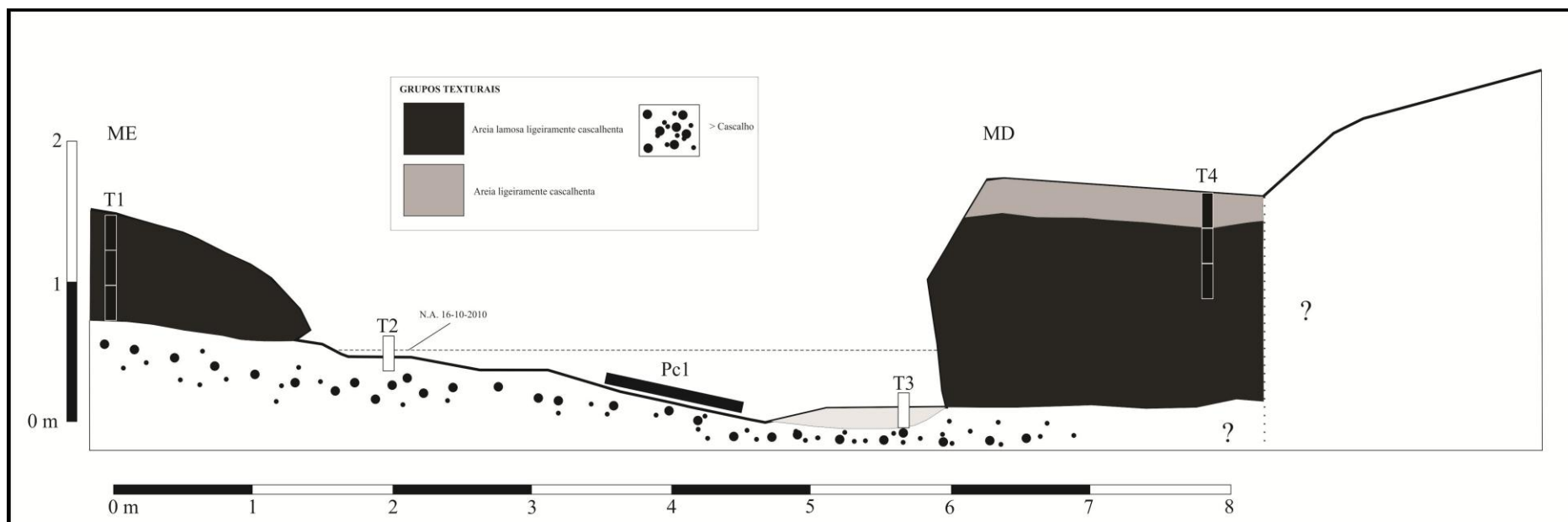
Seção S4



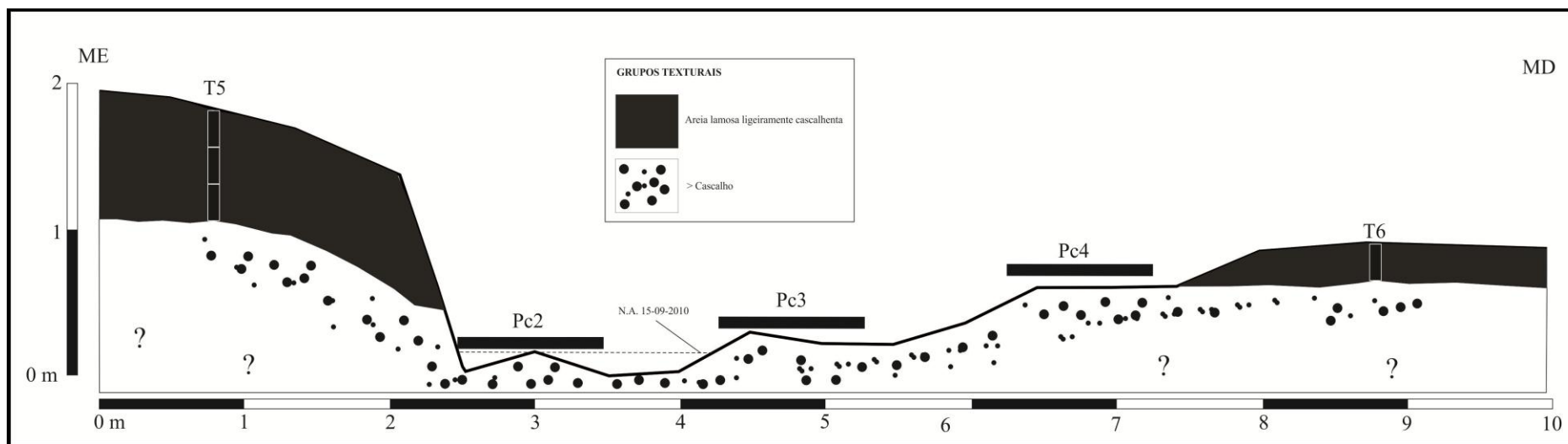
APÊNDICE 19

Seções estudadas com indicação dos furos de tradagem (T) e mensuração direta (Pc), grupos texturais definidos pela análise granulométrica e estrutura de fácies baseada nas tradagens e na interpretação de processos fluviais locais.

