

## Avaliação Ambiental Integrada do Meio Físico nas Bacias do Alto e Médio Rio Uruguai: Análise Desagregada

Jussara Cabral Cruz<sup>1</sup>; Andrea Valli Nummer<sup>2</sup>; Flávio Luiz Foletto Eltz<sup>1</sup>; José Luiz Silvério da Silva<sup>2</sup>; Talles Augusto Araujo<sup>3</sup>; Damáris Gonçalves Padilha<sup>4</sup>; Geraldo Lopes da Silveira<sup>1</sup>

jussaracruz@gmail.com; a.nummer@gmail.com; silveriofsm@gmail.com; tmtlaraujo@gmail.com; damarispadilha@gmail.com; geraldo.ufsm@gmail.com

Recebido: 10/06/13 - revisado: 30/07/13 - aceito: 11/03/14

### RESUMO

A avaliação ambiental integrada é um instrumento importante para o licenciamento ambiental de hidrelétricas. Este artigo apresenta a avaliação integrada do meio físico realizada para as bacias hidrográficas do Alto e Médio rio Uruguai, mostrando as potencialidades do método pela possibilidade de efetuar a análise de forma desagregada. O estudo considerou diferentes aspectos como Geologia e Geomorfologia, Estabilidade de Encostas, Fragilidade à Erosão, Áreas de Mineração e Contaminação das Águas Superficiais e Subterrâneas (aquiíferos), compostos, cada um deles, de diversas variáveis, as quais foram valoradas em uma escala de fragilidade com valores de 1 a 255, para facilitar o armazenamento e processamento computacional por Sistema de Informação Geográfica, e apresentadas na forma de mapas individuais. O cruzamento destes mapas gerou o mapa por aspecto e o cruzamento dos mapas dos aspectos, cujos pesos foram decididos pelos pesquisadores, técnicos e gestores ambientais e de recursos hídricos envolvidos no projeto, gerou o mapa final do bloco do meio físico. A análise do mapa final mostra que a fragilidade é maior no centro norte da bacia do Médio e Alto Uruguai, com elevada acentuação ao longo dos cursos d'água, principalmente no próprio rio Uruguai. A partir da análise desagregada pode-se atribuir a alta fragilidade desta área às variáveis erosão, estabilidade de encostas e contaminação das águas. Já para as áreas isoladas de alta fragilidade, a análise desagregada indica uma relação com a variável Carga Orgânica das Populações e ocorrem junto aos municípios de Ijuí no Rio Grande do Sul e Concórdia, Chapecó e Joaçaba, em Santa Catarina. As áreas de baixa fragilidade ocorrem nos extremos leste e oeste da bacia, e se devem à menor possibilidade de contaminação das águas (baixa densidade populacional e menor índice agrícola), bem como a ocorrência de relevos mais suaves. Os mapas de aspectos (resultados desagregados) ou o integrado não decidem sobre a localização de nenhum empreendimento de geração de hidroeletricidade, mas auxiliam os órgãos ambientais a decidir com mais segurança onde localizar barragens e seus reservatórios com menor impacto ambiental ou trechos livres de empreendimentos.

**Palavras-chave:** hidrelétricas, bacia hidrográfica, fragilidade ambiental.

### INTRODUÇÃO

A bacia do rio Uruguai tem 45% de sua área situada em território nacional, perfazendo 174.412 km<sup>2</sup>, sendo que 73% situa-se no Estado do Rio Grande do Sul e 27% em Santa Catarina sendo responsável por 2,6% da disponibilidade hídrica do Brasil (SRH, 2006). No trecho alto da bacia predominam rios encaixados em vales rochosos, com alta

declividade, o que justifica, entre outras coisas, a sua vocação para geração de energia hidroelétrica. O potencial hidráulico da bacia é alto e os empreendimentos ali instalados (UHE Itá, Machadinho, Campos Novos e outras) têm bom desempenho, devido à possibilidade de aproveitar os vales encaixados dos cursos de água da região e as características geomecânicas e hidrogeotécnicas das rochas da Formação Serra Geral.

Atualmente encontram-se em estudo (técnicos, econômicos e socioambientais) alguns aproveitamentos, no trecho binacional do rio Uruguai, como Panambi e Garabi, e outros no trecho exclusivamente brasileiro, destacando-se neste último, os projetos de Itapiranga, Pai-Querê e Passo da Cadeia (ELETROBRAS/EBISA, 2010) e muitas PCH's, já instaladas ou em processo de licenciamento ambien-

<sup>1</sup> - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria

<sup>2</sup> - Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Maria

<sup>3</sup> - Departamento de Transportes, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria

<sup>4</sup> - PPGEF, Universidade Federal de Santa Maria

tal constantes do SIGEL da ANEEL (<http://sigel.aneel.gov.br/>).

O processo de licenciamento de obras de geração de energia hidrelétrica passou a considerar, a partir de 2004, a necessidade de realização de Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica como estratégia para minimizar os diversos conflitos que vinham eclodindo nos licenciamentos dos empreendimentos hidrelétricos (SILVEIRA & CRUZ, 2005).

Desta forma, para subsidiar o apoio à decisão no sistema de licenciamento ambiental de hidrelétricas, foi realizado pela EPE (2007), uma Avaliação Ambiental Integrada (AAI) das bacias do Alto e Médio Uruguai, utilizando uma metodologia com o objetivo de hierarquizar os trechos do rio com maior e menor fragilidade, com vistas à implantação de empreendimentos hidrelétricos, atendendo às exigências legais. Muito embora os estudos empreendidos na ocasião permitissem atestar o elevado potencial do instrumento para subsidiar o planejamento e a gestão ambiental integrada da bacia, os produtos gerados não permitiram atender alguns objetivos demandados, entre eles estabelecer diretrizes para o licenciamento ambiental de empreendimentos hidrelétricos naquela bacia (UFMS/UNIPAMPA, 2012).

Foi então demandado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) o refinamento da metodologia de avaliação aplicada na bacia do rio Uruguai, com ênfase nos seus setores mais frágeis. O objetivo da metodologia de AAI elaborada e implementada no estudo FRAGRIO (UFMS/UNIPAMPA, 2012) foi obter um mapa síntese, resultado do cruzamento dos mapas de muitas variáveis que representasse a fragilidade ambiental da bacia em relação a diferentes cenários de empreendimentos hidrelétricos. A importância desta metodologia em relação a utilizada anteriormente pelo estudo da EPE (2007) reside no fato de que em pontos de alta fragilidade, a análise possa ser realizada pelo licenciador de forma desagregada, e com isto dar subsídios a elaboração de termos de referência para os estudos complementares ao processo de licenciamento, bem como aos estudos de impacto ambiental.

A metodologia desenvolvida vem ao encontro do que afirmam Cruz et al. (2013), que consideram avaliação integral do ambiente de uma bacia hidrográfica uma possibilidade de hierarquizar trechos de rios e de bacias com base em fragilidades ambientais, utilizando dados disponíveis para toda a área da bacia de estudo, de modo que os atributos possam ser distribuídos de forma contínua na área de estudo da bacia. Segundo os autores, estes dados

devem mostrar sensibilidade e significância para identificação de gradientes ambientais relacionados à implantação de hidrelétricas (barragens e reservatórios), considerando a grande heterogeneidade das bases de dados, as diferenças regionais, estaduais e institucionais.

Na AAI elaborada, os dados em questão foram divididos em três grandes blocos, chamados de blocos físico, biótico e antrópico, e cada bloco é o resultado do cruzamento de muitas variáveis.

A análise da bacia hidrográfica seguiu um modelo conceitual que entende o rio como um sistema contínuo, conectando todos os pontos da bacia e o seu exutório. As variáveis foram analisadas por sistema de informações geográficas (SIG), que permitiu o detalhamento da distribuição das informações sobre toda a área da bacia hidrográfica.

Este artigo visa demonstrar o potencial da AAI desenvolvida com base em estudos de fragilidades, e seu potencial de análise desagregada, na compreensão dos processos que venham a fragilizar o meio ambiente frente à instalação de empreendimentos hidrelétricos e como ferramenta de apoio à decisão de licenciamentos ambientais. Para isso, apresenta-se a análise do aspecto Contaminação das Águas e sua influência no resultado final do Bloco do Meio Físico.

