



Universidade Federal da Paraíba

Centro de Tecnologia

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA E
AMBIENTAL
– MESTRADO –**

**AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES HIDROMORFOLÓGICAS DO
RIACHO GUARAÍRA - PB PELO MÉTODO BÁVARO**

Por

Alexandre Ferreira da Silva

*Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal da Paraíba
para obtenção do grau de Mestre*

João Pessoa – Paraíba

Março de 2013



Universidade Federal da Paraíba

Centro de Tecnologia

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA E
AMBIENTAL
– MESTRADO –**

**AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES HIDROMORFOLÓGICAS DO
RIACHO GUARAÍRA - PB PELO MÉTODO BÁVARO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre.

Alexandre Ferreira da Silva

Orientador: Prof. Dr. Cristiano das Neves Almeida

João Pessoa – Paraíba

Março de 2013

S586a Silva, Alexandre Ferreira da.
Avaliação das condições hidromorfológicas do riacho
Guaraíra-PB pelo método Bávaro / Alexandre Ferreira da
Silva.- João Pessoa, 2013.
110f. : il.
Orientador: Cristiano das Neves Almeida
Dissertação (Mestrado) – UFPB/CT
1. Engenharia Urbana e Ambiental. 2. Hidromorfologia.
3. Método Bávaro. 4. Restauração

UFPB/BC

CDU: 62:711(043)

*"Avaliação das condições hidromorfológicas do riacho Guaraíra-PB pelo método
Bávaro"*

ALEXANDRE FERREIRA DA SILVA

Dissertação aprovada em 20 de março de 2013

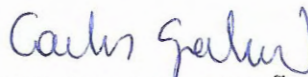
Período Letivo: 2012.2



Prof. Dr. CRISTIANO DAS NEVES ALMEIDA – UFPB
Orientador



Prof. Dr. TARCISO CABRAL DA SILVA - UFPB
Examinador Interno



Prof. Dr. CARLOS DE OLIVEIRA GALVÃO – UFCG
Examinador Externo

João Pessoa-PB
2013

AGRADECIMENTOS

Este trabalho envolveu atividades de campo e laboratório, realizadas graças à ajuda de uma série de pessoas e de suporte financeiro. Os ensinamentos, companheirismo e transmissão de alegria também foram essenciais para que esta dissertação de mestrado fosse concretizada. Por isto, aproveito esta página para prestar meus sinceros agradecimentos.

Primeiramente, agradeço a Deus pelas oportunidades que tem me concedido a cada dia, não só nas questões acadêmicas, mas também em todas as áreas da minha vida, pois sem sua ajuda e seu consentimento nada poderia ser realizado por mim.

Ao Professor Cristiano das Neves Almeida, pela orientação deste trabalho, pela transmissão de conhecimentos, pela dedicação à pesquisa, e acima de tudo, pelas intensas cobranças, que fizeram que esta pesquisa avançasse.

A todos que fazem parte do LARHENA (Laboratório de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental), do Laboratório de Hidráulica e do Laboratório de Estudos Geológicos e Ambientais (LEGAM), todos da UFPB, pela troca de conhecimentos e disponibilização de equipamentos e materiais.

Aos colegas e amigos da turma do mestrado, em especial aqueles que mais conviveram comigo durante as atividades do curso: Alysson, Érika e Eudes.

Ao técnico Edilson, que esteve presente em todas as atividades de campo com muita disposição e alegria.

Às bolsistas: Marcella, Amanda e Jaqueline que me ajudaram muito com as atividades de campo e laboratório, e que tiveram uma parcela importante para realização deste trabalho.

A Gerald, que ajudou bastante na tradução do material em alemão.

A todos aqueles que participaram comigo das atividades de campo: Andréa, Romero, Franklin e Diego.

A todos os amigos que também ajudaram de maneira indireta na realização deste trabalho.

À AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba), pelo apoio e compreensão em todos os momentos que tive que me ausentar para assistir as aulas e realizar minhas atividades de campo.

A minha noiva (Tamara) que tem me ajudado em todo o período do mestrado com sua paciência suportando meus estresses e me dando palavras de apoio e conforto.

Aos meus pais e grandes amigos (Antônio e Conceição), que mesmo com recursos financeiros escassos e muito sacrifício, nunca deixaram de apoiar e financiar meus estudos. Sempre estiveram presentes nos momentos que mais necessitei deles. E a minha irmã (Camilla), que está sempre presente com sua amizade e palavras de apoio em todas as áreas da minha vida.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo a avaliação hidromorfológica do riacho Guaraíra, através do método Bávaro. A bacia hidrográfica do riacho está localizada dentro da bacia hidrográfica do Gramame, porção sul do Estado da Paraíba. Para tanto, o riacho foi dividido em 47 trechos de 100 metros. Durante o período de levantamento das características do riacho foi possível observar o nível de modificação antrópica ao longo de seu percurso. Esses levantamentos levaram em consideração as dinâmicas do rio e da várzea e com a junção das dinâmicas se obtém o grau de modificação que varia de 1 (inalterado) a 7 (completamente alterado), a partir da utilização do método Bávaro. O riacho Guaraíra possui 81% do seu percurso inalterado, apesar de estar em uma bacia hidrográfica com 33,63% de sua área modificada pelas culturas da cana de açúcar e do abacaxi. Os 19% de alteração foram devido, a obras de engenharia e, como já citado anteriormente, a cana de açúcar também influenciou nessa alteração do estado natural. Com o método, fica claro que investimentos para restauração de locais antropizados são mais eficazes, devido à divisão do riacho em trechos. Dessa forma, economizam-se recursos financeiros e tempo agindo no cerne dos problemas.

PALAVRAS-CHAVE: método Bávaro, hidromorfologia, restauração.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the stream hydromorphological Guaraíra through the Bavarian method. The basin of the creek is located within the catchment area of Gramame, the southern portion of the state of Paraíba. Therefore, the creek was divided into 47 sections of 100 meters. During the survey of the characteristics of the stream was possible to observe the level of anthropogenic modification along its route. These surveys take into account the dynamics of river and plain and with the junction of the dynamics is obtained modification degree ranging from 1 (no change) to 7 (completely changed), based on the use of the method Bávaro. The creek Guaraíra has 81% of its route unchanged, despite being in a watershed with 33.63% of its area modified crops of sugar cane and pineapple. The 19% change were due to engineering works and, as previously mentioned, sugarcane also influenced this change in the natural state. With the method, it is clear that investments for restoration of local anthropogenic are more effective due to the division of the stream in patches. Thus, save yourself money and time by acting at the core of the problems.

KEYWORDS: Bavarian method, hydromorphology, restoration.

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1	ESTADO ECOLÓGICO DAS ÁGUAS	18
2.2	CONDIÇÕES HIDROMORFOLÓGICAS DE RIOS.....	19
2.2.1	<i>Características Hidromorfológicas</i>	<i>21</i>
2.2.2	<i>Importância das Estruturas Morfológicas.....</i>	<i>24</i>
2.3	MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES HIDROMORFOLÓGICAS DE RIOS.....	25
2.3.1	<i>Método Europeu</i>	<i>27</i>
2.3.2	<i>Método Bávaro</i>	<i>28</i>
2.3.3	<i>Método Croata.....</i>	<i>29</i>
2.4	ESTUDOS DE CASO.....	30
2.4.1	<i>Aplicações de Métodos para Avaliação Hidromorfológica de Rios</i>	<i>30</i>
2.4.2	<i>Comparações com o Método Bávaro</i>	<i>36</i>
3	CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO.....	38
3.1	FORMA DA BACIA.....	39
3.2	HIDROGRAFIA	40
3.3	ALTIMETRIA	41
3.4	GEOLOGIA	41
3.5	SOLOS	43
3.6	USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	44
3.7	CLIMA.....	45
4	MATERIAL E MÉTODOS	46
4.1	MÉTODO BÁVARO	46
4.2	LEVANTAMENTO DE CAMPO.....	57
4.3	ANÁLISE DE SOLO.....	58
4.3.1	<i>Atividades de Campo.....</i>	<i>59</i>
4.3.2	<i>Atividades de Laboratório</i>	<i>59</i>
4.4	VAZÃO.....	60
4.4.1	<i>Atividades de Campo.....</i>	<i>60</i>
4.4.2	<i>Atividades de Laboratório</i>	<i>62</i>
4.5	TRATAMENTO DOS DADOS ESPACIAIS	62
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	64

5.1	DESCRIÇÃO DOS TRECHOS PARA ANÁLISE HIDROMORFOLÓGICA	64
5.1.1	<i>Descrição dos Trechos 1 a 10</i>	66
5.1.2	<i>Descrição dos Trechos 11 a 20</i>	68
5.1.3	<i>Descrição dos Trechos 21 a 30</i>	70
5.1.4	<i>Descrição dos Trechos 31 a 47</i>	72
5.2	ANÁLISE DE SOLO DO LEITO DO RIACHO	73
5.2.1	<i>Distribuição de Sedimentos de Fundo para o Método Bávaro</i>	76
5.3	VAZÃO E VELOCIDADE DE FLUXO	78
5.4	APLICAÇÃO DO MÉTODO BÁVARO	82
5.4.1	<i>Dinâmica do Leito do Rio</i>	82
5.4.1.1	Forma do Rio	82
5.4.1.2	Potencial de Modificação	83
5.4.1.3	Potencial de Desenvolvimento	88
5.4.1.4	Aspectos Estruturais	91
5.4.2	<i>Dinâmica de Várzea</i>	95
5.4.2.1	Retenção	95
5.4.2.2	Estrutura das Margens	96
5.4.2.3	Potencial de Retenção da Matéria.....	97
5.5	SITUAÇÃO HIDROMORFOLÓGICA COM O MÉTODO BÁVARO	98
5.6	CONSIDERAÇÕES SOBRE A APLICAÇÃO DO MÉTODO BÁVARO	101
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	103
	REFERÊNCIAS.....	105

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Geometria do canal (Fonte: Binder, 2001).	21
Figura 2 – Diferentes estruturas de rios (Fonte: Binder, 2001).	23
Figura 3- Localização da bacia hidrográfica experimental do rio riacho Guaraíra.	38
Figura 4 - Perfil Longitudinal do riacho Guaraíra (Fonte: IBESA, 2004).	40
Figura 5 – Altitude da bacia hidrográfica do riacho Guaraíra.	41
Figura 6 - Mapa geológico da bacia hidrográfica do riacho Guaraíra (Fonte adaptada: PDRH, 2000).	42
Figura 7 - Solos da bacia hidrográfica do riacho Guaraíra (Fonte adaptada: SUDENE, 1972).	43
Figura 8 – Uso e Ocupação do Solo da bacia hidrográfica do riacho Guaraíra.	44
Figura 9 - Equipamentos de monitoramento climatológico na bacia hidrográfica do riacho Guaraíra (Fonte: SILVA, 2009).	45
Figura 10 - Estrutura da avaliação de corpos hídricos pelo método Bávaro (Fonte adaptada: REH e KRAUS, 2009).	47
Figura 11 – Pág. 1 da ficha de avaliação do método Bávaro (Fonte adaptada: BAYLFW, 2002).	49
Figura 12 – Exemplo de preenchimento da ficha de cadastro da parâmetro individual Tipo de Curvatura.	50
Figura 13 – Exemplo de preenchimento da ficha de cadastro da parâmetro individual Seção transversal.	51
Figura 14 - Página 2 da ficha de avaliação do método Bávaro (Fonte adaptada: BAYLFW, 2002).	52
Figura 15 - Página 3 da ficha de avaliação do método Bávaro (Fonte adaptada: BAYLFW, 2002).	54
Figura 16 - Página 4 da ficha de avaliação do método Bávaro (Fonte adaptada: BAYLFW, 2002).	56
Figura 17 - Estrutura do corpo hídrico de acordo com o método Bávaro (Fonte adaptada: BAYLFW, 2002).	57
Figura 18 - Divisão do riacho em trechos 100 m.	58
Figura 19 – Amostras de solo (Foto: Alexandre Ferreira da Silva, 2012).	59
Figura 20 - Balança para pesagem das amostras (A), Estufa para secagem das amostras (B) (Fonte: COELHO, 2011).	59
Figura 21 – Peneiras (A) e Agitador (B), utilizados para obtenção de dados referentes à granulometria do solo (Foto: Alexandre Ferreira da Silva, 2012).	60
Figura 22 – Medição de vazão (Foto: Alexandre Ferreira da Silva, 2012).	61
Figura 23 - Processo batimétrico para determinar a área da seção transversal	62
Figura 24 - Divisão dos trechos e levantamento de campo.	65
Figura 25 – Características dos trechos de 2 a 6 (Foto: Alexandre Ferreira da Silva, 2012).	67
Figura 26 - Características dos trechos de 7 a 10 (Foto: Alexandre Ferreira da Silva, 2012).	68
Figura 27 - Características dos trechos de 11 a 18 (Foto: Alexandre Ferreira da Silva, 2012).	69
Figura 28 - Características dos trechos de 21 a 25 (Foto: Alexandre Ferreira da Silva, 2012).	71
Figura 29 - Características dos trechos de 26 a 30 (Foto: Alexandre Ferreira da Silva, 2012).	72

Figura 30 - Características dos trechos de 33 a 42 (Foto: Alexandre Ferreira da Silva, 2012).	73
Figura 31 – Mapa de porcentagem de areia do leito do riacho Guaraíra.	75
Figura 32 – Curvas granulométricas dos trechos analisados	76
Figura 33 – Mapa de sedimentos de fundo do riacho Guaraíra	77
Figura 34 – Gráfico de sedimentos de fundo dos trechos analisadas	78
Figura 35 – Mapa de vazões do riacho Guaraíra.	80
Figura 36 – Mapa de velocidade de fluxo superficial do riacho Guaraíra.	81
Figura 37 – Gráfico de comprometimento do leito	84
Figura 38 – Gráfico do comprometimento das margens	84
Figura 39 – Gráfico da estrutura transversal.	85
Figura 40 – Gráfico de padrão de fluxo.	86
Figura 41 – Gráfico da classificação da deposição.	90
Figura 42 – Gráfico das características da mata ciliar.	91
Figura 43 – Gráfico da mata ciliar.	92
Figura 44 – Gráfico das estruturas especiais do leito.	93
Figura 45 – Gráfico da classificação da faixa de vazão.	94
Figura 46 – Gráfico das estruturas das margens.	96
Figura 47 – Gráfico dos usos das várzeas.	97
Figura 48 – Condição hidromorfológica do riacho Guaraíra.	99
Figura 49 – Gráfico da situação hidromorfológica do riacho Guaraíra.	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Morfologia de rios (Fonte adaptado: Reh e Kraus, 2009).	22
Tabela 2 – Escalas de estruturas morfológicas (Fonte adaptado: Jungwirth et al., 2003). ..	24
Tabela 3 – Requisitos para métodos de avaliação (Fonte: Otto e Reh, 1999)	26
Tabela 4 - Fatores de forma da bacia hidrográfica do riacho Guaraíra (Fonte: IBESA, 2004).	39
Tabela 5 - Número de cursos d'água, comprimento médio e outros parâmetros (Fonte: IBESA, 2004).	40
Tabela 6 - Classe textural do solo do riacho Guaraíra para cada trecho estudado.	74
Tabela 7 – Características de velocidades, áreas e vazões do riacho Guaraíra.	79
Tabela 8 – Classificação da sinuosidade dos trechos do riacho Guaraíra	83
Tabela 9 – Profundidade de perfil	87

1 INTRODUÇÃO

A água, como elemento indutor do desenvolvimento humano, tem feito com que ao longo dos anos os aglomerados urbanos tenham se instalado nas proximidades de corpos hídricos superficiais, principalmente nos rios, isso ocorre devido à necessidade humana deste recurso essencial para vida. Entretanto, essa utilidade não está voltada apenas para dessedentação humana e animal, mas também para uso na agricultura, na indústria e nos seus diversos fins.

Desta forma, as estruturas dos rios têm sido alteradas para adaptação das demandas da sociedade, comprometendo seu estado de equilíbrio natural, fato que ocasiona inúmeros problemas associados a essa ação antrópica, tais como: aumento de inundações, má qualidade da água e assoreamento ou erosão de regiões ribeirinhas.

A Europa promulgou em 2000 sua nova política de águas, denominada, *Water Framework Directive (WFD)*. Um documento de caráter mandatário que tem por objetivo a proteção de todas as águas da Comunidade Europeia, por meio da prevenção, da melhoria ou manutenção do bom estado ecológico das águas superficiais e do bom estado hidrológico das águas subterrâneas (COMISSÃO EUROPEIA, 2000). De acordo com a *WFD*, existem três diferentes tipos de elementos essenciais de qualidade para avaliação do estado ecológico: elementos de qualidade biológica; elementos físico-químicos e elementos hidromorfológicos (INAG, 2009). Desta forma, métodos de avaliação hidromorfológica foram desenvolvidos em diversos países com o objetivo de analisar a estrutura física dos rios e o seu estado de alteração. Justifica-se a importância desta avaliação no contexto do planejamento ambiental e no auxílio de tomadas de decisões, que ajudem na gestão ambiental de um país ou região.

Vem surgindo uma mudança na ótica ecossistêmica da gestão dos recursos hídricos que impulsionou a transformação dos sistemas de classificação dos corpos de água, em países que se destacam pelo pioneirismo dos sistemas de gestão, como Estados Unidos da América, Austrália e Nova Zelândia e, atualmente, a União Europeia. Os objetivos de qualidade dos países citados mostram uma preocupação com a disponibilidade de água para o futuro, em conjunto aos bens e serviços que tais sistemas fornecem à sobrevivência humana, garantido com o pressuposto da preservação de seu Estado ecológico. Para tanto, é bastante comum à implementação do conceito de locais ou condições de referência nos esquemas classificatórios, por meio da identificação de corpos de água em condições

ótimas ou degradadas pela ação antrópica, que são utilizados como modelos para a análise do estado de sistemas em relação à morfologia e biologia (PIZZELA e SOUZA, 2007).

No Brasil, tendo em vista o conceito de desenvolvimento sustentável e suas premissas, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) (Lei nº 9433/97) estabeleceu os objetivos e instrumentos regulatórios e econômicos que norteiam a gestão hídrica brasileira, tendo como premissa a sustentabilidade dos recursos hídricos. A PNRH possui cinco instrumentos básicos: Sistemas de Informações sobre Recursos Hídricos, Planos Diretores, Enquadramento, Outorga e Cobrança. Dentre esses instrumentos, situam-se aqueles diretamente relacionados ao sistema de gestão da qualidade hídrica, como a classificação das águas emersas, regulamentado pela resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 357/2005, e o enquadramento dos corpos de água em classes de qualidade, regulamentado pela resolução do Conselho Nacional dos Recursos Hídricos (CNRH) nº 12/2000, as quais permitiram o estabelecimento de objetivos de qualidade para as águas superficiais do território brasileiro, de acordo com seus usos preponderantes (SRH e MMA, 2006).

Em países desenvolvidos, a gestão hídrica moderna tem o papel de minimizar as ações antrópicas de forma a preservar o ambiente natural. Para tanto, os corpos de água que se encontrarem próximos a condições naturais devem ser manejados de forma a preservar suas características, enquanto que aqueles já em estado de degradação devem ser recuperados para garantir seu potencial natural. Na legislação brasileira, a definição da qualidade hídrica é dada apenas por meio de parâmetros físico-químicos, não se considerando como critérios os fatores geomorfológicos e hidromorfológicos.

O nosso país, no entanto, possui um grande entrave na questão dos recursos hídricos, pois apesar dos investimentos que o governo tem realizado nos últimos anos, ainda existe a ausência de um sistema de informações eficiente, que contemple, dentre outros fatores, bancos de dados robustos, que serviriam como suporte na elaboração de estudos mais aprofundados nas bacias a serem enquadradas.

Problemas referentes à proteção e restauração do funcionamento natural dos corpos hídricos é uma tarefa essencial da gestão das águas, pois a expansão dos centros urbanos, como também da agricultura tem provocado uma degradação gradativa dos recursos hídricos, principalmente no que tange aos aspectos hidromorfológicos.

Com isso, torna-se necessário preservar e restaurar os corpos hídricos, de acordo com as suas características típicas desde a nascente ao estuário. Para tanto, se faz necessária a utilização de métodos que possam avaliar a morfologia que caracteriza um

corpo de hídrico. Esse método deve apresentar resultados realistas das condições hidromorfológicas dos corpos hídricos, para possíveis tomadas de decisões para sua restauração.

Em face da questão de restauração dos corpos hídricos, será possível utilizar o método Bávaro, intitulado “*Mapping and assessment methods for the structure of waters*, BAYLFW (2002)”, para que seja observada a resposta do método em relação à situação real do riacho Guaraíra que foi escolhido como área estudo da dissertação, pois é alvo de estudos do grupo de pesquisadores do Laboratório de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental da UFPB (LARHENA) desde o ano de 2003. Os pesquisadores observaram que o riacho vem sofrendo influências antrópicas pela agricultura e por obras de engenharia.

Aliado ao método Bávaro estará um Sistema de Informações Geográficas (SIG) que representará através de análises espaciais as informações sobre as condições hidromorfológicas, sendo possível explicitar os níveis de modificação da sua condição natural. Dessa forma, ficarão bastante claros os locais de maior necessidade de intervenções análogas às ações antrópicas e também locais que estão com sua condição natural não alterada, sendo uma ferramenta de grande valia para a gestão ambiental de bacias hidrográficas.

O presente trabalho tem como objetivo geral, avaliar as condições hidromorfológicas do riacho Guaraíra pelo o método Bávaro, bem como, determinar a atual situação no que tange aos seus aspectos naturais. Os objetivos específicos são:

- a) Levantar informações para descrever as características do riacho Guaraíra;
- b) Quantificar o riacho Guaraíra pelo método Bávaro ao longo de seu percurso;
- c) Classificar o riacho pelo método Bávaro para mostrar sua situação hidromorfológica;
- d) Tecer considerações sobre a aplicação do método Bávaro.

A dissertação encontra-se estruturada da seguinte forma: neste primeiro capítulo (*Introdução*) relata-se uma contextualização abrangendo o tema em estudo, como também são estabelecidos os objetivos que se pretende alcançar com este trabalho. No capítulo 2 (*Referencial Teórico*) são apresentados conceitos sobre o estado ecológico das águas, dando ênfase aos componentes das condições hidromorfológica de rios e de métodos para avaliação dessas condições. Ainda neste capítulo, faz-se uma abordagem de métodos utilizados para realizar avaliação hidromorfológica de rios. As características fisiográficas

da área de estudo são enfocadas no capítulo 3 (*Caracterização da Área de Estudo*). No quarto capítulo (*Materiais e Métodos*) estão descritas as etapas metodológicas utilizadas para atingir os objetivos propostos no capítulo 1. O capítulo 5 (*Resultados e Discussões*) constitui os resultados e discussões a respeito dos trechos descritos para análise hidromorfológica, da análise do solo do leito do riacho, como também das vazões a velocidades de fluxo, da aplicação do método Bávaro, da situação hidromorfológica do riacho e as considerações sobre o método Bávaro. No último capítulo (*Conclusões e Recomendações*) são apresentadas as considerações finais acerca dos resultados obtidos durante a pesquisa, evidenciando a importância da realização do trabalho e deixando algumas recomendações para estudos futuros. Por fim, foram listadas as referências que serviram de aporte para a elaboração da Dissertação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo está dividido de acordo com a contextualização que será empregada na metodologia da pesquisa para alcançar os resultados desejados. Na primeira parte será realizada uma conceituação do estado ecológico das águas, dando ênfase aos componentes básicos utilizados na pesquisa. Na segunda parte serão abordados conceitos, características e importância da avaliação hidromorfológica de rios. Na terceira parte do referencial teórico serão abordados alguns métodos de avaliação hidromorfológica de rios. Por fim, será realizada uma consideração a respeito dos métodos descritos e a abordagem e comparação de alguns estudos de casos.

2.1 Estado Ecológico das Águas

Na Europa, a publicação da WFD em 23 de outubro de 2000, definiu o estado ecológico das águas superficiais na gestão das bacias hidrográficas como uma expressão da estrutura e funcionamento dos ecossistemas aquáticos associados à classificação dos corpos hídricos (FURSE et al., 2006). Dessa forma, o estado ecológico de um determinado local, deve avaliar em que medida a estrutura e o funcionamento do ecossistema se afastam das situações de referência quando esse local se encontra sujeito a pressões antrópicas (ECOSTAT, 2003).

Esse conceito engloba diversos parâmetros relativos à natureza físico-química da água, às características hidrodinâmicas e à estrutura física dos corpos hídricos, embora a ênfase seja posta nos parâmetros relativos às condições dos elementos bióticos dos ecossistemas aquáticos. Existem três diferentes tipos de elementos essenciais de qualidade para avaliação do estado ecológico das águas, são eles: elementos de qualidade biológica, elementos físico-químicos e elementos hidromorfológicos (HENRIQUES et al., 2000).

No Brasil, a Lei 9.433 de 08 de Janeiro de 1997, ao estabelecer os dispositivos constitucionais correspondentes aos recursos hídricos, estabeleceu princípios para a gestão deste importante recurso ao adotar a bacia hidrográfica como unidade de planejamento, reconheceu a água como bem econômico, a importância de seus usos múltiplos e a necessidade de gestão descentralizada e participativa. Definiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Nela encontra-se a conceituação de água como um bem de domínio público, dotado de valor econômico, cujos usos prioritários são o abastecimento humano e a dessedentação de

animais (ANA, 2005). A Resolução 357 de 10 de Março de 2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água superficiais, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Não estando estabelecida dentro da legislação a adoção de uma abordagem ecossistêmica para a classificação dos corpos de água superficiais, que considerem critérios hidromorfológicos, químicos, biológicos como referência (OLIVEIRA E MARQUES, 2008).

Essa diretiva estabelece que, para avaliação do estado ecológico, todos os estados membros da União Europeia têm de aplicar os métodos e ferramentas que melhor se adaptem às suas condições ecológicas de referência (INAG, 2009). Tendo em vista o objetivo ambiental de alcançar o bom estado das águas, em 2015 (SILVA, 2010).

Com isso, deixam de se centrar apenas na água com vista à sua utilização com recurso para o homem, e passam a ter como objetivo avaliar a integridade global dos ecossistemas aquáticos nos seus diferentes componentes físicos, químicos, biológicos e hidromorfológicos, introduzindo-se assim, o novo conceito de avaliação do estado ecológico das águas (BIS e USSEGLIO-POLATERA, 2004).

2.2 Condições Hidromorfológicas de Rios

Para analisar as condições de referência de um bom estado ecológico se faz necessário observar a hidromorfologia, pois ela lida com a estrutura e a dinâmica dos corpos hídricos. Desta forma, descreve uma abordagem da tipologia que caracteriza o modelo físico dos rios, que se baseia numa série de dados para desenvolver um quadro de uma tipologia do canal, agrupando dados de fontes secundárias seguido por um trabalho de campo, que avalie as características e condições do rio (ORR; LARGE; NEWSON; WALSH, 2008).

Também por meio da análise das condições de referência, Cunha (1994) pôde classificar as modificações hidromorfológicas impostas pelo homem em uma bacia hidrográfica, através de dois grupos: o primeiro é análogo às modificações diretas no canal de drenagem, para modificar a vazão e/ou para alterar a forma do canal para extração de areia e cascalho, ou para estabilização de margens. Já o segundo, faz referência às modificações indiretas que acontecem através do uso do solo na bacia hidrográfica, como por exemplo: o desmatamento, a drenagem das planícies, a urbanização, dentre outras.

Além disso, as mudanças no uso e ocupação do solo são influenciadas por fatores espaciais e temporais que interagem com os recursos das bacias hidrográficas. Analisar essas mudanças torna-se fundamental para avaliar os padrões de uso do solo e seus impactos, principalmente no que se refere aos recursos hídricos (TIMOTHY e OLGA, 2011). Tais impactos ocorrem principalmente em bacias hidrográficas urbanas, como também, em bacias hidrográficas ocupadas pela agricultura, onde a morfologia dos corpos hídricos é modelada em virtude das necessidades humanas e econômicas.

A constituição geomorfológica de uma bacia hidrográfica é regulada pelos agentes endógenos e exógenos da Terra no decorrer da escala geocronológica. O primeiro diz respeito aos componentes internos relacionados ao substrato rochoso, aos solos, e a tectônica local; o segundo agente está relacionado aos fatores que condicionam superficialmente a morfologia: a cobertura vegetal, o clima, a ocupação, além, contudo, da ação do tempo. Portanto, as alterações numa parte desses agentes podem afetar outras, ou mesmo todo o sistema de drenagem, modificando o balanço das entradas e das saídas ou descargas residuais da bacia hidrográfica, modificando sua condição natural (FRANÇA JÚNIOR, 2010). A verificação das condições hidromorfológicas de uma bacia hidrográfica poderá contribuir para os gestores públicos em suas decisões, auxiliando na elaboração de políticas de planejamento, infraestrutura, e uso sustentável de recursos naturais.

De acordo com Christofolletti (1980), a geomorfologia fluvial relaciona à ação dos rios, como o agente mais importante no transporte, erosão e sedimentação de detritos. Com isso, as formas de relevo geradas em ambientes fluviais estão relacionadas, portanto, a dois processos: sedimentação e erosão (CHRISTOFOLETTI, 1981).

Deste modo, a capacidade de erosão das margens de um rio, bem como o transporte e deposição de sedimentos dependem, entre outros fatores, da vazão e da natureza das correntes fluviais, refletindo em uma condição estável do canal fluvial. Qualquer modificação rompe com esta estabilidade, repercutindo de imediato nas condições de erosão transporte e deposição até chegar a uma nova condição de equilíbrio (CHRISTOFOLETTI, 1980 e SILVA et al. 2003). Isto é, os processos de erosão, transporte e deposição de um sistema fluvial variam no decorrer do tempo e, espacialmente, são interdependentes, resultando não apenas das mudanças do fluxo, como também da carga existente. Portanto, quando se faz uma análise geral de um corpo hídrico, não se pode considerar os processos (erosão transporte e deposição) separadamente, além de outros elementos que interferem na sua dinâmica.

2.2.1 Características Hidromorfológicas

De acordo com Rinaldi et al. (2012), as características hidromorfológicas podem ser consideradas em diferentes escalas: bacia hidrográfica, o tipo morfológico do rio e a estrutura específica das seções dos rios. A avaliação morfológica do rio consiste em uma divisão inicial de suas características para atingir a homogeneidade. Estas características são: a continuidade longitudinal e lateral, padrão de canal, seção transversal, estrutura do leito, substrato e vegetação.

As condições geológicas e climáticas em bacias hidrográficas desenvolvem diferentes vales de rios (por exemplo, formato em V). O tipo de vale condiciona o aparecimento de rios, em grande parte, pois determina a liberdade de movimento de um rio (por exemplo: liberdade limitada em vales em formato de V) como também no processo de transporte de sedimentos. (JUNGWIRTH et al., 2003).

A Figura 1 mostra o desenvolvimento da geometria do canal do rio o qual é dependente da interação de fatores de bases naturais.

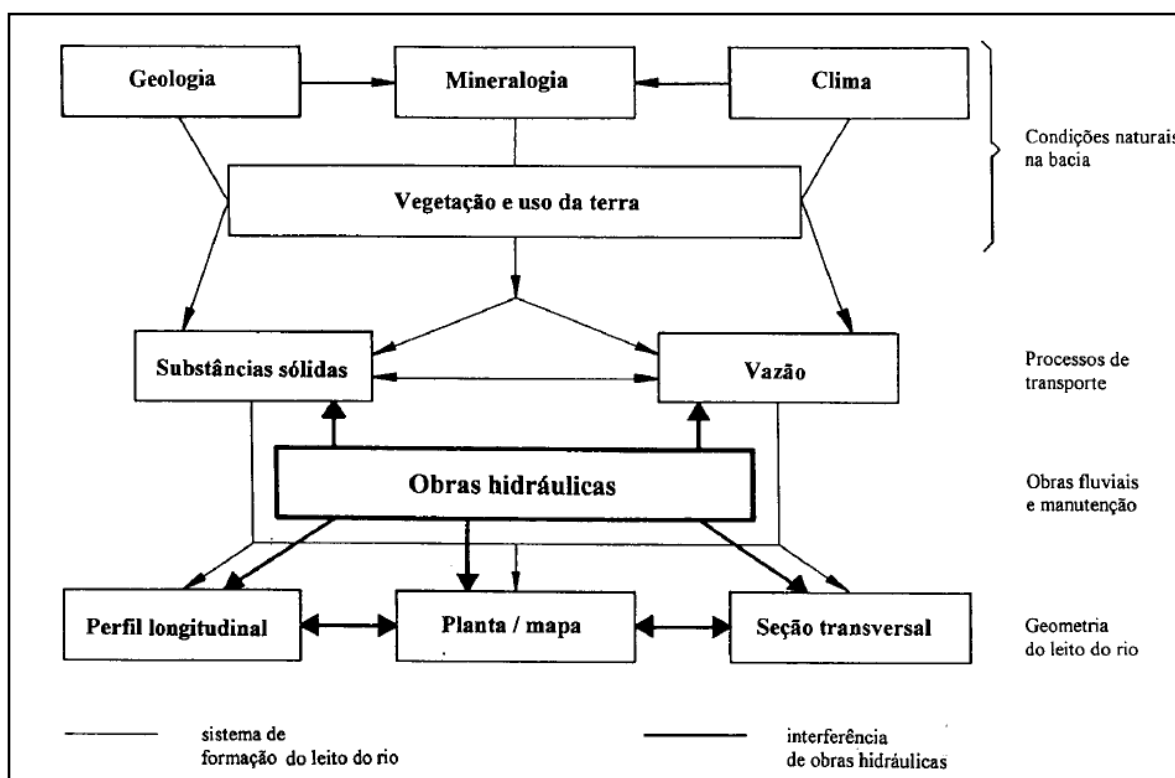


Figura 1 - Geometria do canal (Fonte: Binder, 2001).