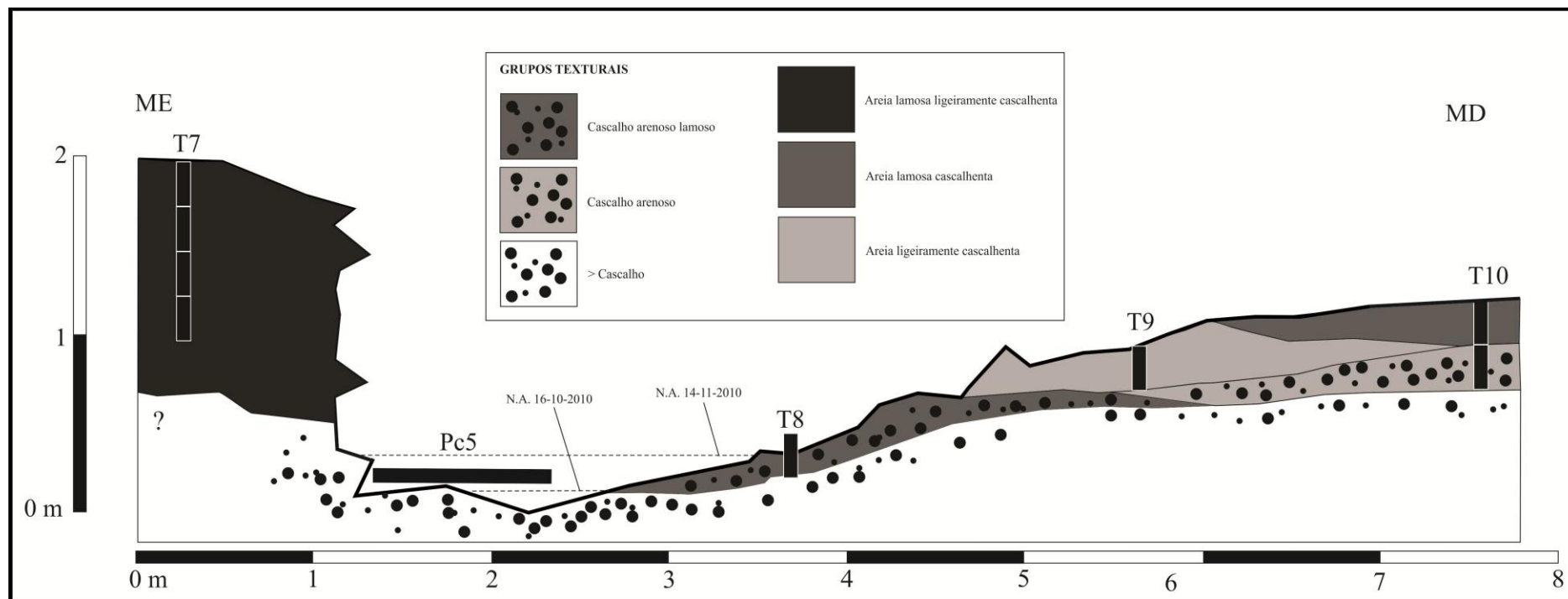
Seção S1



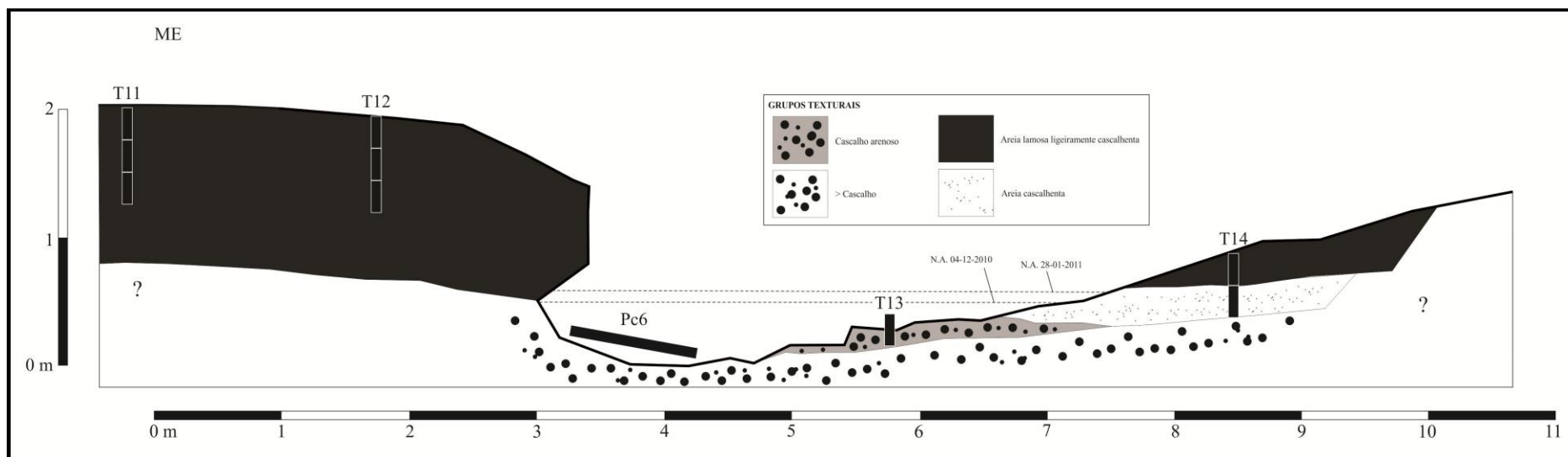
Seção S2



Seção S3

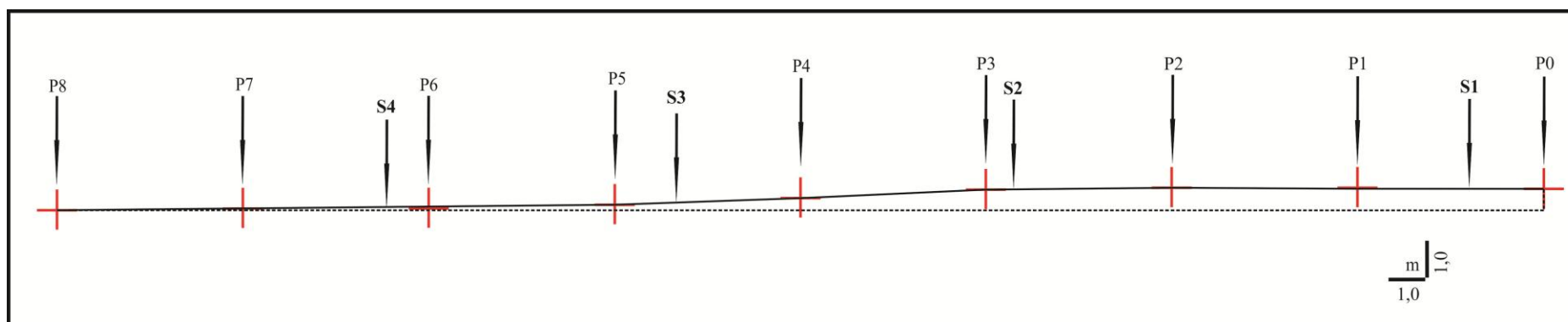


Seção S4



APÊNDICE 20

Seção longitudinal da linha d'água do ribeirão do Cadete junto das seções levantadas. P – pontos de controle; S – seções.



APÊNDICE 21

Este Apêndice apresenta os resultados da coleta com medição direta pelo método *pebble count*. Valores da medição do eixo b em mm.

PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
<0,2	<0,2	30,0	<0,2	<0,2	<0,2
<0,2	1,5	30,0	<0,2	<0,2	<0,2
30,0	30,0	40,0	12,0	<0,2	<0,2
30,0	35,0	40,0	15,0	<0,2	<0,2
30,0	40,0	40,0	15,0	<0,2	<0,2
40,0	45,0	50,0	30,0	10,0	<0,2
50,0	50,0	60,0	35,0	15,0	<0,2
50,0	50,0	60,0	40,0	25,0	<0,2
50,0	55,0	70,0	40,0	40,0	<0,2
50,0	55,0	70,0	45,0	40,0	25,0
