

# MODELAGEM DE EXPORTAÇÃO DE CARGA POLUIDORA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAGUARÃO - (FRONTEIRA BRASIL – URUGUAI): UM REFINAMENTO EM NÍVEL HIERÁRQUICO INFERIOR NA MODELAGEM DESENVOLVIDA PARA A BACIA DA LAGOA MIRIM

Valdir Adilson STEINKE<sup>1</sup>

Lucas de Melo FERREIRA<sup>2</sup>

Carlos Hiroo SAITO<sup>3</sup>

## Resumo

Esse trabalho teve como objetivo estimar a carga de poluição difusa na bacia hidrográfica do rio Jaguarão – fronteira Brasil/Uruguai, com base em parâmetros morfométricos para definição de sub-bacias de contribuição e os tipos de uso da terra. Utilizando um Sistema de Informações Geográficas, foram calculados, por meio do modelo MQUAL os parâmetros de carga poluidora para Sólidos em suspensão, Fósforo e Nitrogênio, o que possibilitou a classificação das sub-bacias em função do grau de contribuição das cargas. Representa um estudo de refinamento em relação ao estudo anteriormente realizado para toda a bacia da Lagoa Mirim.

**Palavras-chave:** Bacia Transfronteiriça. Geoprocessamento. Parâmetros Morfométricos. Lagoa Mirim. Rio Jaguarão.

## Abstract

***Polluting load exportation modeling in Jaguarão river basin (Brazil-Uruguay frontier): a refining analysis based on lower hierarchical level relative to the modeling developed to the Mirim Lagoon water basin***

This work analyses the hydrographic basin of Jaguarão river, in the Brazil/Uruguay frontier, with morphometric parameters to define the boundaries of direct contribution sub-basin and its relation to the land use forms. Using a Geographic Information System, it was estimated the polluting load for sediments, phosphorus and nitrogen, which makes viable to classify the direct contribution sub-basin according to the loading pollutants. This constitutes a refining study of the entire Mirim Lagoon water basin already done.

**Key words:** Transboundary water basin. GIS. Morphometric parameters. Mirim Lagoon. Jaguarão river.

<sup>1</sup> Professor Adjunto do Departamento de Geografia da Universidade de Brasília - UnB. E-mail: valdirs@unb.br

<sup>2</sup> Aluno de graduação em Geografia (Licenciatura e Bacharelado) no Centro Universitário de Brasília e Bolsista de iniciação científica do CNPq. E-mail: microow@gmail.com

<sup>3</sup> Professor Associado do Departamento de Ecologia da Universidade de Brasília – UnB. E-mail: saito@unb.br

## INTRODUÇÃO

As diferentes maneiras que as sociedades modernas e contemporâneas, vêm adotando para apropriação dos recursos naturais, requerem uma reflexão acerca de discussões metodológicas que possam subsidiar as atividades antrópicas, em especial as relacionadas à apropriação dos recursos naturais.

Estes processos de revisão conceitual, de postura e práticas, são gradativos, mas já são percebidos de modo claro na diversidade de alternativas que procuram minimizar os impactos negativos das atividades antrópicas sobre os demais elementos da paisagem, entre as quais se destacam os Planos de Recuperação de Áreas Degradadas, destinados às áreas que já se encontram deterioradas; os Planos de Manejo, que podem atender áreas públicas como as Unidades de Conservação da Natureza, as áreas de produção agrícola, pastoril, silvicultura, entre outras; os Planos Diretores Municipais e as propostas de Zoneamento Ecológico-Econômico.

Nestas propostas, uma relação ganha importância: a que se estabelece entre os tipos de uso da terra e seus reflexos no ecossistema. Para o continente Europeu, Vighi e Chiaudani (1987) mostraram que os índices de fósforo que são gerados e transferidos para os corpos d'água em função da atividade agrícola chegam a 70%, enquanto que Gburek e Sharpley (1998) apontaram que, nos Estados Unidos, mais de 50% dos contaminantes de um corpo d'água são provenientes da atividade agrícola.

Para o Brasil, as estimativas são pessimistas, pois o aumento na produção agropecuária na última década foi de aproximadamente 33%, este dado aponta a acréscimos na transferência de químicos para os corpos d'água (SHIGAKI *et al.*, 2006). A maior atenção dada à segurança alimentar, mas distorcendo o seu conceito para se prender apenas ao aumento da quantidade de alimentos produzidos independentemente da qualidade, deve agravar esse cenário.

Devido aos grandes problemas de sedimentação, eutrofização e degradação ambiental dos sistemas aquáticos, envolvendo cursos d'água, lagos e reservatórios, a identificação e classificação das áreas fornecedoras de substâncias como a matéria orgânica, o nitrogênio e o fósforo, que contribuem para o aparecimento de tais problemas, é de grande importância no planejamento e na adoção de medidas de controle da poluição difusa, principalmente por atividades agrícolas, devido à extensão territorial das áreas utilizadas para tal fim.

Conhecer os efeitos dos diferentes tipos de uso da terra sobre o escoamento superficial em uma bacia hidrográfica é fundamental para o manejo e tomada de decisões dos diferentes usuários da bacia (KUHNLÉ, 1996).

Na medida em que as cargas poluidoras pontuais são identificadas e controladas de maneira mais eficaz, os estudos passam a ser dirigidos para a questão do escoamento superficial, ou seja, a poluição não-pontual, ou difusa, elevando a preocupação com os aspectos de transporte de sedimentos e nutrientes em suspensão (CARPENTER *et al.* 1998; TANIK *et al.* 1999; WITT; BEHRENDT, 1999; MACLEOD; HAYGARTH, 2003; SILVA; PORTO, 2003; MACHADO; VETTORAZZI, 2003; MACHADO *et al.* 2003; MANSOR *et al.* 2006, SHIGAKÍ *et al.* 2006).

Uma das opções de modelagem ambiental, incluindo a identificação de áreas com maior exportação de carga poluidora e as áreas mais susceptíveis ao recebimento destas cargas, constitui-se na elaboração de planos de informação georreferenciados, os quais podem ser sobrepostos e processados em ambiente de geoprocessamento.

O geoprocessamento representa, um importante subsídio às pesquisas que envolvem a modelagem de sistemas ambientais, pois lidam com a complexidade da dinâmica ambiental, uma vez que, por meio da localização e do processamento de dados geográficos, é capaz de ser o aglutinador das diferentes áreas do conhecimento, o que proporciona uma abordagem sistêmica da paisagem. Os seguintes autores são as principais referências ao tema: Burrough

(1986 e 1998); Rodrigues (1993); Xavier da Silva (1993 e 1999); Aronoff (1991); Calijuri; Röhm (1995); Assad; Sano (1998); Xavier da Silva (2000) *apud* Rocha (2000); Rocha (2000); Davis (2001); Miranda (2005).

Com a finalidade de comparar sistemas produtivos ecológicos e não-ecológicos, Giupponi *et al.* (1999) utilizaram análise multicritério e um sistema de informação geográfica para produzir mapas de risco de poluição por atividades agrícolas na bacia da Lagoa Venice – Itália. Foram gerados e avaliados diferentes cenários em termos de risco de poluição dos recursos hídricos, levando-se em consideração a vulnerabilidade local.

Matejcek *et al.* (2003) desenvolveram um modelo de monitoramento de poluição da água conjugando as características da bacia hidrográfica e os atributos da cobertura da terra, com o objetivo de analisar a variação espaço-temporal de nitrato ( $\text{NO}_3$ ) em uma pequena bacia da Bohemia – República Tcheca. Os parâmetros do modelo foram estimados por meio de dados experimentais de qualidade da água juntamente com os tipos de cobertura que servem de armazenamento ou transformadores dos nutrientes. O estudo permitiu a elaboração de uma metodologia para determinar as áreas potenciais de poluição por nitrato oriundo de fontes pontuais e não pontuais utilizando técnicas de sensoriamento remoto. Os autores mostraram que a metodologia pode auxiliar os processos de tomada de decisão, visando melhores práticas de manejo nas bacias.