Os diferentes aspectos que formam os rios são devidos às condições naturais específicas, que podem ser alocados por tipos morfológicos (Tabela 1). O tipo de

morfologia do rio descreve a descarga, seção transversal e perfil longitudinal, como também a dinâmica do leito do rio e da várzea, de uma maneira geral. O principal fator para o desenvolvimento do tipo morfológico do corpo hídrico são os processos de transporte no leito do rio (PATT et al., 2004).

Tabela 1 – Morfologia de rios (Fonte adaptado: Reh e Kraus, 2009).

Tipo do Rio	Forma	Características
Retilíneo		Canais que mostram o pequeno desenvolvimento do rio; A forma do canal é definida pela topografia íngreme e estreitamento do vale; Predomina erosão e transporte de substrato; Pequena largura e profundidade; Várzea pequena ou nenhuma.
Ramificado		Variabilidade do regime fluvial e a carga de sedimentos transportada pelo rio, tanto em volume, quanto em granulometria; Margens não definidas claramente.
Meândrico		Distribuição irregular da velocidade de escoamento; Largura e profundidade variável; Florestas e várzeas; A instabilidade do leito do rio através de constante erosão e sedimentação.

Os variados tipos morfológicos de rio, que são dependentes de condições biogeográficas específicas determinam diferentes estruturas morfológicas das seções do

rio. Essas estruturas servem como habitat para organismos aquáticos e podem ser descritos separadamente pelo leito do rio, margens e várzea (FLEISCHHACKER et al., 2002).

Estruturas típicas de leito de rio são: diversidade de escoamento, diversidade de largura e profundidade e composições específicas de substrato que se desenvolvem por causa de padrões diferentes de escoamento (ARTURO e SERGI, 2012).

As margens demonstram diferentes características de acordo com o tipo morfológico do rio. Aqui a vegetação tem um significado especial: a sedimentação de madeira e folhas oferecem condições para o desenvolvimento de várias estruturas. A estrutura e extensão da várzea são dependentes do tamanho do rio, como também do tipo morfológico. Onde rios em depressões rasas escoam periodicamente e formam típicas estruturas de vegetação (pântanos). Elementos típicos na várzea são os igarapés ou remansos (SPRINGE et al., 2010).

De acordo com Binder (2001), essas estruturas morfológicas dependentes de fatores naturais de base na área de drenagem. Com isso, o tipo morfológico do rio só pode desenvolver-se se processos dinâmicos do leito do rio, e das várzeas não forem limitadas por ações humanas (por exemplo, construções no rio). A Figura 2 mostra diferentes estruturas da seção de rio.

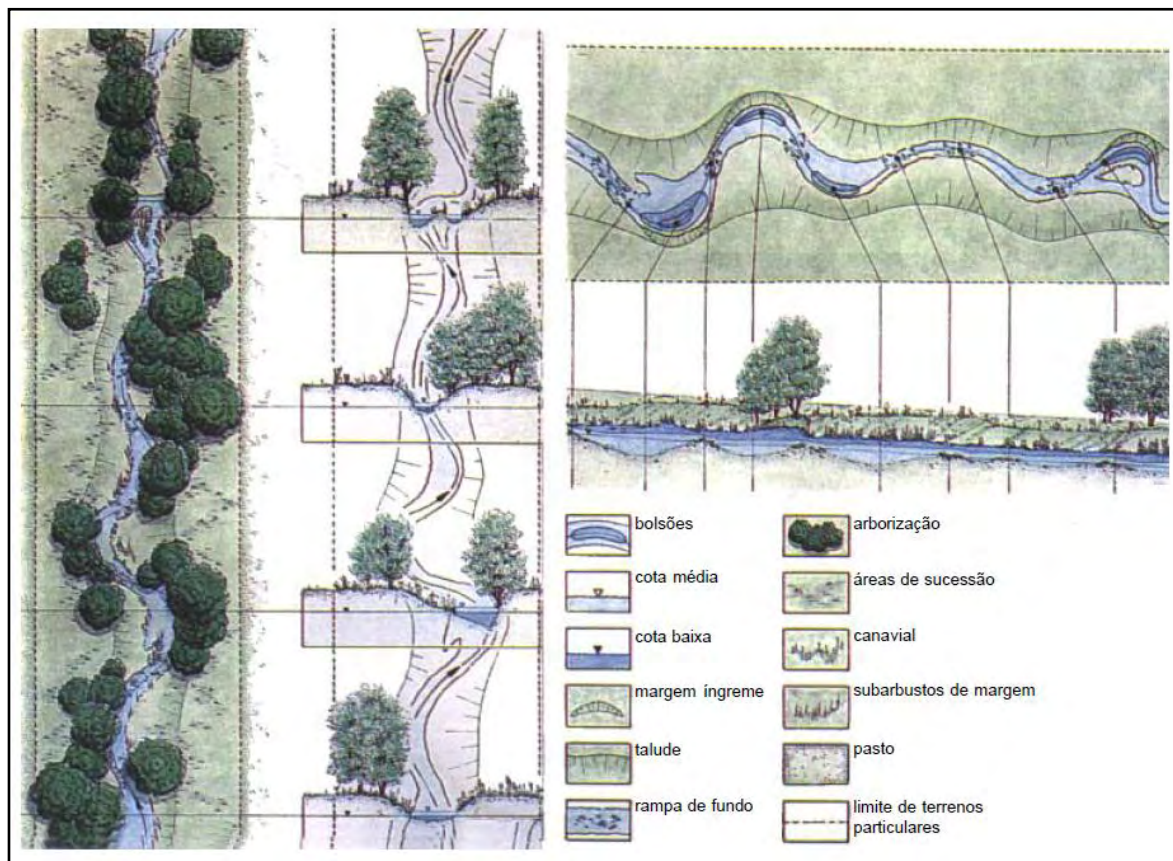


Figura 2 – Diferentes estruturas de rios (Fonte: Binder, 2001).

A Tabela 2 mostra um resumo das três escalas de estruturas morfológicas.

Tabela 2 – Escalas de estruturas morfológicas (Fonte adaptado: Jungwirth et al., 2003).

Bacia hidrográfica	Morfologia do rio	Estruturas das seções do rio
Fatores de base natural determinam o vale do rio e os processos de transporte	Diferentes tipos morfológicos do rio são descritos da seguinte forma: · Forma planimétrica; · Seção transversal; · Perfil longitudinal; · Substrato; · Várzea.	· Diversidades de fluxo; · Variações de largura e profundidade; · Composição do substrato; · Sem Estruturas de fluxo (detritos lenhosos, folhas); · Estrutura das margens (por exemplo, raízes); · Estrutura da várzea (vegetação, remansos).

Para Von Schiller et al. (2011) compreender os princípios subjacentes à relação entre a forma do canal e fluxo de água no ecossistema do rio (incluindo a sua biodiversidade e funcionamento) é portanto, essencial para que estratégias de recuperação funcionem realmente nas atuais paisagens altamente modificadas. Há um grande número de estudos sobre processos que ocorrem no ecossistema hídrico, tais como a retenção de nutrientes, matéria orgânica, no que diz respeito à hidromorfologia. No entanto, a maioria deles tem se concentrado em mudanças naturais, tais como a comparação das áreas sob diferentes configurações geológicas, ou o efeito de naturais inundações e secas.

2.2.2 Importância das Estruturas Morfológicas

Para Lyons et al. (2005), o argumento mais importante para lidar com estruturas morfológicas é que elas determinam a biocenose que ocorre no rio numa grande extensão. As “estruturas do rio” descritas no item anterior representam diferentes habitat para organismos aquáticos: a preferência de estruturas de madeira como habitat e abrigo para várias espécies de peixe são explicados por Jungwirth et al. (2003). Igarapés e remansos na várzea atuam como áreas de desova e como esconderijo para espécies de peixe no inverno e na maré alta. A composição específica do substrato do leito do rio afeta os macrozoobentos que vivem principalmente no espaço entre os grãos (WALLACE, 2007).

Von Schiller et al. (2011) afirmam que quanto maior a diversidade de estruturas morfológicas na superfície da água, mais habitat para organismos aquáticos, e maior a diversidade da biocenose presente. Se as estruturas morfológicas são unificadas (por

exemplo, através de uma intervenção no rio), o habitat típico para espécies de plantas e animais são perdidos.

Além disso, Boix et al. (2010) afirmam que as condições hidromorfológicas inalteradas afetam a qualidade da água de forma positiva. Já para Ricart et al. (2010), padrões diferentes de escoamento (seções com escoamento rápido, em particular) garantem a introdução de oxigênio no curso d'água. O oxigênio é necessário para reduzir a matéria orgânica o que é feito principalmente por bactérias e fungos.

Também se deve notar que as estruturas hidromorfológicas, que estão próximas às condições naturais, reduzem danos causados pelo escoamento: o potencial dos rios no seu estado natural não é limitado através de barragens e o curso dos rios não é encurtado com seu estreitamento. Então, as cheias são mantidas nas zonas de retenção e não acumulam a jusante (ELOSEGI et al., 2010).

2.3 Métodos para avaliação das condições hidromorfológicas de rios

Para análises hidromorfológicas os métodos de avaliação dependem do objetivo esperado e em função desse, definem-se a coleta e a avaliação de um objeto ou de seu estado. Eles são para coletar e avaliar um objeto ou uma situação. De preferência a análise deve ser rápida, rentável e não extensa. Mas o principal objetivo da coleta é a obtenção de resultados adequados, corretos e convincentes. Os requisitos gerais de um método são definidos para garantir isso (REH e KRAUS, 2009).

De acordo com Otto e Reh (1999), os critérios de objetividade, comparabilidade, transparência, praticidade e expressividade, são a garantia de que o sistema de avaliação está estruturado de forma lógica e significativa e que os resultados do método são compreensíveis, rastreáveis e corretos (Tabela 3).

Tabela 3 – Requisitos para métodos de avaliação (Fonte: Otto e Reh, 1999)

Objetividade	Os métodos para coleta e avaliação dos dados estruturais devem resultar apenas de critérios objetivos. Os parâmetros têm que ser avaliados e interpretados sem tendência. Isto implica em um sistema de correlação coerente de parâmetros estruturais, ou seja, os níveis de avaliação individuais devem ser definidos com relação ao seu conteúdo.
Comparabilidade	"Coleta e avaliação tem que levar em consideração as características naturais dos diferentes corpos hídricos, para obter resultados comparáveis com outros corpos hídricos."
Transparência	A definição e a avaliação dos parâmetros estruturais hidromorfológicos tem que ser clara e plausível em todas as etapas de trabalho. A avaliação tem de ser derivada de forma compreensível e deve ser rastreáveis aos dados originais. É importante que tomadores de decisão possam entender o método.
Praticidade	A coleta e avaliação dos corpos hídricos têm que ser viáveis e práticas, de forma que possam ter seus custos quantificáveis. "Praticidade adequada exige que o método seja descrito em detalhes em todas as partes essenciais e que o usuário possa manter a descrição do método."
Expressividade	Os elementos da estrutura dos corpos hídricos têm que ser coletados e avaliados para que permitam expressividade "para todas as funções de equilíbrio natural das águas, pois são importantes e especialmente valoráveis de proteção".

Ao verificar o método de avaliação hidromorfológica com esses requisitos básicos, uma primeira estimativa pode ser realizada para ver se o sistema de avaliação fornece resultados de campo comparáveis. Em termos de uma comparação entre métodos, esses requisitos gerais são propostos como uma escala de avaliação dos métodos, desta forma métodos selecionados podem ser comparados (OTTO e REH, 1999).

No mundo profissional, há diversos métodos de avaliação e tentativas para a descrição hidromorfológica. Eles diferem mais ou menos uns dos outros em relação à complexidade e à metodologia. No entanto, todos eles têm o objetivo de descrever a

condição hidromorfológica de forma compreensível, transparente e verdadeira, tendo que realizar uma descrição e avaliação dos corpos hídricos (BAYLFW, 2002).

2.3.1 Método Europeu

O método Europeu “*Water quality - Guidance standard on determining the degree of modification of river hydromorphology*” é o anteprojeto da norma europeia que foi estabelecido em 2008 pelo *European Committee for Standardization / Technical Committee on Water Analysis 230 / Working Group on Biological and Ecological Assessment Methods 2 / Water body characteristics 5 N65* (CEN TC 230/WG 2/TG 5 N65). Ele foi desenvolvido para coleta de dados hidromorfológicos de maneira que não especificasse um país. Isto significa que esse método de mapeamento permite a coleta de água de diferentes estruturas de corpos hídricos europeus de forma equivalente e comparativa (REH e KRAUS, 2009).

O método também pode ser utilizado, além das normas de análise dos diferentes corpos hídricos europeus, para avaliação básica para planos de gestão das águas, como por exemplo, planos de proteção contra enchentes e restauração dos cursos d’água (COMISSÃO EUROPEIA, 2000).

O modelo descrito pelo método Europeu é representado pela condição natural dos corpos hídricos. No entanto, essa condição natural não é definida por meio de características mensuráveis. A definição das condições de referência natural é realizada por meio dos dados de base antes do mapeamento. Os cursos d’água são examinados e avaliados dentro desse método por meio de unidades funcionais do leito rio, margens, mata ciliar e várzea (COMISSÃO EUROPEIA, 2000).

A avaliação do estado hidromorfológico é feito através de mapeamento de campo. A inspeção da redução da qualidade hidromorfológica dos corpos hídricos por ações antrópicas é feita por meio da coleta de parâmetros hidromorfológicos dos rios com o auxílio de bases cartográficas (ECOSTAT, 2003).

A unidade básica para o mapeamento são trechos de 100 metros. Esse método, no entanto, planeja que a descrição dos trechos sejam sumarizadas. Essa síntese ocorre durante o mapeamento de campo por meio de mudanças óbvias de parâmetros estruturais. O método analisa 16 parâmetros estruturais da hidromorfologia, que são divididos em parâmetros fundamentais e parâmetros subsidiários (REH e KRAUS, 2009).

Mudanças hidromorfológicas dos cursos d'água são resultados diretos ou indiretos de ações do homem, que são coletados através de parâmetros fundamentais. Esses parâmetros podem ser coletados sem saber o tipo de curso d'água (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2009).

Alterações nos corpos hídricos têm consequências como mudança no habitat natural, e tais mudanças são coletadas através de parâmetros subsidiários. Esses parâmetros são fortemente determinados pela ecologia e só podem ser coletados através da identificação do tipo de corpo hídrico. São coletados parâmetros estruturais de danos, bem como, parâmetros estruturais de valor d'água (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2009).

2.3.2 Método Bávaro

O método Bávaro, intitulado “*Mapping and assessment methods for the structure of waters*, BAYLFW (2002)”, foi selecionado como ferramenta de avaliação da condição hidromorfológica. Segundo Reh e Kraus (2009), é possível afirmar que o mapeamento das condições hidromorfológicas de corpos hídricos através do método Bávaro representa um modelo de mapeamento reconhecido e bem estabelecido na Alemanha. Ele é aplicado desde 1995 em todos os corpos hídricos da Baviera na Alemanha para o planejamento e gestão das águas, BAYLFW (2002).

O método Bávaro pode ser aplicado a corpos hídricos em campo aberto e em áreas urbanas. Isso é realizado por meio de um levantamento cadastral realizado em campo, onde são observados parâmetros que representam o estado morfológico do rio. O processo de avaliação é destinado a agentes com conhecimento relevante e experiência em lidar com recursos hídricos, particularmente nas áreas de engenharia hídrica, biologia e cartografia (BAYLFW, 2002).

Segundo Lawa (2004), em geral, um ajuste mais cuidadoso e refinado do método adotado desde 1995 foi necessário para que a continuidade de resultados futuros fossem assegurados. Garantir a continuidade é uma das principais razões por que o método acima referido não foi alterado.

O mapeamento pelo método Bávaro fornece a base para melhoria estrutural do corpo hídrico. Ele documenta a expressão atual das estruturas ribeirinhas que mostram o funcionamento do rio (LAWA 2004).

Para Löffler et al. (2004), o método Bávaro é importante para o planejamento, pois ele serve como base para tomada de decisões, no que tange a gestão dos recursos hídricos, porque contribui para a sistematização e padronização de um inventário na avaliação de um corpo hídrico. Além disso, documenta a atual estrutura da região onde é aplicado, servindo de base para a formulação de planos de ações que possibilitam a implementação de medidas de controle para as ações antrópicas (KINSINGER e LÖFFLER, 1995).

Os procedimentos de coleta e avaliação devem ser transparentes e reproduzíveis, pois a avaliação leva em consideração morfologia funcional e natural em contextos espaciais de modo não específico. A avaliação é realizada separadamente para o leito e para várzea, destacando a importância ambiental de ambos (LAWA, 2000).

Os parâmetros utilizados são relevantes para a avaliação e planejamento, porque fornecem indicações que permitem uma avaliação do potencial de desvio do estado natural do corpo hídrico (LAWA, 2000).

Foi apresentado aqui um resumo histórico e algumas características do método Bávaro, o mesmo será detalhado no capítulo 4.

2.3.3 Método Croata

O método croata, intitulado *"Assessment of hydromorphological status and assessment of risks to achievement of a good ecological status of water as a result of hydromorphological alterations"* está disponível como uma versão preliminar no momento. Essa tentativa metódica foi desenvolvida pelas autoridades de gestão de recursos hídricos da Croácia para a implementação da *WFD* em 2007 (REH e KRAUS, 2009).

A análise da pressão e do impacto sobre as características hidromorfológicas foi realizada para os corpos hídricos croatas através da aplicação desse método. O método consiste na avaliação do estado hidromorfológico dos recursos hídricos e baseados no risco contidos na legislação (HRVATSKA, 2008).

Há pouca experiência com esse método, uma vez que só foi desenvolvido recentemente e ainda não foi aplicado a todos os corpos hídricos Croatas. O método em questão visa realizar análise de pressão, impacto (Coleta de dados básicos) e avaliação de risco (estimativa que analisa o estado da água) de acordo com a *WFD*. O método define o estado dos corpos hídricos a partir de escala de valores (TWINNING PROJECT CROATIA, 2009).

Mas, ao mesmo tempo, o sistema final em boas condições não é definido por meio das condições de referência natural (parâmetros hidromorfológicos mensuráveis), mas pela presença e intensidade da influência humana e o uso das águas. Em suma, se não houver influência humana sobre as águas sua condição é natural e, portanto, são as condições de referência (HRVATSKA, 2008).

De acordo com Habdija (2008), esse método não lida com as diferenças específicas do corpo hídrico dentro da coleção de dados básicos. Essa consideração é incorporada mais tarde por um fator na "avaliação de risco". O modelo é mostrado dentro desse método por oito elementos hidromorfológicos. Esses elementos são idênticos aos componentes de qualidade para a descrição hidromorfológica dos rios.

O método Croata não é um modelo baseado em levantamentos de campo (levantamento cartográfico). Isto significa que a estimativa de parâmetros dos componentes hidromorfológicos não é realizada por mapeamento de campo. Ao invés disso, a categorização e avaliação hidromorfológica é calculada por uma fórmula, por meio de dados básicos já existentes de diferentes fontes (CUK et al., 2010).

Aqui, a unidade básica para avaliar a condição dos corpos hídricos é definida de acordo com a *WFD*. Isto significa que com esse método um corpo de água é avaliado como um todo de maneira uniforme (CUK et al., 2010).

O método não avalia os parâmetros reais da estrutura hidromorfológica tais como: planimetria, substrato, etc. Ao invés disso, o método tenta fazer uma indicação sobre as condições hidromorfológicas a partir das influências antrópicas sobre as águas. Para isto, 35 parâmetros são avaliados por meio de sua influência sobre a condição natural (unidades hidromorfológicas) (TWINNING PROJECT CROATIA, 2009).

2.4 Estudos de Caso

Alguns estudos de casos são citados a seguir, utilizando os métodos de avaliação hidromorfológica. Isso ilustra a teoria que foi apresentada neste capítulo, referente à hidromorfologia e métodos de avaliação.

2.4.1 Aplicações de Métodos para Avaliação Hidromorfológica de Rios

Em um estudo realizado no Reino Unido para aplicação da *WFD*, foi observado que a influência na modificação das condições hidromorfológicas dos rios e as mudanças

climáticas estão correlacionadas. Pois Wilby et al. (2006) concluíram que a *WFD* não menciona explicitamente os riscos apresentados pela mudança do clima para a realização dos seus objetivos ambientais. E por isso, as mudanças mais recentes e os cenários de toda a política de estudos ambientais mostram que a definição dos objetivos, estratégias e as ligações entre hidromorfologia e o estado ecológico, são importantes em relação às questões das mudanças climáticas, assim sendo, tais ligações serão de suma importância para tomadas de decisões.

No noroeste da Inglaterra, a metodologia de avaliação hidromorfológica aplicada por Orr et al. (2008), no rio Éden, o dividiu em trechos de 500m onde foram analisados 16 parâmetros tais como: largura do canal e da várzea, fluxo do rio, declividade, geologia, usos do solo, erosão, deposição e estruturas artificiais, entre outros. O levantamento foi realizado por visitas a campo, por imagens satélite, por imagens radar e por mapas com escalas de 1:5000.

Ao final do trabalho, eles observaram que o rio encontrava-se bastante modificado pela agricultura e criação de animais, como também, pela canalização de alguns locais. E concluíram que faltavam dados confiáveis do local, que a tipologia delineada indica os tipos dominantes que podem ser esperados em qualquer local. O método teve potencial de determinar mudanças sensíveis no canal e indicar locais que seriam mais necessitados para a restauração.

David et al. (2004) realizaram uma avaliação hidromorfológica através de imagens de alta resolução no estuário do Forth, que está localizado na costa leste da Escócia e que deságua no mar do Norte. É um local bastante industrializado e urbanizado com sua área de várzea muito modificada.

O método utilizou imagens de alta resolução - *High spatial resolution hyper-spectral imagery (CASTI)* e *Light Detection and Ranging (LIDAR)* para estudar o estuário do Forth, que foram usadas em conjunto com levantamentos de campo, para avaliar as alterações humanas na hidromorfologia através de monitoramento com dados de sensoriamento remoto. Avaliação visual e classificações automáticas das imagens foram comparadas com dados de campo. O levantamento foi realizado da nascente ao estuário do litoral urbano / industrializado. Os autores chegaram as seguintes conclusões:

- a) Provaram que as imagens multi-espectral *LIDAR* podem ser uma ferramenta útil para mapear e monitorar a hidromorfologia e modificações antrópicas;
- b) Os resultados mostraram que as características de interesse eram visíveis nas imagens de resolução espacial (1m);

- c) A precisão da classificação automática foi entre 72 e 74%;
- d) Com melhorias contínuas no imageamento e um aumento do esforço de investigação nos métodos de classificação automatizada, através do sensoriamento remoto as avaliações dos estuários e águas das marés, podem se tornar realidade em nível de escala nacional;
- e) No contexto da estrita exigências da *WFD* para a monitoramento em escala nacional, essa ferramenta poderia tornar-se importante para os Estados membros.

Carballo et al. (2008) propuseram indicadores válidos para o estado ecológico da bacia hidrográfica do Rio Estanco, localizado na província de Lugo, a Noroeste de Espanha, de acordo com a metodologia proposta pela *WFD*. Porque esse local estava sofrendo bastante com impactos ambientes devido à agricultura, criação de animais e poluição das águas.

Tiveram os objetivos de identificar a localização e os limites dos corpos hídricos superficiais e efetuar uma caracterização de todas essas águas. Também caracterizar o estabelecimento das condições de referência específica para cada tipo de rio e requerer a definição dos indicadores que devem ser considerados. A metodologia caracterizou os corpos hídricos em dois sistemas, A e B para o estabelecimento das condições de referência. Foram utilizados três indicadores: Biológicos, Hidromorfológicos e Físico-químico.

Ao fim da pesquisa, concluíram que as sugestões da *WFD* não parecem suficientes para implementar um conjunto de regras que permitam um quadro comum para gestão das águas de todos os Estados membros. Pois apesar de altos níveis de definição, alguns autores insistem que a correspondência entre as categorias obtidas e as classificações existentes biogeográficas são pobres. Observaram ainda que, as diferenças climáticas trazem padrões de precipitação muito diferentes que geram variações consideráveis de fluxos no rio estanco na Espanha.

Também afirmaram que o maior obstáculo para a correta aplicação da *WFD* está na integração dos resultados obtidos para os indicadores considerados, e que é muito difícil conseguir objetivo final, que é o bom estado ecológico de todos os corpos d'água, por causa das características físicas, econômicas e culturais do uso da água.

E, por fim, concluíram que os conteúdos da *WFD* são muito grandes, mas a diretiva não contém critérios claros que podem ser aplicadas pelos Estados membros para desenvolver uma metodologia comum que seja adaptada para as condições específicas de cada Estado.

Também na Espanha, Gottardo et al. (2011) desenvolveram um método de Avaliação de Risco Integrado (ARI), e aplicaram no rio Llobregat que se localiza na região da Catalunha. Esse método analisa e combina um conjunto de indicadores ambientais agrupados em cinco linhas de evidência: Biológica, Química, Eco toxológica, Físico-química e Hidromorfológica. A metodologia foi implementada como um módulo específico em um Sistema de Informações Geográficas (SIG) baseado em Sistema de Apoio à Decisão.

Concluíram que a organização hierárquica e agregação de indicadores melhoram a transparência e flexibilidade, pois permitem rastrear os resultados finais, tanto em bacias hidrográficas como em locais específicos de menor escala, assim, é possível personalizar qualquer aplicação.

Para ter maior confiança no resultado final, é recomendada a consideração de maiores conjuntos de dados para uma avaliação da incerteza. No entanto, a metodologia IRA demonstrou ser valiosa para uma tomada de decisão, que visa selecionar as medidas de gestão e planejamento de programas de monitoramento de acordo com recomendações da WFD.

Já Niels et al. (2010) utilizaram um modelo de simulação denominado: *river basin decision support system*. Ele foi acoplado a um pós-processador em uma bacia hidrográfica localizada no norte da Grécia, para estimar valores de uso de água para o contexto: urbano/doméstico, agrícola, industrial, pecuária, e turístico. A hidromorfologia foi estimada usando medidas que se relacionam com um volume médio mensal do fluxo natural do rio para o regime hidrológico. A variável de decisão na otimização é o preço da água, que foi usado para variar de acordo com as demandas do consumidor em função da disponibilidade da água.

Concluíram que a agricultura era o maior utilizador e transformador (hidromorfologia) dos recursos hídricos na bacia hidrográfica, e que essa utilização tem encarecido o preço da água, devido aos grandes investimentos em seu tratamento.

Mah et al. (2010) desenvolveram um método chamado Rosgen, para classificação hidromorfológica dos rios na Eslovênia. Utilizaram um formulário de pesquisa hidromorfológica que foi projetado para classificar os rios em levantamento de campo e complementado com informações de escritório. Esse método foi utilizado para identificar dez tipos de parâmetros hidromorfológicos. Para aplicação do método, foram selecionadas variáveis hidromorfológicas e dividiram os rios em noventa e cinco trechos de 500m.

Com isso, concluíram que a classificação hidromorfológica também servirá como base para a definição de novos conceitos e implementações de medidas de restauração em trechos de rios modificados pelo antropismo. Outra questão refere-se às informações prévias dos locais em análise, pois reduziria significativamente o período de trabalho de campo, o que só seria realizado para efeitos de verificação das características individuais de cada corpo hídrico no que se refere a sua hidromorfologia.

Rinaldi et al. (2012) desenvolveram um novo índice para a avaliação da hidromorfológica dos rios italianos. O método, denominado *The Morphological Quality Index (MQI)*, foi desenvolvido em conformidade com os requisitos da *WFD*, mas seu uso pode ser estendido para outras aplicações na gestão dos recursos hídricos. A avaliação consiste em uma divisão inicial da rede de rios para atingir a homogeneidade com as características morfológicas. O processo de avaliação consiste em um conjunto de 28 indicadores, que foram definidos para avaliar a continuidade longitudinal e lateral, padrão do canal, seção transversal, vegetação, estrutura e substrato do leito. Essas características são analisadas em termos de funcionalidade geomorfológica e artificial. Indicadores e classes do sistema de pontuação foram definidos com base em pareceres de peritos. O sistema de pontuação leva à definição do Índice de Qualidade Morfológica (em inglês *Morphological Quality Index -MQI*). A aplicação do método cobriu 102 rios, cobrindo uma ampla gama de condições físicas e as ações antrópicas dos córregos italianos. Isso permitiu o teste geral da metodologia e do refinamento dos indicadores e pontuações.

Concluíram que o *MQI* não é adequado para avaliar pequenas mudanças na morfologia, como também, para uma gestão específica ou medidas de restauração. Embora o *MQI* não forneça uma visão explícita para uma possível restauração do rio, a estrutura de avaliação fornece uma base racional que é potencialmente útil para apoiar as análises de intervenções e impactos. De maneira que a identificação de esquemas adequados seja priorizada nas estratégias e programas de gestão, para restauração de rios.

O método poderia ser adotado em outros Estados membros da União Europeia, bem como em outros países não europeus, contudo seria necessário um ajuste para a adequação das condições físicas e morfológicas que caracterizam os locais onde possa ser aplicado.

No Brasil, Limeira et al. (2010), realizaram um trabalho de pesquisa, para elucidar os conceitos teóricos sobre restauração de rios e os seus aspectos relativos à capacitação social aplicada. O trabalho teve como objetivo principal identificar os obstáculos e oportunidades para a gestão de restauração de rios, em que se adote a capacitação social de

comunidades ribeirinhas, de modo a viabilizar, nesses locais, programas de instituições públicas ou privadas em longo prazo.

A metodologia do estudo foi a problematização de conceitos usualmente empregados para a construção do conhecimento e numa teorização sobre a gestão de restauração de rios. E especificaram sobre o assunto de restauração de rios, pois é importante que sejam conhecidos vários conceitos, que são geralmente utilizados em diferentes países para designar um tratamento de combate a esta específica degradação.

E definiram que a restauração, refere-se a ações que envolvem o objetivo de retornar o rio à sua condição original. É um complexo esforço, que começa pelo reconhecimento das alterações naturais ou induzidas pelo homem e são danosas à estrutura e às funções do ecossistema ou impede sua recuperação para uma condição sustentável.

E concluíram que, em relação ao objetivo específico de restauração de rios, ganha-se no entendimento do grau de variação dos fatores restritivos ou favoráveis do contexto social, econômico, político e biofísico, nos quais os futuros e os atuais projetos de restauração de rios estão situados.

De acordo com Macedo et al. (2011), no Brasil intervenções de restauração de cursos d'água são incipientes. As primeiras experiências brasileiras a respeito de intervenções não estruturais em cursos d'água ocorreram no município de Curitiba, na década de 1970. Outros processos de intervenções ocorreram na cidade de São Paulo, no córrego Bananal e de maneira concreta, através de uma adaptação aos projetos de restauração concebidos nos países desenvolvidos, efetivada no município de Belo Horizonte na forma de política pública municipal.

Os procedimentos metodológicos para aplicação em Belo Horizonte, no córrego dos Baleares, foram baseados em três ferramentas de monitoramento: abióticos de qualidade de água, avaliação de assembleias de macroinvertebrados bentônicos bioindicadores e avaliação de habitat físicos fluviais através de um protocolo de avaliação rápida.

E concluíram que para a realidade brasileira, sugere-se que a restauração dos rios urbanos contemple a implantação de um sistema de drenagem sustentável adaptando-o a cada bacia hidrográfica urbana. O ideal é propiciar aos cursos d'água condições ambientais mais próximas da situação natural.

Dentro do atual contexto brasileiro, a restauração de rios urbanos também deve contemplar ações de saneamento e relocação de famílias das áreas irregulares. Essas ações devem ser, entretanto, sustentadas pelas intervenções físicas, muitas das quais baseadas no

modelo dos países desenvolvidos. Em um segundo momento, soluções eco morfológicas devem ser implementadas para que a restauração da integridade ecológica também possa ser alcançada no futuro.

2.4.2 Comparações com o Método Bávaro

Recentemente, gestores de recursos hídricos da Ucrânia desenvolveram um método de avaliação hidromorfológica dentro das normas estabelecidas pela WFD. Onde compararam através de levantamentos de campo, o método Ucrâniano (UA) e o Bávaro. Eles foram aplicados em paralelo em 14 trechos ao longo do rio Bug Ocidental e partes de seus afluentes. Os resultados mostram uma ampla gama de conformidade, mas também várias diferenças entre os métodos. Maiores semelhanças até nos parâmetros com relação ao uso do solo, a variação da lâmina d'água e as diferenças incluem a avaliação e interpretação da erosão, sinuosidade, profundidade e a diversidade do substrato, bem como o leito do rio (SCHEIFHACKEN et al. 2011).

