

O uso de sistemas de suporte à decisão no licenciamento ambiental de empreendimentos hidrelétricos situados na Região do Uruguai, Estado do Rio Grande do Sul

Raquel Barros Binotto¹
Ana Lucia Mastrascusa Rodrigues²
Diego Polacchini Carrillo²
João Carlos Pradella Dotto²
Maria Isabel Stumpf Chiappeti²
Rafael Cabral Cruz³
Fabio Villela⁴

¹ MME/CPRM, Superintendência Regional de Porto Alegre (SUREG-PA)
Rua Banco da Província, 105 - 90840-030 - Porto Alegre - RS, Brasil
raquel.binotto@cprm.gov.br

² Fundação Estadual de Meio Ambiente - FEPAM/RS, Serviço da Região do Uruguai
Rua Carlos Chagas, 55/715 - 90030-020 - Porto Alegre - RS, Brasil
reg.urugui@fepam.rs.gov.br

³ Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA - Campus São Gabriel/RS
Av. Antônio Trilha, 1847 - 97300-000 - São Gabriel - RS, Brasil
rafaelcabralcruz@gmail.com

⁴ Simbiota Consultoria Ambiental Ltda.
Acesso Imperatriz Dona Leopoldina, 3495 - 95800-000 - Venâncio Aires - RS, Brasil
fabio@simbiota.com.br

Abstract. This article investigates the utilization of decision support tools that are being used for the State of Rio Grande do Sul Environmental Agency as an initial step for the development of hydroelectric environmental process licensing. This study is constituted of an watershed integrated analysis using a methodological approach based in rivers and stretches of river classification which is reasoned on environmental favorability analysis, considering drainage fragmentation potential. The system as a whole generates an environmental zoning, considering the physical, biotic and anthropogenic factors of the watershed, which is used to substantiate the choice of which areas have better potential for projects implementation. The studied area comprises the watersheds of rivers Ijuí, Butuí-Piratinim Icamaguã and Apuaê-Inandava located on the Uruguay River Basin Region, Rio Grande do Sul State. The methodology permitted to indicate the feasibility (or otherwise) of an environmental licensing of a series of hydropower projects. Applying this methodology was possible: i) the articulation of environmental with socio-economic issues; ii) the assessment of cumulative impacts and synergistic effects in the early steps of the projects and iii) to reduce the analysis scope at the enterprise level, when preparing the Environmental Impact Assessment or other simplified environmental assessments. The success of this experience was authenticated the application of this methodology in other subject areas, optimizing the operational procedures in the environmental agency and doing the licensing process more responsive and effective.

Palavras-chave: environmental favorability, environmental agency, drainage fragmentation, watershed, favorabilidade ambiental, agência ambiental, fragmentação da drenagem, bacia hidrográfica

1. Introdução

Sistemas de suporte a decisão (SSD) são constituídos por bases de dados e modelos matemáticos que, ao interagir entre si, propiciam, através de uma interface gráfica, o diálogo entre o tomador de decisões e o computador. O planejamento de intervenções nos recursos hídricos e o seu licenciamento, devido às diversas variáveis envolvidas, são problemas

complexos que podem ser melhor estruturados através do uso dessas ferramentas, permitindo tomadas de decisões mais rápidas e precisas (Porto e Azevedo, 1997).

O melhor SSD não é obrigatoriamente aquele que utiliza as melhores técnicas, mas o que é capaz de induzir às melhores decisões. Não é construído para tomar decisões, mas para apoiar ou assistir um indivíduo ou grupo de indivíduos na execução desta tarefa. É preciso definir quais os princípios que orientarão a escolha, seja para se chegar a uma solução “ótima” ou a uma solução “satisfatória”, disposto a assumir riscos ou não. Deve-se procurar expressar as alternativas em termos monetários ou em termos de outro indicador de desempenho (por exemplo, qual empreendimento apresenta maior favorabilidade para implantação) (Porto e Azevedo, 1997).