50,0	60,0	70,0	45,0	40,0	30,0
55,0	60,0	70,0	50,0	40,0	40,0
55,0	65,0	80,0	55,0	45,0	50,0
60,0	65,0	80,0	60,0	45,0	50,0
60,0	65,0	80,0	60,0	45,0	55,0
60,0	70,0	80,0	60,0	50,0	65,0
60,0	70,0	90,0	65,0	50,0	65,0
60,0	75,0	90,0	65,0	50,0	70,0
60,0	75,0	90,0	70,0	60,0	70,0
60,0	75,0	90,0	75,0	60,0	70,0
60,0	75,0	95,0	80,0	60,0	75,0
70,0	75,0	100,0	80,0	65,0	75,0
70,0	80,0	100,0	90,0	70,0	80,0
75,0	80,0	100,0	90,0	70,0	90,0
90,0	80,0	110,0	90,0	80,0	90,0
90,0	85,0	110,0	95,0	85,0	100,0
90,0	85,0	120,0	100,0	90,0	100,0
90,0	85,0	120,0	100,0	90,0	105,0
90,0	90,0	120,0	100,0	90,0	110,0
95,0	90,0	125,0	100,0	90,0	110,0
100,0	90,0	130,0	110,0	90,0	110,0
100,0	90,0	140,0	115,0	100,0	130,0
100,0	90,0	140,0	120,0	110,0	130,0
100,0	95,0	140,0	120,0	110,0	135,0
105,0	95,0	150,0	135,0	110,0	140,0
105,0	110,0	150,0	14,0	110,0	140,0
105,0	110,0	150,0	140,0	110,0	140,0

Continua na página seguinte.

110,0	120,0	150,0	140,0	130,0	145,0
110,0	120,0	150,0	145,0	130,0	150,0
120,0	130,0	180,0	150,0	130,0	160,0
120,0	135,0	220,0	190,0	130,0	160,0
125,0	145,0	230,0	190,0	140,0	160,0
130,0	150,0	250,0	210,0	150,0	165,0
130,0	160,0	260,0	220,0	150,0	170,0
140,0	170,0	270,0	240,0	150,0	180,0
150,0	170,0	280,0	240,0	160,0	190,0
200,0	230,0	290,0	240,0	170,0	190,0
230,0	250,0	310,0	250,0	220,0	210,0
250,0	320,0	340,0	330,0	550,0	230,0
	350,0	540,0	330,0		230,0
	400,0				260,0

APÊNDICE 22

Este Apêndice apresenta os resultados das análises granulométricas realizadas pelos métodos de pipetagem (determinação de silte e argila) e peneiramento, para as frações superiores a areia fina.

