
Utilização do método Bávaro para avaliação das condições hidromorfológicas de uma bacia experimental no Nordeste Brasileiro

Evaluation of hydromorphological conditions using the Bavarian Method in Guaraíra Creek in Northeast Brazil

Alexandre Ferreira da Silva ¹ e Cristiano das Neves Almeida ²

¹ Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba,

alexandre_ferreira02@hotmail.com

² Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba,

almeida74br@yahoo.com.br

Recebido: 05/03/14 - Revisado: 13/08/14 - Aceito: 27/08/14

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 at performing the hydromorphological evaluation of Guaraíra creek using the Bavarian method. The creek basin is located within the catchment area of Gramame, the southern region of the state of Paraíba. Therefore, the creek was divided into 47 sections of 100 meters. During the survey of the stream characteristics the level of anthropogenic modifications along its course could be observed. These surveys take into account the dynamics of river and plain, and with the junction of the dynamics the degree of modification is obtained ranging from 1 (no change) to 7 (completely changed), based on the use of the Bavarian method. Eighty-one percent of the course of Guaraíra creek is unchanged, despite being in a watershed with 33.63% of its area modified by sugarcane and pineapple crops. The 19% change was 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 the restoration of anthropogenic sites are more effective due to the division of the stream into reaches. Thus, money and time are saved by dealing with the core of the problems.

Keywords: Bavarian method. Hydromorphology. Restoration.

INTRODUÇÃO

A água sempre foi um elemento essencial para o desenvolvimento de todos os seres vivos e o seu uso para as atividades antrópicas se dá muitas vezes de maneira inadequada, comprometendo as condições naturais dos corpos hídricos. Assim, a estrutura dos rios é alterada conforme interesses diversos, principalmente econômicos, o que pode comprometer a qualidade da água e todo o ecossistema a ela relacionado (TIMOTHY; OLGA, 2011).

A Europa promulgou em 2000 sua nova política de águas, denominada, *Water Framework Directive (WFD)*. Esse documento tem por objetivo a proteção de todas as águas da Comunidade Europeia (COMISSÃO EUROPEIA, 2000). De acordo com a *WFD*, existem três diferentes tipos de elementos essenciais de qualidade para avaliação do estado ecológico do corpo hídrico: elementos de qualidade biológica; elementos físico-químicos e elementos hidromorfológicos (LISBOA, 2009; SILVA, 2010). Desta forma, métodos de avaliação hidromorfológica foram desenvolvidos em diversos países europeus com o objetivo de analisar a estrutura física dos rios e o seu estado de alteração (ORR et al., 2008; REH; KRAUS, 2009).

Com isso, 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 (PIZZELA; SOUZA, 2007). Para tanto, é bastante comum a implementação do conceito de locais ou condições de referência nos esquemas classificatórios, por meio da identificação de corpos hídricos 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 (BOIX et al., 2010; ELOSEGI, DIEZ; MUTZ, 2010; ELOSEGI; SABATER, 2013; RICART et al., 2010; SPRINGE; GRINBERGA; BRIEDE, 2010; VON SCHILLER et al., 2011).

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. A PNRH possui cinco instrumentos: Sistemas de Informações sobre Recursos Hídricos, Planos Diretores, Enquadramento, Outorga e Cobrança. (SRH, 2006 OLIVEIRA; MARQUES, 2008). 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 hidrográficas a serem enquadradas (OLIVEIRA; MARQUES, 2008; PIZZELA; SOUZA, 2007).

Com relação à restauração dos corpos hídricos, a Alemanha tem aplicado o método Bávaro para avaliação das condições hidromorfológicas de rios desde 1995, em todos os corpos hídricos da Baviera na Alemanha para o planejamento e gestão das águas, (BAYLFW, 2002; LAWA, 2004). Originalmente, o

método Bávaro é intitulado: “*Mapping and assessment methods for the structure of waters*, (BAYLFW, 2002)”. Já a União Europeia, desenvolveu um método denominado: “*Water quality - Guidance standard on determining the degree of modification of river hydromorphology*” que é o anteprojeto da norma europeia que foi estabelecido em 2008. O método europeu foi concebido para coleta de dados hidromorfológicos de maneira que não especificasse um país (REH; KRAUS, 2009).

Países como: Ucrânia, República Tcheca, Eslovênia e Croácia, elaboraram e aplicaram métodos locais de avaliação hidromorfológica de acordo com a *WFD*, como também, aplicaram o método Bávaro para compararem o resultado dos métodos com relação à condição hidromorfológica de cada país. A partir dos resultados, concluíram que o método Bávaro, em relação aos métodos aplicados pelos países citados anteriormente, foi conservador em sua classificação, pois não atendeu às demandas individuais de cada localidade. Contudo, o método se mostrou uma excelente fonte de informação para a proteção integrada dos corpos hídricos e possíveis medidas de restauração de rios (MAH; MIKOŠ; BIZJAK, 2010; NIELS et al., 2010; REH; KRAUS, 2009; ŠÍPEK; MATOUŠKOVÁ; DVORÁK, 2010; SCHEIFHACKEN et al., 2012).

Além de comparações, outros países desenvolveram e aplicaram métodos locais de acordo com normas da *WFD*. No Reino Unido, foi observado que as modificações das condições hidromorfológicas dos rios e as mudanças climáticas estão correlacionadas. A partir disso, 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. No noroeste da Inglaterra, a metodologia de avaliação hidromorfológica aplicada por Orr et al. (2008), no rio Éden, teve características da *WFD* e foram analisados 16 parâmetros. Os pesquisadores concluíram que o método tem potencial de determinar mudanças sensíveis no rio e indicar locais que seriam mais necessitados para a restauração.

David, Andrew e Corine (2004) avaliaram a hidromorfologia através de imagens de alta resolução no estuário do Forth, que está localizado na costa leste da Escócia, e chegaram a conclusão que, essa metodologia cumpre as exigências da *WFD* para aplicação em escala nacional. Na Espanha, Carballo et al. (2009) e Gottardo et al. (2011), como também na Itália, Rinaldi et al. (2013) desenvolveram indicadores biológico, químico, ecotoxicológico, físico-químico e hidromorfológico. Todos 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.