Procurando aproveitar as características acima enfatizadas dos SSDs e qualificar o processo de licenciamento ambiental, uma série de aplicações destes sistemas tem sido empreendidas pelo órgão ambiental do Estado do Rio Grande do Sul nos últimos anos, com ênfase para as áreas de hidreletricidade, suinocultura e silvicultura.

No presente artigo são discutidos SSDs acompanhados pela equipe técnica do Serviço da Região do Uruguai do Departamento de Qualidade Ambiental da FEPAM/RS e utilizados para o licenciamento ambiental de hidrelétricas na Região Hidrográfica do Uruguai.

2. Metodologia de Trabalho

Foram desenvolvidos dois SSDs com foco na análise das fragilidades ambientais e viabilidade de licenciamento de aproveitamentos hidrelétricos nas bacias hidrográficas dos rios Ijuí e Butuí-Piratinim-Icamaquã (FEPAM/UFRGS, 2004) e Apuaê-Inhandava (FEPAM/UFSM, 2005) situadas na Região Hidrográfica do rio Uruguai (Figura 1).

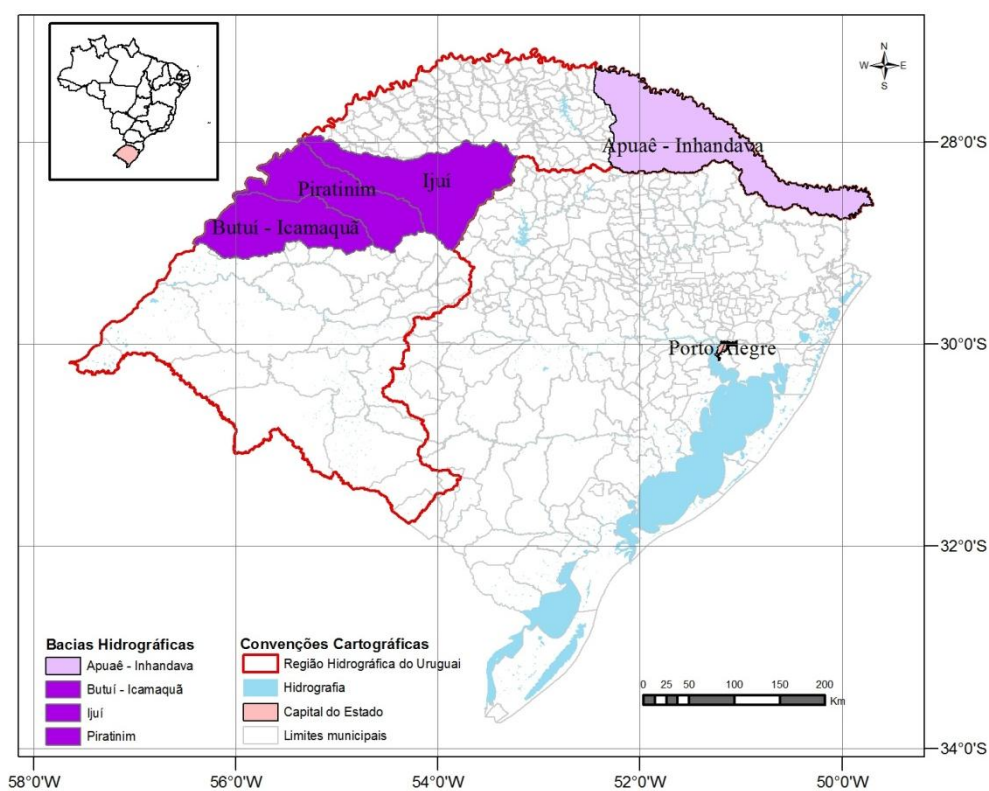


Figura 1. Localização das bacias hidrográficas dos Rios Ijuí e Butuí-Piratinim-Icamaquã e Apuaê-Inhandava.

