

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE BIOCÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOLOGIA

PROPOSTA DE ZONEAMENTO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JACUÍ
COM VISTAS AO LICENCIAMENTO DE BARRAMENTOS E CONSERVAÇÃO
DE ESTOQUES DE PEIXES MIGRADORES.

Autora

Biól. Tatiana Guterres Kaehler

Orientador

Dr. Nelson Ferreira Fontoura

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Porto Alegre – RS – Brasil

2011

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	iv
AGRADECIMENTOS.....	v
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Conflitos com recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Jacuí.....	3
1.1.1. Bacia Hidrográfica do Rio Jacuí.....	3
1.1.2. Sub-bacia do Alto Jacuí.....	5
1.1.3. Sub-bacia do Baixo Jacuí.....	5
1.1.4. Sub-bacia do Rio Vacacaí e Vacacaí – Mirim.....	6
1.1.5. Sub-bacia do Rio. Taquari-Antas	6
1.1.6. Sub-bacia do Rio Pardo	8
1.1.7. Sub-bacia do Rio Caí.....	9
1.1.8. Sub-bacia do Rio dos Sinos	10
1.2. Ictiofauna.....	11
1.2.1 Peixes Migradores.....	12
1.2.1.1. <i>Salminus brasilienses</i> (Cuvier, 1816).....	12
1.2.1.2. <i>Leporinus obtusidens</i> (Valenciennes, 1837).....	13

1.2.1.3. <i>Prochilodus lineatus</i> (Valenciennes, 1837).....	14
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	15
3. RESULTADOS.....	21
4. DISCUSSÃO.....	35
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48
6. ANEXOS.....	55

DEDICATÓRIA

À minha mãe Eliane Guterres Kaehler.

(in memoriam).

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, ao meu pai José Wagner Kaehler que foi meu exemplo, por ser pai e mãe, por estar sempre me apoiando e por me ensinar a ir em busca dos meus sonhos. Ao meu irmão Cristiano Kaehler, que sempre esteve ao meu lado e compreendeu quando não pude estar presente. A toda minha família, que entenderam quando eu não pude estar presente em aniversários, casamentos e nascimentos. Ao meu noivo Luciano Alves que sofreu em conjunto nos piores momentos, estando sempre ao lado com um gesto de carinho, amor e muitas rosas pra me fazer sorrir.

Ao meu orientador Dr. Nelson Fontoura, por me mostrar um projeto que transformou minha vida profissional, por todos os ensinamentos científicos e de vida, por ser tão calmo e alegre quando todos estavam estressados. Muito obrigado pela confiança, tua orientação foi fundamental para todo o meu crescimento como profissional e como pessoa.

A amiga Tanilene que surgiu do nada no primeiro dia de mestrado e, graças a Deus, resolveu nunca mais ir embora. Tua amizade, apoio e companheirismo foram fundamentais para concluir esta etapa de nossas vidas. E pode ter certeza que mesmo quando não houver mais mil folhas, nossa amizade ainda vai continuar! Obrigada! A amiga Cibele por ser tão querida e calma, quando tudo parecia terrível. Obrigada pela tua amizade, carinho e pela vinda da Mel! Aos amigos e colegas de laboratório: José Ricardo Barradas, Lucas Gonçalves e Laura Utz. Obrigada por tornarem o laboratório tão alegre e pelo apoio em todos os momentos.

A amiga Tatiana Krzyk, por me estender a mão quando o mundo virou de cabeça para baixo. Jamais vou esquecer teu apoio e amizade. Obrigada mana!

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida.

E a todos aqueles que me auxiliaram, direta ou indiretamente, para que eu completasse mais esta etapa importante da minha vida.

“Nunca o homem inventará nada mais simples, nem mais belo do que uma manifestação da natureza. Dada a causa, a natureza produz o efeito no modo mais breve em que pode ser produzido.” – Leonardo Da Vinci