No Brasil, Limeira, Silva e Cândido (2010) realizaram um trabalho de pesquisa, para elucidar os conceitos teóricos sobre restauração de rios. A metodologia do estudo tratou da problemática de conceitos usualmente empregados para a construção do conhecimento e numa teorização sobre a gestão de restauração de rios. Eles 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, Callisto e Magalhães Jr. (2011), no Brasil intervenções de restauração de cursos d'água são incipientes.

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. Porém, nenhum dos dois últimos estudos citados apresentam metodologias para indicar as zonas de rios que necessitam ações de restauração.

Deste modo, este artigo objetiva apresentar o método Bávaro para avaliação do estado hidromorfológico de rios, assim como sua aplicação à bacia experimental do riacho Guarairá, no litoral do Estado da Paraíba. Essa metodologia é importante, pois é indicadora de zonas do rio que necessitam de mais ações de revitalização.

MATERIAIS E MÉTODOS

Localização e Descrição da Área de Estudo

A bacia hidrográfica experimental do riacho Guarairá, 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, no litoral sul do Estado da Paraíba. Sua localização geográfica está entre as coordenadas: 07° 19' 10,94" S 35° 01' 19,61" W e 07° 16' 28,98" S 35° 02' 23,95" W (Figura 1).

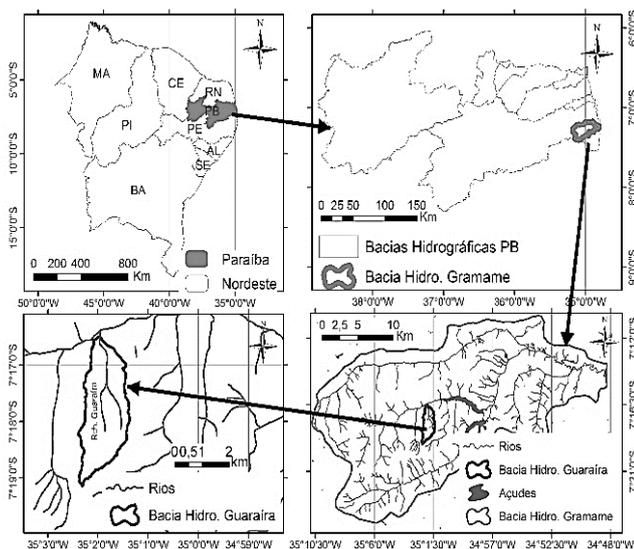


Figura 1 - Localização da área de estudo

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, e sua evapotranspiração média anual é de 1.500 mm. Segundo a classificação de Köppen, a

bacia hidrográfica tem características de clima tropical chuvoso (PDRH, 2000). Essa bacia hidrográfica foi selecionada para o estudo em função do projeto de Implantação de Bacias Experimentais no Semiárido (REHISA, 2004). Através do projeto IBESA diversas variáveis hidroclimatológicas são monitoradas desde 2003, o que constitui um banco de dados com mais de 10 anos de informações a respeito dessa área.

A partir do levantamento topográfico executado por REHISA (2004). 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.

Inserido na Sub-bacia Alhandra se apresentam dispostas quatro unidades litoestratigráficas, depositadas em períodos geológicos distintos. A Formação Beberibe, representada por arenitos com granulação variável e espessuras de 230 m. Acima da formação Beberibe, repousa a Formação Gramame, com espessura média inferior a 55 m e predominância de calcários (FURRIER; ARAÚJO; MENESES, 2006).

Uso e Ocupação do Solo da Bacia Experimental

A bacia hidrográfica vem passando por um processo de desmatamento e ocupação desordenada (Figura 2). 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-se observar 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 Guarairá.

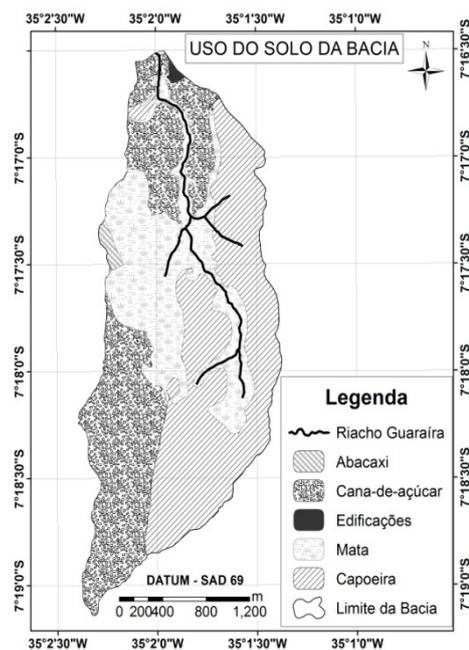


Figura 2 - Uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica estudada

O Método Bávaro

No método Bávaro, a condição hidromorfológica do corpo hídrico (sistema total) é estudado a partir de diferentes unidades hierárquicas, a avaliação do sistema total é o resultado da avaliação de dois subsistemas: a dinâmica do leito do rio e a dinâmica de várzea do rio (Figura 3). Por sua vez, esses dois subsistemas são avaliados por meio de sete funções hidromorfológicas, compostas por vinte e seis parâmetros individuais individualmente.

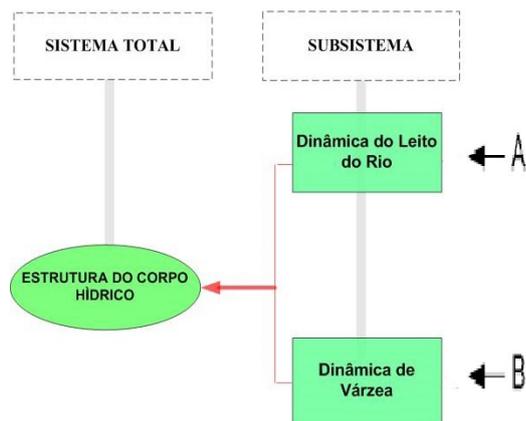


Figura 3 –Componentes analisados para caracterização do sistema total

A junção desses dois subsistemas forma o sistema total que é a estrutura do corpo hídrico, objeto de avaliação do método Bávaro.

Como dito anteriormente, no 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 para auxiliar na avaliação (mostrados na cor laranja), ver Figura 4).

Para aplicação do método Bávaro, o rio é dividido em trechos de 100 (cem) metros e para sua aplicação é necessário o preenchimento de uma ficha de cadastro, que pode ser comparado ou não com as informações de escritório.