No geral, Scheifhacken et al. (2011) concluíram que o método Bávaro é mais conservador em sua classificação do que a UA. A partir dos resultados de campo constatou-se que o método UA é confiável para avaliação hidromorfológica nos rios da Ucrânia.

Raven et al. (2002) aplicaram três métodos de avaliação hidromorfológica em corpos hídricos franceses: *Système d'Evaluation de la Qualité du Milieu Physique (SEQ-MP)* da França, *River Habitat Survey (RHS)* do Reino Unido e *Landerarbeitsgemeinschaft Wasser (Lawa-vor-Ort)* da Alemanha. Os autores concluíram que os tipos de caracterização nos três métodos foram amplamente similares, mas diferenças nas estratégias de pesquisa, na coleta de dados e na interpretação dos mesmos implicaram em uma variação nos resultados.

Šípek et al. (2009) utilizaram esse estudo para comparar quatro métodos diferentes (*EcoRivHab*, *LAWA Field and Overview Survey and Rapid Bioassessment Protocol*) que foram aplicados em duas áreas de estudo na parte Tcheca da bacia hidrográfica do rio Elba. As microbacias selecionadas representam áreas com diferentes tamanhos e características físicas, geográficas, bem como socioeconômicas. A bacia hidrográfica do rio Libechovka possui 78% da área protegida, já a bacia hidrográfica do rio Bilina tem sido transformada por atividade humana desde o século XVIII, devido à mineração de carvão e indústria química.

A metodologia dividiu avaliação em cinco estados morfológicos:

1. ES I - natural ou estado natural (condição de referência);
2. ES II - ligeiramente alterada;
3. ES III - moderadamente alterado;
4. ES IV - fortemente alteradas;
5. ES V - completamente alterado.

Desta forma concluíram que todos os métodos aplicados mostraram a capacidade de identificar e fornecer informações preciosas sobre o estado físico do rio e seu habitat. Qualitativamente, foram apresentados resultados idênticos pelos métodos *EcoRivHab* e *Rapid Bioassessment Protocol (RBP)*. Embora ambos os métodos sejam semelhantes, o método de *RBP* é menos exigente do tempo para aplicação.

Maiores diferenças foram encontradas entre os métodos *LAWA Field Survey (LAWA-FS)*, *LAWA Overview Survey (LAWA-OS)* e *EcoRivHab*, *RBP*. Isso aconteceu devido ao peso dado pelo impacto antrópico sobre a taxa de modificação o canal pelos métodos *LAWA*.

Além de cumprir as exigências da *WFD*, os métodos se mostraram uma excelente fonte de informação para a proteção integrada dos corpos hídricos e possíveis medidas de restauração de rios.

Reh e Kraus (2009) compararam os resultados de campo de três métodos de avaliação hidromorfológica, foram eles: Europeu, Bávaro e Croata. Esse trabalho foi realizado em duas regiões da Croácia. Na região Pannonian foram comparados 14,5 km de rios e na região Dináricos 8 km. No total, foram avaliados 22,5 km com cada método.

A metodologia analisou trechos de 100 m e uma escala de avaliação que variava de 1 (inalterado) a 5 (completamente alterado). E concluíram que a comparabilidade, vantagens e desvantagens dos métodos em suas configurações estruturais não foram evidenciadas. A análise dos métodos é baseada numa análise padrão. Essa análise padrão resulta de requisitos gerais para um sistema de análise como a repetitividade, objetividade, comparabilidade, transparência, praticabilidade e expressividade. Além disso, todos os três métodos hidromorfológicos foram discutidos por parâmetros individuais, e devem ser discutido até que os métodos atendam às demandas individuais de cada localidade.

3 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica experimental do riacho Guaraíra, área de estudo desta pesquisa, possui uma área aproximada de 5,84km² e está localizada entre os municípios de Santa Rita e Pedras de Fogo, numa área pertencente a Louis Dreyfus Commodities (LDC). Sua localização geográfica está entre as coordenadas 7° 30' 00" S 35° 20' 00" W e 7° 20' 00" S 34° 50' 00" W, como pode ser observada na Figura 3.

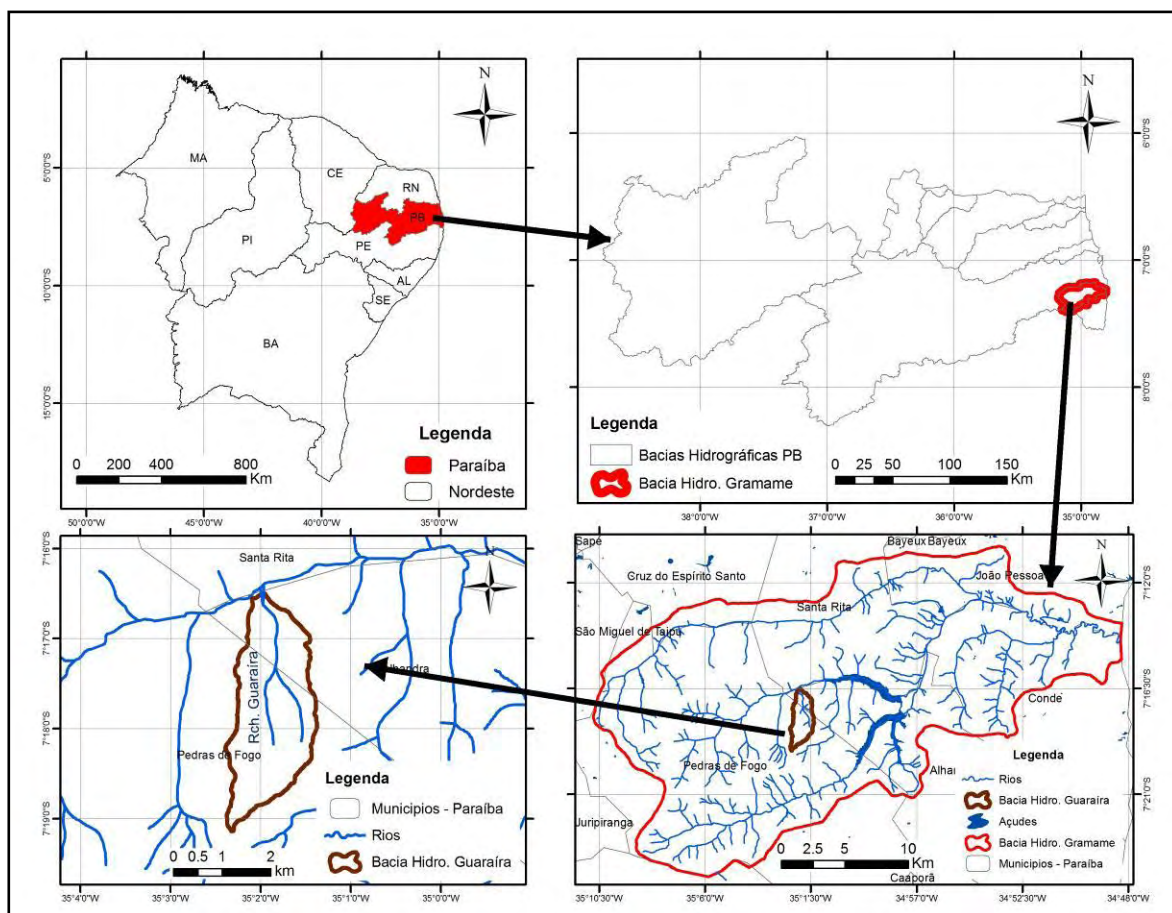


Figura 3- Localização da bacia hidrográfica experimental do rio riacho Guaraíra.

Ela é uma sub-bacia da bacia hidrográfica do rio Gramame, que está inserida em área pertencente à microrregião homogênea, denominada Litorânea Sul Paraibana. A mesma vem passando por um processo de desmatamento e ocupação desordenada, onde 85% da sua área são ocupadas principalmente pela monocultura da cana-de-açúcar, do abacaxi e áreas urbanas. No entanto, existem apenas 15% de vegetação nativa, ciliar e mangue (COELHO, 2011).

A bacia hidrográfica do rio Gramame, possui uma área de aproximadamente 590 km², também se encontra o açude Gramame Mamuaba, que contém capacidade de

armazenamento de 56 milhões de m³, o qual é utilizado para o abastecimento público da Grande João Pessoa, (IBESA, 2004).

A bacia hidrográfica do riacho Guaraíra encontra-se em processo de antropismo, à imagem de quase todas as bacias do litoral nordestino, ocupada principalmente pela monocultura da cana-de-açúcar. No entanto existem alguns remanescentes de vegetações de Capoeira e de Mata Atlântica, (IBESA, 2004).

3.1 Forma da bacia

Conhecer a forma da bacia é importante, pois com tal conhecimento é possível determinar o tempo que a água leva, a partir da precipitação, dos limites da bacia hidrográfica até seu exutório (VILLELA e MATTOS, 1975). As características de forma, calculadas para a bacia do riacho Guaraíra, são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Fatores de forma da bacia hidrográfica do riacho Guaraíra (Fonte: IBESA, 2004).

A (km²)	P (km)	Lp (km)	F	Kc	L (km)	l (km)
5,84	10,69	2,73	0,78	1,25	3,56	1,83cfv

A = Área da bacia

P = Perímetro da bacia

Lp = Comprimento do rio principal

F = Fator de forma

Kc = Índice de compacidade

L = Lado maior do retângulo equivalente

l = Lado menor do retângulo equivalente

Os valores dos coeficientes encontrados para a bacia hidrográfica do riacho Guaraíra indicam que a mesma é pouco sujeita a processos de enchentes sob suas condições naturais (IBESA, 2004).

3.2 Hidrografia

Na bacia hidrográfica do riacho Guaraíra, devido à ausência dos nomes dos afluentes do riacho, será indicado apenas os locais onde deságuam os seus afluentes (IBESA, 2004). O gráfico do perfil longitudinal do riacho principal pode ser acompanhado na Figura 4.

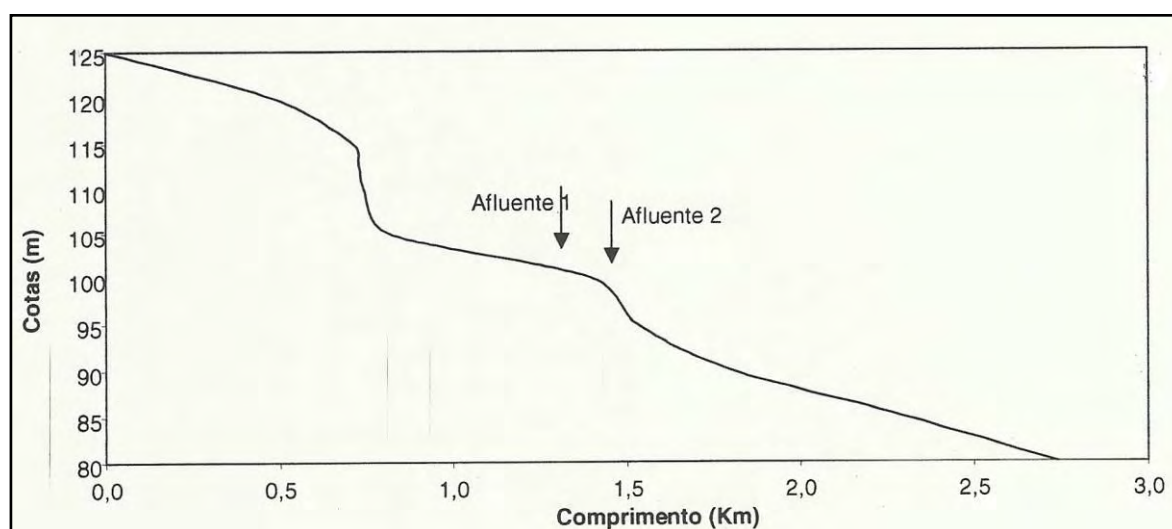


Figura 4 - Perfil Longitudinal do riacho Guaraíra (Fonte: IBESA, 2004).

A Tabela 5 apresenta, em resumo, os resultados obtidos por IBESA (2004) para o coeficiente de confluência (R_c) da bacia hidrográfica. O valor encontrado para o R_c foi 2, o que representa o valor mínimo teórico para o seu valor.

O coeficiente de comprimento e a relação entre o comprimento médio dos cursos d'água de ordem x e $(x-1)$. A Tabela 5 apresenta também os resultados obtidos por IBESA (2004) para o coeficiente de comprimento de toda a bacia hidrográfica. Verifica-se que a densidade de drenagem é inversa à extensão do escoamento superficial, indicando a eficiência da drenagem da bacia. Para a bacia hidrográfica do riacho Guaraíra, o valor encontrado foi de $0,623 \text{ km/km}^2$.

Tabela 5 - Número de cursos d'água, comprimento médio e outros parâmetros (Fonte: IBESA, 2004).

Ordem dos Riachos	Número de Riachos Existentes	Comprimento Médio (km)	Coeficiente de Confluência	Coeficiente de Comprimento
Primeira	4	1,97	2	0,14
Segunda	2	0,28	2	4,96
Terceira	1	1,39	-	-

3.3 Altimetria

Há disponível um levantamento topográfico para a bacia experimental realizado por IBESA (2004), utilizando uma estação total e um receptor GPS e que a partir desse levantamento a mesma elaborou uma carta topográfica na escala de 1:10.000 com curvas de nível com equidistância de cinco metros. A partir das curvas foi gerada uma *triangulated irregular network (TIN)*, como pode ser visto na Figura 5, a qual mostra a diferença de altitude na área da bacia, (SILVA, 2009).

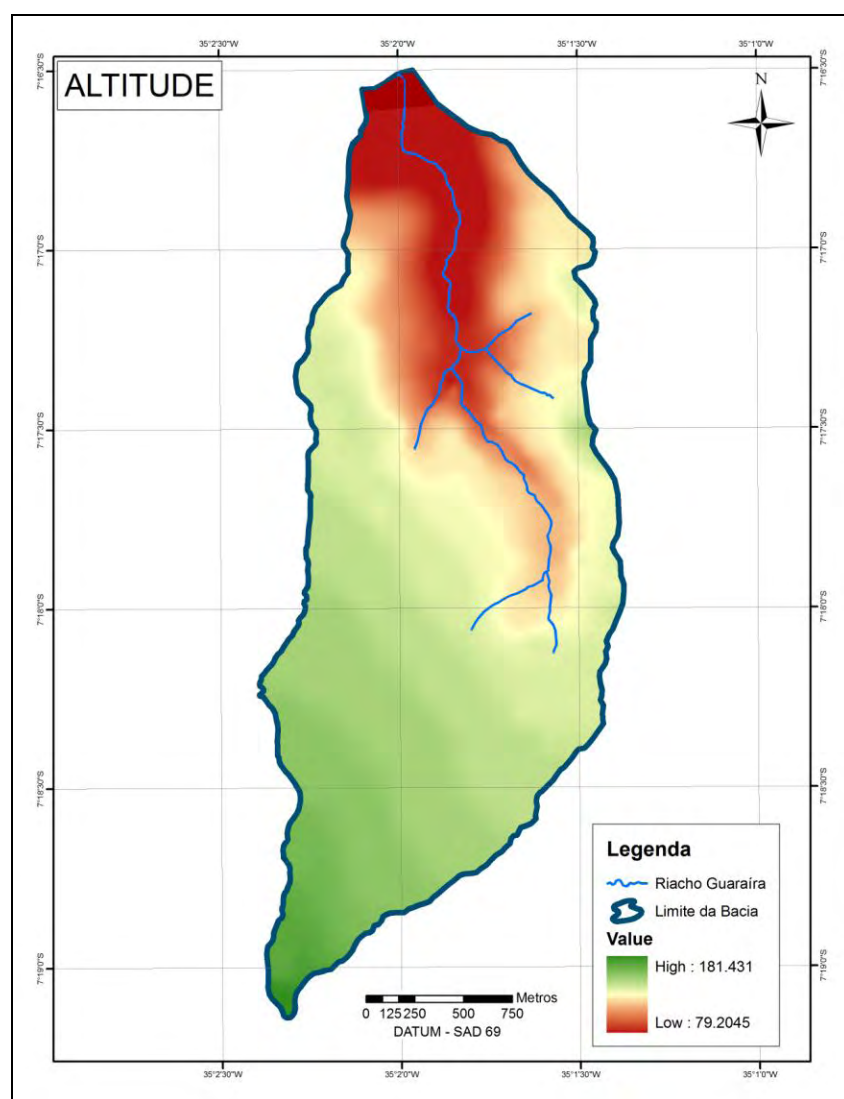


Figura 5 – Altitude da bacia hidrográfica do riacho Guaraíra.

3.4 Geologia

Inserido na Sub-bacia Alhandra se apresentam dispostas quatro unidades litoestratigráficas, depositadas em períodos geológicos distintos. A unidade

litoestratigráfica basal é denominada de Formação Beberibe, representada por um espesso pacote de arenitos com granulação variável e espessuras médias de 230 a 280 m. Acima da formação Beberibe, repousa de forma concordante a Formação Gramame, de ambiente marinho raso, espessura média inferior a 55 m e predominância de calcários argilosos cinzentos (FURRIER et al. 2006). A Figura 6 retrata a Geologia da bacia hidrográfica do riacho Guaraíra.

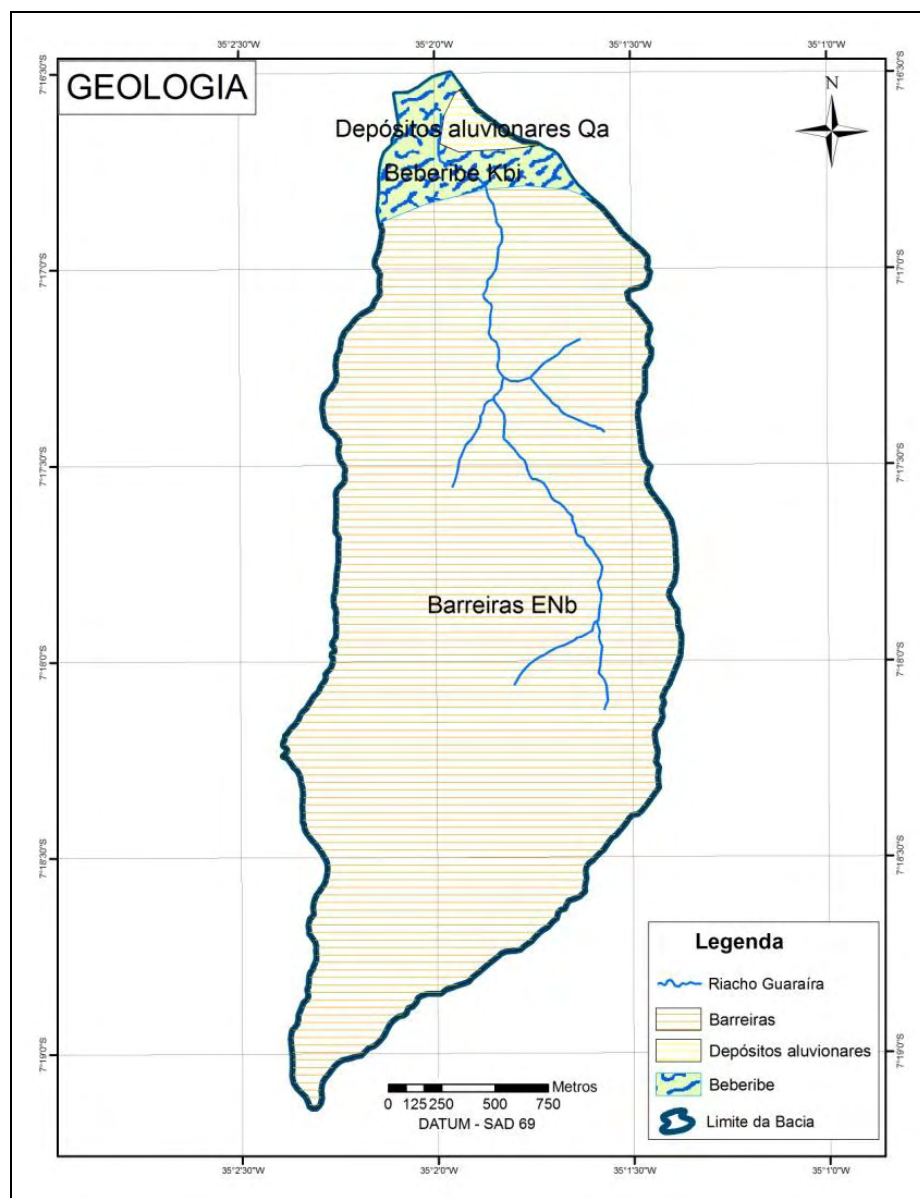


Figura 6 - Mapa geológico da bacia hidrográfica do riacho Guaraíra (Fonte adaptada: PDRH, 2000).

A continuação da sequência calcária da Formação Gramame, diferenciada apenas pelo conteúdo fossilífero, cuja espessura máxima é de 30 m, é denominada de Formação Maria Farinha. Recobrendo de forma discordante o embasamento cristalino pré-cambriano

e as rochas sedimentares da bacia Sedimentar Paraíba, encontram-se os sedimentos areno-argilosos da Formação Barreiras. (FURRIER et al. 2006)

3.5 Solos

A partir do levantamento topográfico e delimitação da bacia hidrográfica executado por IBESA (2004), realizou-se a identificação dos tipos de solos existente na mesma, de acordo a com base de dados da SUDENE (1972). Encontram-se na bacia hidrográfica dois tipos de solos, o Podzol Hidromórfico (HP) encontrado em 22% da área e o Podzólico Vermelho-Amarelo (PV11 e PV19) nos 78% da área restante, isso pode ser visto na Figura 7.

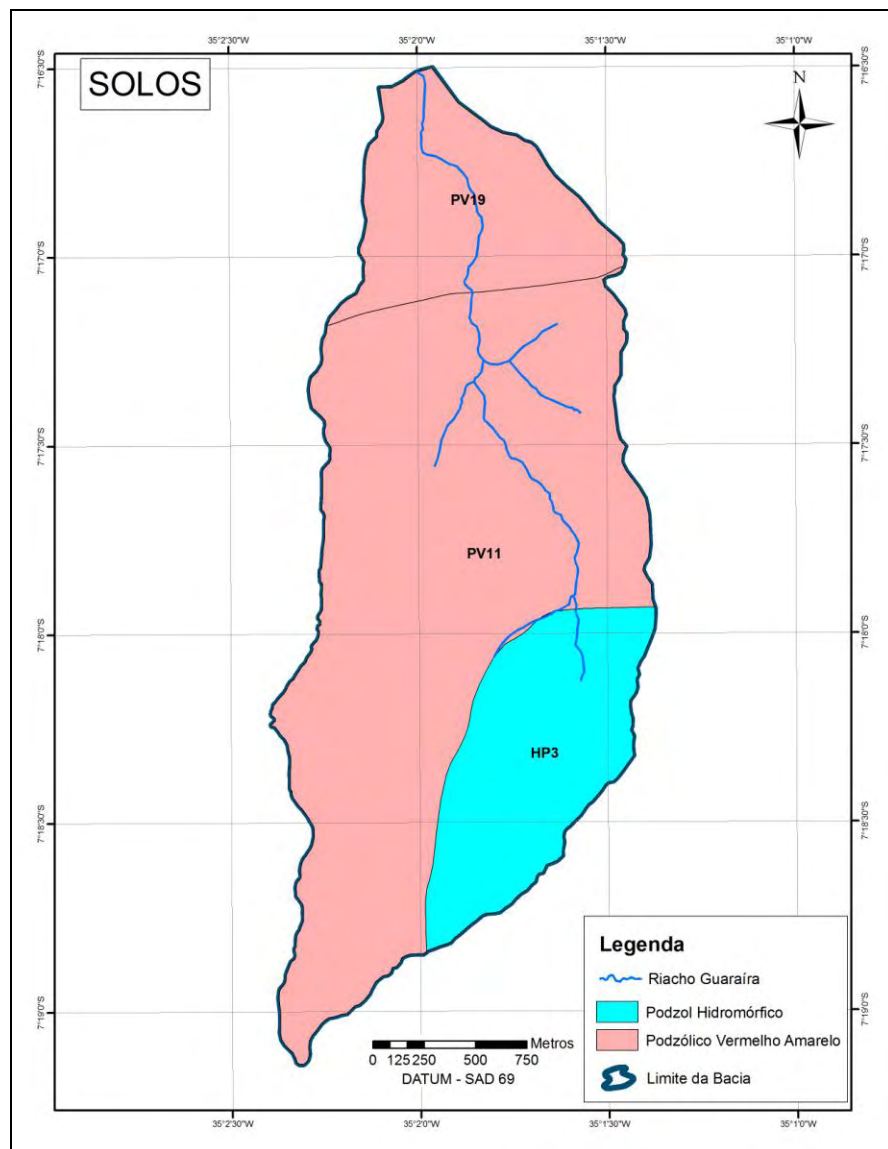


Figura 7 - Solos da bacia hidrográfica do riacho Guaraíra (Fonte adaptada: SUDENE, 1972).

3.6 Uso e Ocupação do Solo

A bacia hidrográfica vem passando por um processo de desmatamento e ocupação desordenada, como pode ser observado na Figura 8. Em 2005, ano da imagem de satélite disponibilizada pelo *Google Earth*. A imagem foi vetorizada para confecção do mapa de uso do solo. Com o mapa, pôde ser observado que a área de mata densa ocupa apenas 27,23% da área da bacia hidrográfica, já a cana de açúcar ocupa 32,88%. A cultura do abacaxi aparece com 0,75%, do território da bacia hidrográfica. A maior ocupação refere-se à capoeira, que possui 38,94% e a menor aludem às edificações existentes na área da bacia hidrográfica do riacho Guaraíra.

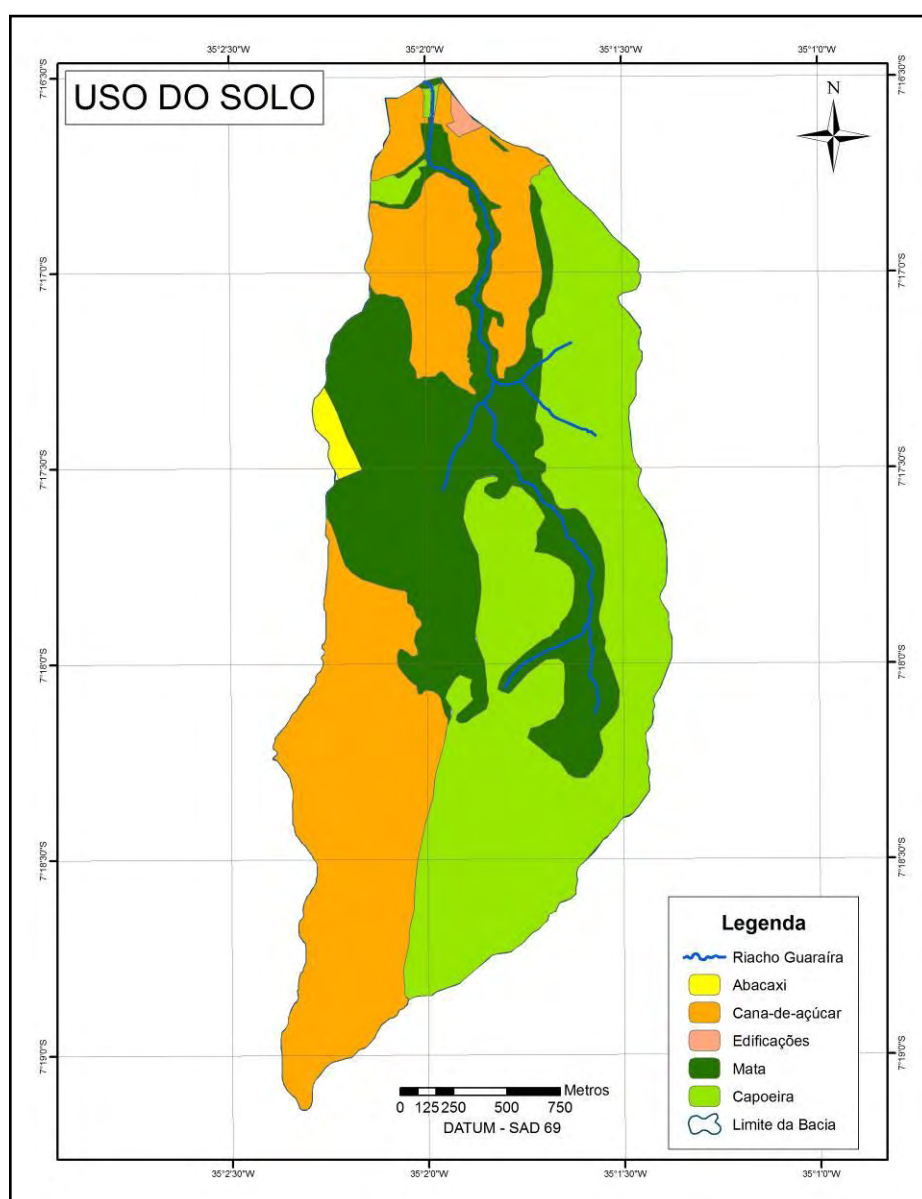


Figura 8 – Uso e Ocupação do Solo da bacia hidrográfica do riacho Guaraíra.

3.7 Clima

Na bacia experimental do riacho Guaraíra, IBESA (2004) instalou equipamentos para o monitoramento climatológico e pluviométrico através de quatro estações pluviométricas e uma estação climatológica (Figura 9). Do ponto de vista climatológico, observa-se que o período chuvoso concentra-se em cinco meses, compreendidos entre março e julho, com uma precipitação média anual de aproximadamente 1.600 mm. Segundo a classificação de Köppen, a bacia hidrográfica localiza-se em clima tropical chuvoso. (SILVA, 2009).

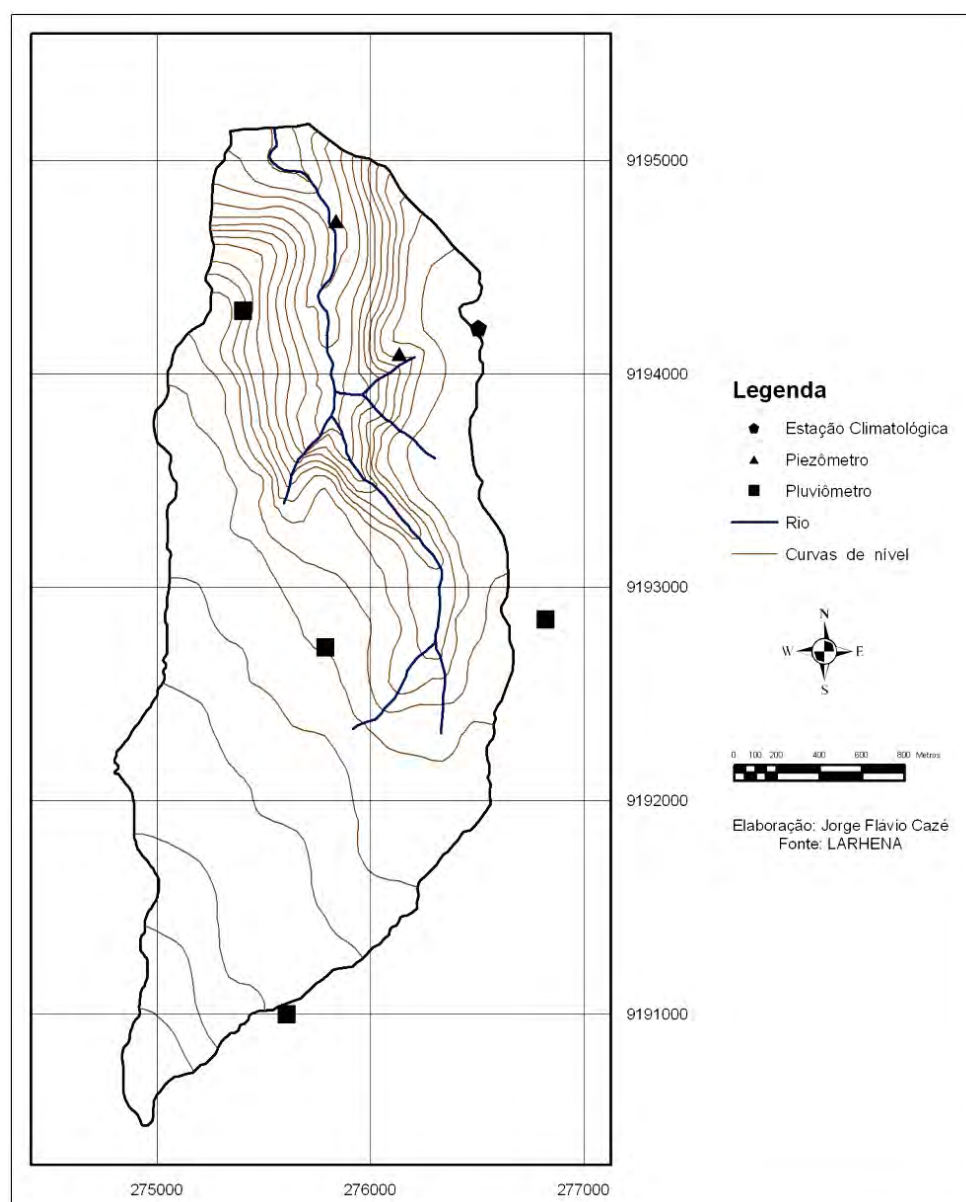


Figura 9 - Equipamentos de monitoramento climatológico na bacia hidrográfica do riacho Guaraíra (Fonte: SILVA, 2009).