A metodologia aplicada (FEPAM/UFRGS, 2004; FEPAM/UFSM, 2005; MMA, 2010) foi embasada na análise de setores de cada bacia hidrográfica que apresentam maior ou menor favorabilidade à implantação de barramentos. Considerando os modelos conceituais atuais de rios, foram elencadas variáveis indicadoras de "pressão ou estado" compatíveis com a escala de mapeamento adotada (1:250.000), para as quais existiam dados disponíveis espacializáveis (mapas de solos, de drenagem, de geologia, etc.) (FEPAM/UFRGS, 2004).

Além das variáveis que configuram uma análise "pixel a pixel" da bacia, permitindo espacializar diferenças de favorabilidades ambientais em diferentes trechos da bacia e da drenagem, estudaram-se os trechos de rios para populações de peixes migradores que permitiram a avaliação em rede dos padrões e processos mais atingidos pela fragmentação de rios na realidade de cada bacia hidrográfica (FEPAM/UFRGS, 2004; FEPAM/UFSM, 2005).

Assim, foram elaborados os mapas de variáveis (fatores) e os mapas de restrição, os quais, após sucessivos cruzamentos, resultaram em mapas sínteses (Tabela 1).

Os mapas de fatores são aqueles que representam geocampos que hierarquizam cada célula do mapa de acordo com uma variável indicadora de algum processo relevante para o processo de tomada de decisão. São obtidos a partir do cruzamento de informações referentes a cada tema, devidamente valorados em escala comum. Expressam as fragilidades (ou favorabilidades em escala pré-definida e igual para todas as variáveis) ambientais. A fim de otimizar o armazenamento das informações e o processamento no software de geoprocessamento, a escala utilizada foi a de bytes, com 256 valores (0 a 255) (FEPAM/UFRGS, 2004).

Os mapas de restrições são apresentados em escala *booleana*, ou seja, valor 0 (zero) para as áreas onde não podem ser localizados os empreendimentos e 1 (um) para os locais onde podem ser localizados (FEPAM/UFRGS, 2004).

Os mapas síntese expressam o resultado final do cruzamento das informações que sintetizam o grau de favorabilidade ambiental em cada bloco temático considerado (FEPAM/UFRGS, 2004). As diferentes ponderações entre os mapas síntese (blocos temáticos) configuraram distintos modelos avaliados em quatro cenários (Tabela 1). Com relação aos modelos utilizados, tomou-se como ponto de partida o modelo elaborado com o vetor de pesos iguais para os mapas síntese. Na sequência, foram elaborados modelos em que alternadamente foram atribuídos pesos maiores para os critérios bióticos, antrópicos e físicos. O produto destes modelos foi submetido à equipe técnica, para a avaliação da consistência dos mesmos, considerando a experiência da equipe, os dados de campo e as informações disponíveis. Também foram avaliadas as modificações dos resultados de acordo com a sensibilidade do modelo aos diferentes critérios. Com base nesta análise, foram propostas novas composições de pesos, os quais geraram novos modelos, em um processo iterativo que somente se encerrou com a obtenção de um vetor de pesos que fosse produto do consenso da equipe (FEPAM/UFSM, 2005).

O equacionamento foi desenvolvido pixel a pixel em ambiente de geoprocessamento e de forma georreferenciada, utilizando-se o *software* IDRISI 32™ (ênfase no módulo de análise multicritério MCE: *Multi-Criteria Evaluation*) (FEPAM/UFRGS, 2004). Posteriormente, os produtos gerados foram exportados para o ArcGis 9.2™ pelo Setor de Geoprocessamento da FEPAM.

A partir da agregação ponderada das variáveis selecionadas, extraíram-se índices ambientais que representam a magnitude de cada variável e que foram utilizados para sensibilização da avaliação dos impactos considerados (FEPAM/UFRGS, 2004).

Assim, para o SSD das bacias hidrográficas dos rios Ijuí e Butuí-Piratinim-Icamaquã foram elaborados os seguintes índices ambientais para compor a nota final de cada empreendimento avaliado (FEPAM/UFRGS, 2004):

Tabela 1. Mapas síntese, fatores, restrições e cenários utilizados em cada SSD.