Na Figura 4 são apresentados vinte parâmetros individuais que expressam às características morfológicas de um rio, como também, as características de modificações antrópicas. Além disso, as quatro funções hidromorfológicas agrupam os parâmetros individuais de acordo com suas características. Enfim, o conjunto dos parâmetros individuais formam as funções hidromorfológicas. Essas funções hidromorfológicas formam o subsistema dinâmica do leito do rio.

Já na Figura 5, é possível observar seis parâmetros individuais que expressam às características morfológicas da várzea, assim como, as características de modificações antrópicas. Aqui, ao invés de quatro, apenas três funções hidromorfológica agrupam os parâmetros individuais.

Por fim, segue-se o mesmo padrão apresentado ante-

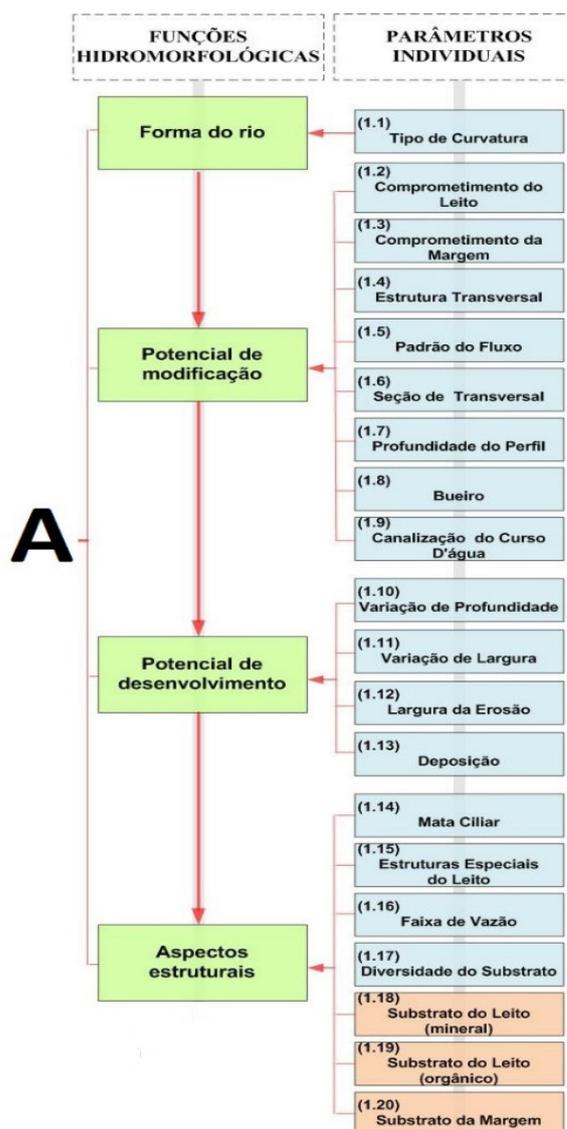


Figura 4 –Componentes analisados da dinâmica do leito do rio

riormente com relação às funções hidromorfológicas. Ademais, formam o subsistema dinâmica de várzea.

Na ficha de cadastro, se observa a estrutura do leito do rio e da várzea, desta forma, algumas informações generalistas que caracterizam cada trecho de cem metros do rio são

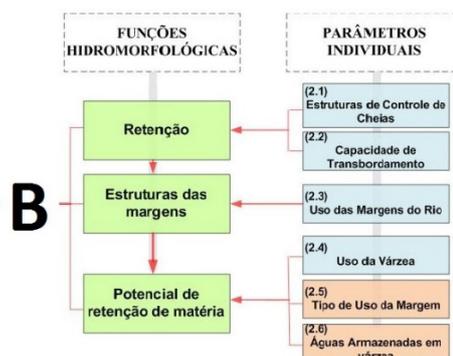


Figura 5 - Componentes analisados da dinâmica da várzea

preenchidas, a priori em escritório. Contudo, algumas dessas informações podem ser coletadas em campo.

Por exemplo: na avaliação de escritório de um trecho do rio, a informação Tipo de Curvatura, que avalia o coeficiente de sinuosidade, foi classificada como Sinuoso (letra M), entretanto ao se deparar com a situação de campo, foi observado que o mesmo trecho ficou classificado como Tortuoso W. Desta forma, para saber o grau de modificação é necessário cruzar as duas informações obtidas (escritório e campo), com isso, é possível encontrar o resultado final deste parâmetro individual (Figura 6).

Forma do rio

1.1 Tipo de Curvatura

		Tipo de curvatura			
		M	W	SW	G
Escritório →	Sinuoso M	M			
Campo →	Tortuoso W	3	1		
	Ligeiramente tortuoso SW	5	3	1	
	Alongado G	5	3	3	1
	Retto -	5	5	5	5
		Valor: 3			

Figura 6 - Exemplo de preenchimento da ficha de cadastro do parâmetro individual Tipo de Curvatura

Os números 1, 3 e 5 significam respectivamente: inalterado, levemente alterado e profundamente alterado. No riacho em estudo, utilizou-se um levantamento topográfico realizado na década de 80 (escritório) e o comparou com imagem do Google Earth de 2005 (campo). Assim, foi possível cruzar as informações e chegar aos valores referentes ao Tipo de Curvatura atual do riacho. O método permite fazer comparações de levantamentos topográficos com imagens de satélite, como também, comparações entre imagens de satélite e aerofotogramétricas.

O valor do grau de modificação de cada função hidromorfológica é atribuído pelo maior valor encontrado em seus parâmetros individuais. Por exemplo, para saber o valor de modificação da função hidromorfológica Retenção, que possui os parâmetros individuais: Estruturas de Controle de Cheias (2.1) e Capacidade de Transbordamento (2.2), encontrou-se em campo respectivamente os seguintes valores: 2 (2.1) e 1(2.2). Então, o valor de modificação dessa função hidromorfológica é 2. Já os valores do subsistema dinâmica do leito de rio e dinâmica da várzea são encontrados pela combinação dos valores das funções hidromorfológicas.

Com a junção dos subsistemas forma-se o sistema total. Desta forma é possível observar os níveis de degradação dos trechos de um 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 7.

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 7 - Estrutura do corpo hídrico de acordo com o método Bávaro (Adaptado de: BAYLFW, 2002)

Levantamento de Campo

A primeira etapa para realização do levantamento é a delimitação de trechos de cem metros a partir de uma base cartográfica existente, essa divisão pode ir de montante para jusante ou vice-versa.