4 MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo será descrito como lograr êxito nos objetivos estabelecidos neste trabalho, foi realizada de forma sistemática uma pesquisa bibliográfica sobre os métodos de avaliação hidromorfológica, que têm sido implementados na Europa. Também foi realizada uma análise de escritório para a avaliação dos parâmetros (uso e ocupação do solo, relevo, clima, solos, entre outros), para eliminar possíveis informações inconsistentes nos dados em relação às características naturais. Com isso, em campo foi preenchida uma ficha de cadastro com auxílio de uma base cartográfica e de imagens de satélite, onde são informadas as características do riacho Guaraíra. Atividades de laboratório também foram necessárias para o armazenamento e processamento dos dados. Para tanto, foram utilizados o Laboratório de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental (LARHENA), o Laboratório de Hidráulica e o Laboratório de Estudos Geológicos e Ambientais (LEGAM), todos da Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

4.1 Método Bávaro

Com o método Bávaro são coletados e avaliados vinte e seis parâmetros individuais, entretanto, cinco parâmetros são incluídos para auxiliar no preenchimento de campo. Assim, pode-se distinguir entre os parâmetros diretamente incluídos na avaliação (mostrado na cor azul) e parâmetros opcionais coletados como auxílio para avaliação (mostrado na cor laranja), como podem ser observados na Figura 10. Desta forma, maiores detalhes nas medições baseados nos objetivos podem ser feitos por parâmetros adicionais.

Os parâmetros individuais relacionam sete funções hidromorfológicas complexas. Essas funções complexas formam os subsistemas: dinâmica do leito do rio e dinâmica de várzea. Finalmente, esses dois subsistemas juntos formam o sistema total (Estrutura do corpo hídrico). Essa classificação é o fator decisivo na avaliação geral da condição hidromorfológica de rios (Figura 10).

Para aplicação do método Bávaro é necessário o preenchimento de uma ficha de cadastro que pode ser comparado ou não com as informações de escritório.

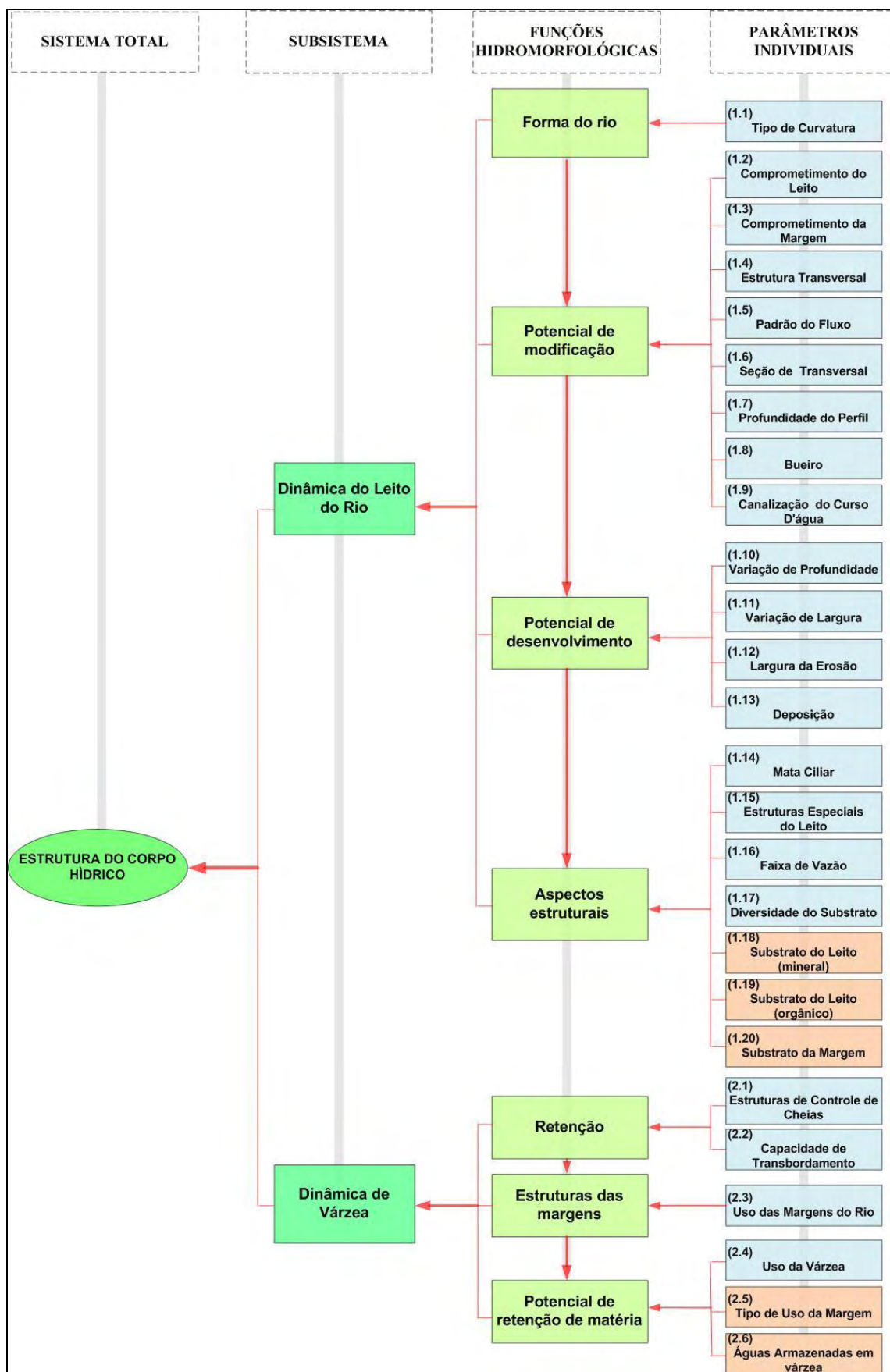


Figura 10 - Estrutura da avaliação de corpos hídricos pelo método Bávaro (Fonte adaptada: REH e KRAUS, 2009).

Na ficha de cadastro, primeiramente se observa a estrutura do leito do rio que é o local onde algumas informações generalistas que caracterizam cada trecho do rio são preenchidas, a priori em escritório. Contudo, algumas dessas informações podem ser coletadas em campo (Figura 11)

Essas informações são referentes à: Tipo de Vale, Tipo de Curvatura, Tipo de execução, Sedimentos, Tipo de regime, Potencial natural – Largura do rio, Largura atual do corpo hídrico.

Também na estrutura do leito do rio é possível observar a informação Seção do Rio, que é o local onde se cadastra o trecho do rio a ser avaliado, as principais informações são: o número da seção (número do trecho), o Nome do corpo hídrico (nome do rio) e a Data.

Na Figura 11 pode-se observar a ficha de cadastro do subsistema dinâmica do leito do rio e as funções hidromorfológicas: forma do rio e potencial de modificação. Os parâmetros individuais: Tipo de Curvatura, comprometimento da margem, estrutura transversal, padrão de fluxo, seção transversal, profundidade do perfil, bueiro e canalização do curso d'água. Algumas delas são preenchidas primeiramente de acordo com as informações de escritório para comparação com o campo ou apenas são preenchidas por completo com o levantamento de campo. A partir do preenchimento dos parâmetros individuais, pode-se avaliar o grau de modificação do corpo hídrico dentro dessas funções hidromorfológicas. Na avaliação da dinâmica do leito do rio, é colocado o valor obtido para a forma do rio e para o potencial de modificação é colocado o maior valor, porque o maior valor reflete grau de modificação em que se encontra a morfologia do rio.

Pode também ser observado na Figura 11 que em alguns parâmetros individuais é necessário apenas colocar um único valor, indicado na ficha como, **Valor**. Isso porque uma característica desses parâmetros individuais mostra como estar à situação do trecho do rio. Em outros parâmetros individuais pede-se para colocar o maior valor, indicado na ficha como, **Valor (maior valor)**. Isso acontece porque em campo pode haver mais de uma característica mostrada no parâmetro individual no trecho do rio.

Seção do Rio

0.1 Tipo de Vale		0.3 Tipo de execução		0.5 Tipo de regime											
Vale Aberto	S	N ramificado	U	permanente											
Vale Fechado	E	Ramificado	V	temporário											
						Largura atual do corpo hídrico									
						Código do Corpo hídrico									
						número da seção									
						Nome do corpo hídrico									
						TK-Folha									
						Data									
						Processamento									

1. Dinâmica do Leito do Rio

[illegible]

Avaliação da dinâmica do leito

Transferir os valores para a próxima página

Forma do rio:  Potencial de modificação:          

=1.1 1.2 1.3 1.4 1.5 1.6 1.7 1.8 1.9 =maior número

Figura 11 – Pág. 1 da ficha de avaliação do método Bávaro (Fonte adaptada: BAYLFW, 2002).

No preenchimento das características da estrutura do rio é possível observar na Figura 11 que as informações não são representadas por valores numéricos e sim, por letras. Essas letras representam as informações generalistas da caracterização do trecho do rio e são base para o preenchimento de alguns parâmetros individuais, tanto da dinâmica do leito do rio, quanto da dinâmica de várzea.

Por exemplo: na avaliação de escritório de um trecho do rio, a informação Tipo de curvatura que avalia o coeficiente de sinuosidade, foi classificado como Sinuoso (letra M), entretanto ao se deparar com a situação de campo, foi observado que o mesmo trecho ficou classificado como Tortuoso W, na avaliação da dinâmica do leito do rio (função hidromorfológica Forma do rio e parâmetro individual 1.1 Tipo de Curvatura). Desta forma, para se obter o grau de modificação é necessário avaliar as duas informações obtidas (escritório e campo), como pode ser visto na Figura 12.

Forma do rio		1.1 Tipo de Curvatura			
		Tipo de curvatura			
		M	W	SW	G
Escritório	Sinuoso M	1			
Campo	Tortuoso W	3	1		
	Ligeiramente tortuoso SW	5	3	1	
	Alongado G	5	3	3	1
	Reto -	5	5	5	5
Valor:					3

Figura 12 – Exemplo de preenchimento da ficha de cadastro da parâmetro individual Tipo de Curvatura.

Como pode ser observado na figura acima, na comparação das informações de campo com a de escritório, fica claro que o trecho do rio sofreu uma modificação com relação as suas características naturais. Com isso, esse trecho do rio ficou classificado com o valor de modificação 3.

Outro exemplo pode ser observado na Figura 13, onde foi observado em campo num determinado trecho do rio que o parâmetro individual 1.6 Seção transversal, da função hidromorfológica Potencial de Modificação, ficou classificado como Perfil sem estrut. de Fixação.

1.6 Seção transversal

Escritório →

Perfil trapezoidal

Perfil trapezoidal duplo

Perfil com estrut. de fixação

Perfil sem estrut. de fixação

irregular

Valor (maior número):

Tipo de sedimento	
G →	FT
5	5
5	5
5	5
5	1
1	1
	1

Figura 13 – Exemplo de preenchimento da ficha de cadastro da parâmetro individual Seção transversal.

A figura acima mostra que o valor de modificação ficou 1 porque os sedimentos do leito do rio foram classificados como finos e turfosos, caso tivesse sido classificados como grossos, o valor seria 5 ao invés de um. Isso mostra a dependências das informações contidas na estrutura do leito do rio.

Já na Figura 14, pode-se observar ainda o subsistema, a dinâmica do leito do rio e as funções hidromorfológicas: potencial de desenvolvimento e aspectos estruturais. Os parâmetros individuais: variação de profundidade, variação de largura, largura da erosão, deposição, mata ciliar, estruturas especiais do leito, faixa de vazão e diversidade do substrato. Os parâmetros individuais: substrato do leito mineral e orgânico, como também o substrato das margens são utilizados para o auxílio na avaliação. É colocado na avaliação da dinâmica do leito do rio, o maior valor do potencial de desenvolvimento, porque o maior valor reflete grau de modificação em que se encontra a morfologia do rio. Já para o potencial de modificação é colocado o valor mais comum, porque nesse parâmetro individual, os menores valores (menos alterado) expressam a melhor qualidade morfológica e por isso determinam o valor desse parâmetro individual.

Pode também ser observado na Figura 14 que em alguns parâmetros individuais é necessário apenas colocar um único valor, indicado na ficha como, **Valor**. Isso porque uma característica desses parâmetros individuais mostra como estar à situação do trecho do rio. Em outros parâmetros individuais pede-se para colocar o maior valor, indicado na ficha como, **Valor (menor valor)**. Isso acontece porque em campo pode haver mais de uma característica mostrada no parâmetro individual no trecho do rio.

Potencial de desenvolvimento

1.10 Variação de profundidade

acentuado	1
moderado	4
nenhum	7
não determinável	x
valor:	

1.11 Variação de largura

acentuado	1
moderado	4
nenhum	7
valor:	

1.12 Largura da erosão

Tipo de curvatura		
1	3	5
1	1	1
1	1	3
1	3	5
1	5	7
valor:		

1.13 Deposição

Tipo de Sed.	GF		T
	V	U	
Tipo de Exe.	S	E	
acentuado	1	1	1
implícito	5	3	1
nenhum	7	5	1
valor:			

Aspectos Estruturais

1.14 Mata Ciliar

	E		D	
	>25%	≤ 25%	>25%	≤ 25%
Vegetação lenhosa nativa	1	x	1	x
Vegetação lenhosa não nativa	4	x	4	x
Juncos/ervas altas	1	x	1	x
Vegetação rasteira	4	x	4	x
Capim	4	x	4	x
Neófitos	4	x	4	x
Gramado	4	x	4	x
vegetação das juntas de construções	4	x	4	x
Margem sem vegetação	7	x	7	x
valor (menor num.):				

1.15 Estruturas especiais do leito

	E	D
Acentuado	1	1
Moderado	4	4
Não disponível	7	7
Baia	x	x
Abrigo	x	x
Queda de árvore	x	x
Coleta de madeira	x	x
raízes	x	x
Vegetação dominante	x	x
Valor (menor número):		

1.16 Faixa de vazão

	Tipo de Sed.	
	G	FT
Muito grande	1	1
Grande	4	1
Moderado	7	4
Nenhum	7	7
Valor:		

1.17 Diversidade do substrato

	Tipo de Sed.	
	G	FT
Muito grande	1	1
Grande	1	1
Moderado	4	1
Baixo	7	4
Nenhum	7	7
Não determinável	x	x
valor:		

Apenas a título informativo, sem avaliação

1.18 Substrato do leito (mineral)

	5-25%	>25%	K
Barro/argila/silte	x	x	x
areia	x	x	x
Cascalho/médio fino	x	x	x
Cascalho grosseiro	x	x	x
Pedras	x	x	x
Blocos	x	x	x
Rocha	x	x	x
Nenhum substrato natural	x	x	x
Outros	x	x	x

1.19 Substrato do leito (orgânico)

	5-25%	>25%
Lama/lodo	x	x
Turfa	x	x
Dentritos finos	x	x
Queda de folhagem/Getreibsel	x	x
Madeira morta/árvore caída	x	x
Algas	x	x
Alce	x	x
Macrófitas, partes de plantas	x	x
outros	x	x

1.20 Substrato da margem

	E	D
Turfa	x	x
Barro/argila/silte	x	x
Areia	x	x
Cascalho/médio fino	x	x
Cascalho grosseiro	x	x
Pedras	x	x
Blocos	x	x
Rochas	x	x
Não identificado	x	x

Avaliação da dinâmica do leito

A transferência dos valores na página a seguir

Potencial de desenvolvimento:

1.10

1.11

1.12

1.13

=maior número

Aspectos estruturais:

1.14

1.15

1.16

1.17

=número mais comum

(Na mesma frequência o menor num; Caso especial: combinação 1 1 7 7 => 4)

Figura 14 - Página 2 da ficha de avaliação do método Bávaro (Fonte adaptada: BAYLFW, 2002).

Na terceira página da ficha de avaliação do método, são colocados os valores resultantes das quatro funções hidromorfológicas. Esses valores são preenchidos na determinação da dinâmica do leito do rio. Posteriormente, esses valores são referenciados de forma sequencial, de acordo com o resultado obtido nas funções hidromorfológicas e com isso chega-se ao valor do grau de modificação da dinâmica do leito do rio. O valor final que pode variar de um a sete é colocado no campo estrutura de classe (Figura 15).

Por exemplo, em um determinado trecho os valores das funções hidromorfológicas são os seguintes: Forma do rio 1, Potencial de modificação 3, Potencial de desenvolvimento 3 e Aspectos estruturais 1. Desta forma, eles são preenchidos em seus respectivos locais, após isso são referenciados (marcado um x para identificar cada função hidromorfológica), chegando-se ao valor 3 para Dinâmica do leito do rio. Esse valor encontrado é referente à Estrutura de classe (grau de modificação da dinâmica do leito do rio), como pode ser observado na Figura 15.

Na avaliação das funções hidromorfológicas e parâmetros individuais da dinâmica do leito do rio é possível afirmar que o parâmetro individual Canalização do curso d'água é que possui mais peso na avaliação, porque se o trecho avaliado possuir mais de 50% de sua extensão canalizada, ele é considerado completamente alterado. Assim, ele descarta todas as outras informações dos parâmetros individuais do trecho avaliados.

Em seguida, a função hidromorfológica Forma do rio é que possui mais peso na avaliação, porque através do valor encontrado no trecho, é possível saber em qual local da determinação da dinâmica do leito do rio deverá começar a avaliação do grau de modificação do leito do rio.

Avaliação da dinâmica do leito

Estrutura de classe:

3

Determinação da dinâmica do leito do rio

Caso especial se: $1.9 \approx 7$ (Canalização > 50%), => Avaliação do subsistema do leito do rio = 7 (completamente modificado)

1

Forma do rio

3

Potencial de modificação

3

Potencial de desenvolvimento

1

Aspectos estruturais

Dinâmica do leito do rio

	X 1													
	1			X 3			5				7			
	1	3-5	7	1	3-5 X	7	1	3-5	7	1-4	5-7			
	1-7	1-7	1-7	1-7	1-7 X	1 4-7	1-7	1 4-7	1-4 7	1 4-7	1-4 7			
5	1	2	3	2	X 3	3 4	3 3	4 4	5	3 4	4 5			

Dinâmica do leito do rio

3																	
1					3				5				7				
1		3-5		7	1-3		4-7		1-3		4-7		1		3-7		
1-7		1-7		1	4-7	1-7		1	4-7	1	4-7	1-4	7	1	4-7	1-4	7
2		3	3	4	3	3	4	3	4	4	5	3	4	4	5		

Dinâmica do leito do rio

	5													
	1-3				5				7					
	1		3-7		1-5		7		1-4		5		7	
	1	4-7	1-4	7	1-4	7	1	4-7	1-4	7	1	4-7	1	4-7
5	3	4	4	5	4	5	5	6	4	5	5	6	6	7

Figura 15 - Página 3 da ficha de avaliação do método Bávaro (Fonte adaptada: BAYLFW, 2002).

Já na Figura 16, pode-se observar o subsistema – dinâmica de várzea e suas funções hidromorfológicas: retenção, estruturas das margens, potencial de retenção da matéria. Elas são preenchidas por completo com o levantamento de campo. Na avaliação da dinâmica da várzea maior é colocado o maior valor na função hidromorfológica retenção, um valor para estruturas das margens e outro para potencial de retenção da matéria. Contudo, esses valores podem ser iguais ou não, isso dependerá exclusivamente da resposta encontrada em campo. Também podem ser observados dois parâmetros individuais que servem apenas o auxílio na avaliação: águas armazenadas em várzea e tipo de uso da margem, ou seja, servem apenas para ter conhecimento de algumas informações que possam existir na várzea, mas que não alteram as suas características.

Pode também ser observado na Figura 16 que em dois parâmetros individuais é necessário apenas colocar um único valor, indicado na ficha como, **Valor**. Isso porque uma característica desses parâmetros individuais mostra como estar à situação do trecho do rio. Em outros dois parâmetros individuais pede-se para colocar o maior valor, indicado na ficha como, **Valor (maior valor)**. Isso acontece porque em campo pode haver mais de uma característica mostrada no parâmetro individual no trecho do rio.

É possível chegar ao valor final do grau de modificação da dinâmica de várzea, na página quatro, pois as três funções hidromorfológicas descritas anteriormente, formam a dinâmica de várzea. Como na dinâmica do leito do rio, os valores são referenciados de forma sequencial, de acordo com o resultado obtido nas funções hidromorfológicas, para se chegar ao valor do grau de modificação, ou seja, a dinâmica da várzea segue a mesma lógica no preenchimento das informações para obter o grau de modificação. O valor final que pode variar de um a sete é colocado no campo estrutura de classe.

Na avaliação das funções hidromorfológicas e parâmetros individuais da dinâmica de várzea é possível afirmar que a Função hidromorfológica Retenção é que possui mais peso na avaliação, porque através dos valores encontrados no trecho, é possível saber em qual local da avaliação da dinâmica de várzea deverá começar a avaliação do grau de modificação da várzea (Figura 16).

2. Dinâmica de Várzea

Retenção

2.1 Estruturas de controle de chelas

não disponível	1
disponível na várzea	4
não disponível na várzea	7
valor:	

2.2 Capacidade de transbordamento

natural	1	1
comprometida	3	1
muito reduzida	7	1
valor:		

Pot. de retenção da matéria

2.4 Uso das várzeas

	E	D
Floresta/matagal	1	1
Floresta de espécies não nativas	4	4
Extensa/ não utilizada	3	3
Pastagem intensiva	4	4
Terras agrícolas	5	5
Áreas pavimentadas	7	7
Sem uso extensivo de complexas construções/agricultura	3	3
Sem uso intensivo de complexas construções/agricultura	4	4
Perímetro com uso de construções/agricultura	5	5
Natural, não há problemas com a várzea	1	1
Valor (maior número):		

Estruturas das margens

2.3 Uso das margens do rio

	Esquerda	Direita
	margem	borda
Floresta/matagal	2	2
Floresta de espécies não nativas	5	5
Extensa/ não utilizada	3	3
Pastagem intensiva	5	5
Terras agrícolas	6	6
Áreas pavimentadas	7	7
Perímetro extensivo sem construções/agricultura	3	3
Perímetro intensivo sem construções/agricultura	5	5
Perímetro com uso de construções/agricultura	6	6
Floresta fechada	1	1
Áreas pavimentadas	-1	-1
Valor (Área da margem com menos água)		
Natural, não há problemas com a margem	1	1
Valor (maior número):		

2.5 Tipo de uso da margem

	E	D
Área específica de floresta	x	x
Floresta de espécies não nativas	x	x
Mata nativa	x	x
Mata não nativa	x	x
Gramma 2-schürig	x	x
Gramma Streuwiesen	x	x
Capim	x	x
Ervas Altas	x	x
Juncos	x	x
Neófitos	x	x
Gramma Wiesen 3	x	x
Pasto	x	x
Gramma	x	x
Terras agrícolas	x	x
Áreas residenciais	x	x
Instalações industriais e comerciais	x	x
Áreas de tráfego	x	x
Aterros, escavações	x	x
Áreas de lazer e recreação	x	x

Apenas a título informativo, sem avaliação

2.6 Águas armazenadas em várzea

	E	D
Igarapé	x	x
Remanso	x	x
lagoa de cascalho	x	x
Nebolina	x	x
Igarapé(morto)	x	x
Tanque de passagem de peixe	x	x
Viveiro de peixe	x	x
Lagoa temporária	x	x
Canal de inundação	x	x

Avaliação da dinâmica de várzea

Estrutura de classe:

Retenção:

2.1

2.2

= maior número

Estrutura das margens:

= 2.3

Potencial de retenção da matéria:

= 2.4

Retenção	1										3										4										7									
Estrutura das margens	1		2-5		6-7		1-3		4-5		6-7		1-3		4-5		6-7		1-5		6-7																			
Pot. de ret. da matéria	1	3	4	5-7	1-3	4	5-7	1-4	5	7	1-3	4	5-7	1-3	4	5	7	1-4	5	7	1-3	4-5	7	1-4	5	7	1-5	7	1-7	1-5	7									
Dinâm. de Várzea	1	2	3	4	2	3	4	3	5	7	2	3	4	3	4	5	6	4	5	7	3	4	5	4	5	6	5	7	6	6	7									

Global

Estrutura de classe:

Dinâmica do Leito do rio:

Dinâmica de Várzea:

Estrutura de classe da dinâmica do leito rio

Estrutura de classe da dinâmica de várzea

Estrutura de classe total

1			2			3			4			5			6			7		
1	2-6	7	1-3	4-7	7	1	2-5	6-7	1	2-5	6-7	1	2-7	1	2-7	1	2-7	1	2-7	
1	2	3	2	3	2	3	4	3	4	5	4	5	5	6	6	7				

Figura 16 - Página 4 da ficha de avaliação do método Bávaro (Fonte adaptada: BAYLFW, 2002).

Para obter o valor global, ou seja, do sistema total (Estrutura do corpo hídrico) faz-se necessário à junção dos resultados dos dois Subsistemas: dinâmica do leito do rio e dinâmica de várzea. A forma de preenchimento segue a lógica da dinâmica do leito do rio e da dinâmica da várzea. O valor global é colocado no campo estrutura de classe (Figura 16).

Com essa junção, serão observados os níveis de degradação de um trecho do rio. Essa degradação será apresentada em forma de valores numéricos de uma escala que varia de um (inalterado) a sete (completamente alterado) como pode ser observado na Figura 17.

Estrutura da Classe	1	2	3	4	5	6	7
Dinâmica do rio	Inalterado	Levemente Alterado	Moderadamente Alterado	Consideravelmente Alterado	Profundamente Alterado	Muito Profundamente Alterado	Completamente Alterado

Figura 17 - Estrutura do corpo hídrico de acordo com o método Bávaro (Fonte adaptada: BAYLFW, 2002).

4.2 Levantamento de Campo

A primeira etapa para realização do levantamento é a delimitação de trechos a cada cem metros a partir de uma base cartográfica existente, essa divisão vai da jusante do riacho até sua nascente ou vice-versa. O trecho é a divisão do riacho a cada 100 m, onde ocorre o preenchimento das fichas de cadastro, para a análise hidromorfológica, com isso é possível caracterizar a área em relação a sua condição atual (Figura 18).

Para auxiliar o preenchimento das fichas, foram usados: um GPS (GARMIN – GPS 72h) e uma câmera fotográfica, além de sacos plásticos para coleta de amostras de solos do leito do riacho, como também, uma trena métrica e uma régua para medir a altura da lâmina d'água e fazer a batimetria no início e na metade de cada trecho, ou seja, a cada 50 m. Além disso, a régua auxilia na medição de vazão.

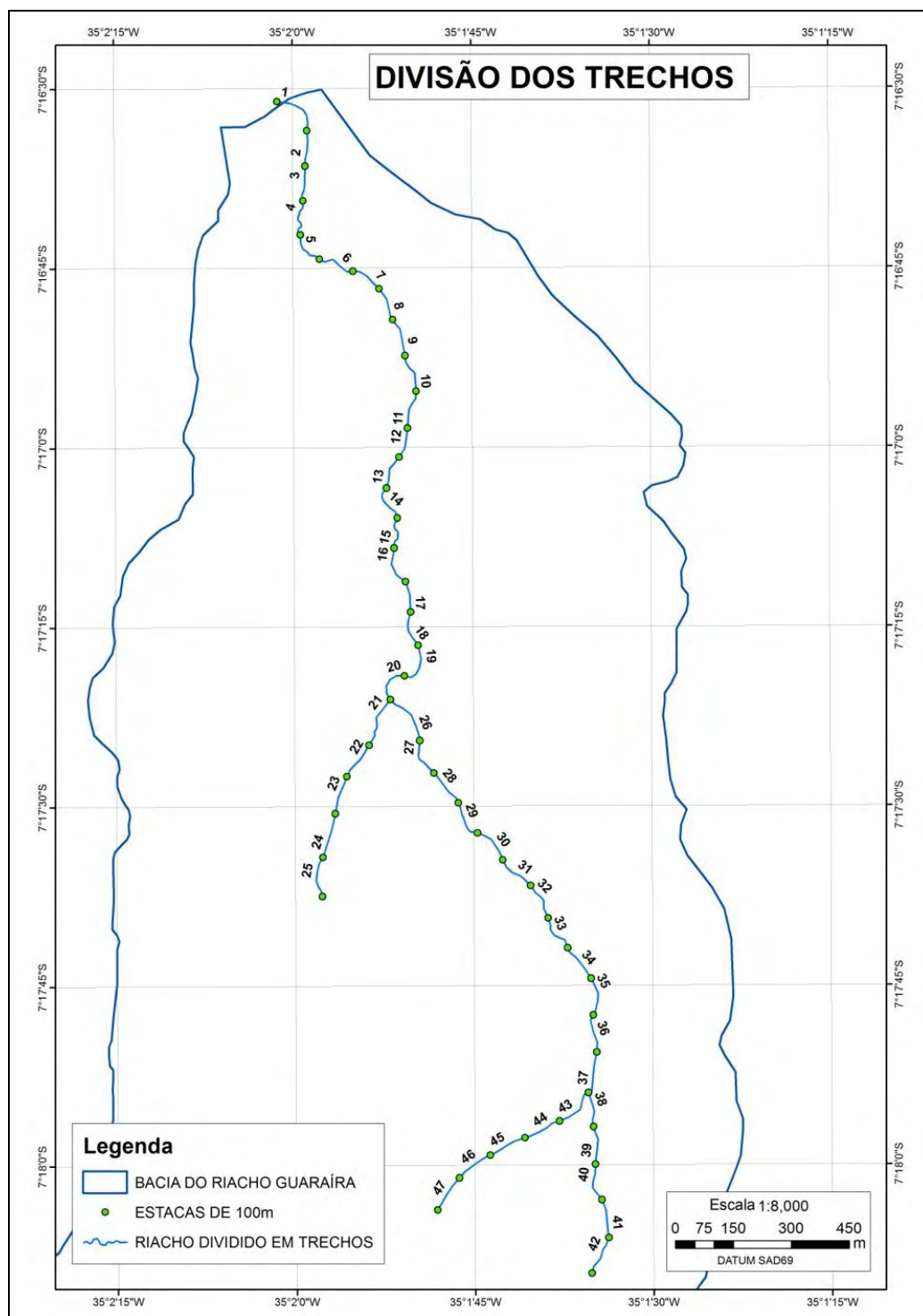


Figura 18 - Divisão do riacho em trechos 100 m.

4.3 Análise de Solo

O método Bávaro necessita das informações de solo para definir o tipo de sedimento do leito do rio, para isso as amostras devem ser coletadas e processadas em laboratório para revelar tal informação. Todo processo é definido a seguir.

4.3.1 Atividades de Campo

As coletas das amostras de solos são realizadas juntamente com o preenchimento da ficha de cadastro e com a utilização de sacos plásticos no início e na metade de cada trecho, ou seja, a cada 50m e são etiquetadas numeradas de forma sequencial (Figura 19).



Figura 19 – Amostras de solo (Foto: Alexandre Ferreira da Silva, 2012).

4.3.2 Atividades de Laboratório

As amostras de solo coletadas para a determinação da densidade são pesadas em laboratório sob as condições de campo e em seguida colocadas na estufa para secagem durante 24 horas a uma temperatura de 110°C. Após a estufa as amostras são pesadas novamente (Figura 20).

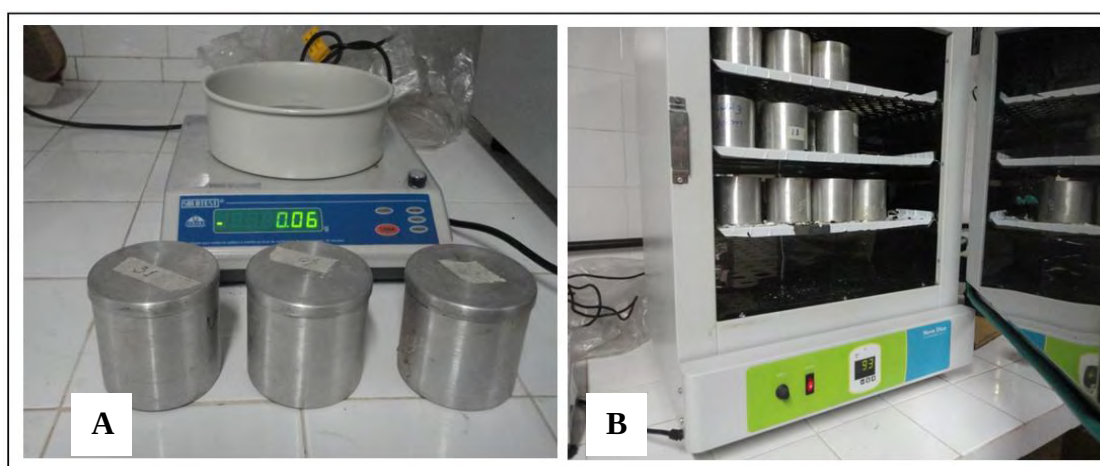


Figura 20 - Balança para pesagem das amostras (A), Estufa para secagem das amostras (B) (Fonte: COELHO, 2011).

Para a determinação das curvas de distribuição granulométrica foi realizado o peneiramento das amostras, seguindo as normas estabelecidas pela NBR7181 da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984).