Yuan *et al.* (2007) desenvolveram um sistema integrado de modelagem para o monitoramento da qualidade da água em bacias costeiras, foram incluídos no sistema, um modelo ligando as entradas da poluição com o uso da terra e um modelo para simular o fluxo superficial e os processos químicos e biológicos. Com base em indicadores sociais e econômicos tais como população e produção industrial e indicadores ambientais como volume de água, tipo de poluente e quantidade de chuva, um estudo detalhado de modelagem foi aplicado para estimar a poluição difusa e pontual na bacia de Bohai na China. O trabalho demonstrou, mais uma vez, a aplicabilidade da ferramenta GIS para os gestores ambientais e para o governo local no planejamento e gestão da qualidade da água.

Lopes *et al.* (2007), aplicando técnicas de geoprocessamento, identificaram as áreas com potencial fornecimento de fósforo para os corpos d'água utilizando a metodologia P-Index, com a finalidade de fornecer subsídios à gestão de mananciais de uma bacia hidrográfica.

Inúmeros outros trabalhos têm sido desenvolvidos com propósitos semelhantes: Schou *et al.* (2000), na bacia do rio Vejle Fjord na Dinamarca; Sivertun; Prange (2003), para a bacia do rio Gisselö na Suécia; Mohamed *et al.* (2004), para a bacia do rio Kori – Etiópia; Mufano *et al.* (2005), para a bacia do rio Tiber na Itália; Geneletti (2007), para a bacia do rio Avisio na Itália; Lepistö (2006), para 30 bacias de contribuição dos estuários na Finlândia; Paliwal *et al.* (2007) para a bacia do rio Yamuna – Índia; Xiao; Ji (2007), para a uma bacia compartilhada pelos Estados de Missouri, Oklaoma e Kansas nos EUA.

Este trabalho teve como objetivo principal selecionar as sub-bacias de contribuição ao rio Jaguarão, com base em parâmetros morfométricos e, integrar com os dados obtidos de imagem de sensoriamento remoto para uso da terra, para identificar e classificar as sub-bacias que possam representar maiores riscos na bacia hidrográfica do rio Jaguarão.

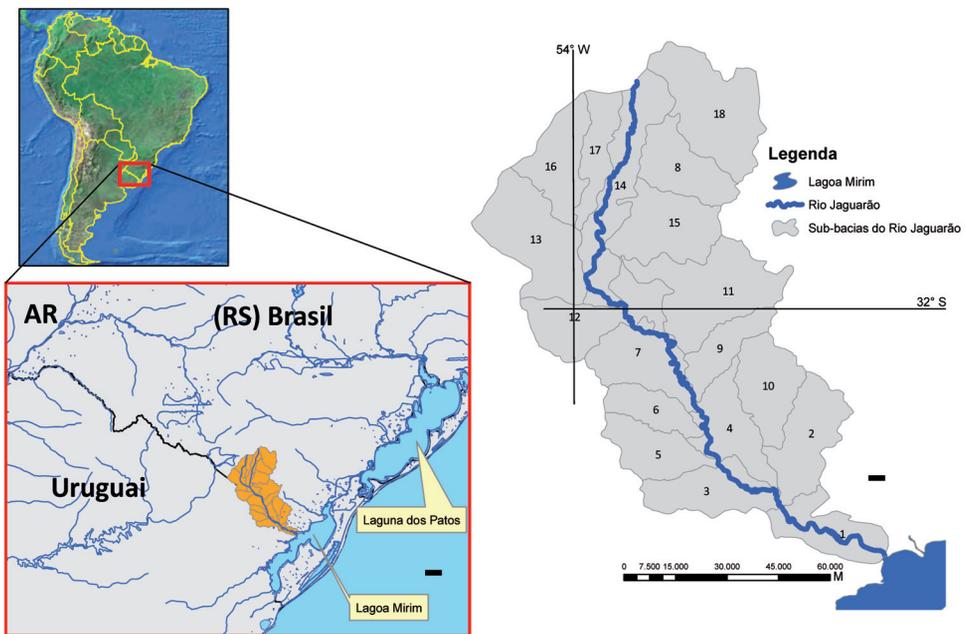
## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de Estudo

A bacia hidrográfica do rio Jaguarão (figura 1) está situada na região de fronteira, entre o Brasil e o Uruguai, e é uma sub-bacia do sistema hidrológico da lagoa Mirim. Possui uma área de 7.408 km<sup>2</sup>, sendo 74% em território Brasileiro e 26% em território Uruguaio. É

uma importante sub-bacia de contribuição para a lagoa Mirim. Na região, predomina o clima subtropical, com precipitação média anual entre 1.200 e 1.500 mm. A bacia hidrográfica do rio Jaguarão situa-se no contexto geológico definido por Villwock (1984) como Província Costeira do Rio Grande do Sul, abrangendo os depósitos vulcânicos e sedimentares da Bacia de Pelotas (Planície Costeira do Rio Grande do Sul e plataforma continental) e o embasamento Bacia do Paraná e Escudo Uruguaio-Sul-Rio-Grandense, resultando em uma superfície de relevo extremamente plano nas áreas mais baixas e suave ondulado nas regiões mais elevadas. (PROBIDES, 2000; MONTAÑA, 1995).

As características geomorfológicas associadas aos condicionantes climáticos, pedológicos, de disponibilidade de água favoreceram as práticas de uso da terra voltadas para a produção da pecuária de corte e a produção de arroz irrigado. Essas duas atividades dominam o sistema produtivo-econômico da região há mais de 40 anos, com destaque para o incremento da atividade arroseira nos últimos 30 anos.

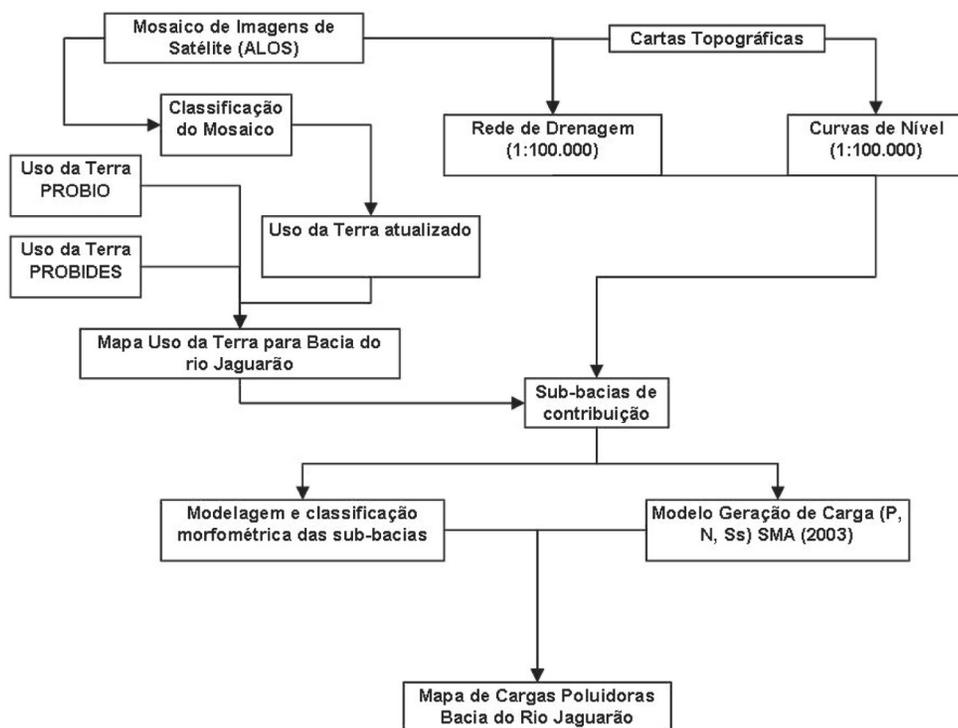


**Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do rio Jaguarão**

### *Procedimentos Metodológicos*

#### *Base de dados cartográficos*

Os procedimentos metodológicos, apresentados no organograma esquemático da figura 2, ofereceram suporte à análise integrada do ambiente no contexto da bacia hidrográfica em questão. Algumas tarefas antecederam a execução dos cruzamentos das informações, as quais dizem respeito à compatibilização de uma base de dados em formato digital georreferenciado para a bacia, envolvendo os territórios do Brasil e do Uruguai.