Peso (g) pipetagem								
Furo - nº amostra	Argila	Silte	Furo - nº amostra	Argila	Silte			
T3-1	0,69	0,21	T7-3	9,66	14,59			
T11-1	7,62	11,78	T11-2	11,97	6,78			
T7-4	3,73	6,92	T5-2	11,98	14,17			
T4-1	0,25	0,50	T14-2	2,56	4,54			
T1-3	3,63	4,56	T14-1	13,07	19,93			
T4-2	7,46	8,69	T10-2	0,44	1,41			
T1-2	8,10	10,75	T9-1	1,20	0,00			
FS	7,40	27,23	T13-1	0,46	0,99			
T12-2	4,99	22,71	T7-2	7,90	8,10			
T12-4	9,74	17,21	T5-3	9,68	9,97			
T12-1	16,55	24,90	T7-1	11,15	11,82			
T4-3	10,92	11,93	P S	7,67	23,49			
T6-1	9,99	15,96	T11-3	8,49	18,69			
T12-2	11,37	16,33	T10-1	3,50	10,19			
FI	18,35	25,25	T2-1	0,00	4,00			
T5-1	15,04	9,61	T8-1	5,51	29,79			
T1-1	3,77	11,23	PG	0,20	0,40			
Peso (g) peneiramento (aberturas em mm)								
Furo-Amostra	0,0062	0,125	0,25	0,5	1	2	3,36	19,1
T3-1	4,85	39,93	38,95	47,31	35,81	19,53	12,44	0
T11-1	27,44	54,45	44,12	21,79	8,47	4,99	0	0
T7-4	16,47	52,4	62,71	37,52	8,59	0,87	0,19	0
T4-1	20,76	61,03	67,62	30,01	13,47	5,66	0	0
T1-3	22,22	53,41	41,78	21,07	13,01	8,75	19,81	0
T4-2	17,33	48,43	56,56	33,29	8,99	1,29	0,24	0
T1-2	18,6	56,43	55,65	22,67	7,32	1,12	0,6	0
FS	17,47	47,21	44,82	17,09	5,56	0,42	0,009	0
T12-2	16,47	46,55	56,05	21,06	3,81	0,49	0,18	0
T12-3	22,31	56,86	47,81	16,13	2,56	0,33	0,1	0
T12-1	13,83	35,2	41,47	22,04	5,41	0,54	0	0
T4-3	25,61	59,75	53,47	13,05	2,06	0,36	0	0