SSD Bacias dos Rios Ijuí e Butuí-Piratinim-Icamaquã			
Mapas Síntese/ Fatores		Restrições	Cenários
meio antrópico	marcos de fronteira rodovias áreas urbanas índice fundiário	áreas indígenas unidades de conservação	quatro cenários combinando temporalidade (situação atual - somente com os barramentos já existentes ou futura - construção de todas as barragens inventariadas) e localização do ponto de partida da medição dos tamanhos de segmentos de rios livres de represas (com ou sem a implantação da UHE Garabi no rio Uruguai)
meio físico	geomorfologia solos DBO esgotos DBO indústria DBO rebanhos área agrícola áreas mineração carga metal		
meio aquático	fauna íctica trechos livres de rios endemismo		
meio biótico terrestre	vegetação fauna terrestre		
SSD Bacias dos Rios Apuaê-Inhandava			
Mapas Síntese/ Fatores		Restrições	Cenários
meio antrópico	marcos de fronteira rodovias áreas urbanas rotas de tropeiros índice fundiário	áreas indígenas unidades de conservação Zona Núcleo da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica (RBMA)	quatro cenários envolvendo uma combinação de temporalidade <i>versus</i> implantação de diferentes alternativas de quedas de hidrelétricas: atual futuro 1 (opção 1 do inventário do Alto Pelotas) futuro 2 (opção 2 do inventário do Alto Pelotas) futuro 3 (opção pela UHE Passo da Cadeia)
meio físico terrestre	declividades geomorfologia geologia solos		
meio físico qualidade da água	DBO esgotos DBO indústria DBO rebanhos área agrícola áreas mineração carga metal fauna íctica densidade de confluências		
meio aquático	ângulo de confluências distância tributários endemismo		
meio biótico terrestre	vegetação áreas de alto valor para a biodiversidade fauna terrestre RBMA		

Fonte: FEPAM/UFRGS (2004); FEPAM/UFSM (2005)

- índice de favorabilidade ambiental da drenagem, extraindo-se os valores do índice ambiental para todas as células que compõem a drenagem, expressos como valor médio decorrente do cruzamento dos mapas componentes de cada bloco temático;
- índice de favorabilidade ambiental relativa das barragens, através da extração dos valores médios do índice ambiental expresso na análise multicritério para as áreas de inundação das barragens propostas, excluídas as áreas originalmente pertencentes à drenagem.

Adicionalmente, foi avaliada a eficiência energética de cada empreendimento proposto a partir do índice potência/área, obtido dividindo-se a potência firme (MW médios) pela área do reservatório em hectares padronizado para a escala de 0-100 (índice de eficiência energética - IEE) (FEPAM/UFRGS, 2004).

Foi concebido, também, um diagrama de tomada de decisão, a partir da hierarquização de critérios que avaliaram a fragilidade ambiental, ou sua recíproca - a favorabilidade ambiental - para os empreendimentos, iniciando por uma análise regional (Região Hidrográfica do Uruguai), até um nível de impacto local.

Para o SSD das bacias hidrográficas dos rios Apuaê-Inhandava, a equipe técnica optou por aumentar o número de mapas síntese dos blocos temáticos (Tabela 1) em relação àqueles propostos no SSD das bacias dos rios Ijuí e Butuí-Piratinim-Icamaquã. O mapa síntese do meio físico foi dividido em meio físico terrestre e meio físico qualidade da água, onde foram englobadas variáveis indicadoras de poluição difusa. Esta divisão permitiu a análise separada dos meios terrestre e aquático. As variáveis relacionadas ao mapa síntese do meio físico qualidade da água foram incluídas nas duas análises (FEPAM/UFSM, 2005).

Os índices utilizados foram os mesmos, separados, entretanto, no caso do índice de favorabilidade ambiental relativa das barragens (IFAR), para os meios aquático e terrestre. Cabe observar que inicialmente, para a análise dos IFARs, foram rodados modelos conjuntos (meios aquáticos e terrestres juntos) e, na sequência, modelos considerando separadamente os meios terrestre e aquático. A análise dos histogramas síntese dos modelos rodados justificou a adoção dos modelos separados (FEPAM/UFSM, 2005).