**Figura 2 - Organograma dos Principais Procedimentos Metodológicos**

### Uso da terra

O plano de informação (PI) relativo ao uso da terra foi elaborado por meio do cruzamento de três mapas de uso da terra. O mapa elaborado pelo Probides (2000) para o território uruguaio da bacia, o mapa elaborado pelo Probio/MMA (2006) para o território brasileiro da bacia, e o mapa gerado no presente trabalho, cujo procedimento está descrito a seguir.

O mapa de uso da terra foi elaborado a partir da segmentação de imagens de satélite, com processamento digital de um mosaico de imagens ALOS do ano de 2008, utilizando o método de segmentação de imagens disponível no *software* Spring 4.3.2. Este método pode ser descrito como o processo de divisão de uma imagem em segmentos não sobrepostos. O processo divide a imagem em grupos espectrais únicos e inclui um componente espacial. O modelo exige que todos os pixels em um grupo espectral (ou segmento) sejam espacialmente contíguos. Estes segmentos podem ser usados para extrair e classificar feições, produzindo uma imagem melhor classificada. Como resultado, foram identificados os seguintes tipos de uso da terra: Água, Campo, Banhado, Mata Ciliar, Reflorestamento, Área Rural e Área Urbana.

O mapa gerado foi, então, sobreposto, comparado e aglutinado aos mapas de uso da terra propostos pelo Probides e pelo Probio/MMA, os quais serviram como parâmetros na validação das informações geradas na segmentação da imagem, associados às verificações de campo.

### Definição das Bacias de Contribuição

A delimitação das sub-bacias de contribuição partiu do cruzamento de informações topográficas com as informações de drenagem superficial da área de contribuição da bacia hidrográfica do rio Jaguarão. Para tanto, foi gerado o Modelo Digital de Elevação - MDE, a partir das curvas de nível (escala de 1:100.000), originando o PI topográfico, o qual incluiu a distribuição espacial dos atributos da superfície do terreno de maneira estruturada e baseada em rede de triângulos irregulares (TIN), onde a superfície é dividida em planos triangulares. Triângulos são formados a partir de nós, cujos valores representativos do atributo do terreno em determinado ponto não são alterados por procedimentos de interpolação que passam a constituir os vértices destes triângulos. É uma estrutura de dados eficiente, onde o tamanho e a forma dos triângulos são variáveis em função da complexidade do terreno, permitindo a fixação de linhas representativas do relevo como lados dos triângulos (Steinke e Costa, 2002).

Este procedimento foi realizado utilizando-se a extensão *Watershed basins* para ArcView 3.x, na qual foram inseridos os PI's de topografia e drenagem, possibilitando, assim, a delimitação automatizada das bacias de contribuição.

No entanto este procedimento, por si só não foi suficiente, uma vez que a delimitação automatizada gerou algumas distorções nos divisores de água das bacias de contribuição, quando comparadas às informações das curvas de nível. Desta forma, foram realizados procedimentos de edição dos limites, a fim de corrigi-los.

### Análise morfométrica das sub-bacias

Neste trabalho optou-se pela análise morfométrica como método para o detalhamento geomorfológico da bacia, e neste caso cada sub-bacia de contribuição foi analisada de modo a gerar um indicador em função do relevo, agregando assim, uma importante variável ao processo de poluição difusa, uma vez que a maioria do escoamento ocorre de maneira superficial. Para isso, foram adotados os parâmetros apresentados por Christofolletti (1980).

As linhas de escoamentos são tomadas como base para a análise linear de uma rede hidrográfica. As medições necessárias são tomadas ao longo das mesmas, e entre elas podemos distinguir os itens numéricos abaixo relacionados.

Ao relacionar o número total de segmentos de uma determinada ordem com o número total da ordem imediatamente superior, estaremos realizando a relação de bifurcação. Christofolletti (1980) ressalta a importância de se distinguir entre escoamento superficial e escoamento pluvial, onde os canais do escoamento pluvial não devem ser considerados para o estabelecimento das redes hidrográficas. A expressão utilizada para o cálculo é a seguinte:

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

na qual  $N_u$  é o número de segmentos de uma ordem  $e$ ,  
 $N_{u+1}$  é o número de segmentos de ordem imediatamente superior.  
A relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem é:

$$R_{lm} = \frac{L_{mu}}{L_{mu-1}} \quad (2)$$

na qual  $R_{lm}$  é a relação entre os comprimentos médios dos canais;  
 $L_{mu}$  é o comprimento médio dos canais de determinada ordem  $e$ ;  
 $L_{mu-1}$  é o comprimento médio dos canais de ordem imediatamente inferior.

Sendo a relação entre os dois índices acima descritos em igualdade, a média do tamanho dos canais crescerá ou diminuirá na mesma proporção. Caso contrário (o mais comum), o tamanho dos canais poderá diminuir ou crescer progressivamente com a elevação da ordem dos canais. Segue a seguinte expressão:

$$R_{lb} = \frac{R_{lm}}{R_b} \quad (3)$$

na qual  $R_{lb}$  é a relação entre o índice do comprimento médio e o de bifurcação;

$R_{lm}$  é o índice do comprimento médio entre duas ordens subseqüentes e;

$R_b$  é a relação de bifurcação entre as mesmas duas ordens subseqüentes.

A extensão do percurso superficial, que mede a distância média percorrida pelas enxurradas entre o interflúvio e o canal permanente, é uma importante variável, pois afeta no desenvolvimento hidrológico e fisiográfico. Relaciona-se diretamente com o número de canais de primeira ordem. A fórmula para calculá-la é expressa por:

$$E_{ps} = \frac{1}{2 \cdot D_d} \quad (4)$$

na qual  $E_{ps}$  representa a extensão do percurso superficial e;

$D_d$  é o valor da densidade de drenagem.

A análise areal da bacia hidrográfica engloba vários índices nos quais intervêm medições planimétricas, além de medições lineares. Podemos incluir os índices relacionados abaixo.

A área da bacia (A): é toda área drenada pelo conjunto do sistema fluvial, projetada em plano horizontal; e o comprimento da bacia (L): várias são as definições a propósito do comprimento da bacia, acarretando diversidade no valor do dado a ser obtido.

A densidade de rios é a relação existente entre o número de rios ou cursos de água e a área da bacia hidrográfica:

$$D_r = \frac{N}{A} \quad (5)$$

onde  $D_r$  é a densidade de rios;  $N$  é o número total de rios ou cursos de água e  $A$  é a área da bacia considerada. Considerando a ordenação de Strahler, o número de canais corresponde à quantidade de 1ª ordem, pois implica que os rios surgem em uma nascente. A densidade de rios é importante, pois representa matematicamente a capacidade que a bacia tem de gerar novos cursos de água.

Para o cálculo da densidade da drenagem é considerada a seguinte fórmula;

$$D_d = \frac{L_t}{A} \quad (6)$$

na qual  $D_d$  significa a densidade de drenagem;  $L_t$  é o comprimento total dos canais e  $A$  é a área da bacia. A densidade de drenagem representa relação inversa com o comprimento dos rios, pois quanto mais aumenta o valor numérico da densidade há diminuição do tamanho dos cursos d'água.

O coeficiente de manutenção tem como finalidade indicar a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento, tal índice pode ser calculado através da seguinte expressão:

$$C_m = \frac{1}{D_d} \cdot 1000 \quad (7)$$

na qual  $C_m$  é o coeficiente de manutenção e  $D_d$  é o valor da densidade de drenagem, expresso em metros.