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.

A coleta das amostras de solo foram realizadas a cada 50 metros. Tal coleta foi realizada para ensaios granulométricos e com isso observar a porcentagem de areia existente em cada trecho do leito do rio, como também complementar a avaliação do método Bávaro.

A batimetria da seção transversal e a medição da velocidade foram realizadas também a cada 50 metros. O levantamento batimétrico foi realizado com trena e régua, levantando-se a profundidade da lâmina d'água a cada 20 cm. Em seguida, no mesmo local, o método dos flutuadores foi utilizado para medir a velocidade do fluxo do riacho. Esse método consiste na medição do tempo de deslocamento de um objeto ao longo de 1 metro. Para cada seção, foram feitas 3 medições a fim de se determinar a velocidade média. Embora simples, utilizou-se o método dos flutuadores, pois as condições locais não permitiam a medição com micromolinite. Em seguida, procedeu-se ao cálculo da vazão multiplicando-se a área determinada na batimetria pela velocidade média.

Além da coleta de solos e batimetria, foi identificado o uso do solo das margens do riacho a cada 100 metros. Isto ocorreu para o preenchimento das fichas de cadastro e para comparar a situação real das margens com a resposta obtida pelo método.

Tratamento dos Dados Espaciais

Para organizar e analisar os dados obtidos em campo, utilizou-se o 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 espacializados para o riacho estudado.

Para uma melhor compreensão espacial dos dados le-

vantados em cada trecho, utiliza-se um Sistema de Informações Geográficas (SIG) para espacializar os 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.

Ao final de todo preenchimento da tabela de atributos, referente aos parâmetros individuais utilizados pelo método Bávaro no do riacho Guaraíra, é possível inseri-los no SIG. Desta forma, pode-se observar a situação de cada um dos trechos estudados, com a classificação que vai de inalterado até completamente alterado. O fluxograma apresentado na figura 8 mostra um resumo da aplicação do método, seguindo sua ordem execução.

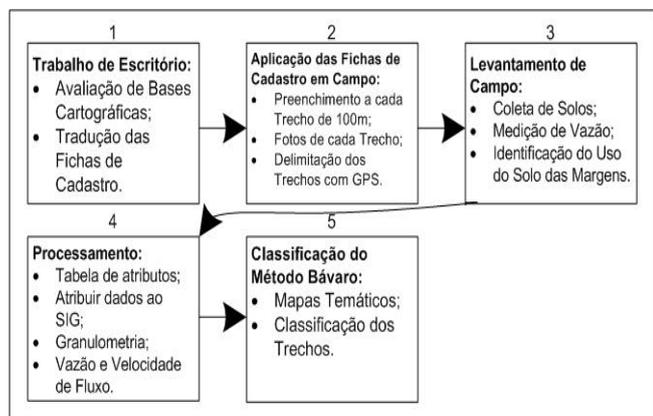


Figura 8 – Organograma metodológico

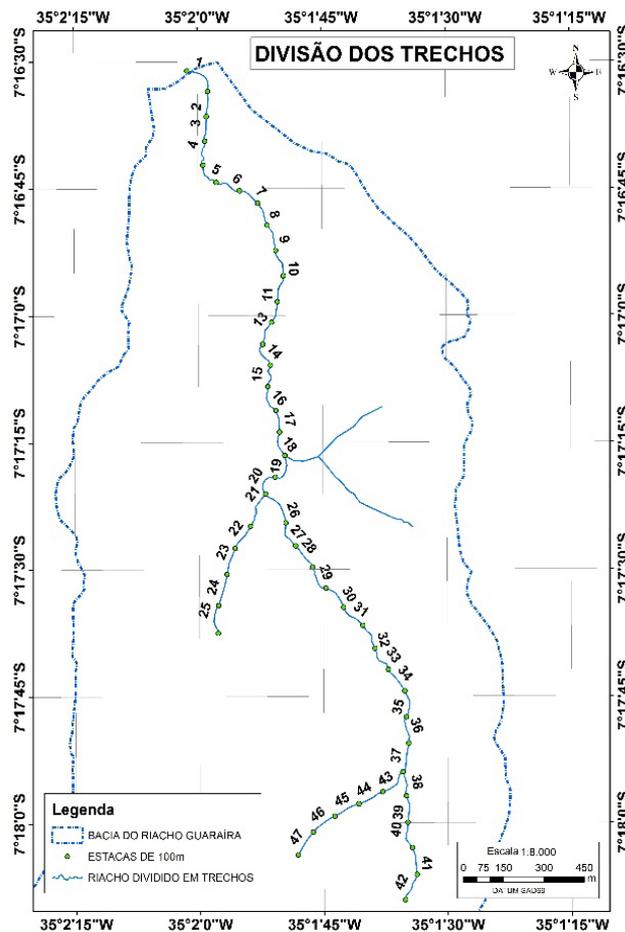


Figura 9 - Divisão do riacho em trechos de 100 m

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Descrição dos Trechos para Análise Hidromorfológica

O riacho Guaraíra foi dividido em 47 trechos com extensão de cem metros, 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 visitados e caracterizados (Figura 9). A numeração adotada neste estudo foi de jusante para montante, partindo do exutório do riacho.

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. Uma extensão aproximada de 5 km foi percorrida no riacho da bacia experimental. Foram coletados 57 pontos com GPS, que também, se mostraram de grande valia na locação dos trechos, análises de solo e medição de vazão.

As principais características dos dez primeiros trechos são: presença da monocultura da cana-de-açúcar nas áreas de várzea; vegetação nativa modificada pela ação antrópica; cons-

trução de um bueiro de greide; ao longo do trecho do rio existe variação na deposição mineral e de matéria orgânica nas curvas do riacho, variação no processo erosivo das margens, ruínas de um vertedor. Já nos últimos trechos há a presença de vegetação nativa (Figura 10).

Do trecho onze ao vinte, as principais características são: o vale começa a ficar em forma de V, as margens ficam mais



Figura 10 - Características dos trechos de 1 a 10



Figura 11 - Características dos trechos de 11 a 20



Figura 12 - Características dos trechos de 21 a 30



Figura 13 - Características dos trechos de 31 a 47

estreitas, deposição mineral e de matéria orgânica nas curvas do riacho, variação no processo erosivo das margens, presença mais expressiva de vegetação nativa (Figura 11).