Outra modificação, buscando adequar ao diagrama de tomada de decisão apresentado no SSD das bacias dos rios Ijuí e Butuí-Piratinim-Icamaquã foi retirar da análise multicritério a análise dos trechos de rio livres de barramento. Esta variável, dado o seu grande poder de indicação da fragmentação do sistema fluvial, estava muito diluída na proposta aplicada na bacias dos rios Ijuí e Butuí-Piratinim-Icamaquã. Deste modo, a atualização da abordagem proposta envolveu tratar os meios terrestre e aquático separadamente, assim como a análise dos trechos de rios livres de barramento. Outro diferencial foi a interação entre a comunidade e a equipe técnica durante o desenvolvimento dos estudos, através da participação do Comitê de Bacia do Apuaê-Inhandava (FEPAM/UFSM, 2005).

3. Resultados e Discussão

Os dados extraídos das diversas bases foram sintetizados a fim de expressar as favorabilidades para implantação de empreendimentos hidrelétricos nas duas áreas de estudo, de maneira que o conjunto de variáveis fosse reduzido, facilitando a visão de conjunto das variáveis indicadoras (FEPAM/UFRGS, 2004).

Os empreendimentos projetados em áreas excluídas (valor zero no mapa do modelo escolhido no cenário considerado) não são passíveis de licenciamento. Os empreendimentos projetados em áreas que apresentaram valores não nulos foram avaliados quanto à possibilidade ou não de licenciamento de acordo com a hierarquia produzida e com a configuração de empreendimentos que resultou em menor somatório de fragilidades ou máxima favorabilidade, considerando-se o seu efeito na fragmentação da bacia hidrográfica (FEPAM/UFRGS, 2004).

Para o SSD das bacias dos Rios Ijuí e Butuí-Piratinim-Icamaquã foram gerados dezessete mapas de fatores distribuídos em quatro blocos temáticos e dois mapas de restrições (Tabela 1), devidamente ponderados e cruzados nos diferentes modelos/cenários (FEPAM/UFRGS, 2004).

Na Figura 2 é apresentado, a título ilustrativo, o mapa de favorabilidade ambiental selecionado para extração do Índice de Favorabilidade Ambiental Relativo (IFAR) o qual, juntamente com o respectivo Índice de Eficiência Energética (IEE), devidamente inseridos no diagrama de tomada de decisão apresentado em FEPAM/UFRGS (2004), permitiram selecionar os empreendimentos passíveis de licenciamento ambiental no âmbito das bacias dos rios Ijuí e Butuí-Piratinim-Icamaquã.