É importante ressaltar que o cruzamento das informações em sistema de informações geográficas, com pesos decididos por toda a equipe envolvida no projeto, originaram mapas que não decidem empreendimentos, mas que subsidiam os tomadores de decisão quanto às melhores alternativas. Em outras palavras, fornecem ao tomador de decisão informações sistematizadas e um quadro detalhado da situação ambiental da bacia hidrográfica.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O modelo conceitual do projeto FRAGRIO constitui-se em uma evolução da avaliação ambiental integrada de bacias hidrográficas com carência de dados, construída e aprimorada de estudos anteriores executados para as bacias do Taquari-Antas (FEPAM/UFRGS, 2001), do Ijuí e Butuí-Piratinim-Icamauã (FEPAM/UFRGS, 2004) e do Apuaê-Inhandava (FEPAM/UFMS, 2005). A construção do modelo partiu do modelo desenvolvido para o Apuaê-Inhandava e adotou a dinâmica de reuniões técnicas multi-disciplinares, que objetivaram o consenso interdisciplinar resultante da experiência qualitativa da equipe executora (técnicos de várias instituições,

incluindo órgãos licenciadores e pesquisadores das Universidades envolvidas). Nas reuniões foram selecionadas as variáveis e definidas as notas e pesos atribuídos a cada uma delas na análise multicritério. A etapa seguinte consistiu em espacializar a fragilidade ambiental definida para cada variável a partir da elaboração de mapas básicos ou temáticos, que originaram os mapas de fragilidades. Dos cruzamentos sucessivos destes mapas foram gerados os mapas-síntese, que agregaram as informações e reduziram as incertezas do modelo de fragilidade obtido para as bacias hidrográficas.

Foram utilizados dois tipos de mapas de fragilidades: o de restrições e o de fatores. Os mapas de restrições têm somente dois tipos de área: sem restrições e restrição absoluta, sendo apresentados em escala booleana, valor zero para áreas onde há restrição absoluta e um para áreas sem restrição. Os mapas de fatores variaram de zero a um (sem restrições), transformados para uma escala de com valores de 1 a 255, com vistas ao armazenamento e processamento das informações pelo programa computacional (ArcGis9.2). Os mapas síntese representaram o resultado final do cruzamento das informações que expressaram o grau de fragilidade ambiental, com equacionamento desenvolvido *pixel a pixel* (30 x 30m), de forma georeferenciada.

O modelo foi organizado em três níveis hierárquicos: um conjunto de variáveis formou um aspecto, e um conjunto de aspectos formou um bloco e a síntese dos mapas dos blocos físico, biótico e antrópico formou o mapa final da avaliação ambiental integrada.

Os aspectos estão formados pelo equacionamento de variáveis indicadoras de estado, mapeadas em 100% da área de estudo. O bloco foi formado pelos aspectos que foram considerados indicativos de processos geradores de impactos, tanto das obras no meio como do meio nas obras. A escolha, tanto dos aspectos quanto das variáveis que os compuseram, foi definida pelo Grupo de Trabalho (GT) criado pelo MMA para auxiliar na definição das diretrizes para AAIB (Portaria Ministerial 093/2008). Da mesma forma, o valor de ponderação para cada aspecto também foi definido pelo grupo.

Portanto, o bloco do meio físico foi definido como a composição ponderada dos seguintes aspectos: Geologia e Geomorfologia (peso de 25%); Estabilidade de Encostas (15%); Fragilidade à Erosão (25%); Áreas de Mineração (10%) e Contaminação das Águas Superficiais e Subterrâneas (aquíferos) (25%).

A metodologia completa da construção do modelo dos aspectos do Bloco do Meio Físico, parte

da AAI do rio Uruguai (UFSM/UNIPAMPA, 2012) é encontrada em Cruz et al. (2013). Entretanto, neste artigo é detalhada a metodologia utilizada para o aspecto Contaminação das águas. Este aspecto é considerado um dos fatores mais restritivos para a implantação de barragens nesta bacia. Exemplificase, a partir da análise desagregada deste Aspecto, a potencialidade do método proposto em permitir aos decisores conhecer de que forma cada fator influencia o resultado final das fragilidades.

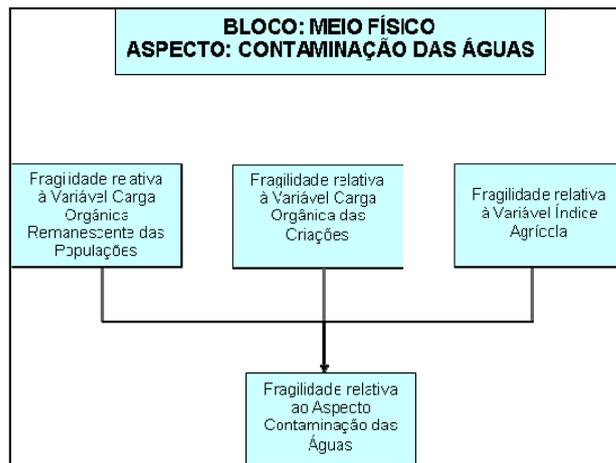


Figura 1 - Fluxograma das Fragilidades do Aspecto Contaminação das Águas (Cruz et al., 2009; Cruz et al., 2013).

A ideia da variável carga orgânica remanescente da população é que quanto maior a população, maior a carga produzida, porém, partindo-se da premissa que existe tratamentos dos resíduos, a carga remanescente é proporcional ao tipo de tratamento. Assim, a partir do censo populacional do IBGE (1991), foram obtidas informações relativas à população média de habitantes urbanos e rurais por município, os respectivos tipos de tratamento de esgoto doméstico por domicílio e município (Fig.2).

A carga orgânica remanescente por município foi estimada com base no equivalente populacional da DBO<sub>5</sub> (54 g/hab/dia) e em fatores de redução, de acordo com a classificação das situações dos domicílios e a classe de tratamento, segundo a equação:

$$C_{rem} = Pop * (54g/hab/dia) * F_{red}$$

Onde C<sub>rem</sub> é a carga orgânica remanescente, Pop é a população do município e F<sub>red</sub> é o fator de redução sendo 0,5 para populações ligadas à rede geral (ca-

nalizações mistas) e 0,85 para populações atendidas por fossa séptica (sistema decantação\infiltração).

Os valores obtidos e espacializados foram reescalados linearmente para valores entre 1 (alta fragilidade para o maior valor de carga) a 255 (mínima fragilidade para o menor valor encontrado).

A variável carga orgânica das criações, concebida com o mesmo princípio da variável anterior, considera que o tamanho dos rebanhos pode ser indicador da grandeza da produção de carga orgânica. A diferença está que, devido à falta de informações sobre a existência ou não de tratamentos em toda a bacia, a variável expressa a carga bruta total, obtida com a soma ponderada das cargas brutas de cada tipo de rebanho. Este ponderador expressa o critério (FEPAM/UFMS, 2005) de que as criações predominantemente confinadas (aves e suínos) impactam bem mais que as não confinadas.

Utilizando-se dos dados disponíveis do censo agropecuário IBGE (1996) e FEE(2001), foram obtidas informações relativas à área de propriedades rurais por classe de tamanho, o tamanho de cada tipo de rebanho efetivo por município (bovinos, equinos, suínos, caprinos e aves) e a área rural explorada.

A carga unitária de DBO é obtida a partir da carga unitária de fósforo (g/cab/dia) sugeridas por Lassevils & Berrux (2000) e transformadas em DBO pelo equivalente de 1 g P = 21,6 g DBO (OSPAR, 2000). Multiplicando-se a carga unitária de DBO pelo efetivo de cabeças de cada tipo de criação obtém a carga bruta de cada rebanho.