Para estabelecer o critério de ordenamento dos indicadores morfométricos, foram atribuídas notas, de 0 a 10, em função de cada índice morfométrico, assim, foram considerados os seguintes aspectos na indicação de notas<sup>4</sup>: Para o escoamento superficial, ou seja, o  $E_{ps}$ , a bacia com menor valor recebeu a nota mais elevada, pois se entende que quanto menor o percurso percorrido pelas enxurradas, mais rapidamente o canal de drenagem será atingido pela carga poluidora, e a nota mais elevada indica maior exposição ao risco de contaminação. O mesmo critério foi adotado para o indicador coeficiente de manutenção, pois indica a área necessária para a manutenção adequada do canal de drenagem, desta forma, quanto menor esta área, mais frágil e suscetível está o canal.

Para os parâmetros como n<sup>o</sup>. de rios, densidade de drenagem e declividade, os valores das notas seguem a ordem crescente, ou seja, quanto menor o índice, menores serão as suas notas, pois indicam aspectos positivos para a manutenção dos corpos hídricos. É importante ressaltar que os parâmetros de relação de bifurcação de canais, densidade de rios e outros calculados, serviram como base para os indicadores utilizados na modelagem.

A tabela 1 apresenta a suscetibilidade do relevo à exportação de cargas poluidoras com base nos indicadores morfométricos (parâmetros de cada índice utilizado na composição da nota final estabelecida para a morfometria do relevo), variando de muito baixa até extremamente alta. Já a tabela 2 apresenta a consolidação da análise morfométrica para a suscetibilidade do relevo à exportação de cargas poluidoras (indicador final)

**Tabela 1 - Suscetibilidade do relevo à exportação de cargas poluidoras com base nos indicadores morfométricos**

Suscetibilidade do Relevo para Exportação de Carga	Nota	$E_{ps}$ (metros)	$C_m$ (Km <sup>2</sup> )	Nº Rios	$D_d$ (m/Km <sup>2</sup> )
Muito Baixa	0	> 711	> 13,3	Até 76	Até 572
Baixa	2	711 - 578	13,3 - 11,4	77 - 246	573 - 879
Moderada	4	577,9 - 521	11,3 - 10,3	247 - 347	880 - 1042
Alta	6	520,9 - 439	10,2 - 8,7	348 - 398	1043 - 1157
Muito Alta	8	438,9 - 286	8,6 - 7,1	399 - 445	1158 - 1422
Extremamente Alta	10	< 286	< 7,1	446 - 543	> 1422

<sup>4</sup> Notas = Peso atribuído a cada índice, as quais têm valor maior em função do grau de contribuição de exportação de carga ao sistema, desta forma a nota gira em torno de cada parâmetro respeitando sua dinâmica individual. Por exemplo, as regiões com declividades mais acentuadas recebem notas mais elevadas.

**Tabela 2 - Consolidação da análise morfométrica para a suscetibilidade do relevo à exportação de cargas poluidoras**

Classe	Nota
Muito Baixa	10-15
Baixa	16-20
Moderada	21-25
Alta	26-30
Muito Alta	31-35
Extremamente Alta	36-40

### *Geração de cargas poluidoras*

Os modelos de simulação de carga poluidora, que representam matematicamente os processos de geração das cargas, têm como objetivo relacionar os diferentes tipos de cobertura da terra e seus impactos na rede de drenagem. Dessa forma, estimativas são realizadas na expectativa de indicar as áreas de maior fornecimento de poluição e as áreas que podem estar ameaçadas ou em desequilíbrio, por serem receptoras destas cargas.

Diversos modelos têm sido propostos, os quais procuram resolver por meio de diferentes cálculos a questão das cargas poluidoras por diferentes elementos. No presente trabalho, optou-se por estimar a geração de carga poluidora com módulo de carga poluidora difusa que foi utilizado no Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Bacia do Guarapiranga (SMA, 2003), o Modelo de Correlação entre Uso do Solo e a Qualidade da Água - MQUAL. Esse modelo é constituído de três módulos inter-relacionados: geração de cargas, simulação dos principais tributários e simulação do reservatório, cada um deles representando os fenômenos de geração e autodepuração das cargas poluidoras em três ambientes considerados: a superfícies do terreno, onde estão as fontes de cargas poluidoras; os rios principais e seus afluentes; e, por fim, o reservatório.

As cargas poluidoras foram estimadas com base no coeficiente de exportação de carga (N, P e Ss). As estimativas estão associadas ao uso e ocupação da terra. A equação básica do módulo de geração de cargas difusas está descrita a seguir:

$$C_i = \sum (A_i \cdot c_i) \quad (8)$$

Onde:

$C_i$  carga média de cada parâmetro de qualidade de água para cada bacia de contribuição (kg/dia);

$A_i$  área ocupada pelas diferentes categorias de uso da terra nas bacias de contribuição (Km<sup>2</sup>);

$c_i$  coeficientes de exportação de cargas difusas de cada parâmetro ambiental para as diferentes categorias de uso e ocupação da terra (kg/Km<sup>2</sup>/dia);

O Módulo de carga é a representação matemática dos processos de geração de cargas poluidoras na bacia hidrográfica destinado a correlacionar a qualidade da água nos principais corpos de água da bacia com o uso e com a intensidade de ocupação da terra. As estimativas foram realizadas para as cargas de Fósforo total (P), Nitrogênio total (N) e Sólidos suspensos (Ss) provenientes de fontes difusas nas bacias de contribuição. As cargas poluidoras foram calculadas em termos de médias anuais e estimadas para cada parâmetro em kg/dia, de acordo com os valores apresentados por (SMA, 2003) (Tabela 3).

**Tabela 3 - Parâmetros de carga MQUAL por tipo de uso**

Tipo de cobertura	Unidade	N Total	P Total	Ss Total
Urbano	Kg/km <sup>2</sup> /dia	1,274	0,034	50
Agricultura	Kg/km <sup>2</sup> /dia	2,950	0,346	230
Campo	Kg/km <sup>2</sup> /dia	0,500	0,028	30
Campo/Pastagem	Kg/km <sup>2</sup> /dia	0,500	0,028	30
Campo/Mata	Kg/km <sup>2</sup> /dia	0,600	0,039	20
Mata	Kg/km <sup>2</sup> /dia	0,600	0,039	20
Água	Kg/km <sup>2</sup> /dia	---	---	---
Banhado	Kg/km <sup>2</sup> /dia	0,700	0,034	10
Bosque Fluvial	Kg/km <sup>2</sup> /dia	0,550	0,034	25
Campo Banhado	Kg/km <sup>2</sup> /dia	0,500	0,028	30

A partir dos resultados da geração de carga poluidora difusa, foi estabelecida uma classificação para cada poluente de maneira individualizada (tabela 4) e, ainda, uma classificação geral com o somatório das áreas para cada modelo (tabela 5).

**Tabela 4 - Parâmetros quantitativos para hierarquização qualitativa das cargas**

Classe de Exportação de Carga	Nota	Fósforo (P) Kg/km <sup>2</sup> /dia	Nitrogênio (N) Kg/km <sup>2</sup> /dia	Sólidos Suspensos (Ss) Kg/km <sup>2</sup> /dia
Muito Baixa	0	0,0 - 1,5	0,0 - 10,0	0 - 500
Baixa	2	1,6 - 5,0	10,1 - 40,0	501 - 1.000
Moderada	4	5,1 - 10,0	40,1 - 99,0	1.001 - 5.000
Alta	6	10,1 - 20,0	99,1 - 200,0	5.001 - 10.000
Muito Alta	8	20,1 - 40,0	200,1 - 500	10.001 - 20.000
Ext. Alta	10	> 40	> 500	> 20.000

**Tabela 5 - Classificação qualitativa geral após somatório das Notas**

Classe de Exportação de Carga	Nota
Muito Baixa	0 - 5
Baixa	5,1 - 10
Moderada	10,1 - 15
Alta	15,1 - 20
Muito Alta	20,1 - 25
Ext. Alta	25,1 - 30

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

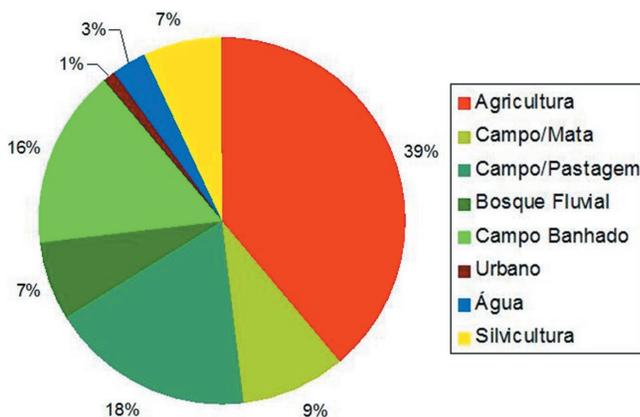
### *Cobertura da terra*

A classificação por segmentação do mosaico de imagens do ALOS gerou o mapa de cobertura da terra, com dez classes. Nesse mapa, cada classe de cobertura recebeu uma denominação em função das informações constantes nos mapas de vegetação do Brasil e do Uruguai e de acordo com o tipo de uso da terra atual.