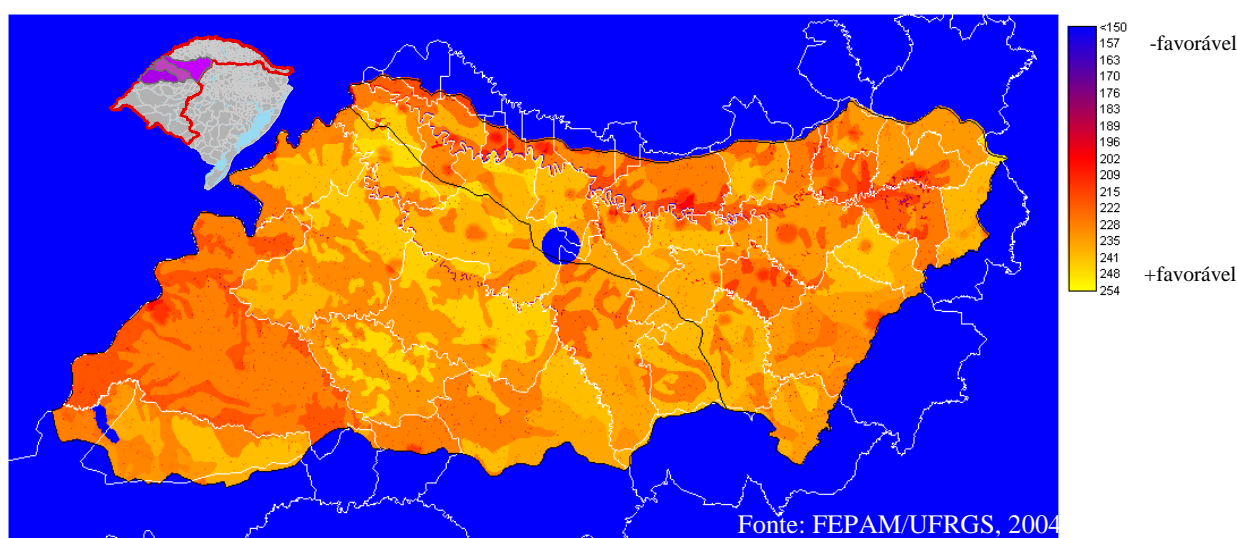


Figura 2. Mapa de Favorabilidade Ambiental (Modelo 8 – Cenário 2).

A análise final contemplou 34 (trinta e quatro) empreendimentos, tendo sido realizada desde uma escala regional - a Região Hidrográfica do rio Uruguai -, até um nível de impacto local, resultando na inviabilização para o licenciamento ambiental de vinte (20) empreendimentos e na viabilização de catorze (14), tendo sido mantidos 59% de geração do total de energia firme inicialmente previsto.

Para o SSD das bacias hidrográficas dos rios Apuaê-Inhandava foram gerados vinte e sete mapas (Tabela 1), sendo vinte e quatro do tipo geo-campos (mapas que representam variáveis contínuas), chamados de fatores, e três do tipo restrições (mapas discretos com apenas duas possibilidades, 0 ou 1, também denominados *booleanos*).

Os índices dos meios terrestre e aquático foram avaliados para o cenário atual da bacia. A análise de trechos livres de rios foi efetuada para cada empreendimento, considerando-se a posição relativa e o valor do trecho antes e depois da instalação do empreendimento. Cada represa constituiu-se como um ponto zero de contagem dos trechos livres de rios, tomados a partir do limite a montante do reservatório. Aos modelos de favorabilidades obtidos para os meios aquático e terrestre foram atribuídos pesos (FEPAM/UFSM, 2005).

Comparando-se os histogramas síntese dos modelos conjuntos (meio terrestre e meio aquático) com os dos modelos rodados separadamente para o meio aquático e terrestre, observou-se que os efeitos se compensam, fazendo desaparecer singularidades específicas que puderam ser observadas nos histogramas dos modelos rodados separadamente. Por exemplo, observando-se os histogramas do modelo 0 (Figura 3), para as três situações estudadas (modelo conjunto, modelo aquático e modelo terrestre), onde os pesos são iguais para todos os blocos, percebe-se que o meio aquático contém duas tendências de favorabilidades ambientais, o mesmo ocorrendo no meio terrestre, sendo quase imperceptível para o modelo

conjunto, devido a compensação que ocorre nos fatores ambientais entre o meio aquático e meio terrestre. Portanto, para a seleção do modelo, foram ponderadas as análises dos modelos separadamente (FEPAM/UFSM, 2005).

As opções de barramentos foram avaliadas de acordo com o modelo de pontuação definido, e partiu da hierarquização das fragilidades ou favorabilidades obtidas na extração da fragilidade/favorabilidade média para as áreas de influência direta dos empreendimentos ou para as áreas inundadas (FEPAM/UFSM, 2005).