Já nos trechos de vinte e um ao trinta, as principais características são: o vale em forma de V, o riacho se divide em dois cursos, vegetação fechada e nativa, deposição de areia, cascalhos, argila e arenito, tubulação de concreto que impede levemente o fluxo normal d'água, ela é resquício de uma obra realizada pela Petrobrás (Figura 12).

Com relação aos trechos de trinta e um ao quarenta e sete, as principais características são: o vale em forma de V, vegetação fechada e nativa, deposição de mineral, ramificação do riacho no trecho 37 (Figura 13).

Solos

Para avaliação do método Bávaro, foram coletas amostras de solo do leito do riacho para análise granulométrica em 31 trechos distribuídos pelo riacho Guaraiá. 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 a porcentagem de areia, como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 - Porcentagem de areia em cada trecho analisado do riacho Guaraiá

Trecho	(%) Areia	Trecho	(%) Areia
06	97,23	22	85,56
07	98,11	23	84,57
08	97,69	24	72,78
09	98,75	25	99,94
10	78,09	26	91,90
11	91,41	27	93,11
12	94,51	28	93,65
13	98,57	29	93,38
14	97,44	30	90,56
15	97,44	33	86,71
16	98,80	34	92,94
17	96,48	35	96,37
18	67,23	36	93,89
19	97,36	37	96,52
20	95,14	38	90,64
21	93,05		

De acordo com a tabela 1, é possível observar a distribuição em porcentagem de areia ao longo do riacho e isso pode ser visto na Figura 14.

A distribuição de areia ficou dividida em cinco classes,

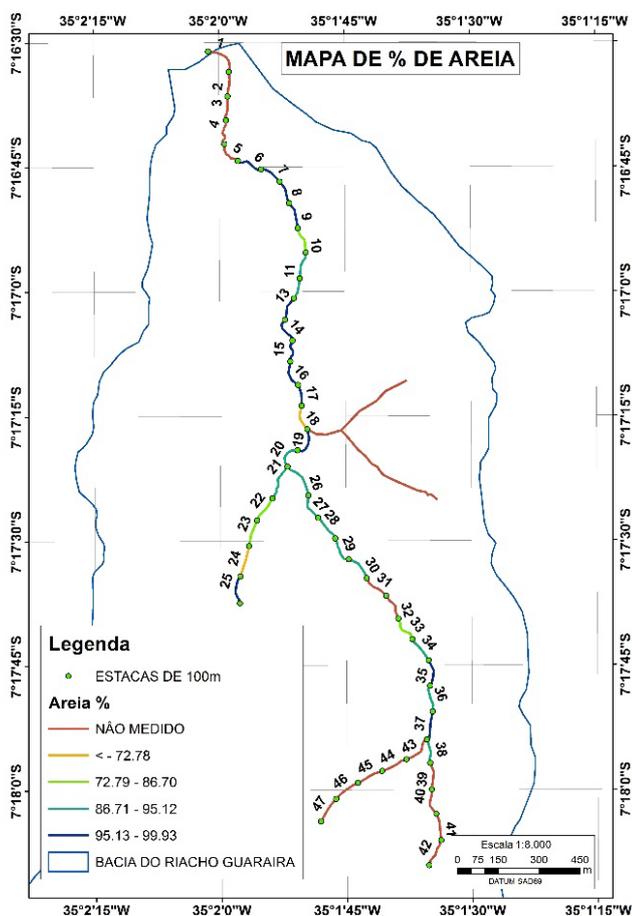


Figura 14 –Mapa de porcentagem de areia do leito do riacho Guaraira

sendo que a classe não medida significa que não foi possível coletar amostras de solo. Como citado anteriormente, a falta de dados ocorreu, devido à dificuldade de acesso por conta de árvores caídas, topografia íngreme e trechos muito fechados.

Há um trecho que fica entre as coordenadas: 7°17'13" S 35°1'50" W e 7°17'24" S 35°1'35" W que não foi avaliado, isso aconteceu porque todo esse trecho do riacho é intermitente, como também, nesse mesmo trecho não foi possível identificar a calha do riacho de forma clara. Desta forma, não foi possível realizar qualquer tipo de avaliação pelo método Bávaro.

Vazão e Velocidade de Fluxo

As avaliações foram realizadas a partir da medição vazão de 23 dos 47 trechos, o que representa 48,93% dos trechos. Já os 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.

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 Litoral Sul da Paraíba, que inicia no final de Agosto e vai até o final de Fevereiro, pois o método recomenda que as medições de vazão sejam realizadas nesse período.

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. Os valores mínimos e máximos de vazão foram 13,05 e 109,88 L/s, respectivamente (Tabela 2).

Tabela 2 - Características de velocidades, áreas e vazões do riacho Guaraira

Valores médios de cada trecho analisado			
Trecho	Velocidade de fluxo (m/s)	Área (m ²)	Vazão (x10 ⁻³ m ³ /s)
06	0,22	0,386	84,92
07	0,33	0,256	84,48
08	0,34	0,268	91,12
09	0,41	0,268	109,88
10	0,35	0,248	86,80
11	0,34	0,206	70,04
12	0,36	0,189	68,04
13	0,36	0,172	61,92
14	0,30	0,210	63,00
15	0,33	0,191	63,03
16	0,32	0,131	41,92
17	0,26	0,180	46,80
18	0,24	0,186	44,64
19	0,20	0,220	44,00
20	0,24	0,205	49,20
21	0,26	0,123	31,98
22	0,24	0,104	24,96
23	0,17	0,132	22,44
26	0,25	0,068	17,00
27	0,18	0,125	22,50
28	0,23	0,088	20,24
29	0,18	0,106	19,08
36	0,15	0,087	13,05

Aplicação do Método Bávaro

Com a aplicação do método Bávaro, obteve-se o grau de modificação em todos os 47 trechos avaliados, assim é possível observar os parâmetros individuais que mais contribuíram para tal modificação. A partir da tabela 3, é possível realizar uma análise, para identificar qual parâmetro individual teve maior contribuição para acentuar o grau de modificação de todo riacho.