A cobertura e uso da terra da bacia podem ser caracterizados por dois parâmetros predominantes. O primeiro, com remanescentes de vegetação primária e secundária, é caracterizado pelos campos e suas composições fitofisionômicas, em alguns casos associados com matas/bosques isolados e, também, com a pecuária de corte. O outro parâmetro predominante diz respeito à intensa utilização da região para a agricultura mecanizada, sem remanescentes de vegetação natural.

Estes dois principais representantes de classes de uso da terra na bacia ocorrem, em grande parte, em função dos condicionantes geomorfológicos. As áreas planas e sujeitas a inundações são aproveitadas ao máximo para o cultivo intenso de arroz irrigado. Essas são denominadas regionalmente de "terras baixas", situadas até a cota altimétrica de 60 m. A região situada nas cotas altimétricas mais elevadas, superiores a 60 m, nas quais o relevo se apresenta como suave-ondulado, é denominada na região de "terras altas", nos quais predomina a vegetação típica do "Pampa" e são utilizadas basicamente para a criação de gado de corte de alto nível competitivo no mercado internacional.

Nas áreas mais elevadas, localizadas principalmente no território brasileiro, foram observadas ainda duas novas tendências de ocupação, a atividade agrícola com plantio de soja, e a atividade de silvicultura pela monocultura de eucalipto, ambas situadas preferencialmente nas proximidades dos divisores de águas da bacia. A figura 3 apresenta um gráfico com os percentuais de cada tipo de uso da terra em toda a bacia.



**Figura 3 - Tipos de uso da terra na bacia hidrográfica do rio Jaguarão**

### *Sub-bacias de Contribuição e Análise Morfométrica*

As bacias de contribuição foram definidas em função de análise integrada, em ambiente SIG, com base em parâmetros morfométricos e hierarquia de drenagem até canais de 7ª ordem, na escala de 1:100.000.

Foi possível individualizar 18 sub-bacias de aporte direto ao curso principal, o rio Jaguarão e conseqüentemente a Lagoa Mirim. Dessas, 12 apresentam, no geral, relevo plano e suave ondulado, com extensas áreas de amplitude altimétrica inferior a 50m, aliadas aos níveis de declividade fraca (até 6%). As demais, em função de estarem localizadas nas proximidades dos divisores de água, apresentam características topográficas distintas, com maior rugosidade do relevo e amplitudes altimétrica maiores.

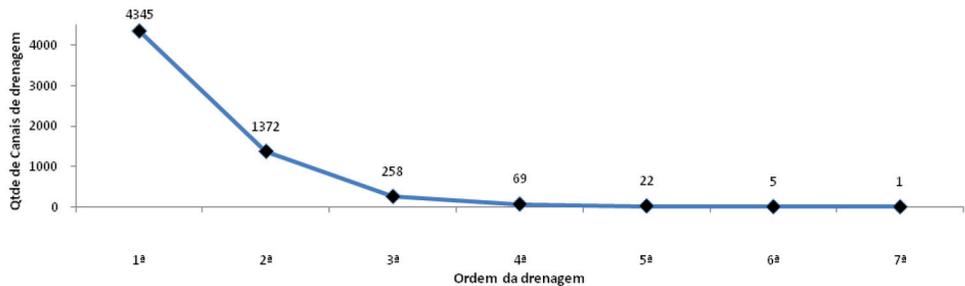
Do ponto de vista da análise morfométrica dos cursos d'água, a individualização das sub-bacias permitiu quantificar o número de canais para cada sub-bacia de acordo com a ordem hierárquica; a tabela 6 apresenta os dados referentes a esta quantificação.

**Tabela 6 - Número de canais por ordem hierárquica em cada sub-bacia de contribuição**

Sub-Bacia	Ordem do Canal segundo Strahler						
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>
1	58	13	3	1			
2	318	86	14	5	2	1	
3	177	50	12	5	1		
4	261	69	12	3	1		
5	392	124	21	5	1		
6	332	91	17	4	1		
7	285	89	16	6	1		
8	179	52	7	2	1		
9	211	49	14	2	1		
10	387	90	19	4	1		
11	369	101	22	5	2		
12	128	34	6	2			
13	206	74	23	7	4	1	
14	283	124	21	4	2	2	1
15	236	83	14	5	1		
16	126	63	10	1			
17	135	71	10	2	1		
18	262	109	17	6	2	1	

Este tipo de análise permite verificar aspectos fundamentais para a gestão da bacia hidrográfica como unidade de paisagem integradora, pois é possível quantificar os diferentes níveis e setores de suscetibilidade ao aporte de poluição difusa, e a quantificação dos canais de primeira ordem se apresenta de maneira extremamente importante, pois estes são os "captadores" das águas, principalmente das sub-bacias situadas nos divisores de água e que são as áreas de recarga do sistema.

Neste mesmo sentido é fundamental verificar o total de canais de 1<sup>a</sup> ordem (escala 1:100.000) na bacia do rio Jaguarão, pois somam mais de 4.300 cursos d'água com esta definição. Isto mostra a capilaridade do sistema, no entanto, é importante ter atenção redobrada pois indica que mais de 70% dos canais de drenagem são de 1<sup>a</sup> ordem e estão naturalmente mais vulneráveis aos processos de degradação.



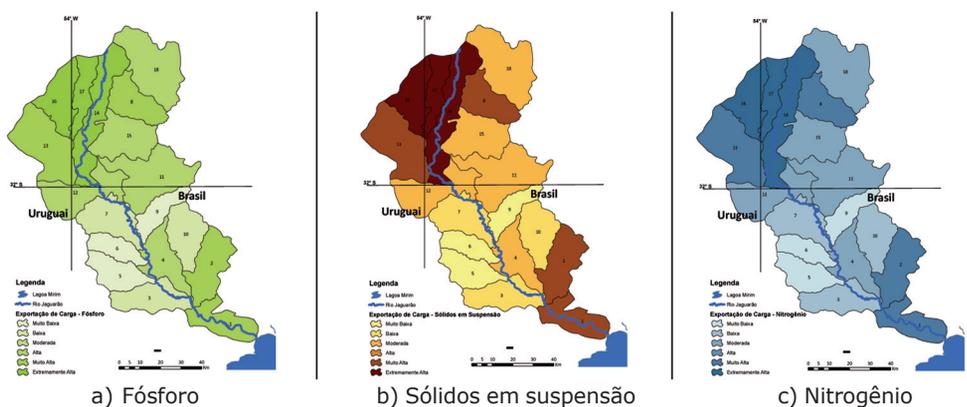
**Figura 4 - Número total de canais em cada ordem hierárquica da bacia do rio Jaguarão**

### Exportação de Carga por Poluição Difusa - MQUAL

De acordo com os procedimentos metodológicos propostos, a partir do mapa de cobertura da terra, foram inseridos os parâmetros de carga poluidora (P, N e Ss) para cada classe de uso nas sub-bacias de contribuição e ainda, estes parâmetros foram cruzados com os índices morfométricos de cada sub-bacia, com a finalidade de incorporar um parâmetro geomorfológico no modelo, assim se espera que o modelo possa representar melhor o comportamento da carga poluidora no sistema de hídrico. Após o processamento dos dados de carga, esses foram classificados em seis grupos, de acordo com uma hierarquia de valores de carga em uma escala de 0 a 10. Nessa escala, o valor 10 corresponde à maior fonte de poluição difusa para cada parâmetro.