Inicialmente, a amostra coletada em campo foi pesada e peneirada nas peneiras #3/4, #3/8, #4 e #10. Ainda do material que passa no peneiramento, retirou-se outra amostra de 100g para ser “lavada” na peneira #200. Após a “lavagem”, o material retido foi levado à estufa por 24 horas a uma temperatura de 110°C para secagem; onde esse material seco foi peneirado no conjunto de peneiras #16, #30, #40, #50, #100 e #200 (Figura 21).

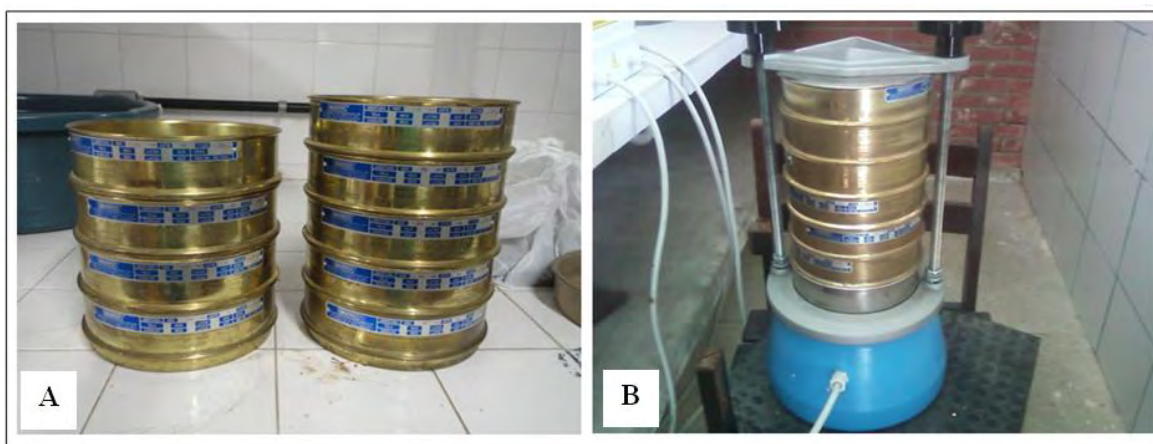


Figura 21 – Peneiras (A) e Agitador (B), utilizados para obtenção de dados referentes à granulometria do solo (Foto: Alexandre Ferreira da Silva, 2012).

4.4 Vazão

O método Bávaro necessita das informações de vazão para definir como se enquadram essas características do rio ou do seu trecho, para isso as medições devem ser realizadas em campo e processadas em laboratório. Todo processo é definido a seguir.

4.4.1 Atividades de Campo

A vazão é medida em dois locais de cada trecho, numa distância de 50 metros entre elas. São medidas pelo método de flutuadores, que primeiramente determinou a velocidade do fluxo superficial (é utilizado um cronômetro), para isso, mede-se a distância entre dois pontos (L) - utiliza-se uma régua com 1m de comprimento - e o tempo (t) gasto pelo flutuador para percorrê-la, Schriener (2003). Esse processo de medição pode ser observado

na Figura 22. De acordo com o método Bávaro, a medição de vazão deve ser realizada no período de estiagem do ano hidrológico. Segundo AESA (2009), na Paraíba o período de estiagem começa a partir do final de Agosto e vai até o fim de Dezembro.



Figura 22 – Medição de vazão (Foto: Alexandre Ferreira da Silva, 2012).

Este procedimento é repetido três vezes em cada seção, para obter a média aritmética da velocidade do fluxo superficial. A equação a seguir mostra como é realizado o cálculo.

$$v = \frac{L}{t} \text{ m/s} \quad \text{Equação 1}$$

Onde v é a velocidade de fluxo em m/s, L é a distância entre as seções em m e t é o tempo em s.

Em seguida determina-se a área da seção transversal, a qual é subdividida em pequenas áreas de 20 cm empregando o método batimétrico, através de medidas de profundidade, utilizando uma régua métrica e uma trena (Figura 23).

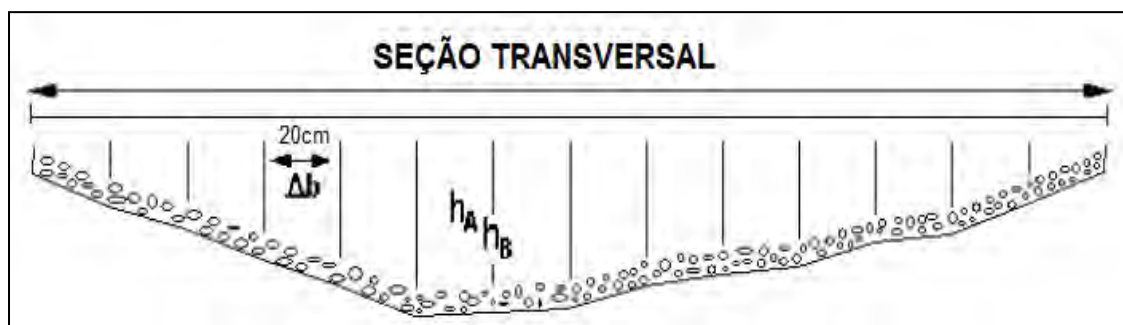


Figura 23 - Processo batimétrico para determinar a área da seção transversal
(Fonte adaptada: Fischer, 2009).

A partir das informações mencionadas anteriormente, a vazão é obtida através da área de seção transversal e velocidade de fluxo superficial, como pode ser observado na equação abaixo.

$$Q = v \cdot A \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) \quad \text{Equação 2}$$

Onde Q é a vazão em m^3/s , v é a velocidade em m/s e A é a área em m^2 .

Fischer (2009) realizou um trabalho no município de Cruzeiro do Sul – RS, para definir a cota topográfica em uma área de extração mineral, e para isso considerou as cheias máximas anuais de duas estações fluviométricas. Para as medições de vazões, ela utilizou o método de flutuadores.

4.4.2 Atividades de Laboratório

Com os cálculos em laboratório foi possível caracterizar as vazões de acordo com o método Bávaro. As vazões são classificadas como: fluxo lento, fluxo parado (fluxo muito fraco, mas perceptível) e fluxo não reconhecível. Essa classificação será utilizada no preenchimento das fichas, com as características de vazão de cada trecho, como também, serão calculadas as velocidades de fluxo, para poder caracterizar a vazão do riacho.

4.5 Tratamento dos dados espaciais

Para organizar e analisar os dados obtidos em campo, faz-se a utilização do *software* Excel para criar uma tabela de atributos, onde são inseridos todos os dados das fichas de cadastro, coletados em campo. Isso é importante para uma melhor organização

das informações dos 26 parâmetros individuais que serão espacializadas do riacho Guaraíra.

Para uma melhor compreensão espacial dos dados levantados de cada trecho, utiliza-se um SIG para espacializar grande parte dos dados utilizados neste estudo. A espacialização é realizada pelo *software ArcGIS*, pois com tal ferramenta operacional pode-se entender através de mapas temáticos o comportamento espacial da área estudada, como também, realizar o tratamento e edição de dados vetoriais e matriciais.

Com a ferramenta do SIG, primeiramente é realizado a espacialização do riacho Guaraíra através de um mapa temático que possui o curso d'água e uma imagem de satélite de alta resolução. Neste trabalho, utiliza-se imagens do *Google Earth* para o planejamento de campo. Posteriormente, são confeccionados mapas temáticos de solo, vazão, entre outros.

Ao final de todo preenchimento da tabela de atributos, referente aos parâmetros individuais utilizados pelo método Bávaro no do riacho Guaraíra, será possível inseri-los no SIG. Desta forma, poderá ser observado cada um dos 47 trechos, com a classificação que vai de inalterado até completamente alterado. Com a espacialização dos dados pelo SIG, ficará mais claro de observar e entender as informações no contexto geral em relação à condição hidromorfológica do riacho Guaraíra. Com isso, será possível criar mapas com a caracterização do riacho pelo método Bávaro e avaliar o grau de modificação antrópica, como também, os locais onde a restauração deverá ser realizada.

.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos na pesquisa. Inicialmente são mostradas as descrições dos trechos levantados e os resultados das análises de solo e vazão, com mapas que representam tais resultados. Os resultados da aplicação, análise e situação hidromorfológica do riacho Guaraíra são mostrados logo em seguida.

5.1 Descrição dos Trechos para Análise Hidromorfológica

O riacho ficou dividido em 47 trechos, dos quais 40 foram percorridos e 7 foram avaliados no escritório como inalterados. Devido à dificuldade de acesso por conta de árvores caídas, topografia íngreme e trecho muito fechado é possível afirmar que esses 7 trechos encontram-se sem modificações antrópicas. De qualquer forma, isso indica que 85% dos trechos foram realmente visitados e caracterizados.

Com a delimitação cartográfica definida, o preenchimento das fichas de cadastro do método Bávaro foi realizado a partir de quatro visitas a campo, ocorridas entre os meses de agosto e setembro de 2012, nas seguintes datas: 21/08, 23/08, 31/08 e 13/09.

Um comprimento aproximado de 5 km foi percorrido no riacho da bacia experimental. Isso foi de grande valia para a aplicação do método Bávaro e a classificação final da dinâmica do leito do rio e da várzea.

Foram coletados 57 pontos com GPS, que também, se mostraram de grande valia na locação dos trechos, análises de solo e medição de vazão. Os pontos não ficaram exatamente no início e fim de cada trecho, isso aconteceu devido à precisão do GPS e também porque várias vezes o caminho foi percorrido nas margens, devido à dificuldade de acesso ao riacho em alguns trechos (Figura 24).

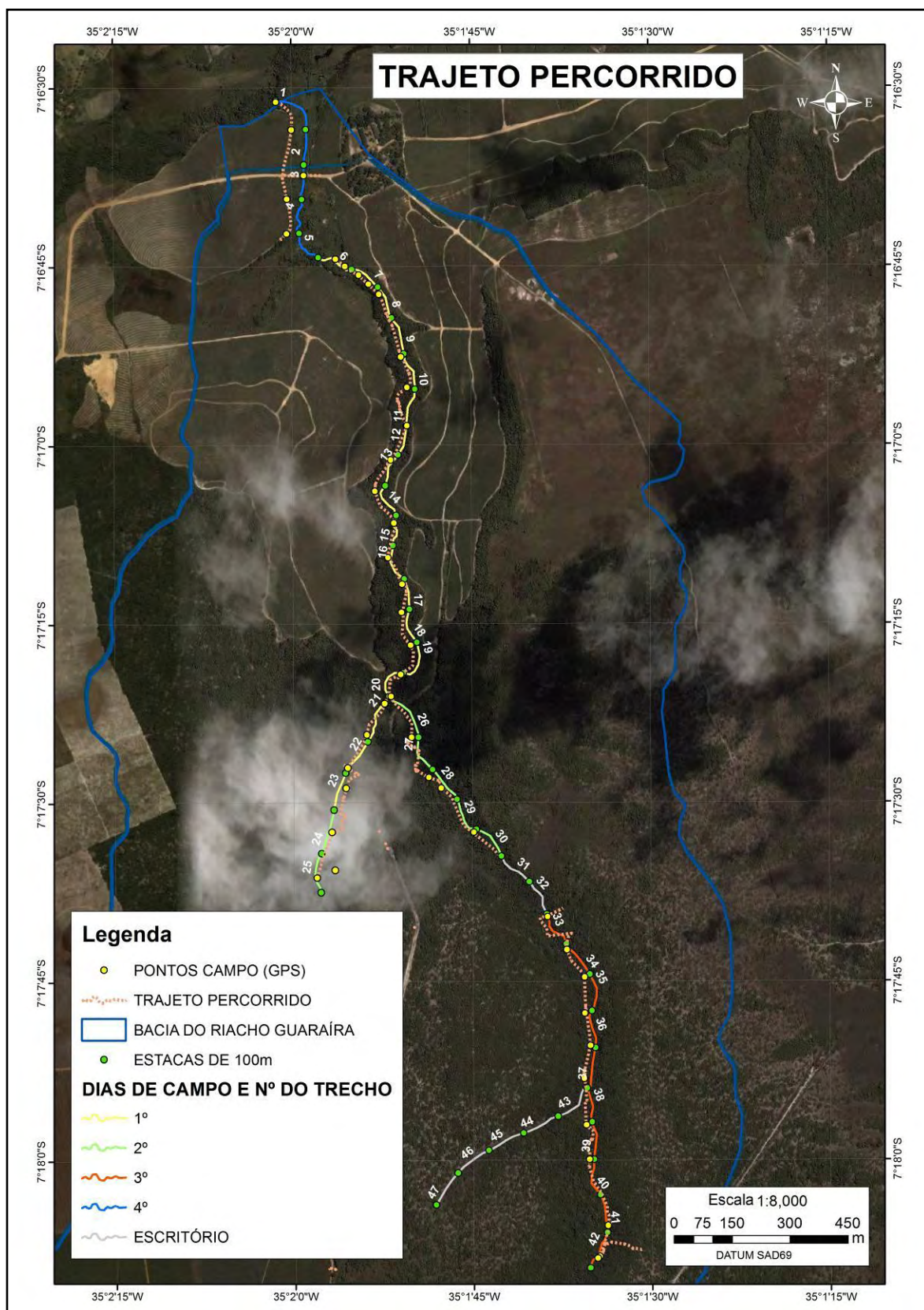


Figura 24 - Divisão dos trechos e levantamento de campo.

5.1.1 Descrição dos Trechos 1 a 10

Os trechos 01 e 02 possuem uma grande zona de várzea que está ocupada pela cultura da cana-de-açúcar. A vegetação é assim muito modificada, existindo espécies não nativas (lenhosas e não lenhosas), sendo bastante clara a ação antrópica que impossibilita a visualização das margens e o acesso ao riacho. Entretanto, em cerca de 30 m do início do trecho 01 a vegetação é nativa, pois o riacho está chegando ao encontro do rio Mumbaba e essa é uma Área de Preservação Permanente (APP), que está bastante protegida.

O trecho 03 possui as mesmas características dos trechos anteriores, contudo a diferença é que nele existe um bueiro de greide que cruza o riacho e a modificação da vegetação é muito evidente, pois como é um local de passagem, é possível observar uma grande variedade de espécies trazidas de outras localidades. Outro fator que pode ser observado, é que nesse trecho uma vegetação aquática cobre o riacho, essa característica foi detectada também aos trechos 04 e 05. Além dessa característica eles possuem as mesmas em relação aos outros trechos já mencionados, (Figura 25).

No trecho 06 é possível ver as margens nos últimos 20 metros do riacho, pois o restante é a parte área alagada e estava coberta por capim com aproximadamente 50 cm de altura. Ao longo do trecho, também foram encontradas algumas macrófitas, como também, a presença de vegetação nativa. Há bastante deposição, principalmente de areia e matéria orgânica. Em relação ao uso da várzea, pôde ser observada ainda a presença de cana-de-açúcar com distância aproximada de 10 metros do riacho. A topografia estava começando a elevar-se em direção a montante, com isso, diminuindo a área de várzea.

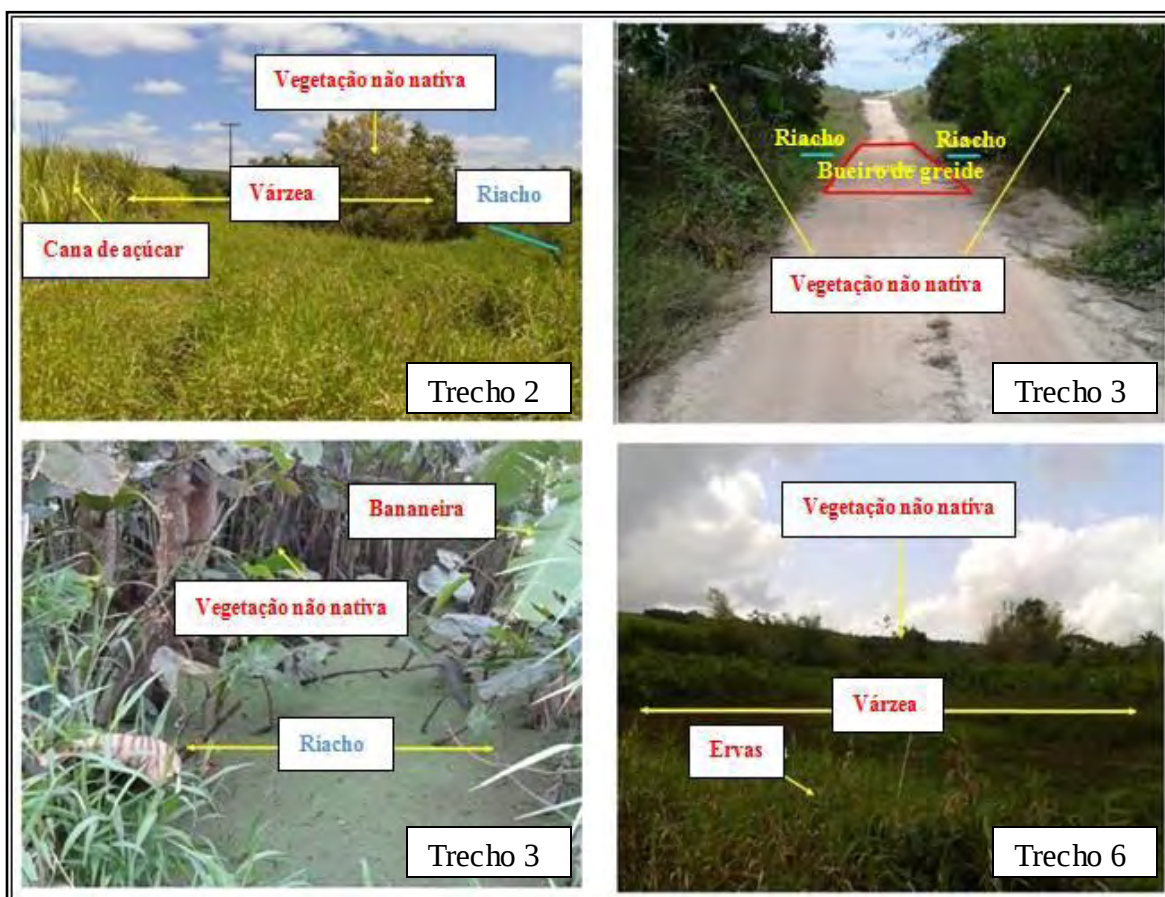


Figura 25 – Características dos trechos de 2 a 6 (Foto: Alexandre Ferreira da Silva, 2012).

Já no trecho 07, a vegetação nativa começa a ficar preponderante. Existe um local onde ocorreu uma modificação antrópica, pois é possível ver claramente as ruínas de um vertedor abandonado e por causa dessa construção ocorreu um alargamento do riacho que normalmente possui cerca de 5m de largura. Com relação às margens, as mesmas estão bem visíveis, cena bem diferente ao que foi encontrada nos trechos iniciais. Outro aspecto que continua sendo observado é a presença de cana-de-açúcar numa distância de aproximadamente 10 metros da margem esquerda do riacho (Figura 26).

O trecho 08 já possui vegetação nativa em toda extensão, existindo muita deposição de matéria orgânica e com um processo erosivo natural das margens bem visível. Tal erosão é concebida pela sinuosidade do riacho e pelo período de cheia que, em geral, ocorre anualmente.

A partir do trecho 09 adentra-se em mata fechada e já não é possível ver a presença da cana-de-açúcar próxima à margem esquerda do riacho, e sim, a presença de vegetação natural. A topografia começa a elevar-se cada vez mais, estreitando o vale e diminuindo a área de várzea que quase inexiste. O riacho começa a ficar mais sinuoso e também é possível observar uma leve diminuição na deposição de matéria orgânica e mineral. O

trecho 10 possui as mesmas características do trecho 09, contudo diferencia-se apenas na questão da deposição que teve um aumento moderado.

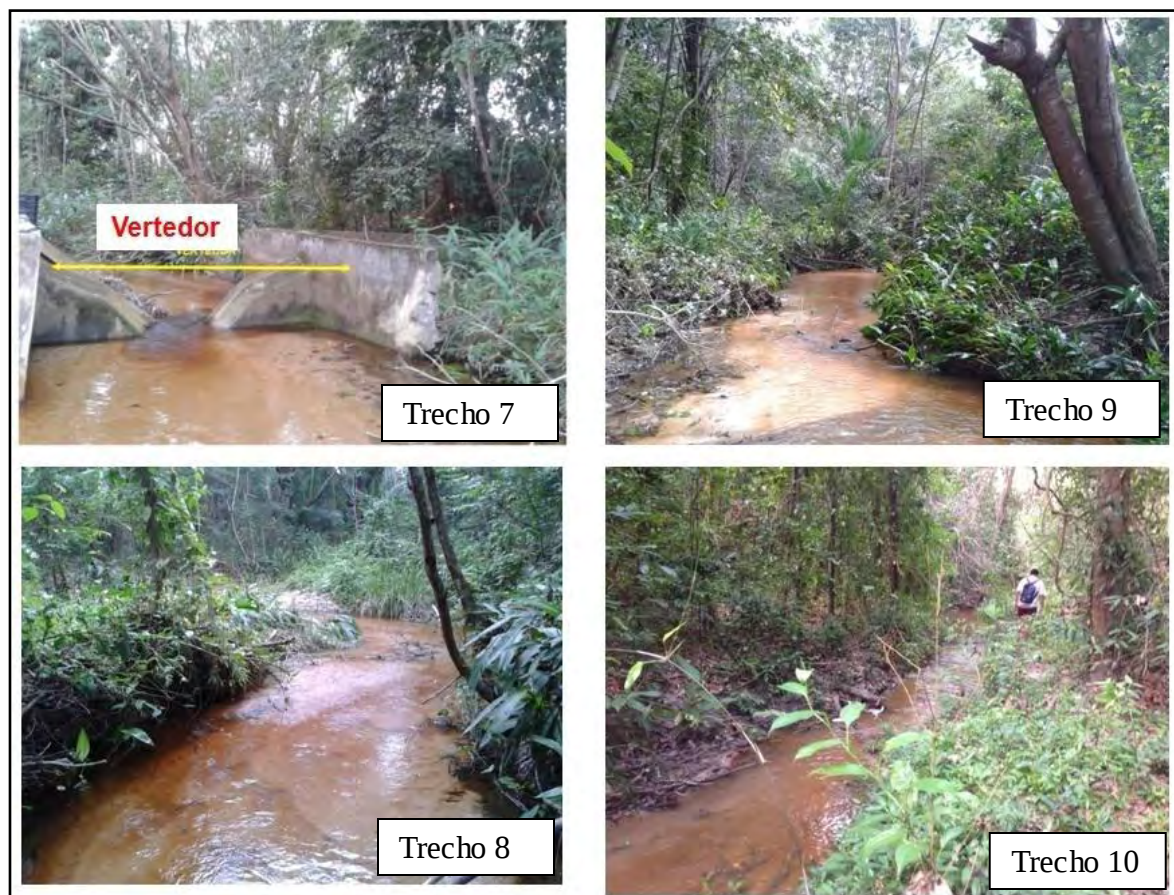


Figura 26 - Características dos trechos de 7 a 10 (Foto: Alexandre Ferreira da Silva, 2012).

5.1.2 Descrição dos Trechos 11 a 20

No trecho 11 a vegetação continua natural e a topografia do vale continuava aumentando gradativamente em direção a montante. A quantidade de matéria orgânica no leito do riacho diminuiu em relação aos dois trechos anteriores, havendo uma predominância de areia. O processo erosivo natural das margens está bem visível, principalmente na direita, pois tinha um talude com menor inclinação (Figura 27).

A partir do trecho 12 foi possível observar uma mudança no substrato do leito, que apenas era formado por areia na sua maioria e agora se encontrou alguns cascalhos em sua formação. Outro aspecto observado é a topografia que não para de elevar-se em direção à montante e com isso, as margens começam a ficar mais estreitas e menos inclinadas. A vegetação continua inalterada, porém devido à diminuição da inclinação do vale a erosão

natural das margens continua bastante visível. Essas características citadas anteriormente são também inerentes aos trechos 13 e 14.

A diferença do trecho 15 em relação aos três últimos é a presença de argila nas margens e no leito do riacho. Já no trecho 16, o vale continua variando na sua largura, mas sua elevação é muito perceptível (Figura 27). A deposição de matéria orgânica diminui e a presença de argila continua nesse trecho, tanto nas margens como no leito, contudo no leito a presença é menor. A vegetação segue fechada e inalterada. A única diferença do trecho 17 em relação aos trechos 15 e 16 estão relacionadas a não existência de argila no leito do riacho.

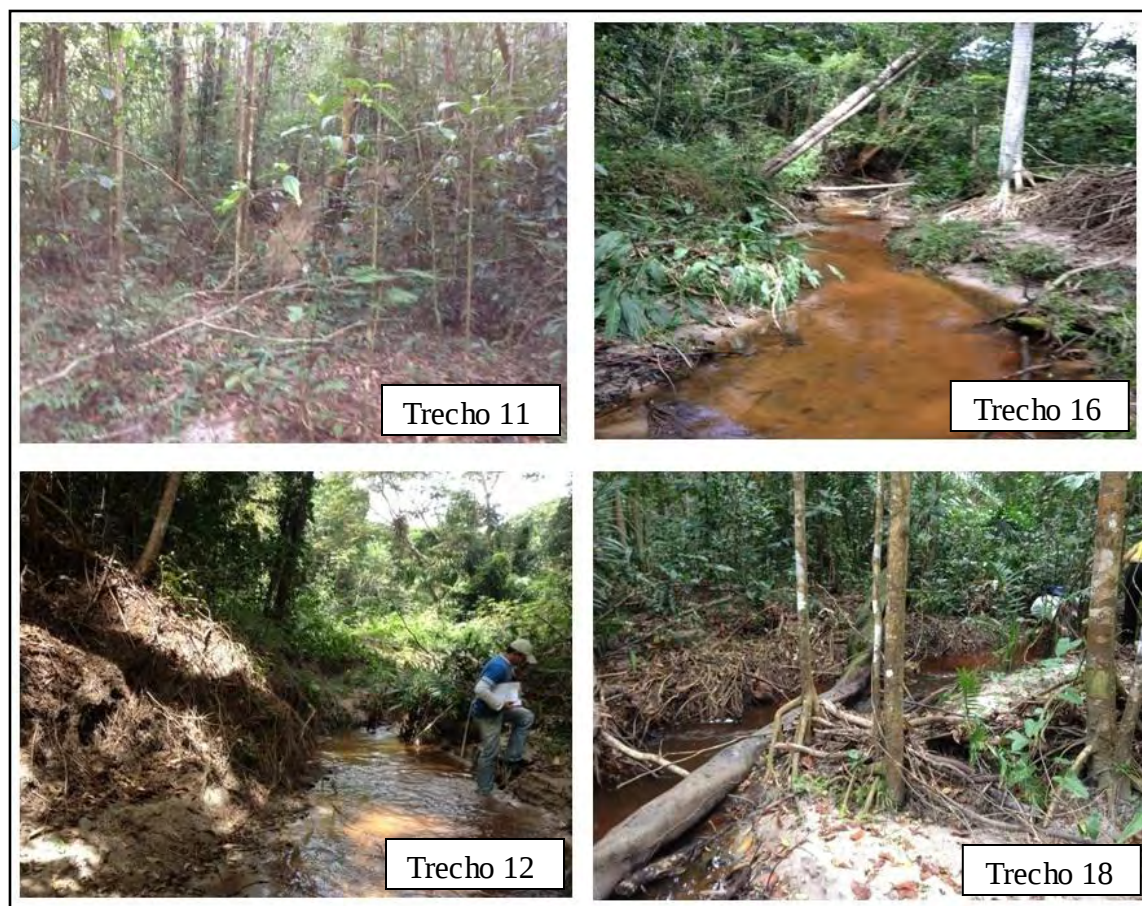


Figura 27 - Características dos trechos de 11 a 18 (Foto: Alexandre Ferreira da Silva, 2012).

Nos trechos 18 e 19, a variação do vale continua com a elevação da topografia muito perceptível. A deposição de matéria orgânica é semelhante ao trecho anterior, contudo a de materiais mais grossos é bem nítida em relação aos trechos anteriores. Já no trecho 20, encontra-se uma depressão na margem direita, isso acontece porque há uma

ramificação do riacho, entretanto essa ramificação não é perene, como também, é possível observar que o terreno é bastante úmido.

5.1.3 Descrição dos Trechos 21 a 30

O vale no trecho 21 começa a ficar mais estreito e o riacho se ramifica em dois cursos. O substrato começa a mudar novamente, voltando a aparecer materiais grossos de diâmetros maiores. A vegetação segue a mesma característica, mas vai ficando mais fechada comparando-se com os quatro últimos trechos.

No trecho 22, segue-se para ramificação do lado esquerdo do riacho. O substrato começa a mudar novamente, dessa vez, além do cascalho, surge a presença de arenito, a partir desse trecho isso será uma constante até a nascente. Outro material que apareceu bastante aparente foi a argila. A vegetação segue a mesma característica, mas vai ficando mais fechada, isso também devido ao estreitamento do vale e sua menor inclinação. Essas características também se aplicam ao trecho 23 (Figura 28).

A diferença dos trechos 24 e 25, em relação aos três últimos trechos anteriores, é a maior presença de material mineral no substrato do riacho, tais como: arenito, pedras, seixos (cascalhos grossos) e cascalho fino, como também, uma diminuição na presença de areia e o não aparecimento de argila. Essa característica segue até a nascente da ramificação esquerda do riacho (Figura 28).



Figura 28 - Características dos trechos de 21 a 25 (Foto: Alexandre Ferreira da Silva, 2012).

O trecho 26 é o início da ramificação do lado direito do riacho, nela é notória a diminuição da inclinação do vale, e a elevação do vale é bem menor se comparando ao trecho 22. Há uma tubulação de concreto que impedia levemente o fluxo d'água, ela foi resquício de uma obra realizada pela Petrobrás, pois esta passou uma tubulação de gás por baixo do riacho (Figura 29). Tal obra ficaria imperceptível, caso não fosse observada a presença dessa tubulação. O substrato começa a mudar novamente, dessa vez além do cascalho, surge a presença de arenito que será sempre encontrada em todos os trechos até a nascente.

Nos trechos 27, 28 e 29, o vale fica mais estreito e com pouca inclinação longitudinal, entretanto a topografia do vale está mais elevada em relação ao trecho 26. A vegetação segue a mesma característica, mas vai ficando mais fechada.

A diferença no trecho 30 é a vegetação segue a mesma característica, contudo ao final do trecho a vegetação fecha completamente a passagem, impedindo a progressão para o próximo trecho. A deposição aumentou muito em relação aos trechos anteriores.



Figura 29 - Características dos trechos de 26 a 30 (Foto: Alexandre Ferreira da Silva, 2012).

5.1.4 Descrição dos Trechos 31 a 47

Devido à impossibilidade de percorrer os trechos 31 e 32, por causa da falta de acesso, eles foram considerados inalterados pela ação humana. Já o trecho 33 tem as margens com a topografia bastante íngreme, de forma que possui o vale forma de V. Aqui foi possível analisar amostras de solo, pois o leito do riacho tem uma formação em arenito e areia, como também, existem muitas rochas em arenito espalhadas ao longo do riacho. Não foi possível realizar o teste de vazão pelo método de flutuadores, porque não havia espaço suficiente, devido ao grande número de rochas areníticas distribuídas ao longo do riacho (Figura 30). A vegetação continua natural e bastante fechada. A mesma característica do trecho 33 pode ser aplicada ao trecho 34 e 35.

No trecho 36, foi possível medir a vazão. Os trechos 37 a 38 possuem as mesmas características citadas anteriormente, no que tange a formação do substrato do leito do riacho, solo, topografia e vegetação. No final do trecho 37, há uma ramificação para o lado esquerdo do riacho. A diferença que ocorreu nos trechos 39 40, 41 e 42 foi à formação do substrato do leito do riacho, que possuía grandes formações de arenito, tais características se estendem até a nascente (Figura 30).

O trecho 43 é uma ramificação que começa no final do trecho 37. Como não havia acesso, devido à vegetação existente e a topografia do local, os trechos de 43 a 47 foram consideradas inalteradas pela ação antrópica.