Tabela 3 – Nível de alteração dos parâmetro individuais do riacho Guaráira

	Método Bávaro	
	Alterado %	Não Alterado %
1 Dinâmica do leito do rio		
Forma do rio		
1.1 Tipo de Curvatura	0	100
Potencial de modificação		
1.2 Comprometimento do Leito	3	97
1.3 Comprometimento das Margens	17	83
1.4 Estrutura Transversal	8	92
1.5 Padrão de Fluxo	0	100
1.6 Seção Transversal	0	100
1.7 Profundidade do Perfil	0	100
1.8 Bueiro	0	100
1.9 Canalização do Curso D'água	2.5	97.5
Potencial de desenvolvimento		
1.10 Variação de Profundidade	0	100
1.11 Variação de Largura	0	100
1.12 Largura da Erosão	0	100
1.13 Deposição	12	88
Aspectos estruturais		
1.14 Mata Ciliar	3	97
1.15 Estruturas Especiais do Leito	8	92
1.16 Faixa de vazão	5	95
1.17 Diversidade do Substrato	0	100
2 Dinâmica de Várzea		
Retenção		
2.1 Estruturas de Controles de Cheias	0	100
2.2 Capacidade de Transbordamento	0	100
Estrutura das margens		
2.3 Uso das Margens do Rio	20	80
Potencial de retenção de matéria		
2.4 Uso da Várzea	20	80

No parâmetro individual comprometimento do leito (1.2), os 3% de modificação correspondem ao revestimento existente no trecho 3, onde está localizado o bueiro de greide. Com isso, recebeu a pontuação 3 (moderadamente alterado).

Com relação ao comprometimento das margens (1.3), 10% têm o comprometimento isolado. Este comprometimento acontece devido à estabilização que fizeram com vegetação não nativa, e com isso em alguns locais não foi possível observar as margens, como também, pela existência de um vertedor no trecho 7. Deste modo, receberam a pontuação 3 (moderadamente alterado). As margens com comprometimento moderado representam 7% dos 40 trechos avaliados. Isso acontece devido à proximidade com plantações de cana-de-açúcar e por ser uma área de várzea, por isso, receberam a pontuação 5 (profundamente alterado).

Já no parâmetro individual estrutura transversal (1.4), 8% dos trechos estão modificados com estruturas transversais

parciais. Dois trechos possuem estruturas transversais maiores que 30 cm 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.

No riacho Guaráira, apenas um trecho possui canalização do curso d'água (1.4) - bueiro de greide -, o que representa 2,5% dos 47 trechos avaliados. 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 recebeu a pontuação 3 (moderadamente alterado).

No parâmetro individual deposição (1.13), 12% ficou classificada como implícita. Isso aconteceu nos 5 primeiros trechos, onde a deposição mineral e orgânica ficou 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).

De acordo com método, apenas 3% da mata ciliar (1.14) encontrou-se modificada. Contudo, essa não é a realidade do riacho. O método Bávaro considera o menor valor na avaliação como resultado neste parâmetro, ou seja, se na avaliação de um trecho de 100 metros existir uma característica natural maior ou igual a 50% da extensão do trecho, ela será pontuada com o valor 1 (inalterado), independentemente se nos 50% restantes existir alguma modificação, que possa ser pontuada entre os valores 2 (levemente alterado) e 7 (completamente alterado). A figura a seguir mostra a real característica da mata ciliar no riacho Guaráira.

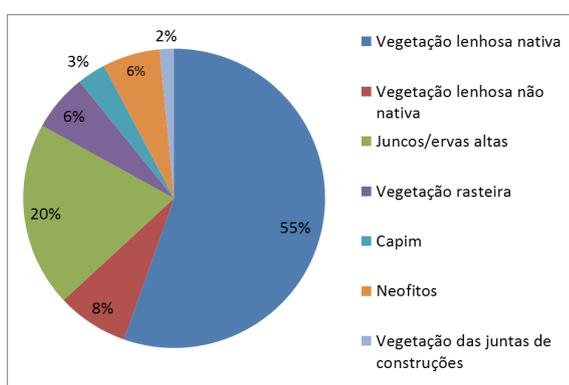


Figura 15 - Ocupação das margens do riacho

Como se observa na Figura 15, se a avaliação desse parâmetro considerasse o maior valor de modificação antrópica, ao invés de apenas 3% de modificação, teríamos 25%, que são referentes à 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).

Ainda na Tabela 3, nas estruturas especiais do leito (1.15) -árvores caídas, raízes, vegetação dominante no leito do rio-, 8% de todos os trechos avaliados estão classificados como moderado. Esses 8% correspondem aos trechos de 3 a 5, isso porque a ação antrópica nesses locais é perceptível, com isso, o método pontua esses trechos com o valor 4 (consideravelmente alterados).

O parâmetro individual faixa de vazão (1.16) 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 pelo método bávaro da seguinte maneira: Muito grande (quatro ou mais padrões de fluxo), Grande (três padrões de fluxo), Moderado (dois padrões de fluxo) e Nenhum (padrão de fluxo uniforme).

No parâmetro citado acima, apenas 5% foram classificados como moderado. Porque de acordo com o método esses trechos são pontuados com valor 4 (consideravelmente alterados). Isso aconteceu pelo motivo de serem locais onde a

alteração antrópica é perceptível (trecho 3 e 4) e as mudanças nas faixas de vazões são pequenas.

Espécies não nativas ocupam 12% das margens do riacho (2.3), elas estão distribuídas nos primeiros trechos, local onde há a presença da monocultura da cana-de-açúcar. Com isso, esses trechos 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).

Os resultados desse parâmetro individual (Uso da Várzea -2.3-) são idênticos ao anterior (Uso das Margens do Rio), de forma que todos os comentários realizados no parâmetro anterior são válidos aqui também.

Situação Hidromorfológica do Riacho Guaráira

A partir de todo o levantamento de campo e inserção no SIG das informações dos trechos avaliados, foi possível criar mais uma 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 grau de modificação do riacho Guaráira, cuja variação vai de 1 (inalterado) a 7 (completamente alterado). Desta forma, essa classificação pôde ser espacializada.