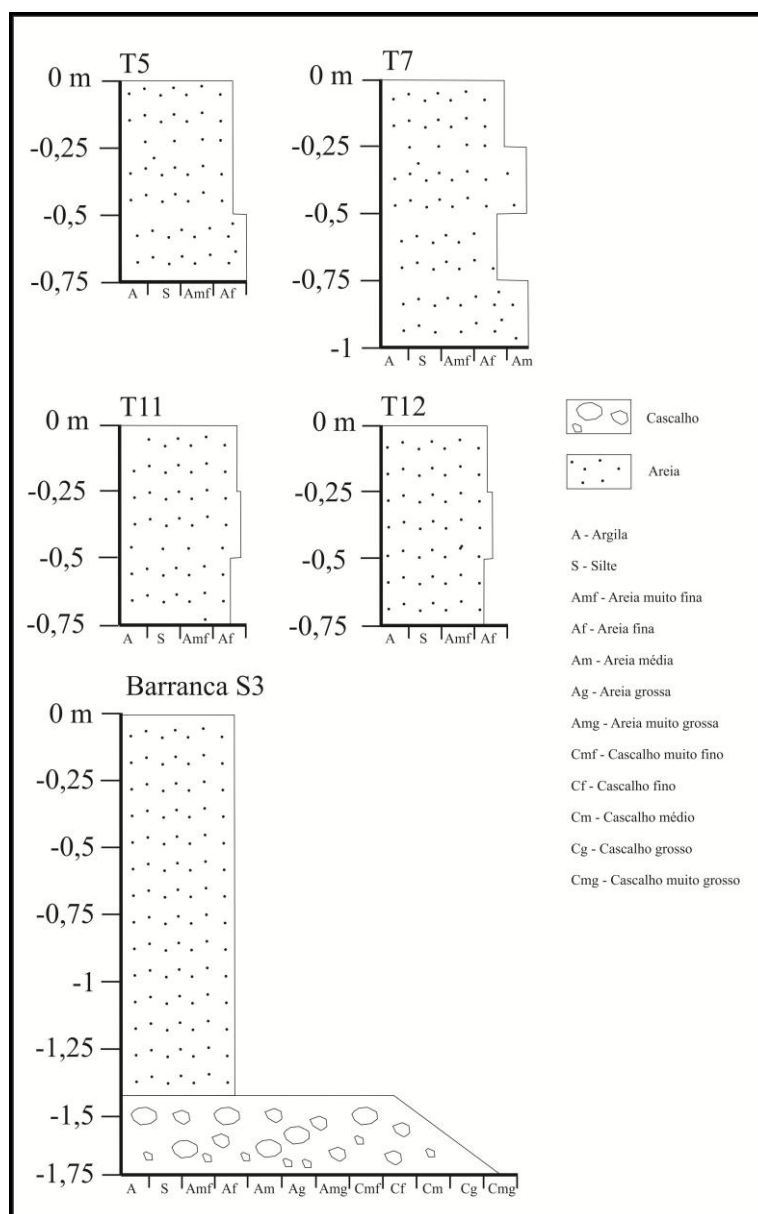
Continua na página seguinte.

T6-1	16,03	47,58	55	23,55	4,59	1,36	0,69	0
T12-2	17,2	50,6	60,41	36,41	7,2	0,93	0,49	0
FI	24,99	44,11	29,86	9,46	3,22	1,11	0,9	0
T5-1	22,24	53,69	47	23,26	3,51	0,97	0,25	0
T1-1	14,4	50,88	62,26	33,06	8,49	0,65	0	0
T7-3	20,56	47,25	53,11	25,78	4,03	0,59	0,24	0
T11-2	25,81	54,31	46,83	22,46	10,12	2,81	1,1	0
T5-2	25	52,78	48,7	17,83	2,93	0,57	0,22	0
T14-2	10,89	30,59	40,66	39,44	31,33	13,59	19,42	0
T14-1	25,63	63,2	24,51	14,66	3,72	0,99	1,32	0
T10-2	7,42	22,42	36,12	35,74	29,35	25,07	40,36	0
T9-1	7,23	45,34	87,28	40,1	10,24	2,41	4,85	0
T13-1	6,23	17,04	31,52	26,72	19,84	18,36	77,25	0
T7-2	16,87	47,03	53,8	31,39	13,19	3,51	2,29	0
T5-3	20,99	46,88	66,91	18,64	4,38	1,71	1,29	0
T7-1	19,15	48,2	48,99	29,39	6,32	1,72	0,94	0
P S	18,43	42	42,95	28,43	5,08	0,71	0,26	0
T11-3	21,62	62,2	43,02	12,25	2,06	0,26	4,4	0
T10-1	9,29	31,05	52,71	44,99	20,42	5,86	3,35	0
T2-1	0,73	11,02	19,3	50,37	41,68	37,1	196,6	783,6
T8-1	17,69	38,19	64,44	80,96	71,87	63,1	141,7	513,2
PG	2,05	2,5	2,8	1,7	1,15	0,6	78,19	555,2