O somatório dos três parâmetros (P, N e Ss), conforme indicado na tabela 5, aponta as áreas com maior participação nas cargas da bacia hidrográfica de acordo com a classificação estipulada: Extremamente Alta, Muito Alta, Alta, Moderada, Baixa e Muito Baixa (figura 5).

Com a utilização do modelo MQUAL, foi possível, então, discretizar a informação de carga para cada bacia de contribuição, pois em função das dimensões da bacia, se faz necessário uma individualização dos parâmetros analisados por sub-bacia de contribuição. Este procedimento visou classificar as sub-bacias de acordo com o nível de exportação de carga difusa, de acordo com os critérios estabelecidos nos procedimentos metodológicos.



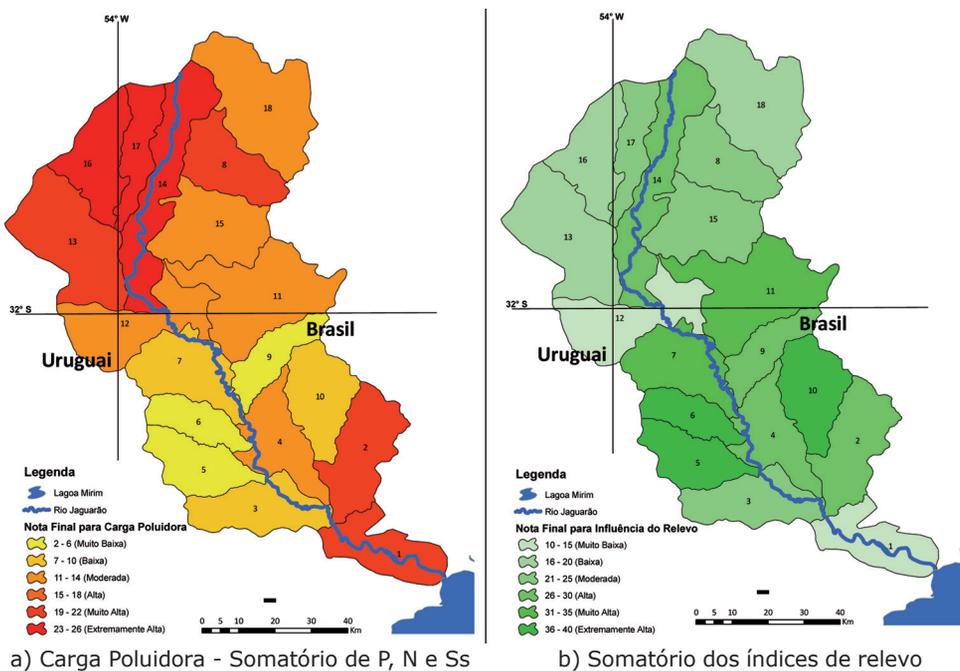
**Figura 5 - Comportamento das cargas poluidoras. (a - Fósforo; b - Sólidos em suspensão e c - Nitrogênio)**

Os resultados da exportação de carga individualizados por parâmetro mostram duas situações bem específicas: a primeira diz respeito ao reflexo do tipo de uso da terra nos divisores de água das sub-bacias a montante, pois a atividade agropecuária tem sido uma forte tendência nesta região ao longo de sua história e se intensificou nos últimos anos. E nas sub-bacias a jusante, principalmente, as de número 1 e 2, se reflete a utilização nos parâmetros em função da atividade de rizicultura.

Desta forma, as iniciativas prioritárias para evitar danos aos cursos d'água, em função do elevado número de canais de 1ª ordem, poderia se concentrar nas bacias situadas a montante (ou seja, do terço superior da bacia), e nas do terço inferior, já que as sub-bacias do terço médio estão em relativo equilíbrio, pois os parâmetros apresentam resultados baixos.

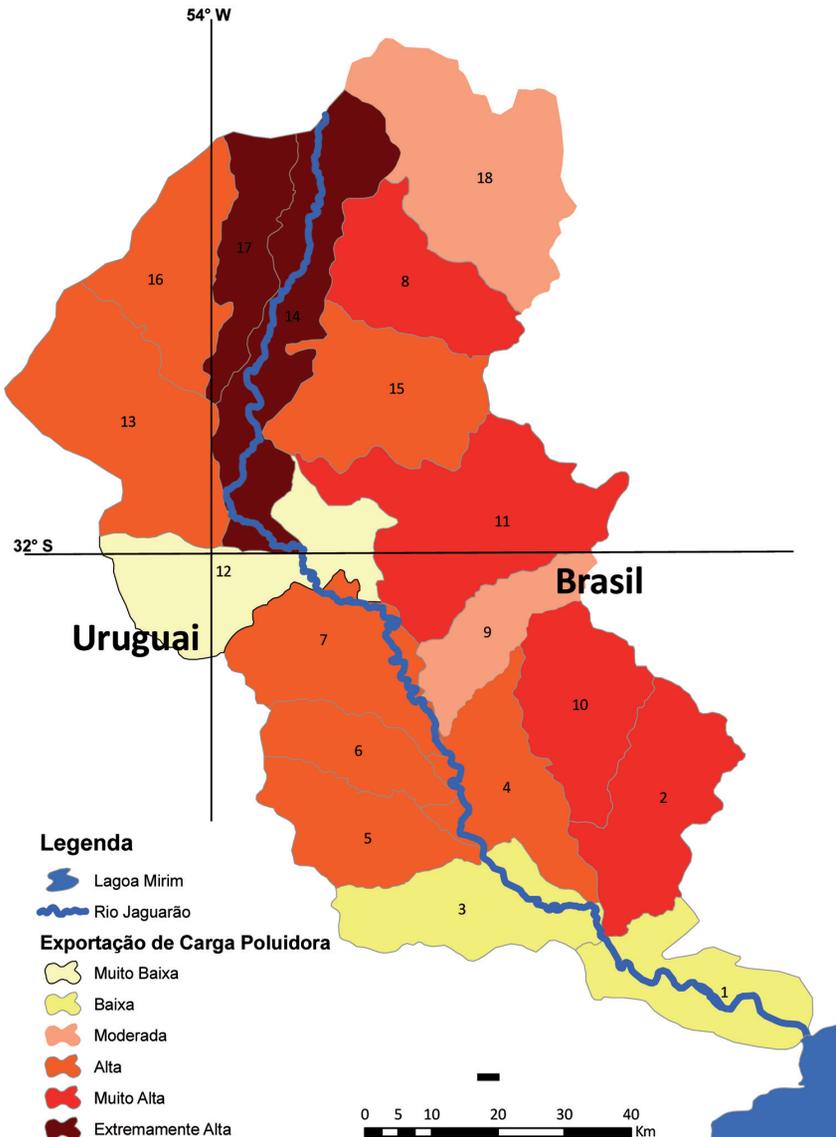
Os dados de morfometria da bacia foram mapeados com a finalidade de indicar as sub-bacias que estariam em condições mais críticas em função de aspectos naturais do relevo, como declividade, densidade de drenagem e outros especificados nos procedimentos metodológicos.

De acordo com os procedimentos indicados, a classificação das sub-bacias, foi realizada pela junção dos mapas apresentados na figura 6, gerando um mapa final com as áreas sob maior risco, ou que se encontram em condições de vulnerabilidade maior.



**Figura 6 - Notas Finais para Indicadores morfométricos do Relevo e para Carga Poluidora. "A" Obedece aos critérios da Tabela 2 e "B" obedece aos critérios da Tabela 5**

Assim, as sub-bacias 2, 11, 10, 14 e 17 foram classificadas como de muito alta ou extremamente alta estimativa de contribuição de carga poluidora, portanto podem ser vistas como áreas prioritárias para processos de gestão da bacia como um todo. Ressalta-se que todas estas bacias se encontram em território brasileiro. Para as sub-bacias do território Uruguai, apenas a sub-bacia 5 (Cinco) foi classificada como alta e as demais como moderada e baixa. A figura 7 apresenta o mapa final das sub-bacias classificadas.