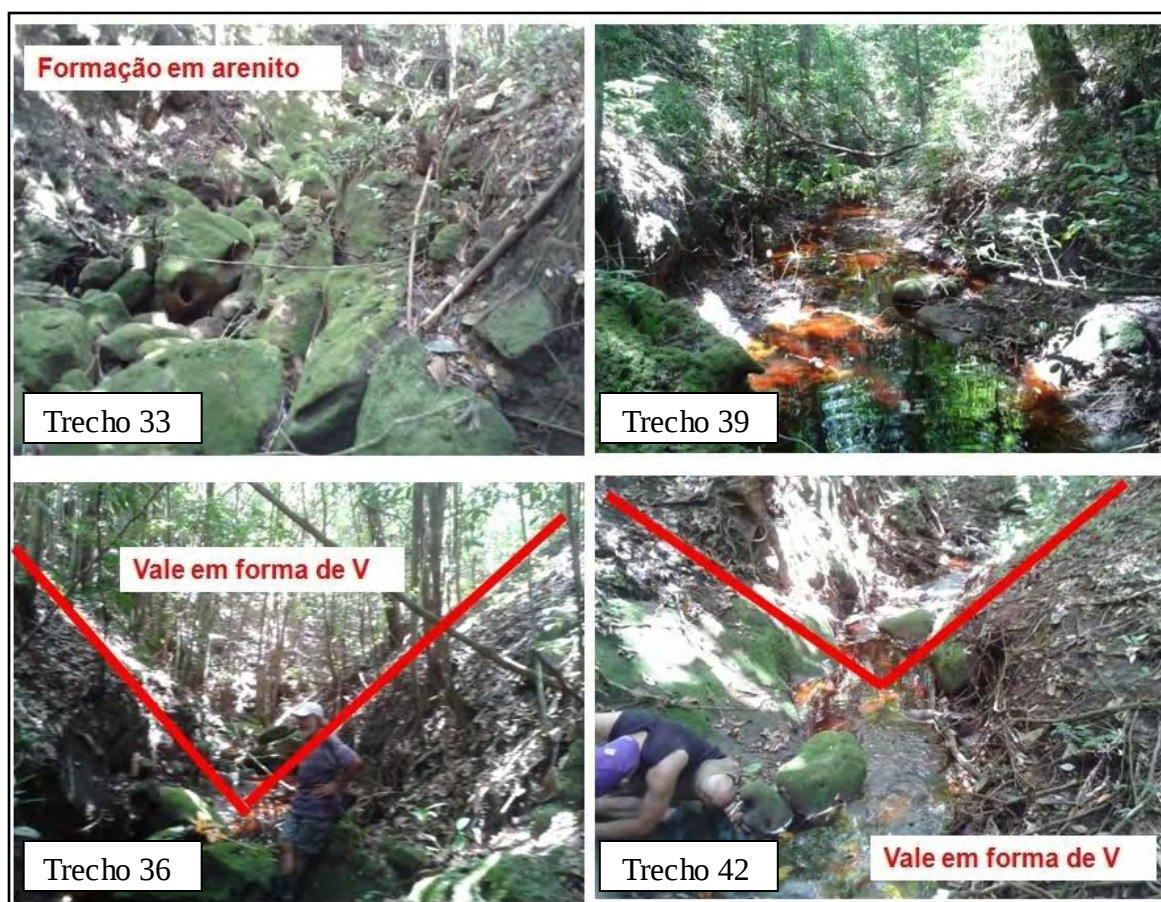


Figura 30 - Características dos trechos de 33 a 42 (Foto: Alexandre Ferreira da Silva, 2012).

5.2 Análise de Solo do Leito do Riacho

Para avaliação do método Bávaro, foram coletas amostras de solo do leito do riacho para análise granulométrica em 31 trechos distribuídos pelo riacho Guaraíra. A partir dos ensaios granulométricos realizados através de peneiramento a seco, obedecendo às normas

estabelecidas pela ABNT (1984), foram determinadas as frações de seixo, areia grossa e areia fina para todos os pontos do riacho.

A classificação, realizada a partir do sistema de classificação da SBCS (Sociedade Brasileira de Ciências do Solo), mostra uma predominância da classe textural areia, com 81% do total das amostras. Os pontos classificados como sendo de textura areia franca representam 13% e franco arenoso 6% do total das amostras.

Tabela 6 - Classe textural do solo do riacho Guaraíra para cada trecho estudado.

Trecho	Areia (%)	Classe Textural	Trecho	Areia (%)	Classe Textural
6	97.23	Areia	27	93.11	Areia
7	98.11		28	93.65	
8	97.69		29	93.38	
9	98.75		30	90.56	
11	91.41		34	92.94	
12	94.51		35	96.37	
13	98.57		36	93.89	
14	97.44		37	96.52	
15	97.44		38	90.64	
16	98.80		10	78.09	Areia Franca
17	96.48		22	85.56	
19	97.36		23	84.57	
20	95.14		33	86.71	
21	93.05		18	67.23	Franco Arenoso
25	99.94		24	72.78	
26	91.90				

Com a classificação da classe textural mostrada na Tabela 6, é possível observar a porcentagem de distribuição de areia ao longo do riacho, através de intervalo com quatro classes, como pode ser visto na Figura 31.

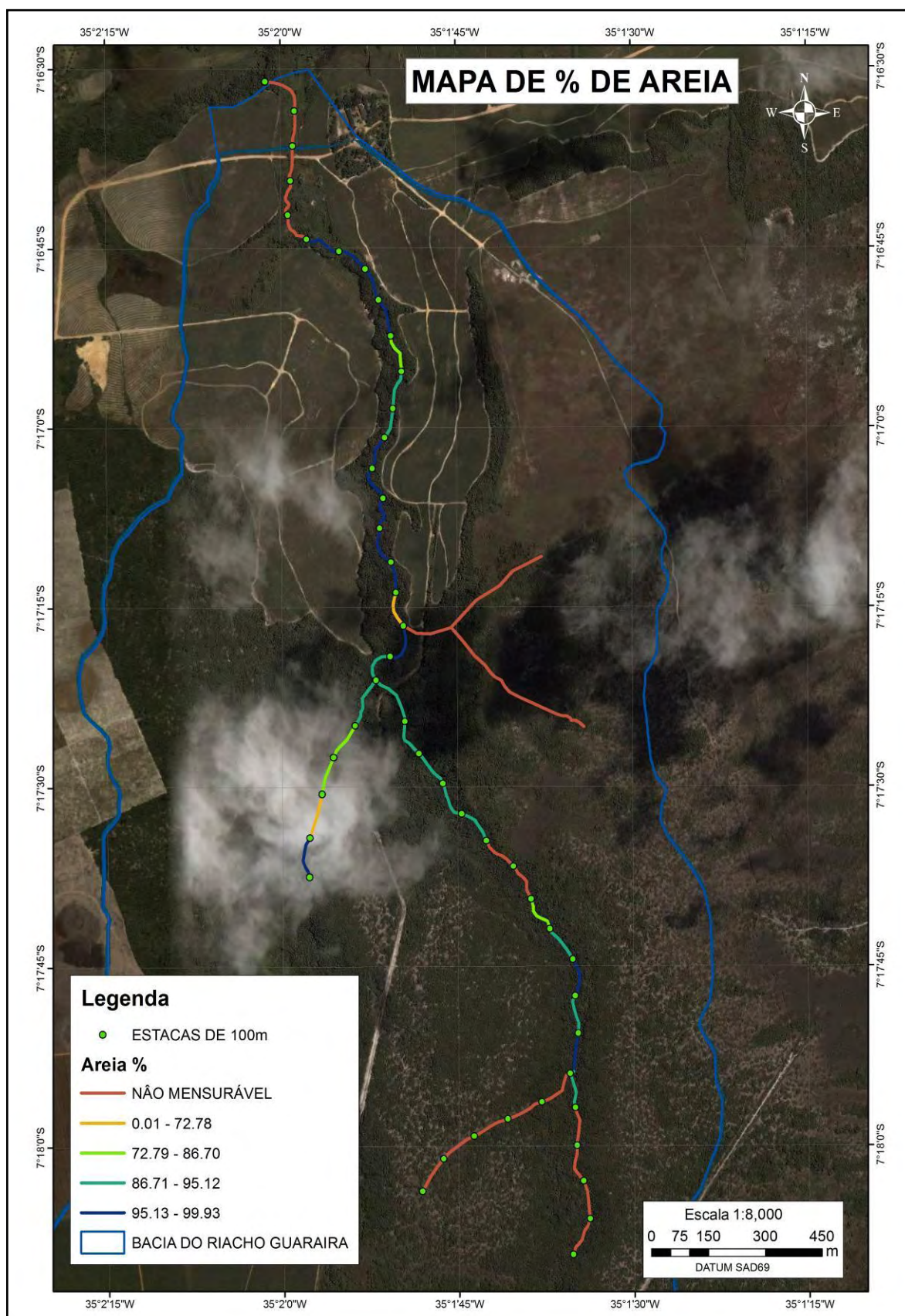


Figura 31 – Mapa de porcentagem de areia do leito do riacho Guaraíra.

De maneira geral as curvas de todos os pontos onde foram coletadas as amostras, possuem distribuição granulométrica semelhantes, sendo classificadas como arenosas. Contudo, duas amostras possuíam o diâmetro das partículas diferente das demais. Isso pode ser observado na Figura 32.

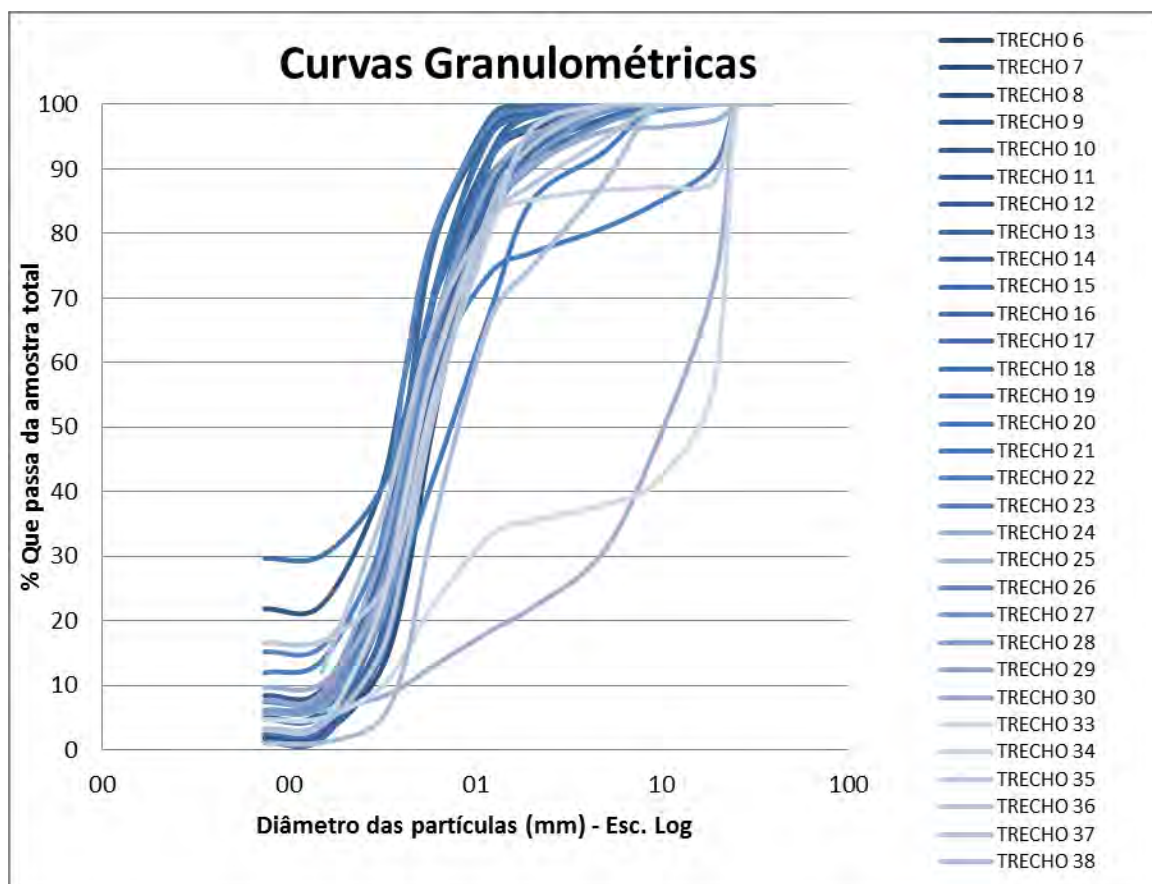


Figura 32 – Curvas granulométricas dos trechos analisados

5.2.1 Distribuição de Sedimentos de Fundo para o Método Bávaro

A partir de levantamento e das coletas realizadas de solo do leito do rio, foi possível chegar aos resultados de granulometria e classe textural do solo. De acordo com granulometria, o método Bávaro se atém aos tipos de sedimentos de fundo descritos abaixo:

- Sedimentos grossos: dominância de sedimentos com a granulometria $> 2\text{mm}$;
- Sedimentos finos: dominância de sedimentos com granulometria $< 2\text{mm}$;
- Turfa: predomínio de sedimentos orgânicos finos.

Na Figura 33 é possível observar como ficou a distribuição dos sedimentos no riacho Guaraíra, de acordo com o método Bávaro.

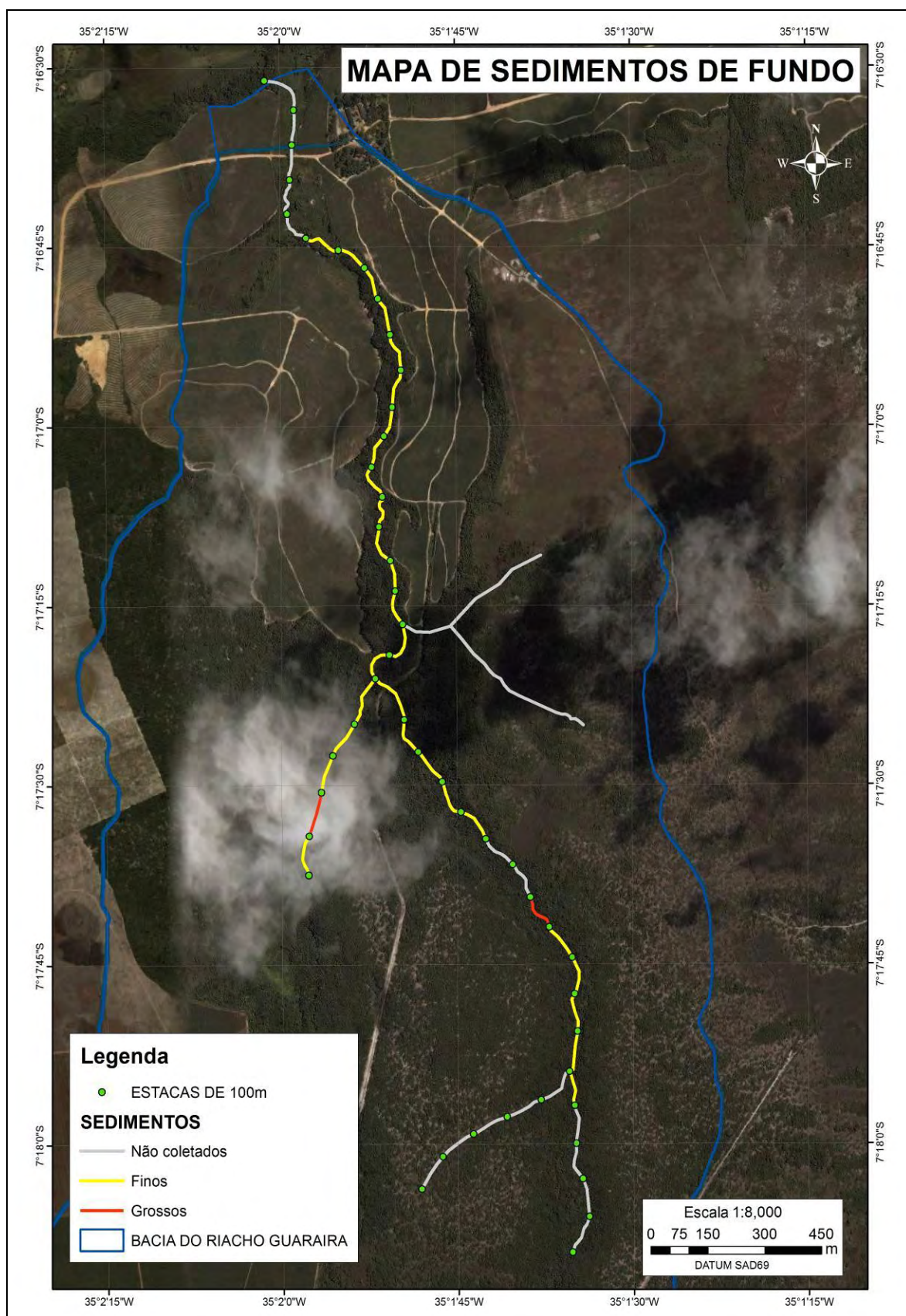


Figura 33 – Mapa de sedimentos de fundo do riacho Guaraíra

Segundo o método Bávaro, a classificação dos sedimentos de fundo no riacho pode ser observada na Figura 34.

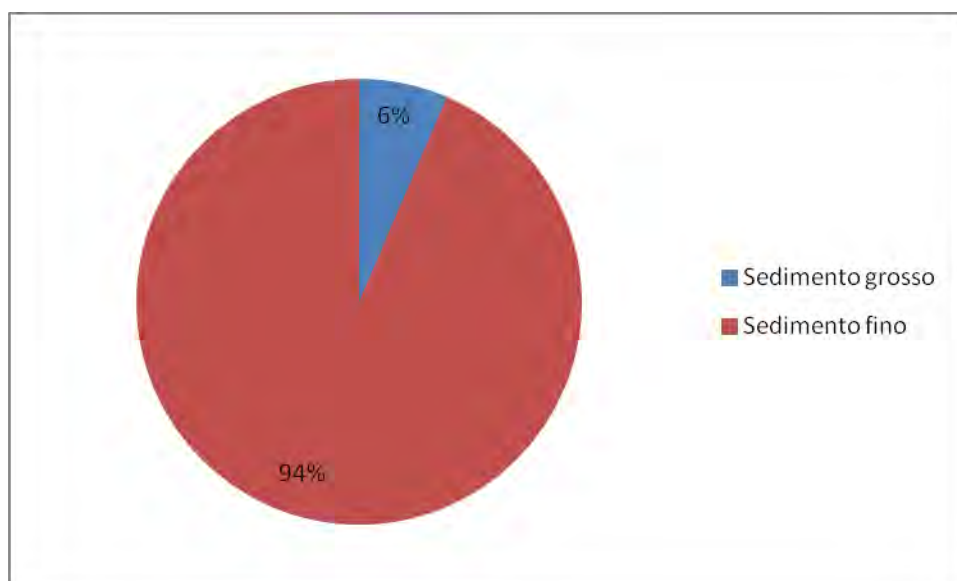


Figura 34 – Gráfico de sedimentos de fundo dos trechos analisadas

Como pode ser visto no gráfico acima, a predominância dos sedimentos finos chega a 94%. Entretanto, a tabela de classe textural mostra a classificação dos solos em detalhes, como também, a descrição dos trechos que abordam algumas características do substrato do riacho, como por exemplo, a presença de argila. Contudo, como foi mostrado na classe textural, a presença de argila foi muito pouca no contexto de cada trecho e por isso, não apareceram na tabela.

5.3 Vazão e Velocidade de Fluxo

Foram confeccionados dois mapas: mapa de vazão (Figura 35) e mapa de velocidade de fluxo (Figura 36), a partir da medição de 23 dos 47 trechos, o que representa 48,93% dos trechos. 24 trechos ou 51,07% não foram medidos devido à falta das condições mínimas para utilização do método de flutuadores e pela dificuldade do acesso em alguns trechos.

Na Tabela 7, é possível observar as características dos trechos referentes às velocidades de fluxo, áreas das seções transversais e vazões. Nessa tabela são apresentados os valores médios de cada trecho, haja vista, que se realizava uma mediação no início e na metade de cada trecho avaliado.

Tabela 7 – Características de velocidades, áreas e vazões do riacho Guaraíra.

VALORES MÉDIOS DE CADA TRECHO ANALISADO			
TRECHO	VELOCIDADE DE FLUXO m/s	ÁREA m ²	VAZÃO L/s
6	0.22	0.3861	87.23
7	0.32	0.2560	84.28
8	0.34	0.2689	91.99
9	0.41	0.2682	110.09
10	0.34	0.2485	86.18
11	0.34	0.2062	70.85
12	0.36	0.1899	69.18
13	0.36	0.1723	62.75
14	0.29	0.2102	62.29
15	0.33	0.1914	64.02
16	0.32	0.1312	42.33
17	0.25	0.1808	46.17
18	0.23	0.1867	44.74
19	0.19	0.2202	43.81
20	0.23	0.2049	48.63
21	0.26	0.1239	32.66
22	0.23	0.1046	24.81
23	0.17	0.1326	22.63
26	0.24	0.0688	17.12
27	0.18	0.1250	22.61
28	0.23	0.0884	20.46
29	0.18	0.1063	19.66
36	0.15	0.0877	13.32

Com o levantamento de campo foi possível caracterizar as vazões de acordo com o método Bávaro. Todo levantamento foi realizado no período de estiagem do ano hidrológico da Paraíba, que inicia no final de Agosto e vai até o final de Dezembro.

A média aritmética das vazões foi de 51,64 L/s, que de acordo com o método é classificado como fluxo parado (fluxo muito fraco, mas perceptível). Entretanto, no preenchimento das fichas foram utilizadas as características de vazão de cada trecho, isso fica mais claro ao observar a Figura 35, porque as vazões foram divididas em quatro intervalos de classe.

Maiores detalhes com relação às vazões serão apresentadas na análise do método Bávaro. De acordo com a Figura 35 é possível observar que as vazões aumentam gradativamente ao aproximar-se do exutório do riacho e que não há nenhuma mudança nessa característica ao longo do riacho.

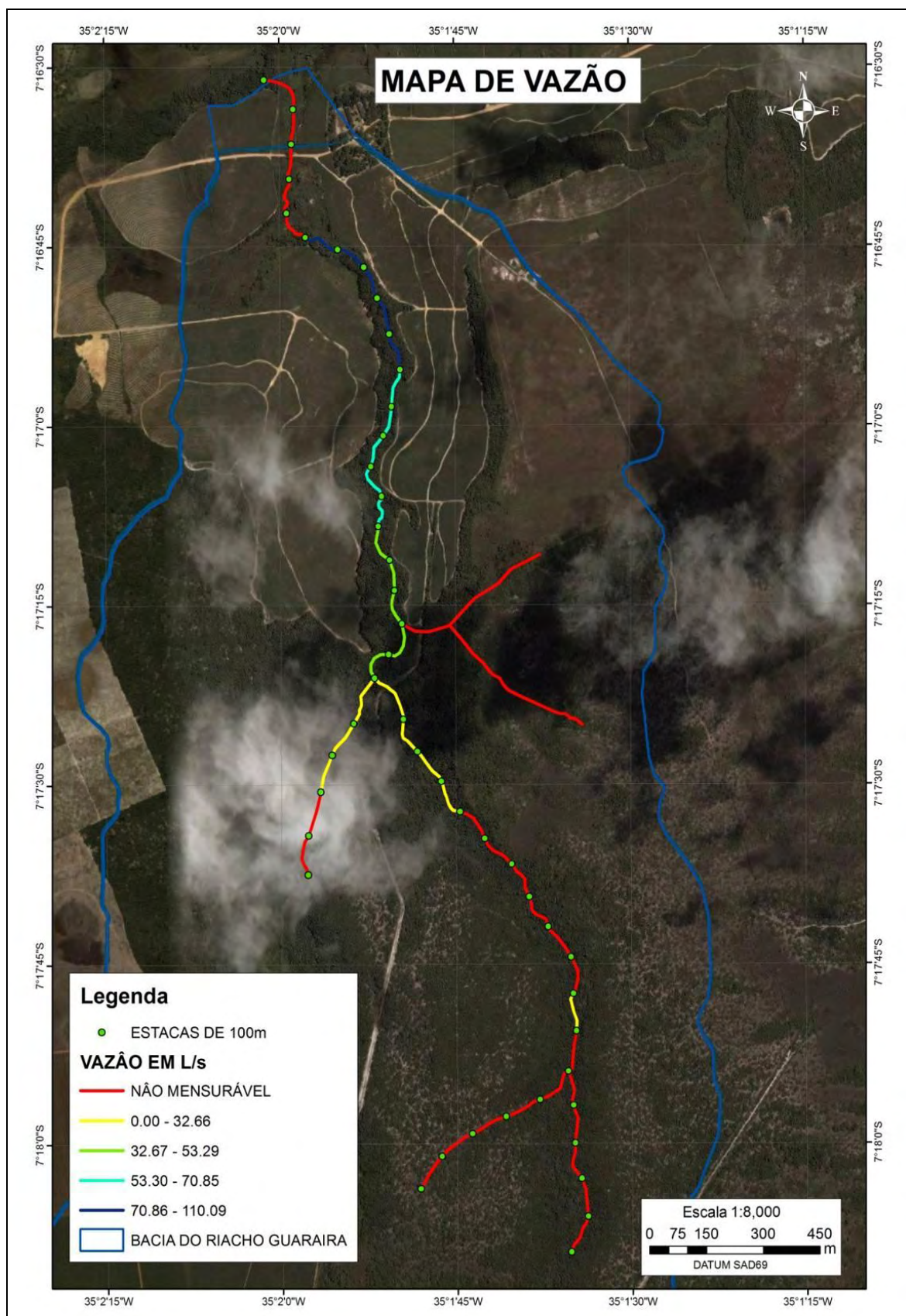


Figura 35 – Mapa de vazões do riacho Guaraíra.

O mapa de velocidade de fluxo mostra a sua velocidade média, porque essa foi calculada no início e na metade de cada trecho, como pode ser observada na Figura 36. Como no mapa de vazão, aqui também foi houve a divisão em quatro intervalos de classe.

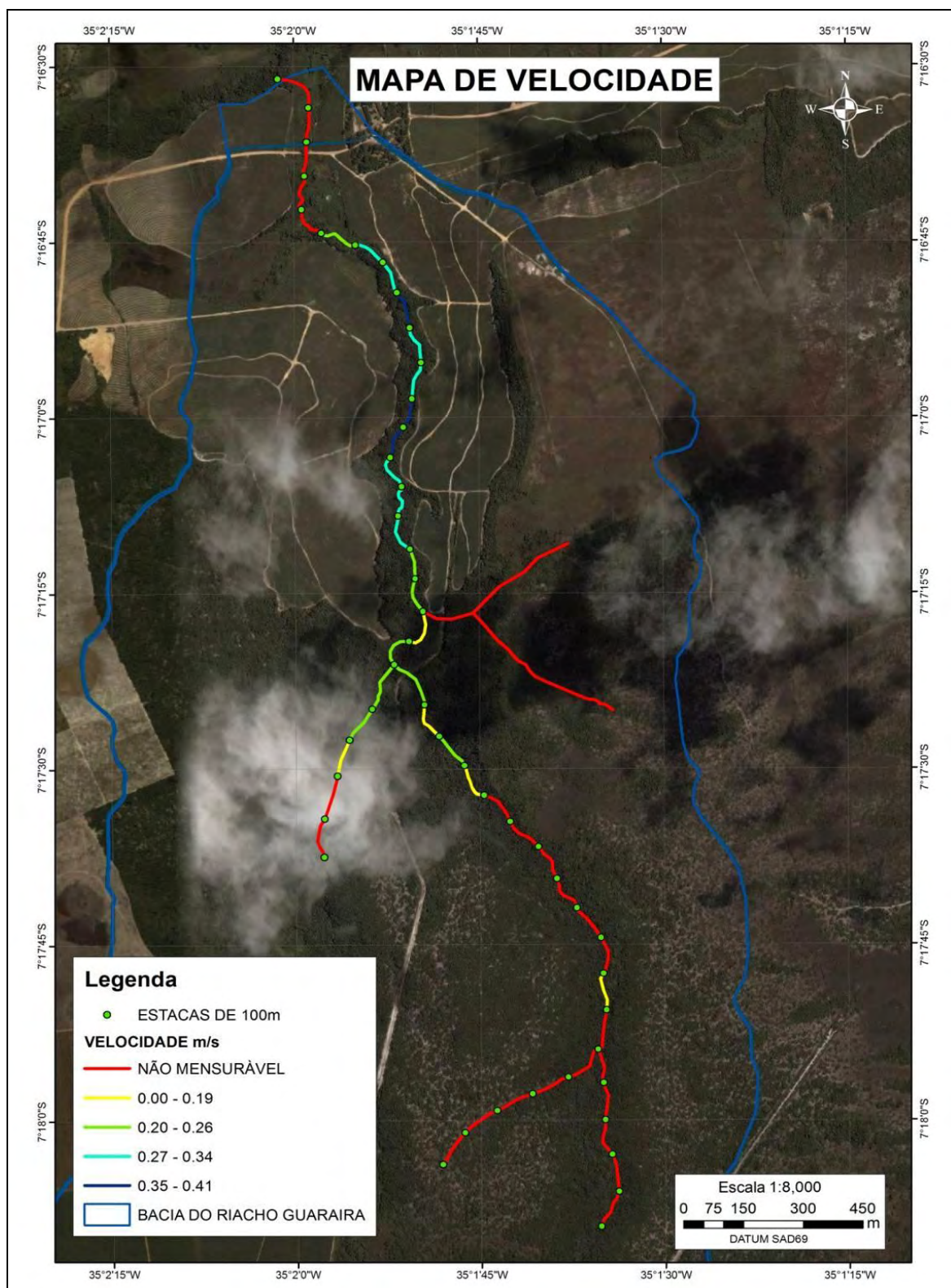


Figura 36 – Mapa de velocidade de fluxo superficial do riacho Guaraíra.

Pelo que pode ser observado na Figura 36, é possível observar que existem alterações tanto para mais quanto para menos, isso ocorre devido as estruturas naturais do rio, tais como: vegetação e queda de árvores.

5.4 Aplicação do Método Bávaro

Como já foi mencionado anteriormente, o riacho ficou dividido em 47 trechos. Neste tópico a aplicação e análise ficarão divididas de acordo com o fluxograma apresentado na metodologia.

5.4.1 Dinâmica do Leito do Rio

Aqui, nesse subsistema, serão aplicados e analisados quatro funções hidromorfológicas e vinte parâmetros individuais, sendo dezessete diretamente incluídos na avaliação e três para auxílio da avaliação. Com isso, é possível realizar um diagnóstico do leito do rio com relação a sua estrutura.

5.4.1.1 Forma do Rio

Esta função hidromorfológica indica o grau de naturalidade do curso de água. Porque representa os parâmetros de avaliação mais representativos do rio. Ele é o ponto de partida da árvore de avaliação e recebe o maior peso na averiguação. O parâmetro individual que está associado a esta função hidromorfológica é o Tipo de Curvatura, que será avaliada a seguir.

5.4.1.1.1 Tipo de Curvatura

Os resultados dos coeficientes de sinuosidade são obtidos a partir da tipo de curvatura. O método avalia cada trecho de 100m ou blocos com mais de 100m para saber se houve mudanças no seu curso natural. O riacho foi dividido em três conjuntos de trechos, porque não há levantamento topográfico em escala adequada para calcular por trechos de 100m. A Tabela 8 mostra como foram divididos os blocos.

Tabela 8 – Classificação da sinuosidade dos trechos do riacho Guaraíra

Conjunto de trechos	Coefficiente de Sinuosidade	Curvatura
Trechos de 1 a 20	1,22	Ligeiramente tortuoso
Trechos de 21 a 25	1,04	Alongado
Trechos de 26 a 42	1,11	Ligeiramente tortuoso

Como pode ser observado na Tabela 8, dos 42 trechos avaliados, 11,90% foram classificados como “Alongado” e 88,10% como “Ligeiramente tortuoso”. De acordo com método e o levantamento de campo, o riacho, no que se refere ao seu coeficiente de sinuosidade, se encontra sem modificações antrópicas relevantes. Pois, como foi citado anteriormente na descrição do trecho 3, existe apenas um bueiro de greide com cerca de quatro metros de extensão. Tal bueiro se torna insignificante em relação ao comprimento total do riacho que é de 3,64km ou mesmo no trecho de 100m.

Todos os conjuntos de trechos receberam pontuação 1 o que consequentemente se aplica a cada trecho. Desta maneira, a função hidromorfológica forma do rio e seu parâmetro individual receberam pontuação 1 (inalterado).

5.4.1.2 Potencial de Modificação

O potencial de modificação caracteriza a extensão das intervenções antrópicas no corpo hídrico. Ela mostra mudanças no leito do rio, definidas por medidas estruturais e fornece informações sobre a continuidade do rio. Na avaliação da hierarquia das funções hidromorfológicas o potencial de modificação é o segundo.

5.4.1.2.1 Comprometimento do Leito

No comprometimento do leito do rio, são avaliadas as ações antrópicas de revestimento e estabilização do leito. Aqui foram avaliados 40 trechos, não foram inclusos os 7 trechos que foram considerados inalterados. A Figura 37 apresenta a porcentagem do riacho que está comprometida com revestimento.

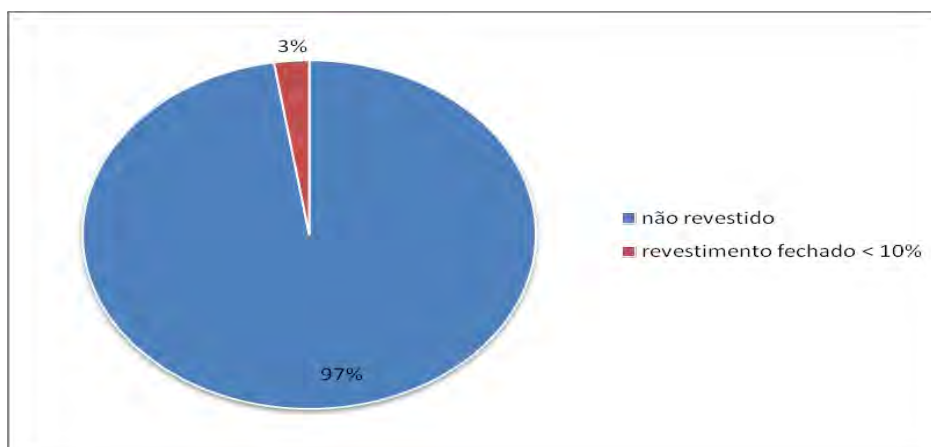


Figura 37 – Gráfico de comprometimento do leito

Como pode ser observado na Figura 37, existem 97% trechos que estão sem revestimento, ou seja, o leito está natural. Estes 3% correspondem ao revestimento existente no trecho 3, onde está localizado o bueiro de greide. Com isso, este parâmetro individual trouxe como resposta, 39 trechos inalterados e, por isso, receberam pontuação 1(inalterado) e a pontuação 3 (moderadamente alterado) foi aplicada em 1 trecho, devido ao revestimento fechado menor que 10%.