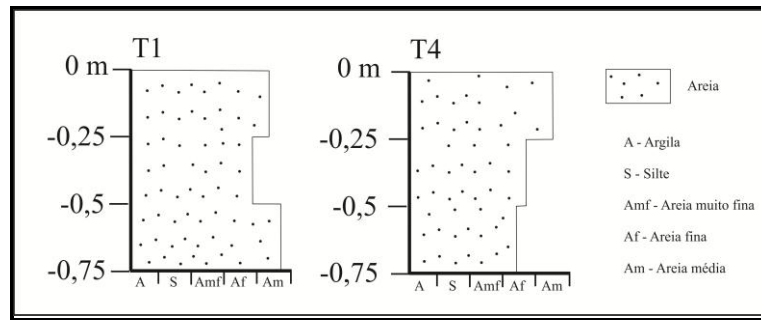
APÊNDICE 23

Perfis estratigráficos dos furos de trado com granulometrias baseadas no D_{50} de cada amostra.

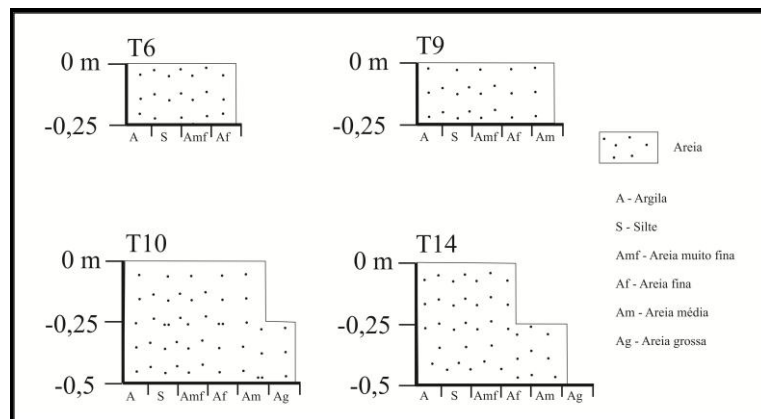
Perfis Terraço



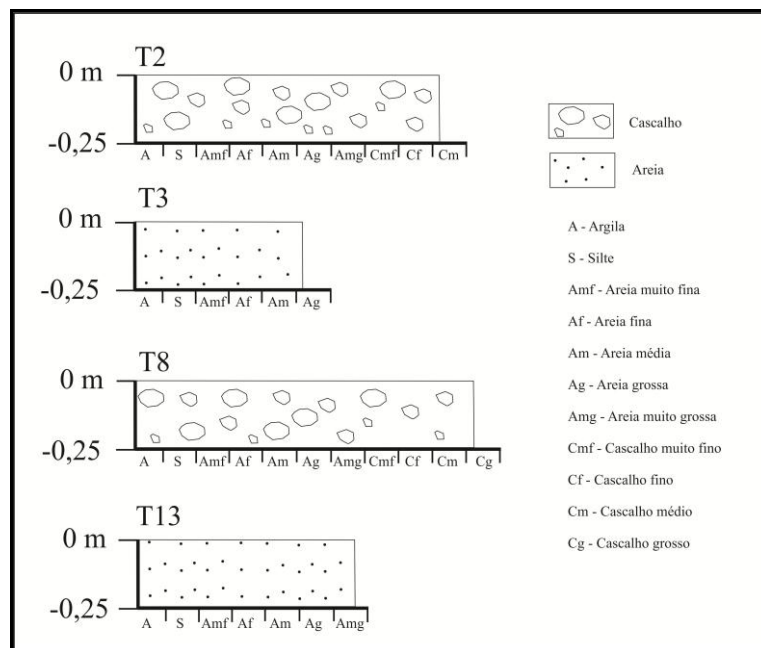
Perfis Planície Aluvial



Perfis Barra Vegetada



Perfis Leito



APÊNDICE 24

Distribuições de frequência granulométrica das amostras. Valores em μm ($1\ \mu\text{m} = 0,0001\ \text{mm}$) e em escala de ϕ (escala logarítmica de base 2).