**Figura 7 - Classificação das Sub-bacias de contribuição em função da estimativa de carga poluidora**

Desta forma, ao contrário do estudo anterior (Steinke; Saito, 2008), que analisava o conjunto da bacia hidrográfica da Lagoa Mirim (escala de análise nível +1) em que as partes mais baixas da bacia hidrográfica em análise apresentavam maiores estimativas para geração de carga poluidora, este estudo mostra, com seu maior nível de detalhamento (escala de análise nível 0), que as partes altas em função do tipo de uso fornecem maiores cargas, merecendo ações públicas voltadas para a redução desses aportes. Este maior nível de detalhamento permite uma análise mais refinada e o direcionamento mais adequado de ações no campo da gestão dos recursos hídricos.

Apresenta-se assim um refinamento do modelo apresentado por Steinke, *et al.* (2004) e Steinke e Saito (2008), pois, neste caso se insere um novo parâmetro, que são os índices morfométricos de cada sub-bacia de contribuição, os quais representam informação significativa, principalmente quando neste momento a região começa a passar por uma mudança em sua matriz econômica, e esta informação pode servir em políticas de zoneamentos regionais.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta apresentada teve como objetivo identificar as sub-bacias de contribuição ao rio Jaguarão sob maior risco de poluição difusa. Considerando uma análise transversal da bacia hidrográfica tendo como referência a calha do rio principal, constatou-se que em ambas as margens do rio Jaguarão os conflitos socioambientais se apresentam de maneira muito semelhante, pois envolvem questões relacionadas diretamente com o desenvolvimento econômico, estas induzidas pela "vocação" da região, a qual, historicamente, reduziu-se ao bin mio arroz irrigado e gado de corte. Neste momento, buscar novas solu es e compatibilizar as a es em ambos os territórios, diante da vulnerabilidade dos ecossistemas envolvidos, requer pensar no manejo dos meios de produ o capaz de equilibrar a apropria o dos recursos naturais com as demandas sociais da região.

Porém, quando se analisa longitudinalmente a bacia hidrográfica, observa-se que as iniciativas prioritárias para evitar danos aos cursos d'água, em fun o do elevado número de canais de 1  ordem, deveriam ser concentradas primeiramente no terço superior da bacia hidrográfica. O terço médio aparenta maior estabilidade, vindo os cursos d'água ainda mais a jusante, já no terço inferior, a apresentar novamente preocupa o quanto a sua conserva o. No entanto, as políticas públicas de monitoramento e gestão devem levar em considera o que esses dois trechos de maior vulnerabilidade ambiental tem origem em atividades econ micas distintas, sendo a pecuária no terço superior e a rizicultura no terço inferior.

Do ponto de vista geopolítico, têm cabe assinalar que as maiores vulnerabilidades e fontes de export o de cargas poluidoras encontram-se no território brasileiro, cabendo, portanto ao Brasil a iniciativa e maior responsabilidade na gestão sustentável desta sub-bacia (nível hierárquico 0), independente da dinâmica de antropiza o no conjunto da bacia hidrográfica da Lagoa Mirim já assinalados em Steinke e Saito (2008) (nível hierárquico +1). Obviamente tal constata o para esta sub-bacia não exclui a necessidade de articula o entre as a es dos dois governos, tanto na bacia hidrográfica como nesta sub-bacia.

Por sinal,   oportuno assinalar que ao buscar executar um refinamento metodológico, com base na Teoria Geral de Sistemas, descendo um nível hierárquico de análise (do nível +1 para o nível 0, ou seja, da bacia hidrográfica da Lagoa Mirim para a sub-bacia do rio Jaguarão), estamos indicando que este refinamento e mudança de escala permitiu mostrar com maior propriedade a dinâmica de impacta o das formas de uso da terra sobre os recursos hídricos. Ou seja, sugerimos que este nível de refinamento/detalhamento   não só adequado como necessário para fornecer subsídios para a gestão de recursos hídricos, que neste caso, constitui-se numa gestão transfronteiriça dos mesmos.

Análises de varredura muito abrangentes, em nível de bacia hidrográfica, podem ser insuficientes para registrar a dinâmica complexa dos impactos, exigindo análises em nível hierárquico inferior. Este tipo de conclusão pode ser importante e requer maior aprofundamento, se considerarmos que os Planos de Recursos Hídricos são feitos tendo como unidade territorial e escala de análise a bacia hidrográfica e não as sub-bacias.

Algumas dificuldades merecem registro adicional, pois apresentam rebatimento nos diagnósticos deste tipo: 1) fragilidades de ordem técnica, como a disponibilidade, articulação e aglutinação de base de dados cartográficos, tanto no que se refere à hidrografia como aos parâmetros físicos a ela associados, como topografia; 2) inexistência de políticas públicas consistentes para articulação bilateral em bacias hidrográficas deste tipo, mesmo havendo grupos de trabalhos em nível político as ações estão dispersas; 3) necessidade não-suprida no trabalho de modelagem que requer articulação institucional envolvendo os agentes específicos da região de fronteira e esta articulação ainda está na dependência de articulações pessoais.

A sistematização de informações geoambientais em bacias transfronteiriças requer atenção dos gestores públicos de ambos os governos, neste caso brasileiro e uruguaio, em nível Federal. O momento histórico é oportuno para integração de dados e informações e sugere-se a criação de núcleos técnicos binacionais capazes de executar estudos técnicos de qualidade, voltados ao apoio de discussões no nível da geopolítica regional.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Prof<sup>a</sup>. Virgínia Fernandes da Universidade de La República ao Prof<sup>o</sup> João Olair Menegheti da UFRGS, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e a Agência Brasileira de Cooperação – ABC do Ministério das Relações Exteriores – MRE pelo apoio financeiro nos seguintes projetos de pesquisa e cooperação: Desenvolvimento teórico-metodológico em gestão transfronteiriça de áreas úmidas: Lagoa Mirim (Brasil-Uruguai) - Apoio financeiro CNPq. E, Produção colaborativa de informações ambientais para a conservação da biodiversidade na bacia hidrográfica da Lagoa Mirim: consolidação da rede de instituições parceiras e adequação da base de dados para SIG (Brasil - Uruguai) - Apoio financeiro ABC/MRE. Por fim agradecemos a revisão crítica da 1ª versão deste artigo, pela equipe da revista Geografia.

## REFERÊNCIAS

- ARONOFF, S. **Geographic Information Systems: A Management Perspective**. Ottawa: WDL Publications, 1991.
- ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistemas de Informações Geográficas - Aplicações na Agricultura**. Brasília: EMBRAPA, 1998.
- BURROUGH, P. A. **Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment**. New York: Oxford University Press, 1986.
- BURROUGH, P. A.; McDONNELL, R. A. **Principles of geographical information systems**. New York: Oxford University Press, 1998.
- CALIJIURI, M. L.; RÖHM, S. A. **Sistemas de Informações Geográficas**. Viçosa: UFV. 1995.

CARPENTER, S. R.; CARACO, N. F.; CORRELL, D. L.; HOWARTH, R. W.; SHARPLEY, A. N.; SMITH, V. H. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. **Ecological Applications**, Washington, v.8, n.3, p. 559-568, 1998.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

DAVIS, C. A. Geoprocessamento: Dez Anos de Transformações. In: TOMAMASELLI, A. M. G.; et al. **Geoinformação: Passado, Presente e Futuro**. Curitiba: Espaço GEO, 2001.

GBUREK, W. J.; SHARPLEY, A. N. Hydrologic controls on phosphorus loss from upland agricultural watersheds. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.2, n.27, p. 267-277, 1998.