Para o cálculo da carga total, o GT considerou o critério (FEPAM/UFMS, 2005) de que as criações predominantemente confinadas (aves e suínos) impactam bem mais que as não confinadas. Assim, a carga total foi obtida pela soma ponderada entre os diferentes rebanhos, onde o peso 0,2 foi atribuído aos bovinos, equinos, ovinos, enquanto que o peso 1 foi atribuído aos suínos e aves. Esse total foi dividido pela área municipal em quilômetros quadrados, passando a expressar a carga potencial de DBO, que é gerada pelos rebanhos por quilômetro quadrado, sendo esses valores re-escalados: a maior carga específica recebeu valor de um (maior fragilidade) até 255 para a menor carga (menor fragilidade). O mapa resultante é o mapa de fragilidades relativo ao potencial de contaminação orgânica dos rebanhos. A Figura 3 sintetiza a composição da variável carga orgânica das criações.

A variável Índice Agrícola foi concebida de modo a indicar a intensidade da atividade agrícola e expressa a probabilidade de aporte de nutrientes oriundos das lavouras, proporcional à perda de solos, um indicativo da potencialidade de contaminação por insumos agrícolas (FEPAM/UFRGS, 2004).

Os dados foram obtidos dos censos agrícolas do IBGE (1996) e pela FEE (2001): áreas colhidas ou destinadas a colheita, classificadas em culturas permanentes e temporárias, por município. Considerando-se que as perdas de solo em lavouras permanentes são menores que a de lavouras temporárias na ordem da quinta parte (FEPAM/UFMS, 2005), o índice por município foi calculado como a soma das áreas agricultáveis das áreas ocupadas por todas as culturas temporárias com um quinto das áreas com culturas permanentes e dividindo-se pela área do município, em hectares. O índice foi reescalado de modo inversamente proporcional e linearmente atribuindo o menor valor (menor fragilidade) para 255 e o maior valor (maior fragilidade) para um. A

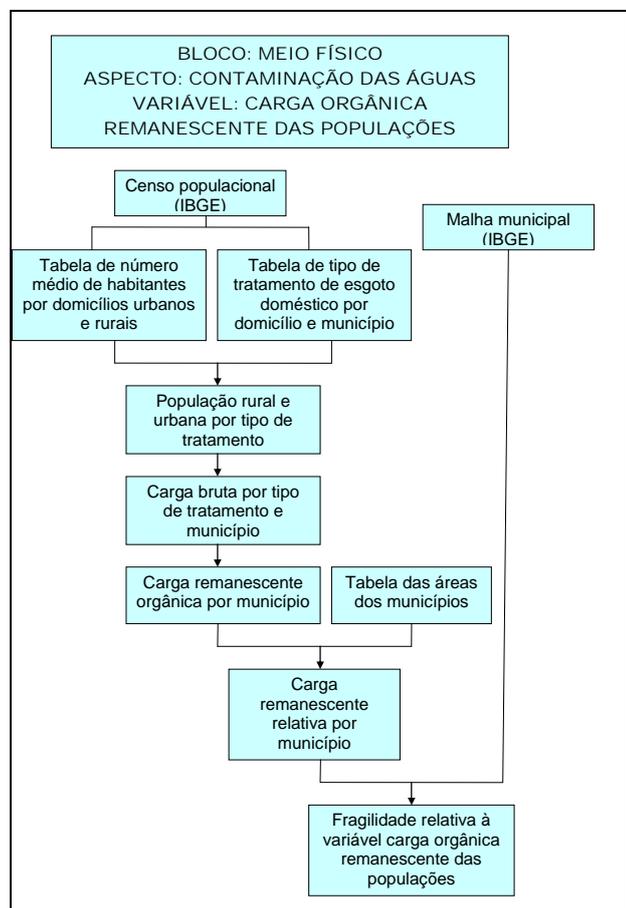


Figura 2 - Fluxograma para obtenção da Fragilidade da Variável Carga Orgânica Remanescente das Populações (Cruz et al., 2009)

Figura 4 detalha o procedimento de obtenção do mapa de potencial de contaminação agrícola.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados obtidos com o método proposto são mapas que indicam as áreas de maior ou menor fragilidade.

**Análise Desagregadas Fragilidades do Bloco do Meio Físico**

O mapa final de Fragilidades do Bloco do Meio Físico (Fig. 5) foi obtido conforme a ponderação dos 5 aspectos apresentados na Figura 1.

Observando-se os resultados de fragilidades sintetizados no mapa da Figura 5, verifica-se que as áreas mais frágeis encontram-se no centro norte da bacia estudada, sendo acentuada ao longo dos cursos d’água, principalmente em torno do rio Uruguai com destaque para o município de Itapiranga/SC. Por outro lado, as áreas menos frágeis encontram-se nas porções leste e oeste da bacia.

Para compreender a razão desse resultado, analisa-se os aspectos e as variáveis isoladamente, uma a uma, em uma análise desagregada. Observando-se os aspectos erosão (Fig. 8), estabilidade de encostas (Fig. 7) e contaminação das águas (Fig. 14) percebe-se que os mesmos são determinantes para atribuição da maior fragilidade na região centro norte da bacia. Pelas fragilidades apresentadas na Figura 13, pode-se inferir que o fator mais importante para contribuição da fragilidade do aspecto contaminação das águas e que influi significativamente no resultado do bloco, é a variável índice agrícola. De conhecimento deste fato, o decisor pode inserir nas condicionantes do licenciamento ou nas exigências do EIA/RIMA, estudos mais detalhados, bem como proposição de programas para reduzir as fragilidades devido a esse fator.

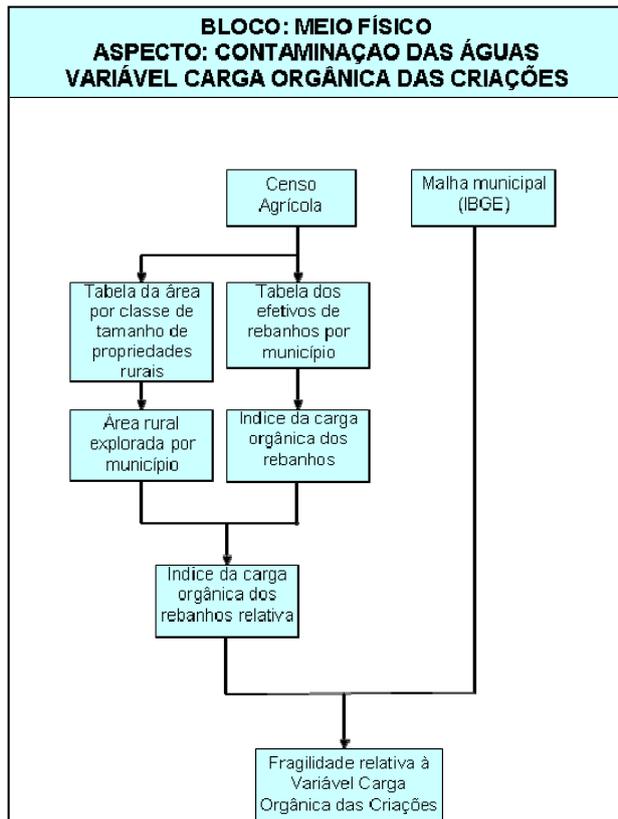


Figura 3 - Fluxograma da Variável Carga Orgânica das Criações (Cruz et al., 2009).

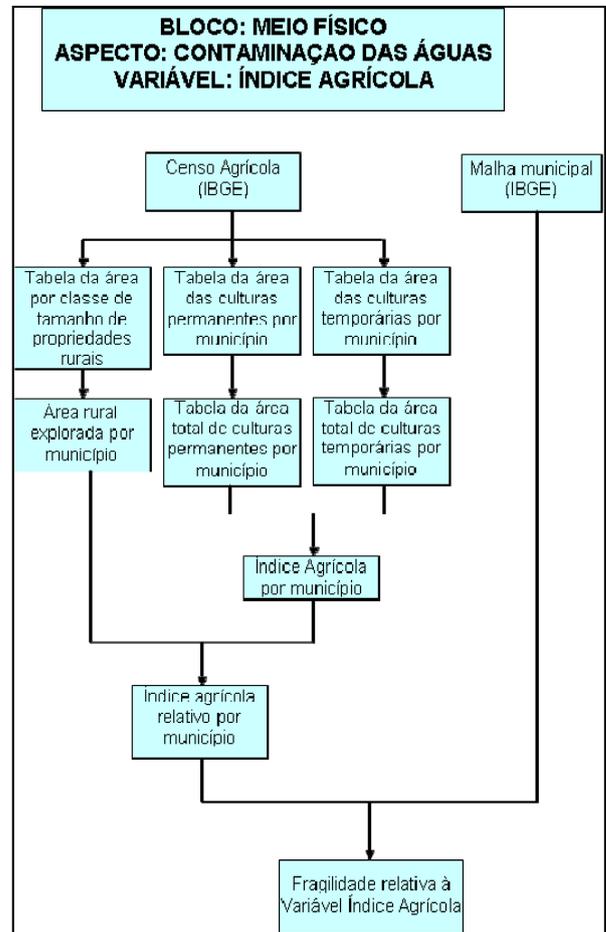


Figura 4 - Fluxograma para obtenção da Fragilidade da Variável Índice Agrícola (Cruz et al., 2009).