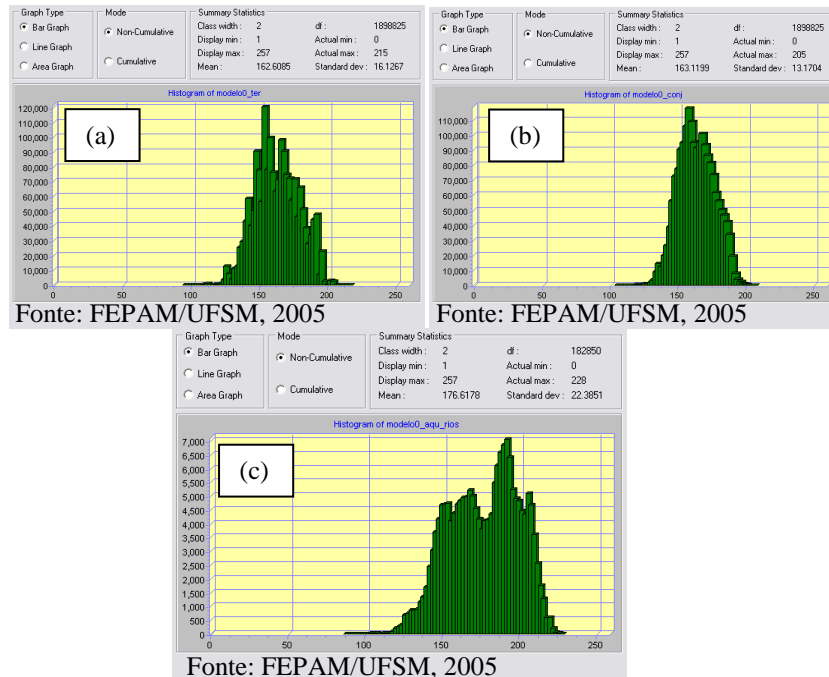


Figura 3. Histogramas síntese resultantes dos modelos conjuntos (a), meio terrestre (b) e meio aquático (c), considerando a distribuição igual de peso entre os blocos temáticos (modelo 0).

A avaliação final foi embasada em dois níveis de impacto dos empreendimentos, um de caráter regional (sobre a bacia) e outro local, considerando o entorno do empreendimento. No nível regional foram avaliados os critérios de fragmentação e o modelo do meio aquático; no nível local, o modelo do meio terrestre e a eficiência energética. Os modelos que se mostraram mais consistentes para a análise foram o modelo dois (2) para o meio aquático (pesos de 0,25 para o meio aquático e 0,75 para o meio físico qualidade da água) e o três (3) para o meio terrestre (pesos de 0,4 para o meio físico qualidade da água, 0,2 para o meio antrópico, 0,25 para o meio físico terrestre e 0,15 para o meio biótico terrestre) .

A nota final de cada empreendimento foi obtida pelo somatório das notas dos fatores do nível regional (fragmentação e meio aquático modelo 2) multiplicada por 0,70 (peso relativo de 70%) com as notas dos fatores do nível local (meio terrestre modelo 3 e eficiência energética) multiplicado por 0,3 (peso relativo de 30%).

De posse das notas finais de cada empreendimento, foi possível estabelecer quais deles eram passíveis ou não de licenciamento dentro da escala de favorabilidade definida e dos cenários avaliados.

Exclusivamente no Estado do Rio Grande do Sul, foram considerados inviáveis de licenciamento dois aproveitamentos hidrelétricos e passíveis de licenciamento ambiental, oito, tendo sido mantidos 79% de geração do total de energia firme inicialmente previsto.

Na Figura 4 é exemplificada, de forma parcial, a forma de análise, pelo Serviço da Região do Uruguai da FEPAM, dos empreendimentos hidrelétricos (barramentos) considerando as favorabilidades dos meios terrestre e aquático nos modelos adotados.