GENELETTI, D. An approach based on spatial multicriteria analysis to map the nature conservation value of agricultural land. **Journal of Environmental Management**. v.83, n.2, p. 228-235, 2007.

GIUPPONI, C., EISELT, B., GHETTI, P. F. A. Multicriterial approach for mapping risks of agricultural pollution for water resources: The Venice Lagoon watershed case study. **Journal of Environmental Management**, v.56, n.4, p. 259-269, 1999.

KUHNLE, R.A.; BINGER, R.J.; FOSTER, G.R.; GRISSINGER, E.H. Effect of land use on sediment transport. **Water Resources Research**, Washington, v.32, n. , p. 3189-3196, 1996.

LEPISTÖ, A., GRANLUND, K., KORTELAINEN, P., RÄIKE, A. Nitrogen in river basins: Sources in the surface waters and peatlands, and fluxes to estuaries in Finland. **Science of the Total Environment**, v.365, n.1-3, 238-259, 2006.

LOPES, F., MERTEN, G. H., FRANZEN, M. et al. Utilização de P-Index em uma bacia hidrográfica através de técnicas de geoprocessamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.3, p. 312-317, 2007.

MACHADO, R. E.; VETTORAZZI, C. A. Simulação da produção de sedimentos para a microbacia hidrográfica do Ribeirão dos Marins (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.27, n.4, p.735-741, Jul/Aug. 2003.

MACHADO, R. E., VETTORAZZI, C. A.; XAVIER, A. C. Simulação de cenários alternativos de uso da terra em uma microbacia utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.4, p.727-733, Jul/Aug. 2003.

MACLEOD C.; HAYGARTH, P. A review of the significance of non-point source agricultural phosphorus to surface water. **Scope Newsletter**, Devon, v. , n.51, p.1-10, 2003.

MANSOR, M. T. C., TEIXEIRA FILHO, J.; ROSTON, D. M. Avaliação preliminar das cargas difusas de origem rural, em uma sub-bacia do Rio Jaguari, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.3, p.715-723, Jul/Set. 2006.

MATEJICEK, L. BENESOVÁ, L.; TONIKA, J. Ecological modeling of nitrate pollution in small river basins by spreadsheets and GIS. **Ecological Modelling**, n.170, p. 245-263, 2003.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Mapas de Cobertura Vegetal dos Biomas Brasileiros**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/index.php?ido=conteudo.monta&idEstrutura=72&idMenu=3813>> Acesso em: 01 out. 2007.

MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005.

MOHAMMED, H., YOHANNES, F., ZELEKE, G. Validation of agricultural non-point source (AGNPS) pollution model in Kori watershed, South Wollo, Ethiopia. **Internacional Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, n.6, p. 97-109, 2004.

MONTAÑA, J. R.; BOSSI, J. **Geomorfologia de los humedales de la cuenca de la laguna Merin em el departamento de Rocha**. Universidade de la Republica. Serie documentos de trabajo nº.2. 1995.

MUFANO, M., CECCHI, G., BAIOTTO, F., MANCINI, L. River pollution from non-point sources: a new simplified method of assessment. **Journal of Environmental Management**, n.77, p.93-98, 2005.

PALIWAL, R., SHARMA, P., KANSAL, A., Water quality modeling of the river Yamuna (India) using QUAL2E-UNCAS. **Journal of Environmental Management**, v.83, n.2, p.31-44, 2007.

PROBIDES - Programa de Conservación de la Biodiversidad y Desarrollo Sustentable en los Humedales del Este. **Plan Director Reserva de Biosfera Bañados del Este**. 2000.

ROCHA, C. H. B, **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar**. Juiz de Fora: Ed. Do Autor, 2000.

RODRIGUES, M. Geoprocessamento: um retrato atual. **Fator GIS**, Curitiba, v.1, n.2, p.20-23, 1993.

SCHOU, J. S., SKOP, E., JENSEN, J. D. Integrated agri-environmental modeling: A cost-effectiveness in the Vejle Fjord watershed, Denmark. **Journal of Environmental Management**, v.58, p.199-212, 2000.

SHIGAKI, F., SHARPLEY, A.; PROCHNOW, L. I. Animal-based agriculture, phosphorus management and water quality in Brazil: options for the future. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 63, n.2, p.194-209, Mar./Abr. 2006.

SILVA, A. S.; PORTO, M. F. A. A utilização do modelo WinHSPF no estudo das cargas difusas de poluição da bacia do ribeirão da Estiva, SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 15, 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ABRH, 2003. 1 CD-Rom.

SIVERTUN, A. PRANGE, L. Non-point source critical area analysis in the Gisselö watershed using GIS. **Environmental Modelling & Software**, v.18, p.887-898, 2003.

SMA – Secretaria de Estado de Meio Ambiente. Calibração do Sistema Relacional de Correlação do Manejo do Território e da Qualidade Ambiental para o Reservatório Billings – Relatório Parcial RT-2. São Paulo, SMA, 2003, 37p. (disponível no site [http://www.institutoacqua.com.br/Subportais/pt\\_raiz/PRIME\\_Outubro%202003.pdf](http://www.institutoacqua.com.br/Subportais/pt_raiz/PRIME_Outubro%202003.pdf), acesso em 07/07/2004).

STEINKE, V. A.; COSTA, D. A. de A. Determinação de Feições Geomorfológicas a partir da Técnica de Multiplicação de Bandas Espectrais e do Modelo Numérico do Terreno. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 4, 2002, São Luis. **Anais...** São Luis: Universidade Federal do Maranhão, 2002, 1 CD-Rom

STEINKE, V. A.; STEINKE, E. T.; SAITO, C. H.; ARAÚJO, S. C. de S. Estimativa de exportação de cargas poluidoras em bacia hidrográfica por geoprocessamento. In: Carlos Hiroo Saito. (Org.). **Desenvolvimento tecnológico e metodológico para mediação entre usuários e comitês de bacia hidrográfica**. 1 ed. Brasília: Depto. de Ecologia da Universidade de Brasília, p. 25-40, 2004.

STEINKE, V. A.; SAITO, C. H. Exportação de carga poluidora para identificação de áreas úmidas sob risco ambiental na bacia hidrográfica da Lagoa Mirim. **Soc. nat. (Online) [online]**. v.20, n.2, p. 43-67. 2008.

TANIK, A.; BELER BAYKAL, B.; GONENC, I. E. The impact of agricultural pollutants in six drinking water reservoirs. **Water Science and Technology**, v.40, n.2, p.11-17, 1999.

VIGHI, M.; CHIAUDANI, G. Eutrophication in Europe: the role of agricultural activities. In: HODGSON, E. (ed.). **Reviews in environmental toxicology** 3. Amsterdam: Elsevier, p.213-258, 1987.

WITT, M.; BEHRENDT, H. Nitrogen and phosphorus emissions from soil to surface water in the Rhine and Elbe basins. **Water Science and Technology**, v.39, n.12, p. 109-116, 1999.

XAVIER-DA-SILVA, J., CARVALHO FILHO, L. M. Sistemas de Informação Geográfica: Uma Proposta Metodológica. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA, 4. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 2., 1993, São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP, p. 609-628. 1993.

XAVIER-DA-SILVA, J. Geoprocessamento e SGI's. **Curso de Especialização em Geoprocessamento**. Rio de Janeiro: LAGEOP/ UFRJ, 1999, 1 CR-Rom.

XIAO, H., JI, W. Relating landscape characteristics to non-point source pollution in mine waste-located watersheds using geospatial techniques. **Journal of Environmental Management**, v.82, n. 1, p.111-119, 2007.

YUAN, D., LIN, B., FALCONER, R. A., TAO, J. Development of an integrated model for assessing the impact of diffuse an point source pollution on coastal waters. **Environmental Modelling & Software**, v.22, n.6, 871-879, 2007.

VILLWOCK, J. A. Geology of the coastal province of Rio Grande do Sul, Southern Brazil. A synthesis. **Pesquisas**, v. 16, p. 5-49, 1984.

Recebido em abril de 2010

Revisado em maio de 2011

Aceito em agosto de 2011