Na porção leste da bacia, o modelo apresentou menores valores de fragilidades para o bloco Físico. Esse fato pode estar associado a ocorrência, nessa região, de vales encaixados e rochas duras com elevadas resistências geomecânicas, as quais podem favorecer a localização de empreendimentos para geração de hidroeletricidade. Observando-se os mapas, as áreas de baixa fragilidade, que ocorrem tanto nas porções leste como oeste da bacia (nos seus extremos), as mesmas podem estar associadas a menor possibilidade de contaminação das águas (baixa densidade populacional e menor índice agrícola – Fig. 13). Também podem estar associadas a relevos mais suaves, embora nestas regiões os aspectos Erosão, Estabilidade de Encostas e Geologia e Geomorfologia apresentaram fragilidades mais elevadas.

Esta percepção só é possível dada a potencialidade do método em permitir não só utilizar o mapa síntese das fragilidades, mas também os resultados parciais para a compreensão das causas das fragilidades. A seguir, as fragilidades dos aspectos do meio físico são discutidos, com maior detalhamento no Aspecto da Contaminação das Águas.

O aspecto Geologia e Geomorfologia têm como variáveis associadas Geologia (litologia), Declividade, Água Subterrânea e Geomorfologia, nas quais são consideradas como indicadoras de fragilidades a qualidade da rocha e sua resistência ao intemperismo, bem como sua resistência mecânica associada à declividade, originando diferentes modelos de relevo.

O mapa final em relação ao aspecto Geologia e Geomorfologia é apresentado na Figura 6, onde pode-se visualizar uma maior fragilidade na parte leste, onde se situa o Domo de Lages, além da parte central da bacia hidrográfica, em menor intensidade. No extremo oeste da bacia também se observam áreas com fragilidade elevada junto às Zonas de Confinamento e Zonas de Afloramento do Sistema Aquífero Guarani (SAG). Salienta-se que na área do estudo existem vários Balneários Hidrotermais, com temperaturas superiores a 25°C, penetrando o SAG, tais como Itá, Piratuba, Palmitos, Chapecó, Presidente Castelo Branco em SC e Machadinho, Três Arroios, Marcelino Ramos no RS (UFMS/UNIPAMPA, 2012). O SAG nesta porção encontra-se em profundidades superiores a 500 m e na Zona de Confinamento Profundo (OAS, 2009).

O aspecto Estabilidade de Encostas é resultado da combinação das variáveis Geologia (litologia) baseada em CPRM (2003), Declividade e Geomorfologia (baseada em RADAMBRASIL, 1986 e

2005). Estas variáveis refletem a probabilidade de ocorrência de movimentos de massa e áreas de risco.

A fragilidade do aspecto Estabilidade de Encostas é mostrada na Figura 7, onde as áreas mais frágeis estão na porção centro-norte da bacia, justamente onde ocorrem as áreas mais povoadas e o uso da terra é intenso, além de áreas correspondentes ao Domo de Lages ao leste. Na parte média da bacia (centro em direção ao sudoeste), as áreas mais frágeis estão associadas às calhas dos rios Ijuí, Ijuízinho e Piratinin, no estado do Rio Grande do Sul, com áreas de menor fragilidade à jusante desta bacia e em áreas de relevo mais plano próximo à São Borja, na Cuesta do Haedo (MÜLLER FILHO, 1970).

O aspecto Fragilidade à Erosão tem como variáveis Solos, Declividades e Incremento da fragilidade ao redor dos cursos d'água de ordem maior ou igual a 3. A importância destas variáveis diz respeito ao processo de transporte de sedimentos aos leitos dos rios e reservatórios.

As fragilidades relativas ao aspecto Erosão (Fig. 8) são maiores próximas da rede de drenagem, pela maior declividade associada e maior probabilidade de carreamento dos sedimentos gerados pela erosão hídrica diretamente para dentro da calha dos rios e reservatórios.

As variáveis analisadas no aspecto Áreas de Mineração (Fig. 9) foram relacionadas às fases do processo de licenciamento de mineração junto ao DNPM e potencial poluidor das águas pela exploração do bem mineral. A maior parte dos processos de licenciamentos de mineração da bacia do Alto Uruguai está localizado na parte central, onde predominam a lavra de ametista, exploração de basalto e areia para construção civil, e secundariamente ocorrem na parte leste. Na bacia do Médio Uruguai predominam processos de requerimento de pesquisa, autorização de pesquisa e áreas em disponibilidade, sendo cobre e ametista os minerais mais requeridos para pesquisa.

O aspecto Contaminação das Águas é composto de 3 variáveis, que serão detalhadas a seguir com a finalidade de exemplificação da potencialidade da análise desagregada do método proposto.

O mapa da variável Carga Orgânica Remanescente das Populações (Fig. 11) mostra que os municípios mais densamente povoados são os mais frágeis, não necessariamente os de maior população. Dos dez municípios com maior carga orgânica (Tabela 1), nove se encontram em Santa Catarina, na margem direita do rio Uruguai, provavelmente associando maior densidade populacional e menor saneamento.