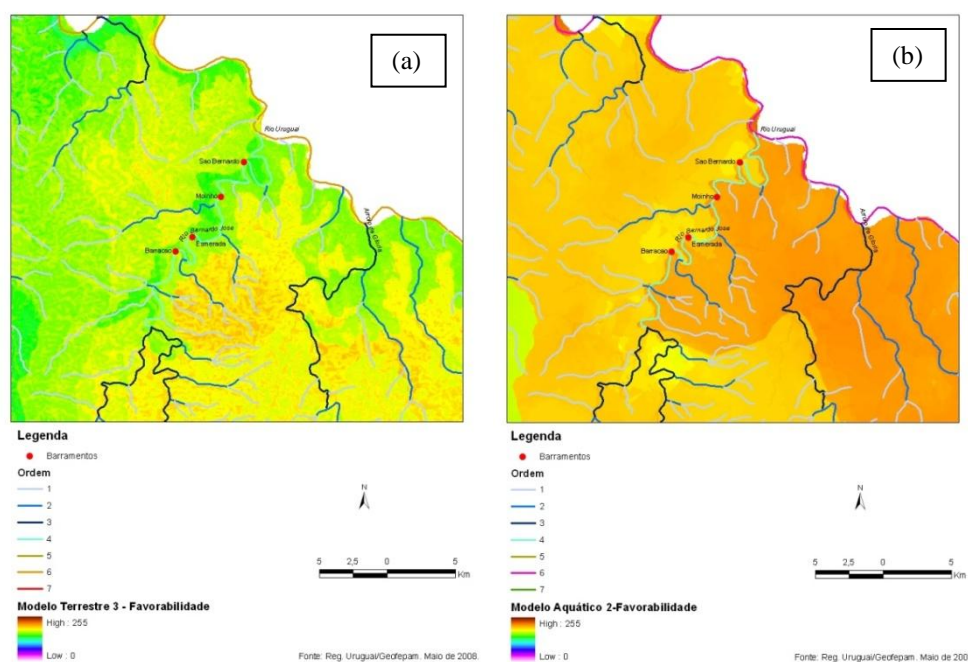


Figura 4. Inserção de empreendimentos nos mapas de Favorabilidade Ambiental do (a) meio terrestre e (b) meio aquático.

4. Conclusão

A utilização dos SSDs das bacias dos rios Ijuí e Butuí-Piratinim-Icamaquã e dos rios Apuaê-Inhandava, concebidos por equipes técnicas de universidades, na rotina de licenciamento ambiental dos empreendimentos hidrelétricos pela equipe técnica da FEPAM, permitiu qualificar o trabalho empreendido e, conseqüentemente, trazer ganhos significativos ao ambiente. De fato, o SSD das bacias dos rios Apuaê-Inhandava já configurou-se em aprimoramento da metodologia inicialmente desenvolvida e aplicada na bacia dos rios Ijuí e Butuí-Piratinim-Icamaquã.

O sucesso desta experiência validou a aplicação desta metodologia de trabalho em outras áreas temáticas, otimizando os procedimentos operacionais no órgão ambiental, direcionando os estudos solicitados aos empreendedores para os problemas ambientais já verificados em escala regional, tornando o processo de licenciamento mais ágil e efetivo.

5. Referências Bibliográficas

- FEPAM/UFRGS. Análise de fragilidades ambientais e da viabilidade de licenciamento de aproveitamentos hidrelétricos dos rios Ijuí e Butuí-Piratinim-Icamaquã, região hidrográfica do rio Uruguai, RS / Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler [e] Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Centro de Ecologia. Porto Alegre: FEPAM/UFRGS, 2004. 1 CD-Rom: il. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/hidreletrico_uruguai/arquivos/inicio.html> (Acesso:11/10/2010).
- FEPAM/UFSM. Análise de Fragilidades Ambientais da Bacia Hidrográfica dos Rios Apuaê-Inhandava, situada na Região Hidrográfica do Rio Uruguai. Santa Maria: FEPAM/UFSM, 2005, 65p. (não publicado)
- Porto, R. L. L. e Azevedo, L.G.T. Sistemas de Suporte a Decisões Aplicados a Problemas de Recursos Hídricos. In: Porto (Org.). **Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Porto Alegre: Ed.Universidade/UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1997. cap. 2, p.43-95.
- MMA Ministério do Meio Ambiente. Projeto Frag-Rio. Desenvolvimento Metodológico e Tecnológico para Avaliação Ambiental Integrada Aplicada ao Processo de Análise de Viabilidade de Hidrelétricas. Relatório Etapa 1. São Gabriel: UNIPAMPA/UFSM, 2010. 296p. (não publicado)