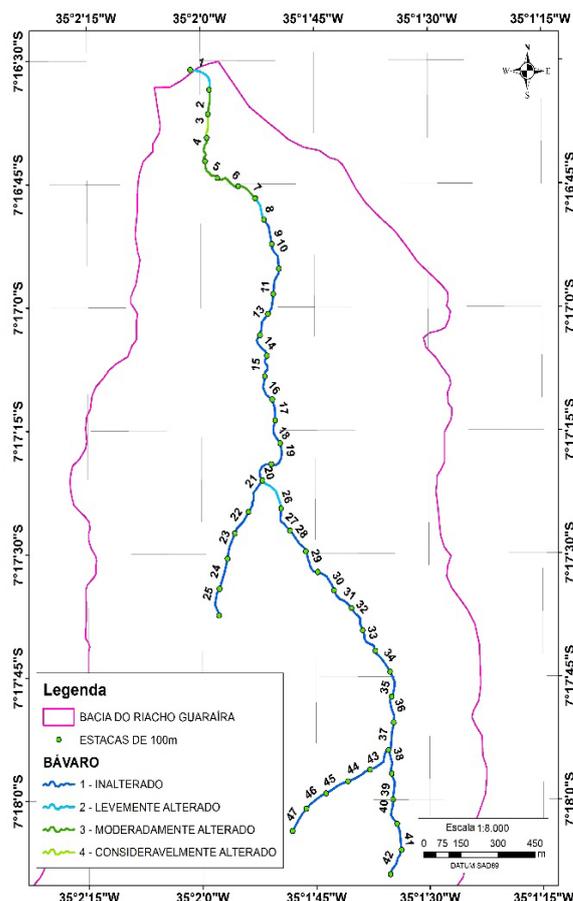


Figura 16 - Condição hidromorfológica do riacho Guaráira

Com a espacialização do grau de modificação pelo método Bávaro, foi possível avaliar as condições hidromorfológicas do riacho Guaraíra, que são observadas na Figura 16. Como pode ser observado na Figura 16, 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. Esses resultados são ainda apresentados no gráfico da figura seguinte.

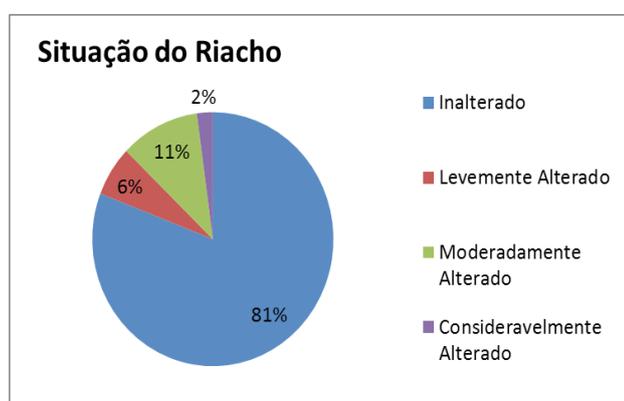


Figura 17 -Gráfico da situação hidromorfológica do riacho Guaraíra

A Figura 17 mostra que 81% do riacho encontram-se inalterados e 19% com algum tipo de alteração. Assim, é possível observar que mesmo com a presença da monocultura da cana-de-açúcar no entorno do riacho, os resultados mostram que a grande maioria dos trechos do riacho encontra-se com suas características naturais. Já na área da 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 presença da ação humana.

Considerações Sobre a Aplicação do Método Bávaro

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

Os valores limites, descritos no mapeamento para os vários níveis de avaliação do método, são baseados em conhecimentos científicos e na experiência de campo. Esses conhecimentos científicos são nas áreas de: engenharia, geologia, cartografia e recursos hídricos.

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 alto nível de detalhe resulta, em um número relativamente alto de parâmetros individuais (26 no total).

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 a respeito dos recursos hídricos e o conhecimento prévio se tornam necessários para analisar os dados básicos e preparar o mapeamento. A aplicação em campo pode ser facilmente realizada após concluir os preparativos de mapeamento em escritório, devido à orientação do mapeamento. O conhecimento do rio a ser estudado é importante, pois facilita o planejamento e execução do trabalho de campo.

CONCLUSÃO

Neste artigo, conclui-se 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 trechos modificados pela ação do homem.

Mesmo com 33,63% da área da bacia hidrográfica ocupada pela cultura da cana-de-açúcar e do abacaxi, observou-se que 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 (trechos 21 e 26), ou seja, os maiores índices de modificação estão no médio e baixo curso do riacho, onde a ação antrópica fica nítida pela presença da monocultura da cana-de-açúcar, como também, por obras de engenharia.

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 são 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.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FINEP pelo suporte financeiro ao projeto BEER (Bacias Experimentais e Representativas do Semi-Árido) e a AESA pelo apoio que concede aos seus colaboradores para o crescimento profissional. E ao CNPQ pela bolsa pq. do orientador

REFERÊNCIAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 7181*: método de ensaio. solo: análise granulométrica. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984.
- BAYLFW - BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT. Kartier- und Bewertungsverfahren Gewässerstruktur: Erläuterungsbericht, Kartier- und Bewertungsanleitung. *Lazarettstraße 67*, D-80636 München, 2002.
- BOIX, D.; GARCI´A-BERTHOU E.; GASCON S.; BENEJAM L.; TORNE´S E.; SALA J.; BENITO J.; MUNNE A.; SOLA´ C.; SABATER S. Response of community structure to sustained drought in Mediterranean rivers. *Journal of Hydrology*, v. 383, . 1-2, p. 135-146, Mar. 2010.
- CARBALLO, R.; CANCELA, J. J.; IGLESIAS, G.; MARÍN, A.; NEIRA, X. X.; CUESTA, T. S. WFD Indicators and Definition of the Ecological Status of Rivers. *Water Resources Management*, v. 23, n. 11, p. 2231-2247, Sept. 2009.
- COMISSÃO EUROPÉIA. Introduction of the new EU Water Framework Directive. DIRECTIVA 2000/60/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*, out. 2000.
- DAVID G.; ANDREW T.; CORINE D. Detection of estuarine and tidal river hydromorphology using hyper-spectral and LiDAR data: Forth estuary, Scotland. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 61, n. 3, p. 379-392, Nov. 2004.
- ELOSEGI, A.; DI´EZ, J., R.; MUTZ, M. Effects of hydromorphological integrity on biodiversity and functioning of river ecosystems. *Hydrobiologia*, v. 657, n. 1, p. 199-215, Dec. 2010.
- ELOSEGI, A.; SABATER, S. Effects of hydromorphological impacts on river ecosystem functioning: a review and suggestions for assessing ecological impacts. *Hydrobiologia*, v. 712, n.1, p.129-143, July 2013.
- FURRIER, M.; ARAÚJO, M. E.; MENESES, L. F. Geomorfologia e Tectônica da Formação Barreiras no Estado da Paraíba. *Geologia USP Série Científica*, v. 6, n. 2, p. 61-70, out. 2006.
- GOTTARDO, S.; SEMENZIN, E.; GIOVE, S.; ZABEO, A.; CRITTO, A.; DE ZWART, D.; GINEBREDA, A.; VON DER OHE, P. C.; MARCOMINI, A. 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. 409, n. 22, p. 4681-4692, Oct. 2011.
- LISBOA. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do território e do Desenvolvimento Regional. Instituto da Água. *Crítérios pra Classificação do Estado das Massas de Águas Superficiais – Rios e Albufeiras*. Lisboa: Instituto da Água, 2009. Disponível em: <<http://www.apambiente.pt/dqa/assets/crit%C3%A9rios-classifica%C3%A7%C3%A3o-rios-e-albufeiras.pdf>>. Acesso em: 23 abr. 2013.
- LAWA – Länderarbeitsgemeinschaft Wasser. *Arbeitskreis Gewässerbewertung - Fließgewässer*: Gewässerstrukturgütekartierung in der Bundesrepublik Deutschland. Verfahren für kleine und mittelgroße Fließgewässer. Berlin: [LAWA], 2000.
- LIMEIRA, M. C. M.; SILVA, T. C.; CÂNDIDO, G. A. Gestão Adaptativa e Sustentável para a Restauração de Rios: Parte I Enfoques Teóricos sobre Capacitação Social. *RBRH: revista brasileira de recursos hídricos*, v. 15, n.1, p. 17-26, jan./mar. 2010.
- MACEDO, D. R.; CALLISTO, M.; MAGALHÃES JR, A. P. Restauração de Cursos d'água em Áreas Urbanizadas: Perspectivas para a Realidade Brasileira. *RBRH: revista brasileira de recursos hídricos*, v. 16, n. 3, p. 127-139, jul./set. 2011.
- MAH, P. R.; MIKOŠ, M.; BIZJAK, A. Hydromorphological classification of Slovenian rivers. *Acta Geographica Slovenica*, v. 50, p. 201-229, 2010.
- NIELS, R.; ROAR, J.; LISA, B.; STELLA, B.; FLEMMING, M.; PETER, B. G. Estimating resource costs of compliance with EU WFD ecological status requirements at the river basin scale. *Journal of Hydrology*, v. 396, p. 197-214, 2010.
- OLIVEIRA, C. C.; MARQUES, D. M. Proteção e qualidade dos recursos hídricos brasileiros: contribuições da diretiva europeia. *Revista de Gestão de Água da América Latina (REGA)*, v. 5, n. 1, p. 5-12, jan./jun. 2008.
- ORR, H. G.; LARGE, A. R. G.; NEWSON, M. D.; WALSH, C. L. A predictive typology for characterizing hydromorphology. *Geomorphology*, v. 100, n. 1-2, p. 32-40, 2008.
- PIZELLA, D. G.; SOUZA, M. P. Análise da sustentabilidade ambiental do sistema de classificação das águas doces superficiais brasileiras. *Engenharia Sanitária e Ambiental [online]*, v. 12, n. 2, p. 139-148, abr./jun. 2007.
- PDRH. *Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Gramame*. [S.l.]: SEMARH/SCIENTEC, 2000.

- REH, J.; KRAUS, R. *Comparison of different hydromorphological assessment methods on the example of Croatian surface water bodies*. 197 f. 2009. Dissertação (Mestrado) - FachhochschuleWeihenstephan, Freising, 2009.
- REHISA. *Relatório final do projeto IBESA: implantação de bacias experimentais no semi-árido*. Projeto FINEP/FUNPEC 22010453-00. Recife [s.n.], 2004. v. 1, p. 41-92.
- 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, S. Primary and complex stressors in polluted Mediterranean rivers: pesticide effects on biological communities. *Journal of Hydrology*, v. 383, n. 1-2, p. 52-61, Mar. 2010.
- RINALDI, M.; SURIAN, N.; COMITI, F.; BUSSETTINI M. A method for the assessment and analysis of the hydromorphological condition of Italian streams: The Morphological Quality Index (MQI). *Geomorphology*, v. 180-181, p. 96-108, Jan. 2013.
- SCHEIFHACKEN, N.; HAASE, U.; GRAM-RADU, L.; KOZOVYI, R.; BERENDONK, T. U. How to assess hydromorphology? A comparison of Ukrainian and German approaches. *Environmental Earth Sciences*, v. 65, n. 5, p 1483-1499, Mar. 2012.
- SILVA, L. A. R. *Avaliação da Qualidade Ecológica de Sistemas Lóticos da Bacia hidrográfica do Rio Sabor (Bacia do Douro)*. 2010. 74 f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Florestais) - Escola Superior Agrária de Bragança, Bragança, Portugal, 2010.
- ŠÍPEK, V.; MATOUŠKOVÁ, M.; DVORÁK, M.; Comparative analysis of selected hydromorphological assessment methods. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 169, n. 1-4, p 309-319, Oct. 2010.
- SPRINGE, G.; GRINBERGA, L.; BRIEDE, A. Role of hydrological and hydromorphological factors in ecological quality of medium-sized lowland streams. *Hydrology Research*, v. 41, n. 3-4, p. 330-337, 2010.
- SRH – Secretaria de Recursos Hídricos, MMA – Ministério do Meio Ambiente. *Plano Nacional de Recursos Hídricos*. Síntese Executiva - português / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006.
- TIMOTHY, O. R.; OLGA, T. Spatiotemporal dynamics of landscape pattern and hydrologic process in watershed systems. *Journal of Hydrology*, v. 404, n. 1-2, p. 1–12, June 2011.
- VON SCHILLER, D. V.; ACUNA, D.; GRAEBER, E.; MARTI, M.; RIBOT, S.; SABATER, X.; TIMONER, K.; TOCKNER, K. Contraction, fragmentation and expansion dynamics determine nutrient Hydrobiology availability in a Mediterranean forested stream. *Aquatic Sciences*, v 73, p. 485-497, 2011.
- WILBY, R. L.; ORR, H. G.; HEDGER, M.; FORROW, D.; BLACKMORE, M. “Risks posed by climate change to the delivery of Water Framework Directive objectives in the UK”. *Environment International*, v. 32, n. 8,p. 1043-1055, Dec. 2006.