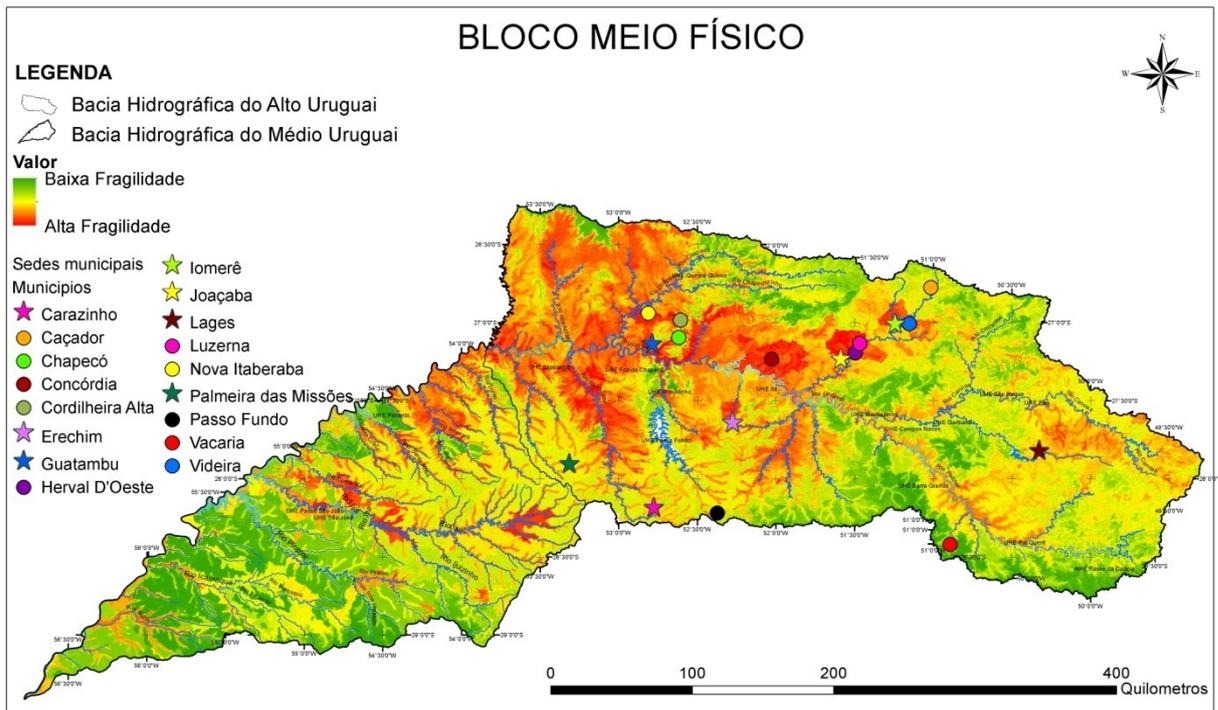


Figura 5 – Mapa de Fragilidades Relativo ao Bloco Meio Físico

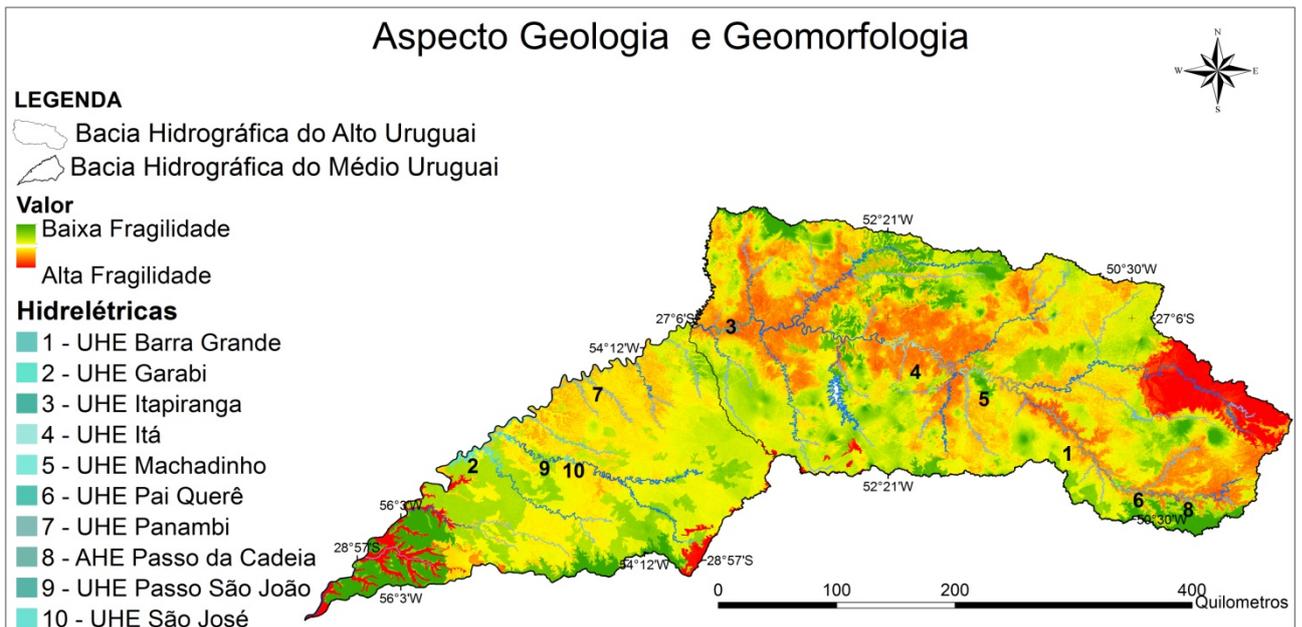


Figura 6 - Fragilidade relativa ao Aspecto Geologia e Geomorfologia

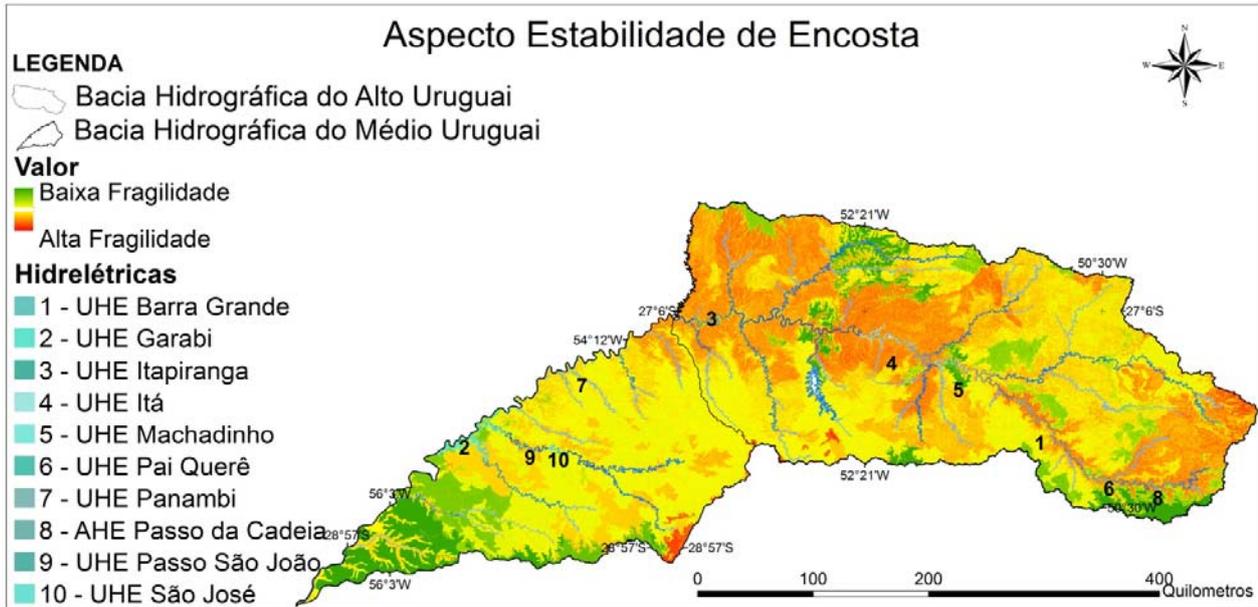


Figura 7 - Fragilidade relativa ao Aspecto Estabilidade de Encosta

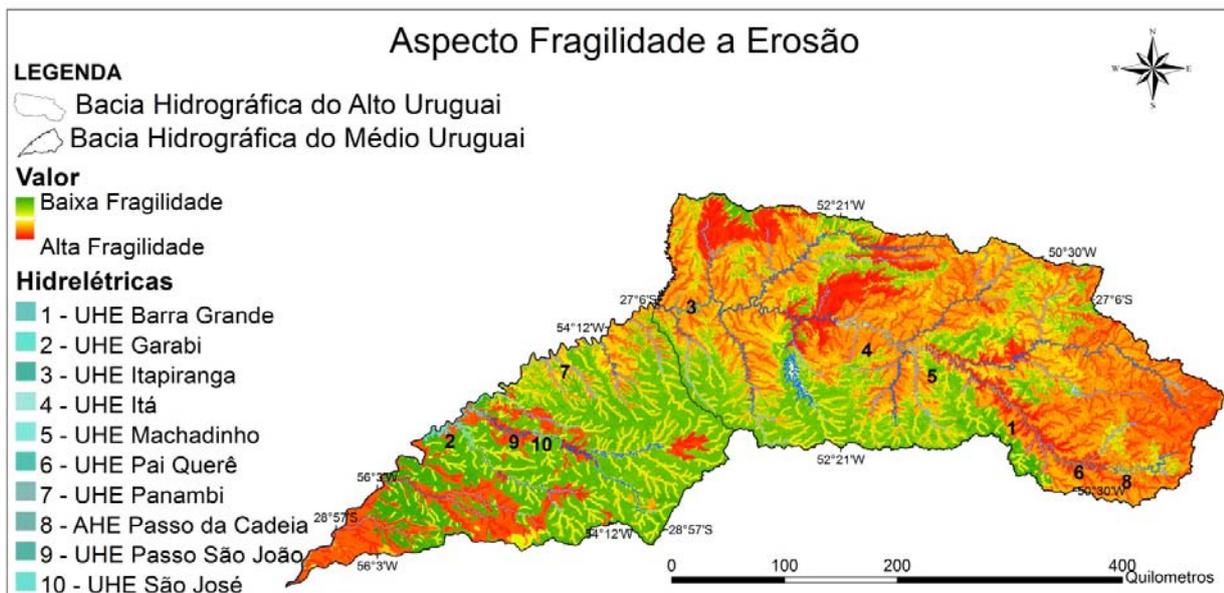


Figura 8 - Fragilidade relativa ao Aspecto Erosão

O mapa da variável Carga Orgânica das Criações (Fig. 11) mostra que a maior fragilidade se concentra na região de centro para oeste na margem direita do rio Uruguai, onde se concentram criações de aves e suínos. A falta de técnicas eficientes de saneamento nas criações, aliada ao fato de que muitas destas criações são realizadas direta-

te dentro do leito maior do rio Uruguai (região de margens), como pode ser comprovado em vistoria a campo (Fig. 12), acentua os problemas de contaminação das águas. A Figura 12 mostra reservatório para destinação final de efluentes líquidos de criação de suínos, localizado a dezenas de metros das margens do rio Uruguai.