5.4.1.2.2 Comprometimento das Margens

Aqui são consideradas todas as construções e materiais introduzidos para estabilizar as margens do rio. A avaliação é realizada separadamente para a margem esquerda e direita, para ser possível observar o grau de modificação. As margens são classificadas da seguinte forma: sem revestimento, isolado, moderado e predominante. A Figura 38 mostra a situação das margens de acordo com o método.

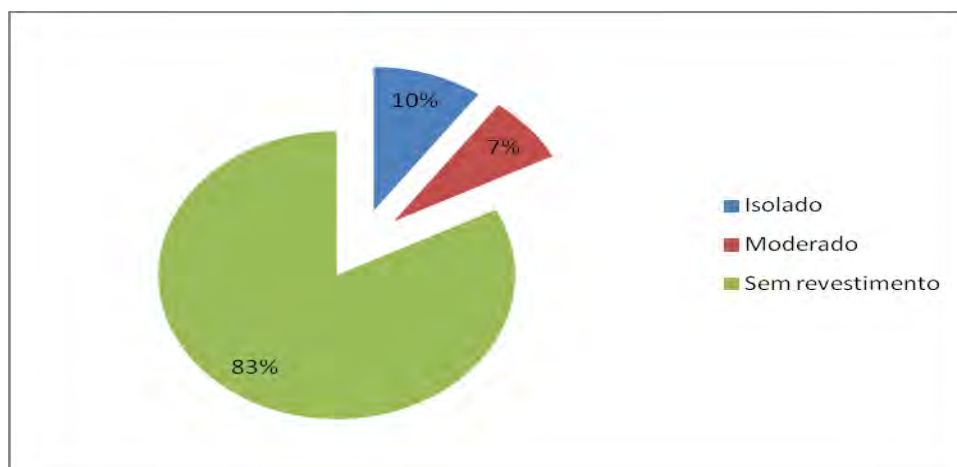


Figura 38 – Gráfico do comprometimento das margens

Como pôde ser observado na figura anterior, 10% das margens têm o comprometimento isolado, o que significa dizer que menos que 10% estão comprometidas. Este comprometimento acontece devido à estabilização que fizeram com vegetação não nativa e com isso em alguns locais não é possível observar as margens e, com isso, receberam a pontuação 3 (moderadamente alterado). Já no trecho 7, o que reveste as margens em menos de 10%, é um vertedor. As margens com comprometimento moderado que representam 7% dos 40 trechos avaliados, tiveram essa pontuação, pois a estabilização das margens está com valores acima de 10%. Isso acontece devido à proximidade com plantações de cana de açúcar e por ser uma área de várzea e por isso, receberam a pontuação 5 (profundamente alterado).

O gráfico mostra também que 83% das margens estão sem revestimento, ou seja, inalteradas e com isso receberam a pontuação 1 (inalterado). As margens estão preservadas com vegetação natural.

5.4.1.2.3 Estrutura Transversal

São consideradas estruturas transversais todas as construções instaladas pelo homem no leito do rio, que atravessam transversalmente ou obliquamente a direção de fluxo. São classificadas como: não disponíveis e estrutura transversal parcial ou total. Os resultados obtidos no levantamento realizado em campo podem ser observados na Figura 39.

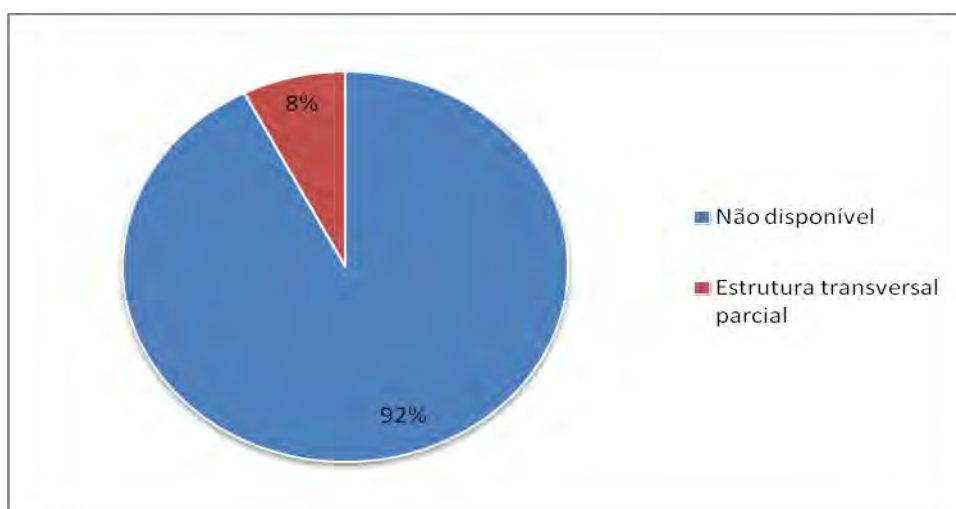


Figura 39 – Gráfico da estrutura transversal

De acordo com gráfico anterior, 92% dos 40 trechos analisados em campo não possuía nenhuma construção transversal, com isso recebeu pontuação 1 (inalterado), pois estavam inalteradas. Já 8% dos trechos estão modificados com estruturas transversais parciais. Dois trechos possuem estruturas transversais maiores que 30cm e receberam pontuação 5 (profundamente alterado), essas estruturas são: o vertedor e o bueiro de greide. Respectivamente localizados no trecho 3 e 7. O trecho 26, local onde está a tubulação abandonada pela Petrobras recebeu pontuação 3 (moderadamente alterado), porque a estrutura era menor que 30cm.

5.4.1.2.4 Padrão de Fluxo

No item 5.3, já foi realizada uma avaliação referente à vazão, contudo não mostrou a classificação de acordo com o método Bávaro, como pode ser visto na Figura 40.

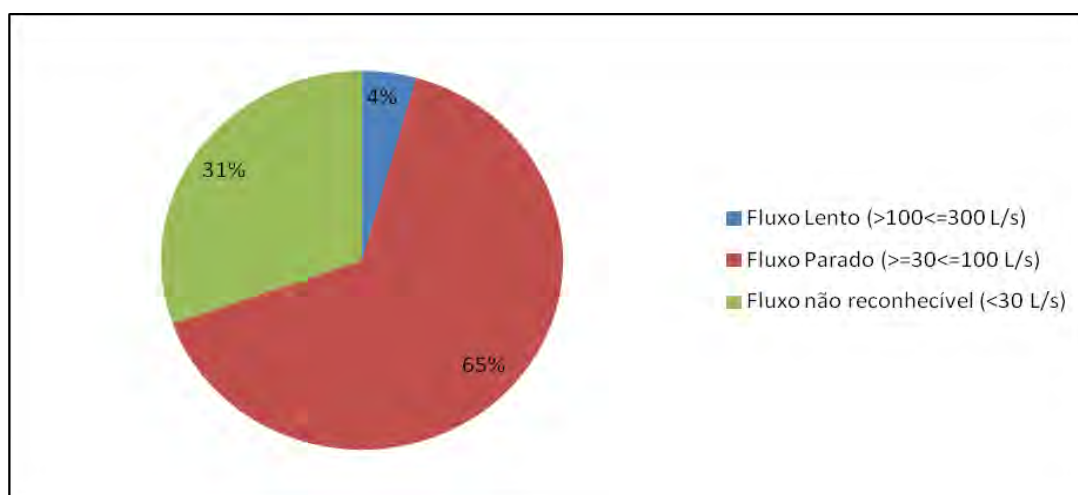


Figura 40 – Gráfico de padrão de fluxo.

O resultado obtido pela vazão mostrou que 65% dos trechos avaliados possuem o fluxo parado, 31% possuem fluxo não reconhecível e apenas 4% possuem fluxo lento, ou seja, o fluxo vai aumentando em direção a jusante. Contudo, essa variação na vazão poderia ser melhor dividida, porque como já foi falado no item 5.3. Não foi possível realizar a medição de vazão nas nascentes nem na jusante, devido à dificuldade de acesso e as condições mínimas para utilização do método de flutuadores.

5.4.1.2.5 Seção Transversal

Este parâmetro avalia a variabilidade das seções transversais do rio. Desta forma, é observado o grau de modificação, referente à estabilização da seção transversal. As principais formas de estabilização são: trapézio, trapézio duplo e perfis em grande parte paralelos (variabilidade largura estreita).

O resultado obtido no levantamento do riacho demonstrou que 100% das seções transversais possui uma forma irregular, assim é possível avaliar que não houve modificações antrópicas para estabilizá-las. Com isso, todos os trechos receberam a pontuação 1 (inalterado).

5.4.1.2.6 Profundidade do Perfil

Profundidade de perfil é a diferença média de altura entre a borda superior da encosta e do nível médio da lâmina d'água (do bordo livre). A diferença média de altura entre o topo dos edifícios e do nível médio de água deve ser observada para barragens existentes perto de corpos de água ou muros de proteção de inundação sem contrafortes. A Tabela 9 mostra o resultado obtido em campo da avaliação desse parâmetro.

Tabela 9 – Profundidade de perfil

	Plano (profundidade < 1m)	Fundo (profundidade > 1m)	Vale em formato de V (sem avaliação)
Quantidade de trechos	8	0	32
Porcentagem	20%	0%	80%

Como pode ser observado na tabela acima, 20% dos trechos foram considerados planos (rios com uma largura de 5 - 10 metros: a profundidade entre a borda e lâmina d'água <1,0 m). Isso acontece nos 8 primeiros trechos, onde o riacho é caracterizado por uma grande área de várzea. A partir do trecho 9, o vale foi se elevando e estreitando. O método não numera vales em forma de V, ficando a avaliação deste parâmetro sem pontuação, e isso representa 80% dos trechos levantados em campo.

5.4.1.2.7 Bueiro

Os bueiros, também chamados de valetas, sarjetas, são as valas, geralmente localizadas ao longo das vias pavimentadas, para onde escoam as águas da chuva drenadas pelo meio-fio/lancil. No método eles são avaliados como modificações antrópicas ao longo do rio. No riacho Guaraíra não foi encontrado nenhum bueiro desse tipo, isso acontece porque o riacho se localiza em uma zona rural, onde as vias são em leito natural e a drenagem é natural. Desta forma, 100% dos trechos levantados em campo foram caracterizados como inalterados, recebendo pontuação 1 (inalterado).

5.4.1.2.1 Canalização do Curso D'água

A canalização dos cursos d'água é procedimento comum em centros urbanos do Brasil. Entretanto, sempre que possível, deve ser evitada, já que a retificação do rio e a aplicação de revestimento liso, como concreto, aumentam a velocidade de escoamento da água. Quando aumenta a velocidade, aumentam também os picos de vazão, por uma questão hidrológica, o que causa um grande impacto a jusante.

O método entende que, a canalização muda drasticamente as características naturais do rio. Isso é claro, quando o método descarta 20 parâmetros individuais da dinâmica do rio ao avaliar que o trecho possui canalização (bueiro de greide) maior que 50%, e o classifica como completamente alterado.

No riacho Guaraíra, apenas um trecho possui canalização (bueiro de greide), o que representa 2,5% dos 40 trechos avaliados, ou seja, 97,5% não possuem canalização e são considerados como inalterados. Essa canalização é encontrada no trecho 3 e possui cerca de 4m de extensão, menos de 10% do comprimento total do trecho. De acordo com o método, esse trecho recebe a pontuação 3 (moderadamente alterado).

5.4.1.3 Potencial de Desenvolvimento

Essa função hidromorfológica avalia os sinais de desenvolvimento que apontam para as complexas atividades antrópicas que atuam sobre o leito do rio. Quatro parâmetros individuais estão subordinados a essa função, que serão apresentadas e avaliadas a seguir.

5.4.1.3.1 Variação de Profundidade

Este parâmetro avalia a frequência da alteração na profundidade do rio e a formação do leito. A variabilidade da profundidade depende fortemente da forma do rio. É observado a sinuosidade do rio e o tipo de sedimento para determinar a extensão e frequência de variabilidade.

No riacho Guaraíra, a variação de profundidade foi avaliada como não classificável nos 40 trechos, porque a variação em grande parte não modificava, isso devido a altura da lâmina d'água, que em média possui 40 cm e raramente chegava a 1m. A avaliação de não determinável, não é pontuada, contudo é considerada inalterada.

5.4.1.3.2 Variação da Largura

A variação da largura avalia a mudança natural da largura das seções transversais do rio. Esse parâmetro representa as médias das condições de fluxo das águas superficiais. Essa variação é bastante visível, por exemplo, nas margens onde se localizam as raízes das árvores ou da vegetação ciliar.

Com base no levantamento de campo, as larguras médias das seções transversais mudaram mais de 20%, alargando ou estreitando, também foi observada, na maioria dos casos uma mudança no padrão de fluxo. Essa transição gradual da largura média do riacho aconteceu devido à presença da mata ciliar e da floresta. De acordo com método, 100% dos trechos tiveram uma variação acentuada da largura das seções transversais, o que significa que estão inalteradas e recebem a pontuação 1 (inalterado).

5.4.1.3.3 Largura da Erosão

Sinais de erosão são observados em rachaduras, falhas e subcotação nas margens. Aqui, a erosão da margem é frequentemente identificada pelas raízes em amostra. A avaliação da erosão das margens depende da mudança na sinuosidade do rio.

De acordo com a avaliação do método, 100% dos trechos avaliados possuem a largura da erosão acentuada. Isso quer dizer que, mais de 25% da extensão de cada trecho do riacho apresentam sinais de erosão nas margens. Deste modo, são consideradas como inalteradas e recebem pontuação 1 (inalterado).

5.4.1.3.4 Deposição

As deposições são as acumulações de sedimentos que podem ser observadas nos cursos médios e baixos de um rio. A deposição atua em conjunto com a erosão, para as mudanças espaciais e temporais das estruturas e do curso do leito do rio. As deposições ocorrem principalmente durante eventos de cheia, quando o material é depositado no rio, devido ao cisalhamento como margem, formando alguns bancos de sedimentos ou algumas ilhas. A Figura 41 mostra o resultado da deposição no riacho Guaraíra.

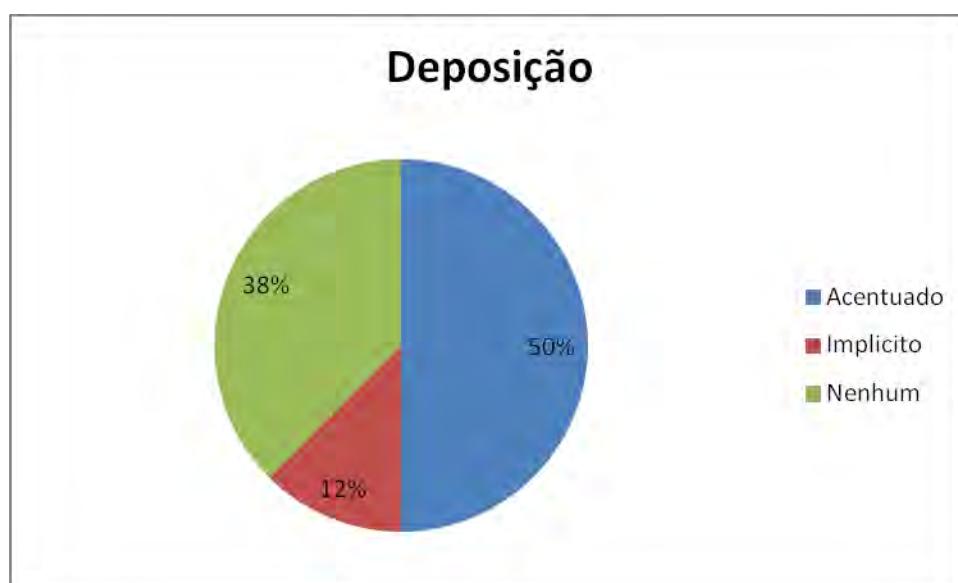


Figura 41 – Gráfico da classificação da deposição.

Como pode ser observado no gráfico acima, 50% dos trechos avaliados possuem a deposição acentuada. Para o método Bávaro, isso significa que pelo menos uma área com deposição claramente visível no trecho é mais larga do que 10% da largura média do canal. Desta forma, receberam pontuação 1 (inalterado).

Já em 38% dos trechos avaliados não foi encontrada deposição. Isso aconteceu porque os trechos se encontram no alto curso do riacho. O método classifica a deposição neste caso como nenhum. Com isso, recebem pontuação 1 (inalterado).

Mas, em 12% a deposição ficou classificada como implícita. Isso significa que pelo menos uma aterragem, sob a forma de tiras estreitas de menos de 10% da largura média do canal. Isso aconteceu nos 5 primeiros trechos, onde a deposição ficava implícita por causa da proximidade com as plantações de cana de açúcar e pelo bueiro de greide existente, como também, pela modificação da vegetação natural. Esses trechos tiveram modificações antrópicas e receberam a pontuação 3 (moderadamente alterado).

5.4.1.4 Aspectos Estruturais

Esta função hidromorfológica resume parâmetros da vegetação de encosta, estruturas especiais e a diversidade de fluxo. Também as características de corpos hídricos, cuja dinâmica do rio foi comprometida por sinais de desenvolvimento humano, devido à remoção de estruturas naturais.

Essa função possui um papel secundário na hierarquia no que tange o grau de modificação do rio. A classificação é baseada na avaliação de quatro parâmetros individuais que serão analisados a seguir. Além dos quatros parâmetros individuais, existem mais três que são apenas a título informativo, ou seja, servem de apoio para os quatros parâmetros avaliado. Esses três parâmetros não recebem pontuação e com isso não serão avaliados.

5.4.1.4.1 Mata Ciliar

Esse parâmetro avalia a vegetação que se apresenta nas margens de rios. É observado o grau de modificação antrópica, pois essa vegetação protege os cursos de água do assoreamento. A preservação dessa vegetação é necessária, pois ela ajuda a sedimentação, ao controle e a redução dos efeitos danosos das enchentes. A Figura 42 mostra a característica dessa vegetação no riacho Guaraíra.

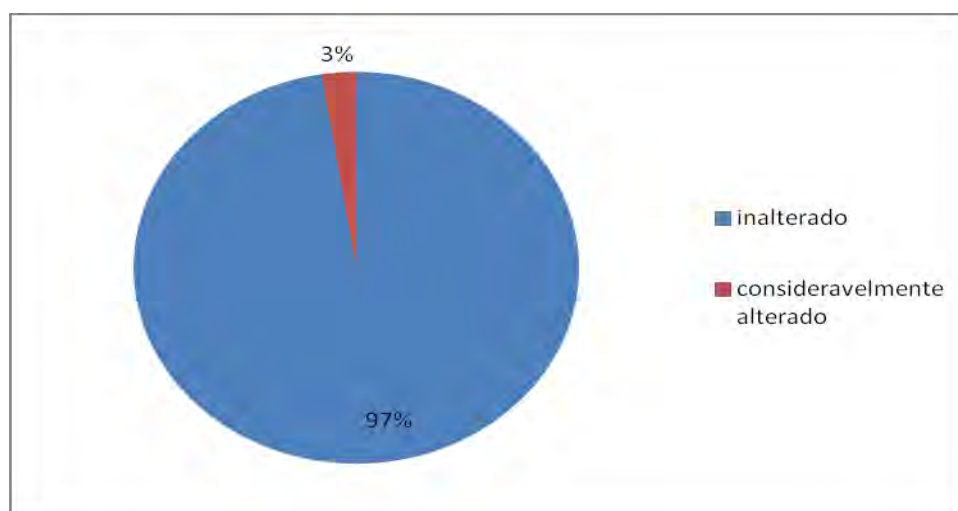


Figura 42 – Gráfico das características da mata ciliar.

Como pode ser observado na Figura 42, de acordo com método, apenas 3% da mata ciliar encontra-se modificada e 97% inalterada. Contudo, essa não é a realidade do riacho.

O método Bávaro considera o menor valor na avaliação como resultado deste parâmetro, ou seja, se na avaliação de um trecho existir uma característica natural, que é pontuada com o valor 1 (inalterado) e alguma modificação que pode ser pontuada com valores entre 2 (levemente alterado) e 7 (completamente alterado), prevalece o menor valor (1). A figura abaixo mostra a real característica da mata ciliar no riacho Guaraíra.

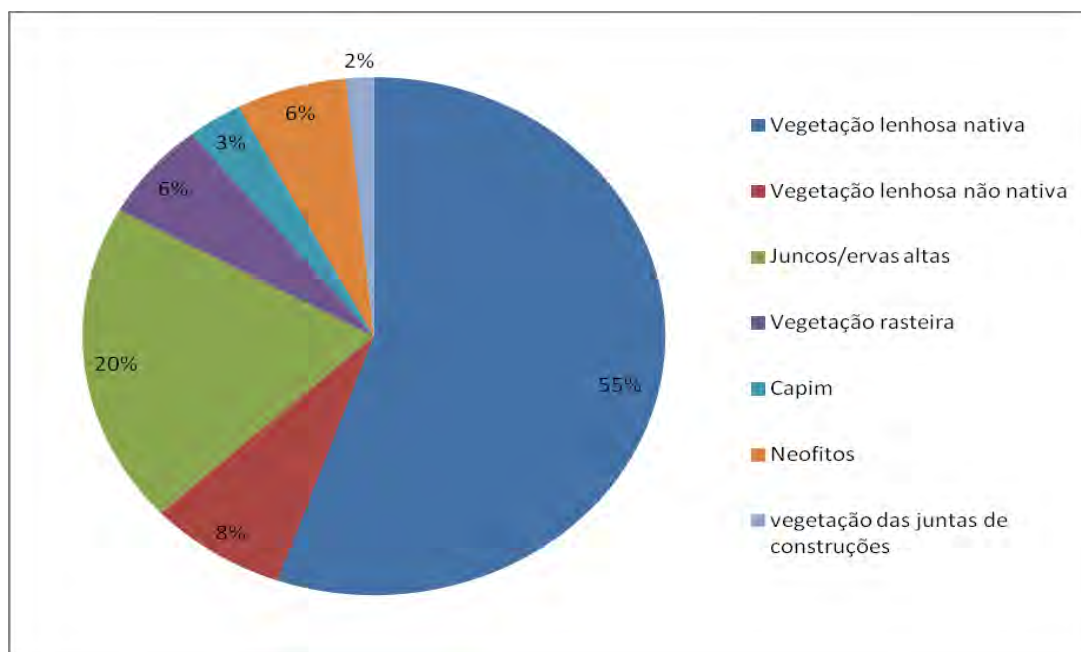


Figura 43 – Gráfico da mata ciliar.

Como pode ser observado na Figura 43, se a avaliação desse parâmetro fosse pelo maior valor de modificação antrópica, ao invés de apenas 3% de modificação, teríamos 25%, que são referentes a vegetação lenhosa não nativa, vegetação rasteira, capim, neófitos e vegetação das juntas de construções.

Esses 25% de mata ciliar modificada encontram-se nos trechos de 1 a 7, local onde a ação antrópica é evidente, tanto pela monocultura da cana de açúcar, quanto pelas obras de engenharia (bueiro de greide e vertedor).

5.4.1.4.2 Estruturas Especiais do Leito

Esse parâmetro avalia o grau de modificação existente no leito do rio, no que se refere às estruturas especiais, e que são caracterizadas de acordo com método como: Baía, Abrigo, Queda de árvore, Coleta de madeira, raízes e Vegetação dominante. São avaliadas da seguinte forma:

1. Acentuada (três ou mais estruturas especiais);

2. Moderado (uma ou duas estruturas especiais);
3. Não disponível (sem estruturas especiais).

De acordo com o levantamento de campo, a classificação das estruturas especiais do leito pode ser observada na Figura 44.

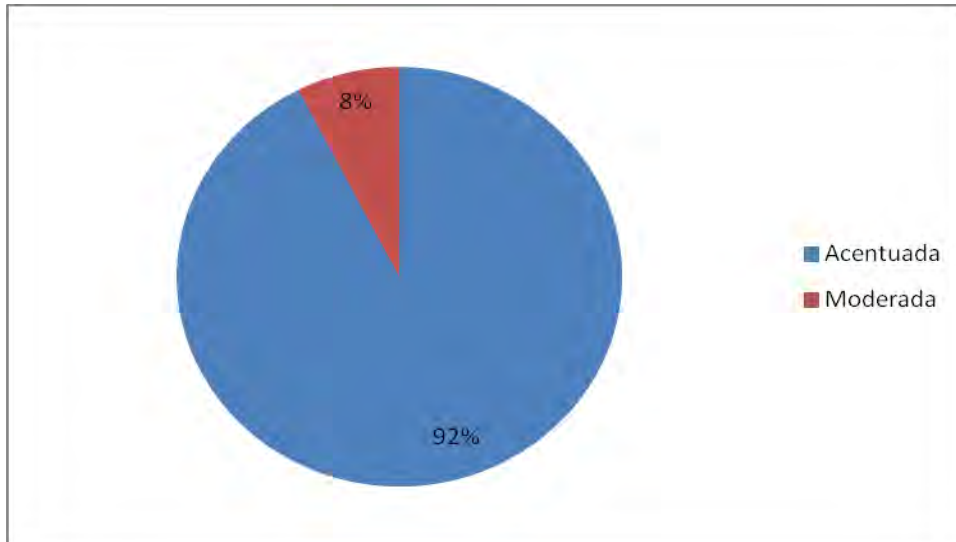


Figura 44 – Gráfico das estruturas especiais do leito.

A partir do gráfico acima, é possível observar que 92% das estruturas são acentuadas, o que significa que possuem mais de três estruturas ao longo do trecho de 100m, com isso recebem pontuação 1 (inalterado). Mas também, se observa que 8% de todos os trechos avaliados estão com estruturas especiais classificadas como moderada. Esses 8% correspondem aos trechos de 3 a 5, isso porque a ação antrópica nesses locais é bastante perceptível, com isso, o método pontua esses trechos com o valor 4 (consideravelmente alterados).

5.4.1.4.3 Faixa de Vazão

O parâmetro individual faixa de vazão avalia a diferenciação espacial dos padrões de fluxo de acordo com as características de solo, em diferentes locais do canal: nas margens e no meio. É avaliada da seguinte maneira:

1. Muito grande (quatro ou mais padrões de fluxo);
2. Grande (três padrões de fluxo);
3. Moderado (dois padrões de fluxo);
4. Nenhum (padrão de fluxo uniforme).

A partir do levantamento de campo, a classificação das faixas de vazão pode ser observada na Figura 45.

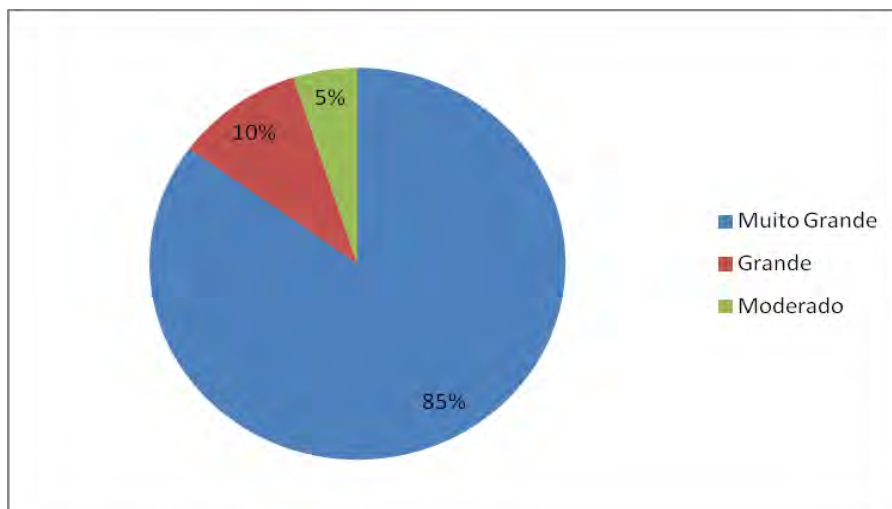


Figura 45 – Gráfico da classificação da faixa de vazão.

De acordo com os resultados obtidos em campo, o método mostra que 85% possui uma faixa de vazão muito grande. Isso acontece porque o riacho possui grandes quantidades de deposições, estruturas especiais do leito, como também, a partir do trecho 21 existe o afloramento de arenito que se estende até as nascentes do riacho, desta forma esses trechos recebem pontuação 1 (inalterado). Já 10% das faixas de vazões foram classificadas como grande, esses se encontram nos locais com algum resquício de alteração antrópica, entre os trechos 2 e 7, mas de acordo com método estão inalterados e recebem pontuação 1. E apenas 5% foram classificados como moderado, porque são locais onde a alteração antrópica é bastante perceptível (trecho 3 e 4) e as mudanças de faixas de vazões são poucas.

5.4.1.4.4 Diversidade do Substrato

Esse parâmetro individual coleta e avalia a frequência e a magnitude da mudança dos diferentes tipos de substratos existentes no rio, e para isso tem o auxílio de dois parâmetros individuais que não recebem pontuação e são utilizados para caracterizar e quantificar a diversidade do substrato. São eles: substrato do leito mineral, orgânico e substrato das margens.

Com o levantamento de campo, 100% da diversidade do substrato do solo do riacho foi classificado como muito grande, que significa a presença de cinco ou mais substratos

que podem ser mineral ou orgânico. Para o método, os 40 trechos estão inalterados no que se refere a esse parâmetro e, desta forma, receberam pontuação 1 (inalterado).

5.4.2 Dinâmica de Várzea

Aqui nesse subsistema, serão aplicados e analisados três funções hidromorfológicas e seis parâmetros individuais, sendo quatro diretamente incluídos na avaliação e dois para auxílio da avaliação. Com isso, é possível realizar um diagnóstico da várzea com relação à sua estrutura.

5.4.2.1 Retenção

A retenção é a função hidromorfológica mais importante da dinâmica da várzea, pois ela atenua as inundações, reduzindo a taxa de fluxo e, assim, mitigando os picos de fluxos. São locais para o desenvolvimento intrínseco da dinâmica do leito. A retenção captura materiais sólidos inerentes a rugosidade e com isso reduz a velocidade do fluxo nos períodos de cheias e promove a sedimentação do material em suspensão.

5.4.2.1.1 Estruturas de Controles de Cheias

O parâmetro avalia a existência de estruturas de controle de enchentes que restringem as várzeas. As principais estruturas são: diques, barragens, reservatórios, aterros e paredões de controle.

No riacho Guaraíra não foram encontradas estruturas de controle, que segundo o método são classificadas como não disponíveis. Então, de acordo com o levantamento de campo, as várzeas do riacho estão 100% livres de estruturas contra cheias, ou seja, são consideradas como inalteradas e recebem pontuação 1 (inalterado).

5.4.2.1.2 Capacidade de Transbordamento

Esse parâmetro avalia a capacidade de transbordamento do rio, através de séries históricas ou levantamentos de campo. A partir do levantamento de campo foi possível observar que a capacidade de transbordamento está inalterada, pois ao longo do riacho enxergou-se que a vegetação estava levemente inclinada em alguns trechos e em outros

com uma inclinação mais acentuada no sentido da jusante. Deste modo, o método afirma que 100% dos trechos estão com sua capacidade de transbordamento natural, ou seja, inalterados e com isso todos os trechos recebem pontuação 1 (inalterado).

5.4.2.2 Estrutura das Margens

A estrutura das margens faz parte da área de várzea e serve como uma área de retenção, e também satisfaz funções ecológicas referentes à hidromorfologia. Deste modo, a intensidade de uso das margens fornece informações sobre a adequação da área para o desenvolvimento do rio.

5.4.2.2.1 Uso das Margens do Rio

Nesse parâmetro individual são avaliados os tipos de usos do solo nas margens, que ocupam mais de 50% de cada trecho. De acordo com o método, o uso das margens se dá da seguinte forma:

1. Largura inferior a 10m: avaliação de 10m em ambas as margens;
2. Largura entre 10 e 80m: avaliação de 20m em ambas as margens;
3. Largura maior que 80m: avaliação de 40m em ambas as margens.

De acordo com o levantamento do campo, as estruturas das margens do riacho Guaraíra estão dispostas da seguinte forma:

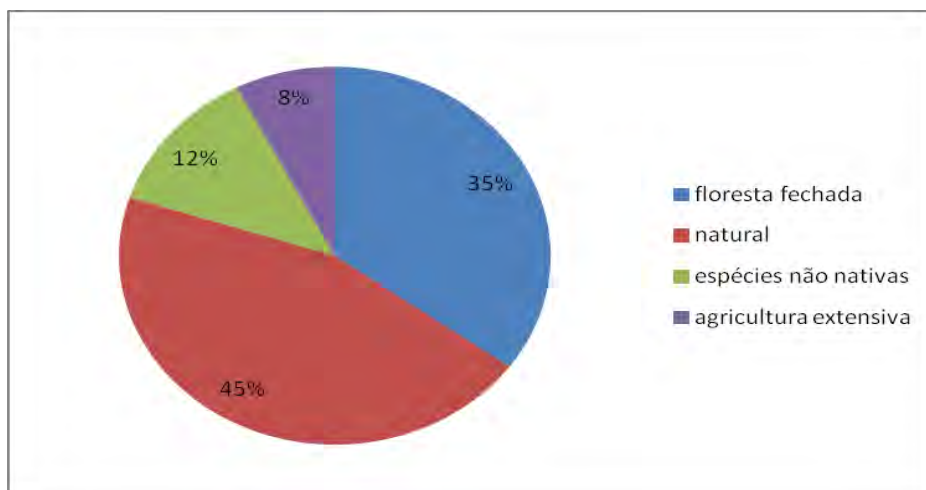


Figura 46 – Gráfico das estruturas das margens.