Tabela 1 - Os dez municípios com maior população e os dez com maior carga orgânica remanescente das populações

No. De ordem	Município	Estado	População total (hab)	Município	Estado	Carga Remanescente g/dia/km <sup>2</sup>
1	Passo Fundo	RS	168.458	Joaçaba	SC	2.439
2	Lages	SC	157.682	Luzerna	SC	2.439
3	Chapecó	SC	146.967	Chapecó	SC	1.750
4	Erechim	RS	90.347	Guatambu	SC	1.750
5	Caçador	SC	63.322	Nova Itaberaba	SC	1.750
6	Concórdia	SC	63.058	Cordilheira Alta	SC	1.750
7	Carazinho	RS	59.894	Videira	SC	1.643
8	Vacaria	RS	57.341	Iomerê	SC	1.643
9	Videira	SC	41.589	Herval D'Oeste	SC	1.442
10	Palmeira das Missões	RS	38.192	Erechim	RS	1.372

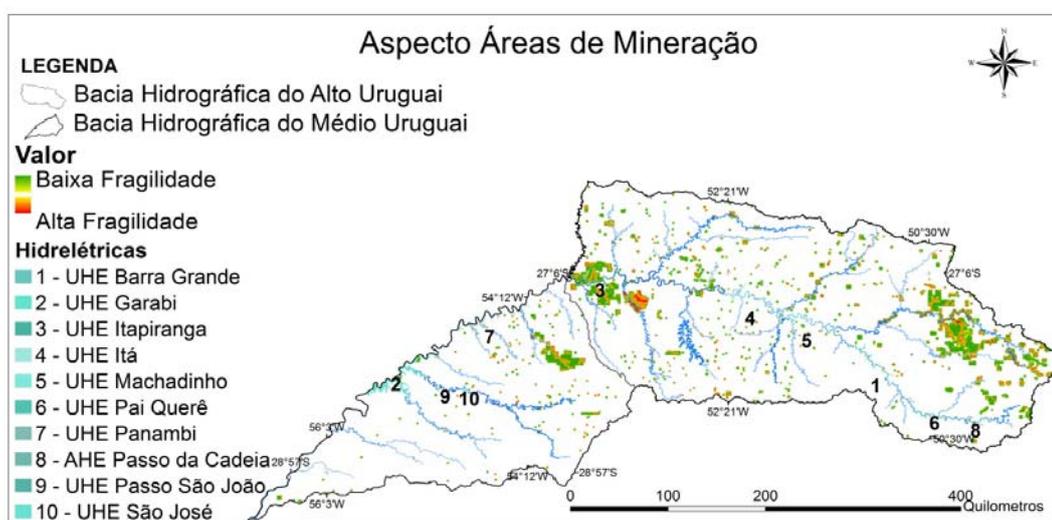


Figura 9 - Fragilidade relativa ao Aspecto Áreas de Mineração

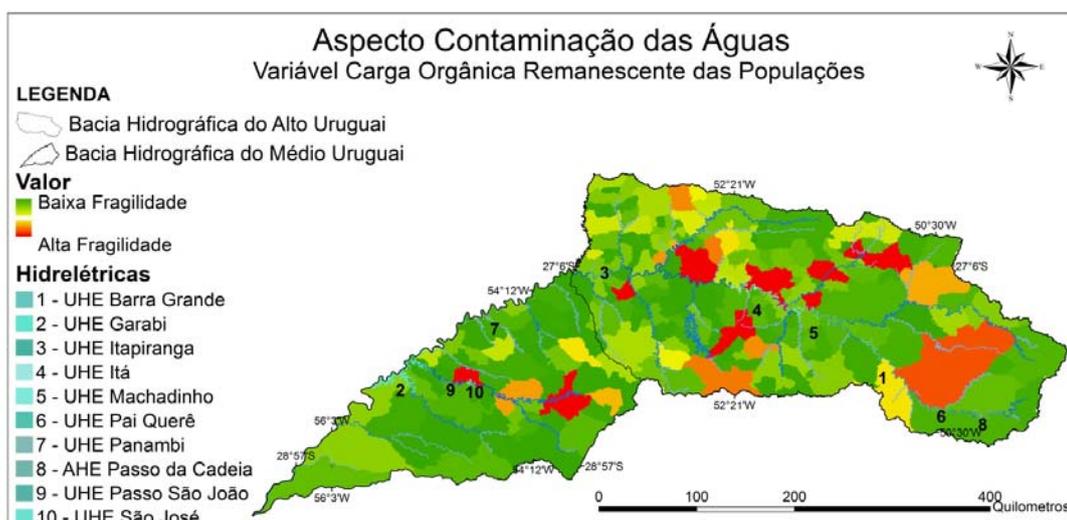


Figura 10 - Fragilidade da variável Carga Orgânica Remanescente das Populações

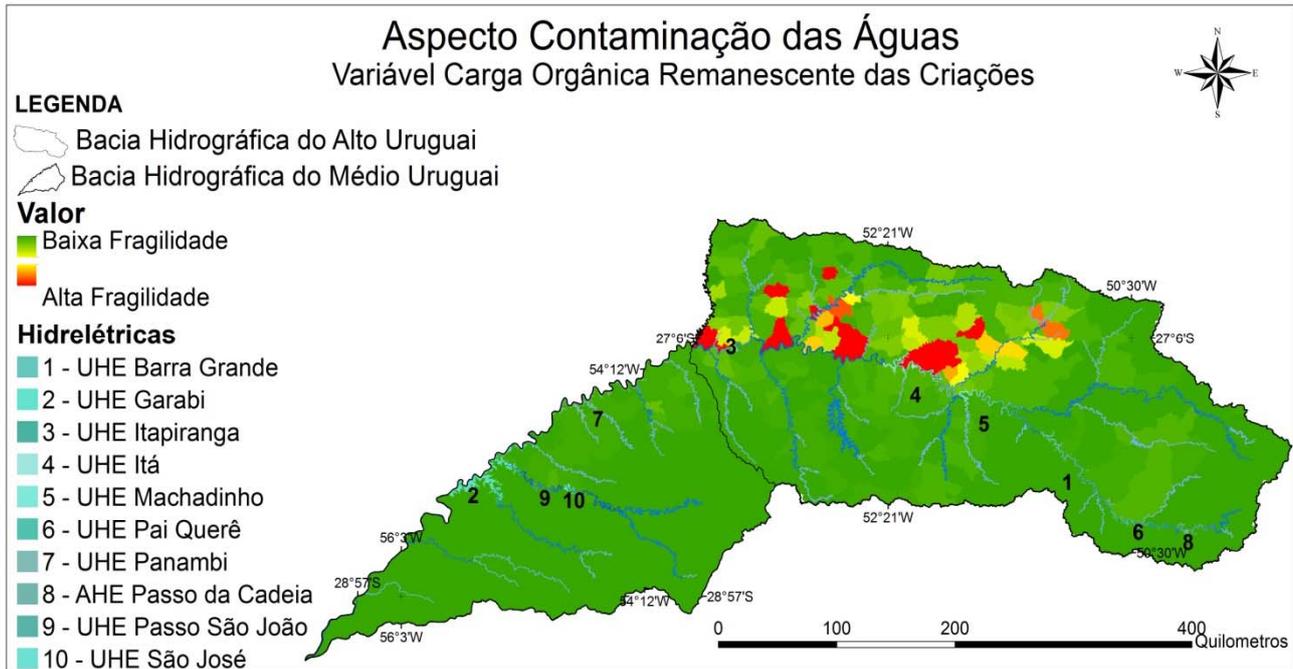


Figura 11 - Fragilidade relativa à Carga Orgânica das Criações

A parte leste e extremo oeste da bacia estudada possui criação extensiva de gado, em grande parte em pastagens nativas, com baixa fragilidade em relação a esta variável.

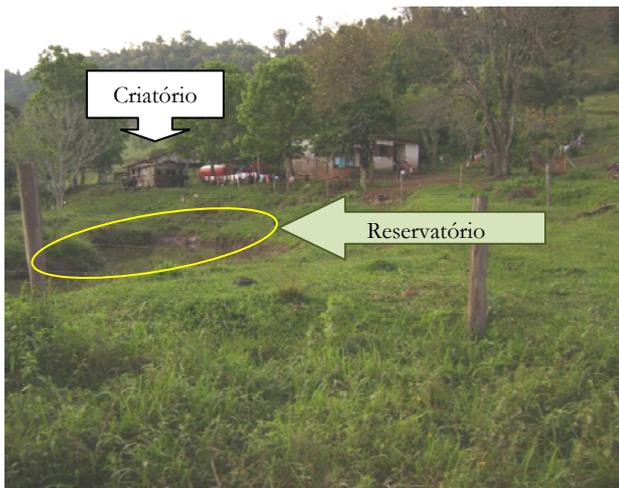


Figura 12 - Vista de reservatório às margens do rio Uruguai no trecho do projeto de Itapiranga

O mapa da fragilidade referente ao Índice Agrícola (Fig. 13) mostra que a grande concentração da atividade agrícola está na parte centro-oeste da bacia estudada, na margem esquerda do rio Uruguai, e uma menor concentração na margem direita, indicando maior fragilidade para esta região, devido a maior probabilidade de aporte de nutrientes oriundos das lavouras. Na parte leste da bacia a atividade agrícola ainda é incipiente, quando comparada à parte oeste.

O mapa da fragilidade do aspecto Contaminação das Águas (Fig. 14), obtido pelo cruzamento em igual proporção entre as variáveis, mostra que a parte centro-oeste, tanto na margem esquerda como a direita do rio Uruguai, tem alta fragilidade em relação à contaminação das águas. Na margem direita, este potencial é representado pela carga orgânica das criações, e na margem esquerda pela intensa atividade agrícola. As partes extremo leste e oeste da bacia tem menor fragilidade neste aspecto, devido à criação extensiva de gado e práticas agrícolas de menor impacto, como o plantio direto para a produção de grãos e a fruticultura, onde as perdas por erosão são mínimas.

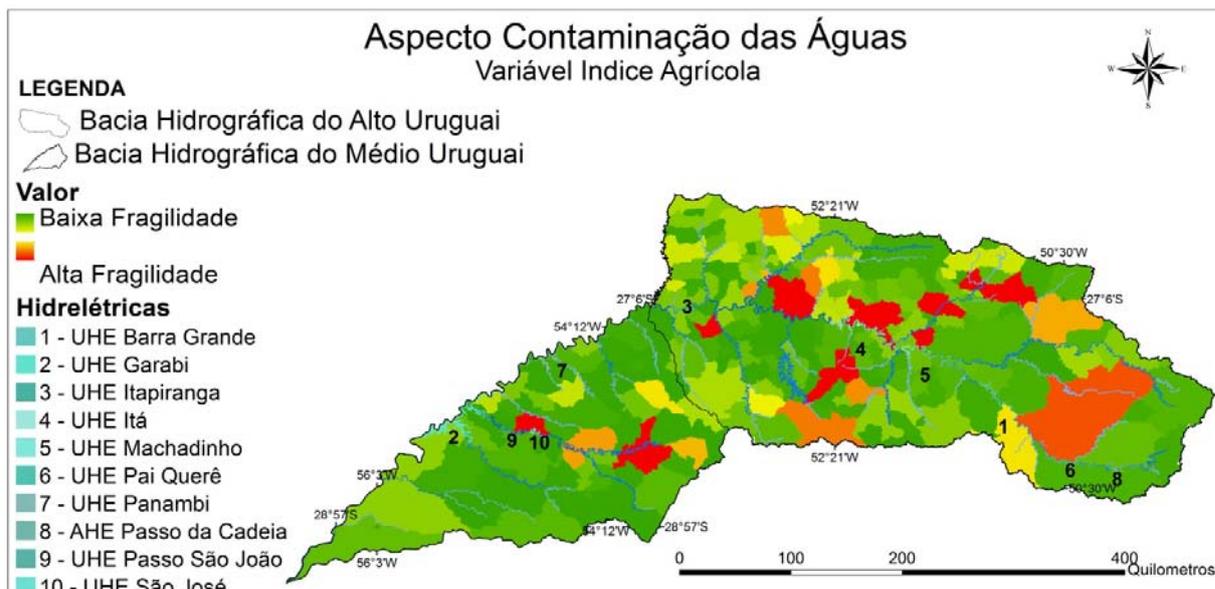


Figura 13 - Fragilidade relativa ao Índice Agrícola

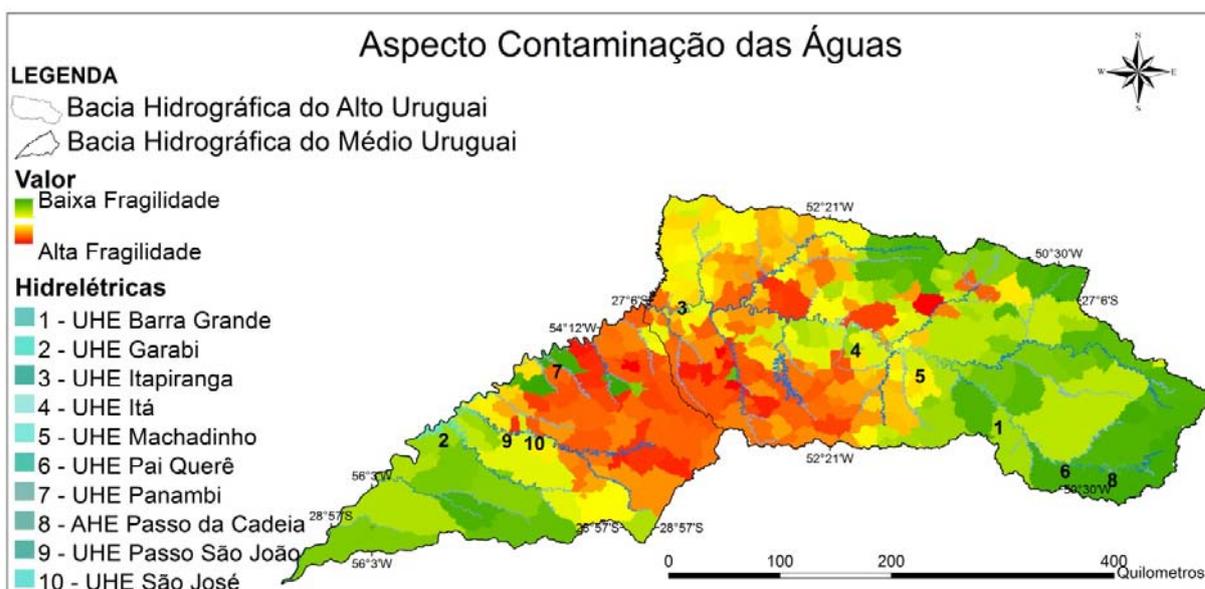


Figura 14 - Fragilidade relativa ao Aspecto Contaminação das Águas.

## CONCLUSÕES

Neste artigo foram apresentados os resultados da aplicação de um modelo construído para avaliar integralmente o ambiente físico e que permitisse a hierarquização de trechos de rios se-

gundo a maior ou menor fragilidade à instalação de empreendimentos hidrelétricos.