Como pode ser observado na Figura 46, 35% das margens foram classificadas como floresta fechada, que de acordo com método, possuem 80% de cobertura de árvores e

arbustos à beira do riacho, e com isso receberam pontuação 1 (inalterado). Já 45% foram classificadas de acordo com método como natural, porque não possuem área de várzea. Isso aconteceu, devido à formação dos vales em V nesses trechos. Também receberam pontuação 1(inalterado). As margens estão ocupadas por 12% de espécies não nativas, que estão distribuídas nos primeiros trechos, local onde a presença da monocultura da cana de açúcar é bastante clara. Com isso, receberam pontuação 5 (profundamente alterado). Os 8% dos trechos foram classificados como agricultura extensiva, que segundo o método, são margens com a presença de no mínimo 25% de floresta e agricultura menor que 10%. Desta forma, foram classificados com pontuação 3 (moderadamente alterado).

5.4.2.3 Potencial de Retenção da Matéria

Para essa função hidromorfológica o uso de terra é considerado um indicador da capacidade de retenção da matéria. Essa função desempenha um papel importante para a retenção de sólidos. O tipo de uso do solo também afeta o escoamento. A capacidade de retenção da matéria é utilizada como uma característica para a avaliação do complexo funcionamento da várzea.

5.4.2.3.1 Uso das Várzeas

Esse parâmetro individual avalia a predominância no uso do solo dentro de um trecho. Os principais tipos de uso são distinguidos pela utilização de 50% do solo da várzea, em cada trecho. A Figura 47 mostra as características do uso da várzea no riacho Guaraíra.

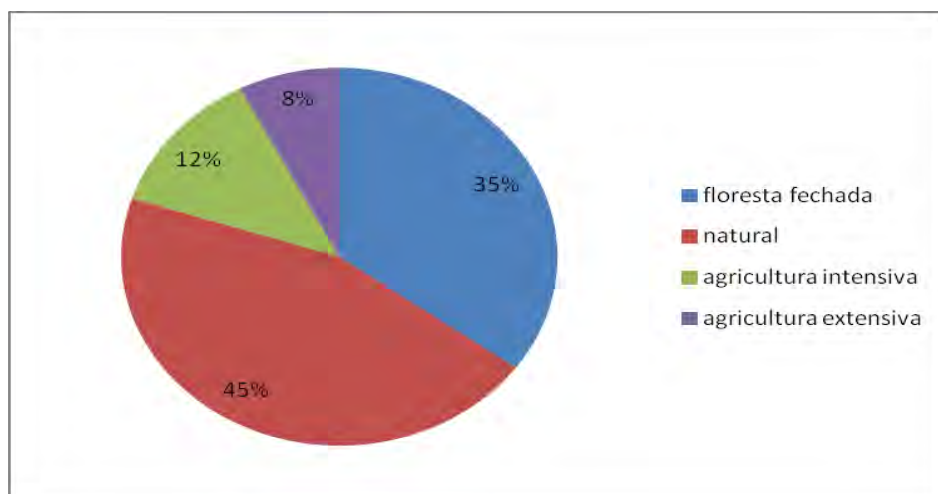


Figura 47 – Gráfico dos usos das várzeas.

Como pode ser observado na Figura 47, os resultados desse parâmetro individual (Usos das Várzeas) são idênticos ao anterior (Uso das Margens do Rio), de forma que todos os comentários realizados no parâmetro anterior são válidos aqui também. Isso ocorreu porque localização física desses parâmetros é bem próxima e por isso, não houve diferenciação em suas características estruturais.

5.5 Situação Hidromorfológica com o Método Bávaro

A partir de todo o levantamento de campo e inserção no SIG das informações dos trechos avaliados, foi possível criar uma mais coluna na tabela de atributos, além das 26 colunas já existentes nessa tabela para analisar todos os parâmetros individuais. A última coluna criada representa o somatório do grau de modificação do riacho Guaraíra, cuja variação vai de 1 (inalterado) a 7 (completamente alterado). Desta forma, essa classificação pôde ser espacializada.

Com a espacialização do grau de modificação pelo método Bávaro, foi possível avaliar as condições hidromorfológicas do riacho Guaraíra, tal condição pode ser Observada na Figura 48.

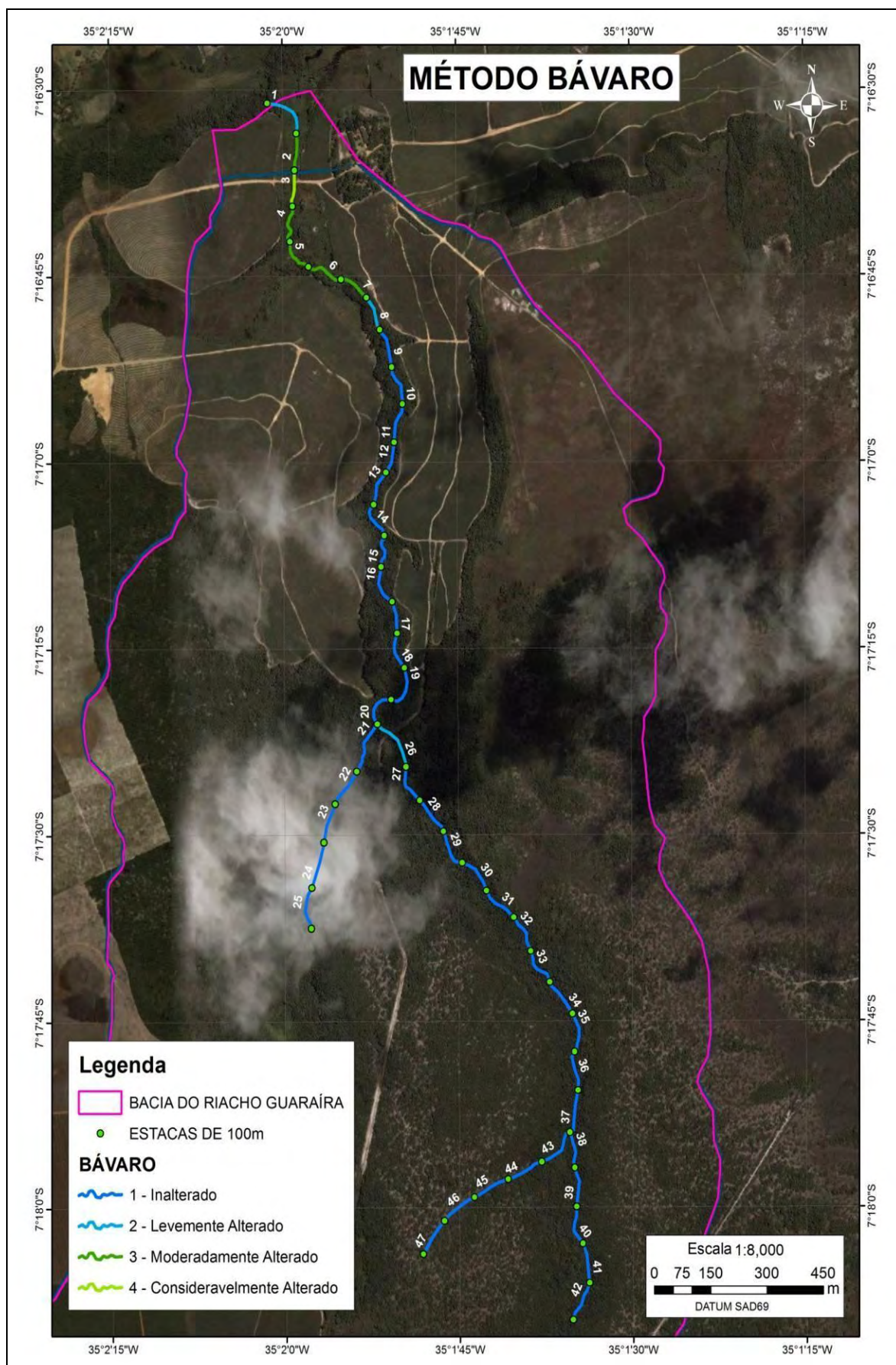


Figura 48 – Condição hidromorfológica do riacho Guaraíra.

Como pode ser observado na Figura 48, apenas o trecho 3 ficou classificado como consideravelmente alterado, isso aconteceu devido a todas as características que foram mostradas neste trabalho. A afirmação se aplica aos outros trechos que estão próximos ao trecho 3, que tiveram sua classificação hidromorfológica definida como moderadamente alterada. Já os trechos 1, 8 e 26 foram classificados como levemente alterados, pois tiveram poucas modificações, que ocorreram por estarem próximas aos trechos acometidos por mudanças antrópicas e com isso foram afetados, como também, no caso do trecho 26 que sofreu uma alteração devido à tubulação de concreto deixada pela Petrobrás.

Desta forma, a condição hidromorfológica do riacho Guaraíra, de acordo com o método Bávaro pode ser graficamente apresentada na Figura 49.

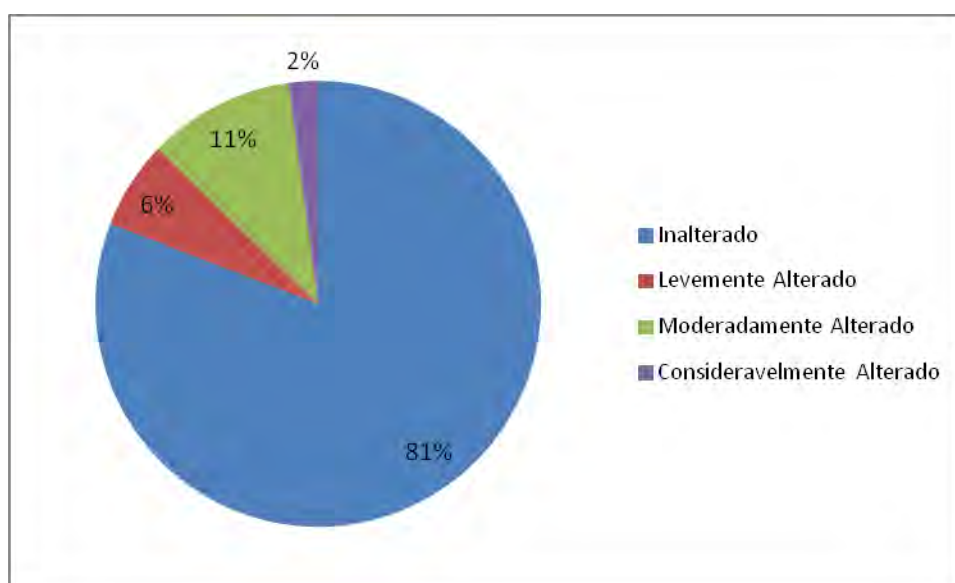


Figura 49 – Gráfico da situação hidromorfológica do riacho Guaraíra.

O gráfico acima mostra que 81% do riacho encontram-se inalterados e 19% com algum tipo de alteração. Assim, é possível observar que mesmo com a forte presença da monocultura da cana de açúcar no entorno do riacho, os resultados mostram que a grande maioria do riacho encontra-se com suas características naturais. Já na bacia hidrográfica do riacho Guaraíra mais de 30% das suas características naturais foram alteradas pela monocultura da cana de açúcar, pelo abacaxi e por edificações. Isso mostra que a bacia hidrográfica do riacho Guaraíra também possui a maior parte de sua área preservada, mesmo com a forte presença da ação humana.

5.6 Considerações sobre a aplicação do Método Bávaro

O requisito geral para análise de um método de avaliação hidromorfológica é a repetitividade de todos componentes. Pois, de acordo com Reh e Kraus (2009), isso significa que “pessoas diferentes têm que alcançar os mesmos resultados usando o método para o mesmo local”.

O método Bávaro tem a descrição muito detalhada do mapeamento para classificar os parâmetros individuais. Os estados de desvios do modelo são mostrados de forma clara e convincente nas regras de avaliação mostradas na ficha de cadastro.

Os valores limites mencionados na descrição do mapeamento para vários níveis de avaliação no método são baseados no conhecimento científico e na experiência de campo. Isso significa que os valores limite foram gerados por resultados de monitoramento e experiência de campo, e são baseados em conhecimentos técnicos nas áreas de engenharia, geologia, cartografia e recursos hídricos.

O método de análise é estruturado num modo que as diferenças específicas nas regras de avaliação possam ser levadas em conta. Então, o método requer um alto nível de comparabilidade.

O método Bávaro tem uma orientação detalhada da forma de mapeamento e nas regras de avaliação. Os parâmetros individuais, bem como sua avaliação são documentados com fichas de cadastro para cada trecho. Portanto, em qualquer momento é possível montar uma conclusão dos dados finais coletados e a orientação de mapeamento para os resultados finais. Então, existe uma transparência de 100% dos dados originais para a avaliação final.

O método é muito extenso e detalhado. O alto nível de detalhes resulta, por um lado, em um número relativamente alto de parâmetros individuais (26 no total), por outro lado sua aplicação é em pequenos trechos de 100m. Uma agregação dos trechos com as mesmas características estruturais não são permitidas pelo método.

A margem esquerda e a margem direita são analisadas separadamente em alguns parâmetros individuais (1.3 comprometimento da margem, 1.14 mata ciliar, 1.15 estruturas especiais do leito, 2.3 uso das margens, 2.4 uso das várzeas). Uma vez que essa multiplicidade de parâmetros é bem descrita por completo através de códigos de mapeamento, é possível fazer uma estimativa de acordo com o mapeamento.

A coleta dos parâmetros fica difícil para o mapeamento de corpos hídricos com largura maior que 30m. Isso porque a avaliação de alguns parâmetros é referente à largura.

Portanto, é mais difícil realizar uma estimativa de parâmetros individuais que necessitam de informações das margens ou próximas a elas, tais como: 1.12 largura da erosão, 1.13 deposição e 1.14 mata ciliar. Existem também alguns parâmetros dentro do método que também não são avaliados devido a grandes larguras e profundidades, são eles: 1.2 comprometimento do leito, 1.10 variação da profundidade e 1.17 diversidade do substrato.

De acordo com a descrição do método bávaro, a avaliação dos corpos hídricos é dirigida a usuários com um apropriado conhecimento prévio. Na medida em que a experiência avança, o entendimento no gerenciamento dos recursos hídricos e o conhecimento prévio se tornam necessários para analisar os dados básicos e preparar o mapeamento. Aplicação em campo pode ser facilmente realizada após concluir os preparativos de mapeamento em escritório, devido à excelente orientação do mapeamento. O conhecimento do rio a ser estudado é importante, pois facilita o planejamento e execução do trabalho de campo.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Conclui-se neste trabalho que, o método Bávaro é muito detalhista em sua avaliação das condições hidromorfológicas de rios. Ele pode ser utilizado como ferramenta de planejamento na gestão dos recursos hídricos, através de estudos e projetos em que os recursos financeiros sejam aplicados de forma objetiva para restauração dos locais modificados pela ação do homem. Um exemplo para aplicação de recursos financeiros de forma objetiva é o riacho estudado, que possui 33,63% da área da bacia hidrográfica ocupada pela cultura da cana-de-açúcar e do abacaxi e apesar disso, apenas 19% de seus trechos foram modificados de alguma forma.

Com o mapeamento foi possível detectar que 89% dos trechos modificados são de jusante e 11% dessa modificação estão a partir da bifurcação do riacho. Também com o método a aplicação de recursos fica exclusiva a esses locais modificados, com isso gera economia de recursos financeiros, além da redução do tempo no planejamento e na execução de obras de restauração.

O método representou a realidade das condições hidromorfológicas do riacho Guaraíra através das informações obtidas principalmente em campo. Desta forma, a partir da espacialização dos dados foi possível comprovar as informações coletadas em campo pelas respostas dadas pelo método com as fichas de cadastro, onde foi possível observar as variações existentes no método (1 inalterado e 7 completamente alterado). Assim, o método mostrou os locais onde ação antrópica modificou as características naturais do riacho, como por exemplo: a cana-de-açúcar próxima às margens, a modificação da vegetação natural e obras de engenharia realizadas no riacho (vertedor, bueiro de greide e tubulação de concreto). Também ficaram claros os locais onde riacho está inalterado. Nesses locais a vegetação encontra-se fechada e os vales em forma de V.

A partir do método, também é possível observar os principais fatores que alteram a morfologia do rio, por exemplo, a função hidromorfológica Forma do Rio que a partir da sinuosidade consegue-se enxergar alterações na dinâmica natural do rio. Como também o parâmetro individual canalização do curso d'água, que avalia o processo de canalização e retificação, fato que altera drasticamente a dinâmica natural do rio.

O método exige dados muito pormenorizados sobre uma multiplicidade de parâmetros individuais. Desta forma, leva-se muito tempo para realizar o levantamento de campo com o método Bávaro. Isto porque a familiarização método em campo demanda tempo, pois ele é complexo, extenso e a coleta de dados é muito detalhada.

O tempo para o preenchimento manual das informações foi um fator considerável no levantamento de campo. Para desenvolver este trabalho, muitas fichas de cadastros foram utilizadas. O trabalho de mapeamento poderia ser mais fácil e mais eficiente usando um Tablet com *software* de SIG e um banco de dados correspondente.

No método Bávaro todas as funções hidromorfológicas são descritas por parâmetros individuais. Isto significa que o método Bávaro avalia todos os parâmetros necessários que descrevem a situação hidromorfológica de um corpo hídrico. Estruturas importantes são ainda avaliadas várias vezes por causa do alto nível de detalhe do método.

Além disso, existem outros parâmetros que poderiam ser levados em consideração para uma avaliação hidromorfológica mais completa, em relação ao estado de alteração de um rio. O método croata citado neste trabalho apresenta obras de engenharia como estruturas causadoras de impactos a estrutura física do rio. Nesse método, consideram-se mais do que a própria hidromorfologia do rio, incluem-se, ainda, dentre outros, obras de diques, gabiões, vertedouros, que são fatores de modificação da estrutura do rio que não constam no método Bávaro.

Com a vivência durante a experiência de mapeamento com o método Bávaro, é necessário um extenso período de treinamento para usar o método de forma apropriada. A tradução para outra língua dos parâmetros individuais e sua categorização foram as principais dificuldades nesse caso. E com isso, as principais recomendações para o método são:

- a) Aplicação do método em projetos de pesquisas para divulgação dessa metodologia;
- b) Avaliação por imagens de satélite de alta resolução para locais de difícil acesso;
- c) Avaliação anual dos corpos hídricos em que o método foi aplicado;
- d) Aplicação do método em locais com maior grau de antropismo para observar suas respostas.

REFERÊNCIAS

AESA – AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA. **Relatório anual sobre a situação do Recursos Hídricos no estado da Paraíba. Ano 2008/2009.** AESA, Paraíba, 95p. 2009.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1984). **Solo: Análise granulométrica.** NBR 7181: método de ensaio. Rio de Janeiro.

ANA (2005). **Cadernos de Recursos Hídricos: Panorama do enquadramento dos corpos d'água.** ANA, Brasília, 37p. Maio, 2005.

ARTURO, E. SERGI S (2012). **Effects of hydromorphological impacts on river ecosystem functioning: a review and suggestions for assessing ecological impacts.** Hydrobiologia. 15p.

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT. (2002). **Kartier-und Bewertungsverfahren Gewässerstruktur: Erläuterungsbericht, Kartierund Bewertungsanleitung.** Lazarettstraße 67, D-80636 München.

BINDER, W. **Rios e Córregos, Preservar - Conservar – Renaturalizar. A Recuperação de Rios, Possibilidades e Limites da Engenharia Ambiental.** Rio de Janeiro: SEMADS, 2001 41p.: il. ISBN 85-87206-04-4. Cooperação Técnica Brasil-Alemanha, Projeto PLANÁGUASEMADS/ GTZ.

BIS, B., USSEGLIO-POLATERA, P. (2004). **STAR: Framework Method For Calibrating Different Biological Survey Results Against Ecological Quality Classification To Be Developed For The Water Framework Directive.** DELIVERABLE N2 - Species Traits. EC: EVK1-CT-2001- 000895; 145pp.

BOIX, D., E. GARCÍA-BERTHOU, S. GASCON, L. BENEJAM, E. TORNE'S, J. SALA, J. BENITO, A. MUNNE', C. SOLA' & S. SABATER, (2010). **Response of community structure to sustained drought in Mediterranean rivers.** Journal of Hydrology 383: 135–146.

HENRIQUES. G. A; WEST. A. C; PIO. S. (2000). **Directiva quadro da água um instrumento integrador da política da água da união europeia.** V Congresso da Água, Setembro de 2000, Lisboa.

CARBALLO, R. CANCELA · J. J. IGLESIAS G. MARÍN, A. · X. X. NEIRA · T. S. CUESTA. (2008). **WFD Indicators and Definition of the Ecological Status of Rivers.** Water Resources Management.

COELHO, V. H. R. (2011). **Monitoramento e análise da variação do nível d'água para estimativa da recarga do aquífero livre da bacia ao Rio Gramame – PB.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em engenharia urbana e ambiental, Universidade Federal da Paraíba – João Pessoa/PB.

COMISSÃO EUROPÉIA (2000). **Introduction of the new EU Water Framework Directive. 2000.** DIRECTIVA 2000/60/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO. Jornal Oficial das Comunidades Europeias de 23 de Outubro de 2000.

CUNHA, S. B. (1994) “**Geomorfologia fluvial**”. In: **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos Org. por Guerra, A. J. T.; Cunha, S. B.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. pp 150-161.

CHRISTOFOLETTI, A. (1980) **Geomorfologia**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blucher. p. 65-101.

_____. **Geomorfologia fluvial** (1981). São Paulo: Edgard Blucher. 313 p.

CUK, R., VUSKOVIC, I., CIKORONJA, M., SURMANOVIC, D., SIRAC, S., KEROVEC, M. & MIHALJEVIC, Z. (2010): **Saprobic status of running waters in Croatia based on benthic macroinvertebrates**. Nat. Croat., Vol. 19, No. 2, 389–406, Zagreb.

DAVID G., ANDREW T., CORINE D. (2004). **Detection of estuarine and tidal river hydromorphology using hyper-spectral and LiDAR data: Forth estuary, Scotland**. Estuarine, Coastal and Shelf Science. v, 61. p. 379 –392.

ELOSEGI, A., J. R. DÍEZ & M. MUTZ. (2010). **Effects of hydromorphological integrity on biodiversity and functioning of river ecosystems**. Hydrobiologia 657: 199–215.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. (2009). **Water Resources Across Europe: Confronting Water Scarcity and Drought**. EEA Paper 2/2009. Copenhagen.

FLEISCHHACKER, T., KERN, K., SOMMER M. (2002). **Ecomorphological Survey of Large Rivers Manual**. German Federal Institute of Hydrology, Koblenz.

FRANÇA JUNIOR, P. (2010). **Análise do uso e ocupação da bacia do córrego pinhalzinho ii utilizando geoindicadores, umuarama-pr, 1970-2009**. 2010. 84p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá PR.

FURRIER, M.; ARAÚJO, M. E. de.; MENESES, L. F. (2006). **Geomorfologia e Tectônica da Formação Barreiras no Estado da Paraíba**. Geologia USP Série Científica. v.6, p.61-70.

FURSE, M.T., HERING, D., BRABEC, K., BUFFAGNI, A., SANDIN, L., VERDONSCHOT, P.F.M. (2006). **The ecological status of European rivers: evaluation and intercalibration of assessment methods (Developments in Hydrobiology)**. Springer-Kluwer AP, 562pp.

GOTTARDO S., SEMENZIN E., GIOVE S., ZABEO A., CRITTO A., DE ZWART D., GINEBRED A., VON DER OHE P.C, MARCOMINI A. (2011). **Integrated Risk Assessment for WFD Ecological Status classification applied to Llobregat river basin (Spain). Part II — Evaluation process applied to five environmental Lines of Evidence**. Science of the Total Environment v, 50 530 – 542.

HABDIJA I. (2008): **Implementation of Water Framework Directive European Union to Croatian Inland Surface Waters**. Institute of Water Management and Department of Protection from Adverse Effects of Waters.

HRVATSKA, V. (2008). **Assessment of hydromorphological status and assessment of risks to achievement of good ecological status of water as a result of hydromorphological alterations**. Institute of Water Management and Department of Protection from Adverse Effects of Waters.

IBESA (2004). **Bacia Experimental do Rio Guaraíra**. Projeto financiado pela Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP.

INAG. (2009). **CrITÉrios pra Classificação do Estado das Massas de Águas Superficiais – Rios e Albufeiras**. Instituto da Água, I.P, Lisboa. Setembro de 2009.

JUNGWIRTH M., HAIDVOGEL G., MOOG O., MUHAR S., SCHMUTZ S. (2003). **Ange wandte Fischökologie an Fließgewässern**. Facultas Verlags- und Buchhandels. AG, Wien.

KINSINGER, C. LÖFFLER, L. (1995). **Die Bedeutung der Gewässerstruktur und -morphodynamik beim Fließgewässerschutz, in: Magazin Forschung 2/1995**. Universität des Saarlandes, Saarbrücken, S. 17-22.

LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) (2000). **Gewässerstrukturgütekartierung in der Bundesrepublik Deutschland, Verfahren für kleine bis mittelgroße Fließgewässer**, Berlin.

_____. (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) (2004). **Gewässerstrukturkartierung in der Bundesrepublik Deutschland - Überblicksverfahren**. Kulturbuch-Verlag GmbH. Berlin.

LÖFFLER, E.; KINSINGER, C. & HONECKER, U. (2004): **Struktur und Dynamik von Fließgewässern: Untersuchungen im Rahmen der EU- Wasserrahmenrichtlinie**. In: *Magazin Forschung* 2(2004):12-17.

LIMEIRA, M, C, M; SILVA, T, C; CÂNDIDO, G, A. (2010). **Gestão Adaptativa e Sustentável para a Restauração de Rios: Parte I Enfoques Teóricos sobre Capacitação Social**. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 15 n.1 Jan/Mar 2010, 17-26

LYONS, K. G., C. A. BRIGHAM, B. H. TRAUT & M. W. SCHWARTZ. (2005). **Rare species and ecosystem functioning**. *Conservation Biology* 19: 1019–1024.

MACEDO, D. R.; CALLISTO, M.; MAGALHÃES JR, A. P. (2011). **Restauração de Cursos d'água em Áreas Urbanizadas: Perspectivas para a Realidade Brasileira**. RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 16 n.3 - pp, 127-139.

MAH, P.R., MIKOŠ, M., BIZJAK, A. (2010). **Hydromorphological classification of Slovenian rivers**. *Acta Geographica Slovenica* v. 50, p. 201-229. Issue 2, 2010

NIELS R., ROAR J., LISA B., STELLA B., FLEMMING M., PETER B. G. (2010). **Estimating resource costs of compliance with EU WFD ecological status requirements at the river basin scale**. Journal of Hydrology. v. 396. p 197 – 214.

OLIVEIRA, C. C. de; MARQUES D. M. (2008) **Proteção e qualidade dos recursos hídricos brasileiros: contribuições da diretiva europeia**. Revista de Gestão de Água da América Latina (REGA) – Vol 5, no. 1, p. 5-12, jan./jun. 2008

ORR H.G, LARGE A.R.G, NEWSON M.D. WALSH, C.L. (2008). **A predictive typology for characterising hydromorphology**. Geomorphology. v,100. p 32 – 40.

OTTO A. U, REH W. (1999). **Gewässerstruktur. Untersuchungen zur Analyse und zur Bewertung der ökomorphologischen Struktur von Fließgewässern**. Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz. Faber Druck.

PDRH. (2000). **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Gramame**. SEMARH/SCIENTEC.

PATT H., JÜRGING P., KRAUS W. (2004): **Naturnaher Wasserbau. Entwicklung und Gestaltung von Fließgewässern**. Springer.

PIZELLA, D. G.; SOUZA, M. P. (2007). **Análise da sustentabilidade ambiental do sistema de classificação das águas doces superficiais brasileiras**. Eng. Sanit. Ambient. [online]., vol.12, n.2, pp. 139-148.

RAVEN, P.J.; HOLMES, N.T.H.; CHARRIER, P.; DAWSON, F.H.; NAURA, M.; BOON, P.J. (2002). **“Towards a harmonized approach for hydromorphological assessment of rivers in Europe: a qualitative comparison of three survey methods”**. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems. v 12, pp. 405–424.

REH J, KRAUS R. (2009) **Comparison of different hydromorphological assessment methods on the example of Croatian surface water bodies**. 2009. 197p. Dissertação de Mestrado - Fachhochschule Weihenstephan, Freising.

RICART, M., H. GUASCH, D. BARCELO, R. BRIX, M. H. CONCEIÇÃO, A.GEISZINGER, M. LÓPEZ DE ALDA, J. C. LÓPEZ-DOVAL, I. MUNOZ, A. M. ROMANI, M. VILLAGRASA & S. SABATER, (2010). **Primary and complex stressors in polluted Mediterranean rivers: pesticide effects on biological communities**. Journal of Hydrology 383: 52–61.

RINALDI, M.; SURIAN, N.; COMITI, F.; BUSSETTINI M. (2012). **A method for the assessment and analysis of the hydromorphological condition of Italian streams: The Morphological Quality Index (MQI)**. Geomorphology, <http://dx.doi.org/10.1016/2012.09>

SCHEIFHACKEN, N., HAASE, U., GRAM-RADU, L, KOZOVYI, R. , BERENDONK, T.U. (2001). **How to assess hydromorphology? A comparison of Ukrainian and German approaches**. Environmental Earth Sciences, p 1-17.

SCHREINER, O, H. **Avaliação da Disponibilidade de água na Bacia hidrográfica do Rio Botucari para atender a demanda de arroz irrigado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia: Energia, Ambiente e Materiais). Universidade Luterana do Brasil. 2003.

SILVA, Alexandre M.; SCHULZ, Harry E.; CAMARGO, Plínio B. (2003) **Erosão e Hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. São Carlos - São Paulo: RiMa. 2003. 37 p.

SILVA, J. F. C. B. C. (2009). **Análise espacial das características hidrodinâmicas e do uso e ocupação do solo da bacia experimental do riacho Guaraíra mediante o uso de geotecnologias**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 85p.

SILVA, L. A. R: (2010). **Avaliação da Qualidade Ecológica de Sistemas Lóticos da Bacia hidrográfica do Rio Sabor (Bacia do Douro)**. 2010. 74p. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Florestais) - Escola Superior Agrária de Bragança, Bragança, Portugal, 2010.

ŠÍPEK, V. MATOUŠKOVÁ M. DVORÁK, M. (2009). **Comparative analysis of selected hydromorphological assessment methods**. Environ Monit Assess. 169(1-4): 309-19. Epub 2009 Sep 17.

SUDENE (1972). **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado da Paraíba**. Recife: SUDENE. 359p. 1972.

SPRINGE, G. GRINBERGA, L., BRIEDE, A. (2010) **Role of hydrological and hydromorphological factors in ecological quality of medium-sized lowland streams**. Hydrology Research. v. 41. P. 330-337. Issue 3-4.

SRH, MMA (2006). **Plano Nacional de Recursos Hídricos**. Síntese Executiva - português / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília: MMA, 2006. 135p. ; 27 cm. + 1 CD-ROM. ISBN 85-7738-013-0.

TIMOTHY O. R, OLGA T. (2011). **Spatiotemporal dynamics of landscape pattern and hydrologic process in watershed systems**. Journal of Hydrology. v, 404. p. 1–12.

TWINNING PROJECT CROATIA (2009). **Implementation of the Water Framework Directive**. First environmental EU Twinning project in Croatia.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. (1975). **Hidrologia Aplicada**. MacGraw-Hill: São Paulo, 245p.

VON SCHILLER, D., V. ACUNA, D. GRAEBER, E. MARTI, M. RIBOT, S. SABATER, X. TIMONER & K. TOCKNER, (2011). **Contraction, fragmentation and expansion dynamics determine nutrient Hydrobiologia availability in a Mediterranean forested stream**. Aquatic Sciences 73: 485–497.

WALLACE, K. J., (2007). **Classification of ecosystem services: Problems and solutions**. Biological Conservation 139: 235–246.

WATER FRAMEWORK DIRECTIVE COMMON IMPLEMENTATION STRATEGY
WORKING GROUP 2 A ECOLOGICAL STATUS (ECOSTAT), (2003): **Overall
Approach to the Classification of Ecological Status and Ecological Potential**. Rome
24/25 November 2003.

WILBY, R.L; ORR, H.G; HEDGER, M.; FORROW, D.; BLACKMORE M. (2006).
“Risks posed by climate change to the delivery of Water Framework Directive
objectives in the UK”. Environment International. v, 32 pp 1043 –1055.