Considerando o contexto da aplicação do modelo proposto, e apresentado como estudo de caso, a avaliação das fragilidades ambientais do meio físico na região do Alto e Médio Uruguai apresentou resultados que permitiram a identificação de regiões (especialização) com diferentes fragilidades. Porém,

tendo-se o foco no objetivo do artigo, procurou-se demonstrar que a identificação da origem dessas diferentes fragilidades pode ser realizada pela análise desagregada das variáveis e aspectos, os quais são mapas de fragilidades intermediários, importantes na formação do mapa síntese.

Esta possibilidade de análise desagregada, ao explicar a gênese dos valores de fragilidades no mapa síntese, permite identificar, na hora da decisão, os diferentes critérios a serem considerados no momento de emitir o licenciamento. Esses resultados podem auxiliar na elaboração dos Termos de Referência para Estudos de Impactos Ambientais, com solicitação de estudos mais detalhados, dependendo da maior fragilidade evidenciada na análise desagregada, constituindo-se em uma grande vantagem do método de fragilidades para estudos de AAI.

## REFERÊNCIAS

- CPRM. Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais. *Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Sistema de Informação Geográfica folhas SH.22 Porto Alegre e SI.22 Curitiba*. Programa Geológico do Brasil. Brasília:CPRM.2003. CD-ROM.
- CRUZ,R.C., CRUZ, J.C., ELTZ, F.L.F., PADILHA, D.G., AVILA, C.B., GONZATTI, S.A. Análise do risco de contaminação das águas como indicador de fragilidade ambiental em bacias hidrográficas: o caso do Alto Uruguai. In: XVIII SBRH, 22 a 26 de Nov., 2009, Campo Grande, MS. *Anais*. Porto Alegre, RS, 2009.14p
- CRUZ, J.C.; NUMMER, A.V.; ELTZ, F.L.F.; SILVA, J. L. S. da; ARAUJO, T.A. Avaliação ambiental integrada: construção metodológica de modelo para bloco do meio físico. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.18, n° 1, p.7-17, 2013.
- ELETOBRAS/EBISA. Estudos de Inventário Hidroelétrico da Bacia do Rio Uruguai no trecho compartilhado entre Argentina e Brasil. Consórcio CNEC/ESIN/PROA. Relatório Final julho/2010. Disponível em <http://www.eletobras.com/elb/main.asp>.
- EPE. Empresa de Pesquisa Energética. *Avaliação Ambiental Integrada (AAI) dos Aproveitamentos Hidrelétricos da Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai. Relatório Final*. Brasília: Consórcio Themag/Andrade & Canellas/Bourscheid, 2007. 437p.
- FEE. Fundação de Economia e Estatística Siegfried Emanuel Heuser. Anuário Estatístico do Rio Grande do Sul. 2001.Porto Alegre: FEE. CD-ROM.
- FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler. *Diagnóstico Ambiental da Bacia do Taquari-Antas/RS: Diretrizes Regionais para o Licenciamento Ambiental das Hidrelétricas*. 2001. 40p.Porto Alegre: FEPAM/UFRGS.
- FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler e UFRGS. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. *Análise de Fragilidades Ambientais e da Viabilidade de Licenciamento de Aproveitamentos Hidrelétricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Ijuí e Butuí-Piratinim-Icamaquã, Região Hidrográfica do Rio Uruguai – RS*. 2004. 138p.Porto Alegre: FEPAM/UFRGS.
- FEPAM/UFSM. *Análise de Fragilidades Ambientais da Bacia Hidrográfica dos rios Apuaê-Inhandava, situada na Região Hidrográfica do rio Uruguai. Relatório Técnico Final*. 2005. 86p.Santa Maria: FEPAM/UFSM.
- IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 1991. População Residente urbana e Rural. Disponível em [ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo\\_Demografico\\_1991/Populacao\\_Residente\\_Urbana\\_Rural/Rio\\_Grande\\_do\\_Sul.zip](ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_1991/Populacao_Residente_Urbana_Rural/Rio_Grande_do_Sul.zip) Acesso em 28/10/2008.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário 1996. Disponível em [ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo\\_Agropecuario\\_1995\\_96/](ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Agropecuario_1995_96/). Acesso em 28/10/2008.
- LASSEVILS, J.F. &BERRUX, D. Sources of phosphorus to surface Waters: comparing calculated with measured P loadins for three French rivers. Disponível em <http://www.ceep-phosphates.org/geoplusuk.pdf>. 2000.
- MÜLLER FILHO, I. L. Notas para o Estudo da Geomorfologia do Rio Grande do Sul, Brasil. Departamento de Geociências, UFSM. Publicação Especial nº1, 1970, p.34.
- ORGANIZATION OF AMERICAN STATES (OAS) 2009. Guaraní Aquifer: strategic action program = Acuífero Guaraní:programa estratégico de acción – bilingual edition – Brazil, Argentina, Paraguay, Uruguay. Organization of American States, January, 2009, 224p.
- OSPAR CONVENTION FOR THE PROTECTION ON THE MARINE ENVIRONMENT OF THE NORTH-EAST ATLANTIC. Guideline 4. Quantification and reporting of Nitrogen and Phosphorus Discharges from Sewage treatment Works and Sewerage. Ospar 00/92 Add.4 and Ospar 00/20/1, §9.5a, 2000.
- RADAMBRASIL.*Levantamento de Recursos Naturais, folha SH.22 Porto Alegre e parte das folhas SH.21 Uruguiana e*

SI.22 Lagoa Mirim. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE, 1986 v.33.

RADAMBRASIL. *Levantamento de recursos naturais: folha SG.22 Curitiba e parte da folha SG.21 Assuncion*. Rio de Janeiro: IBGE, 2005 (Vol.34).

SILVEIRA, G. L. da; CRUZ, J.C. SELEÇÃO AMBIENTAL DE BARRAGENS: Análise de favorabilidades ambientais em escala de bacia hidrográfica. Editora UFSM/ABRH. S.M., 2005, p.388.

SRH. Secretaria de Recursos Hídricos. *Plano Nacional de Recursos Hídricos. Panorama e estado dos recursos hídricos do Brasil: Volume 1*. Brasília: MMA, 2006. 4 v. il. Color.

UFSM/UNIPAMPA, 2012. Relatório Etapa 2 do Projeto FRAGRIO: Desenvolvimento metodológico e Tecnológico para avaliação ambiental Integrada aplicada ao processo de análise de Viabilidade de hidrelétricas. Santa Maria: UFSM/UNIPAMPA/FINEP, 2012, 288p.

### ***Integrated Environmental Evaluation Of The Physical Environment In The Upper and Middle Uruguay River: Disaggregated Analysis***

#### **ABSTRACT**

*Integrated environmental evaluation is an important instrument for the environmental licensing of hydroelectric power stations. This paper introduces the integrated environmental evaluation of the physical environment for the upper and middle Uruguay river showing the method potential to perform an disaggregated analysis. The study considered several aspects of the physical environment (Geology and Geomorphology, Hillside Stability, Erosion Fragility, Mining Areas and Contamination of the Superficial and Groundwater (aquifers)), composed of several variables each, which were transformed into a fragility scale with 256 values (0 to 255 bytes), for easy storage and computer processing in a geographical information system, and presented in the form of individuals maps. Crossmatching these maps generated the map for each aspect and crossmatching the map by aspects whose weights were decided by the project Work Team, generated the final*

*map of the physical environment block. The final map analysis shows that there is greater fragility in the North-Center of the Upper and Middle Uruguay river basin, more markedly along the watercourses, mainly the Uruguay river. Based on disaggregated analysis the high fragility of this area may be attributed to variables erosion, hillside stability and water contamination. Isolated areas of high fragility are related to the variable population organic load and this occurs in the municipalities of Ijuí in Rio Grande do Sul and Concordia, Chapecó and Joaçaba, in Santa Catarina. The low fragility areas are localized at the east and west ends of the basin, and they are due to the smaller possibility of water contamination (low population density and smaller agricultural index), as well as to the gentler reliefs. The aspect maps (disaggregated results), or the integrated one, do not decide the localization of any hydroelectric power station, but this gives the environmental agencies greater confidence about where to place dams and reservoirs with less environmental impact or reaches where none will be built.*

**Key-words:** *hydroelectric power station, watershed basin, environmental fragilities.*