RESUMO

Para determinar um índice de adequabilidade (IA) para cada segmento da bacia Jacuí, com vistas ao licenciamento de novos barramentos, procedeu-se a elaboração de um modelo conceitual materializado sob a forma de uma equação matemática. O objetivo do modelo é indicar as áreas mais propícias e menos propícias à construção de novos empreendimentos hidroelétricos. Nesta equação, parâmetros ambientais são os que definem baixos valores de adequabilidade dos barramentos. Por outro lado, os elevados índices socioeconômicos facilitam a implantação de novos empreendimentos. A adequabilidade é definida pela equação: $IA = (1-PD) \cdot (1-PP) \cdot (1-PG) \cdot [(PAL + PAA + PSL + PSA + PIL + PIA/6) + (PTL + PTA + PRL + PRA + DPTL + DPTA + DPRL + DPRA/8) + (CEL + CEA/2) + BM + BJ + (2 \cdot HÁ) - (2 \cdot VR)]$; conforme a seguinte notação: Presença de Piava (PP); Presença de Grumatã (PG); Presença de Dourado (PD); PIB Agrícola Local (PAL); PIB Agrícola Acumulado (PAA); PIB Serviços Local (PSL); PIB Serviços Acumulado (PSA); PIB Industrial Local (PIL); PIB Industrial Acumulado (PIA); População Total Local (PTL); População Total Acumulado (PTA); População Rural Local (PRL); População Rural Acumulado (PRA); Densidade Populacional Total Acumulado (DPTA); Densidade Populacional Total Local (DPTL); Densidade Populacional Rural Local (DPRL); Densidade Populacional Rural Acumulado (DPRA); Consumo Energético Local (CEL); Consumo Energético Acumulado (CEA); Barragem a montante (BM); Barragem a jusante (BJ); Heterogeneidade Altitudinal (HA); Vegetação Ripária (VR). O Índice de peixes migradores representa a probabilidade de ocorrência das *Salminus brasiliensis* (PD), *Leoporinus obtusidens* (PP) e *Prochilodus lineatus* (PG). O parâmetro econômico representa a média simples de valores de PIB agrícola (PAL/PAA), de serviço (PSL/PSA) e industrial (PIL/PIA), mensurando efeitos locais (L) e acumulados de montante (A). O parâmetro populacional (PTL/PTA/PRL/PRA/DPTL/DPTA/DPRL/DPRA) representa a média simples de indicadores populacionais, mensurando efeitos locais e acumulados de montante. O parâmetro de consumo energético (CEL/CEA) representa uma média do consumo de energia local e acumulado de montante. Os barramentos demonstram o número de barragens a montante (BM) e jusante (BJ) de cada segmento de rio. A heterogeneidade altitudinal (HA) visa aumentar a adequabilidade de segmentos de rio com maior grau de encaixamento. O parâmetro de vegetação ripária (VR) representa a percentagem de cobertura vegetal sob a forma de mata no entorno dos segmentos de rios. Cada parâmetro foi re-escalonado entre 0 e 1, permitindo que todas as variáveis tenham efeitos relativos equivalentes. Dentre as 9 usinas hidrelétricas em operação, 7 apresentam índice de adequabilidade inferior a 10. As UHE Canastra e Bugres apresentaram um IA de 47%, o maior entre as UHE e Dona Francisca apresentou o menor IA com 0,03%. Entre as UHE inventariadas, a de UHE Muçum apresenta um IA de praticamente zero e a UHE de Espigão Preto obteve um índice de 26,2%. A UHE de São Manuel, com IA superior a 70, apresenta-se como um dos empreendimentos de menor impacto relativo em função da metodologia proposta. Dentre as PCH, apenas cinco dentre 17 apresentam IA inferior a 10. A PCH de Palanquinho foi a que obteve o maior IA, com um índice de 71,4%, seguida pela PCH de Herval com 52,6% e a PCH de Passo do Inferno obteve o menor índice com 2,1%.

ABSTRACT

To determine a Suitability Index (IA) for each segment of the Jacuí River basin, aiming to the licensing process of new dams, a new conceptual model was proposed as a mathematical equation. The purpose of the model is to indicate the areas more and less suitable to the construction of new hydroelectric power dams. In this equation, environmental parameters define low IA values. On the other hand, high socioeconomic factors increase IA estimates. The Suitability Index (IA) is defined by the equation: $IA = (1-PD) \cdot (1-PP) \cdot (1-PG) \cdot [(PAL + PAA + PSL + PSA + PIL + PIA/6) + (PTL + PTA + PRL + PRA + DPTL + DPTA + DPRL + DPRA/8) + (CEL + CEA/2) + BM + BJ + (2 \cdot HÁ) - (2 \cdot VR)]$; following the notation: Presence of Piava (PP); Presence of Grumatã (PG); Presence of Dourado (PD); Local Agricultural PIB (PAL); Accumulated agricultural PIB (PAA); Local Service PIB (PSL); Accumulated Service PIB (PSA); Local Industrial PIB (PIL); Accumulated Industrial PIB (PIA); Local Total Population (PTL); Accumulated Total Population (PTA); Local Rural Population (PRL); Accumulated Rural Population (PRA); Accumulated Total Population Density (DPTA); Local Total Population Density (DPTL); Local Rural Population Density (DPRL); Accumulated Rural Population Density (DPRA); Local Energetic Consume (CEL); Accumulated Energetic Consume (CEA); Upstream Dams (BM); Downstream Dams (BJ); Altitudinal Heterogeneity (HA); Riparian Vegetation (VR). The migratory fish index concerns the probability of occurrence of *Salminus brasiliensis* (PD), *Leoporinus obtusidens* (PP) and *Prochilodus lineatus* (PG). Economical descriptors are the simple average of agricultural PIB (PAL / PAA), service PIB (PSL / PSA) and industrial PIB (PIL / PIA), measuring both the local (L) and accumulated from upstream (A) effects. Population descriptors (PTL / PTA / PRL / PRA / DPTL / DPTA / DPRL / DPRA) represent the simple average of all population indicators, measuring the local and accumulated effects. The measure of energy consumption (CEL / CEA) represents average energy consumption both local and upstream accumulated. The number of upstream (BM) and downstream dams (BJ) aims to penalize a river segment nested inside large dam system. The altitudinal heterogeneity (HA) aims to increase the suitability of river segments with higher levels of embedding. The riparian vegetation (VR) represents the percentage of vegetation covering in the form of forest around each the river segment. Each parameter was re-scaled between 0 and 1, so that all variables have equivalent effects. Among the nine power plants in operation, seven have suitability index below 10. The UHE of Canasta and Bugres showed an AI of 47%, the highest among the UHE. Dona Francisca had the lowest AI value (0.03%). Among the projected UHE, Muçum presents a virtually zero IA value and the UHE Espigão Preto obtained an index of 26.2%. The power plant of San Manuel presents an IA of 70% and is one of the least impact enterprises concerning the proposed methodology. Among the PCH, only five out of 17 have IA lower than 10%. The PCH Palanquinho presented the larger IA value, reaching 71.4%, followed by PCH Herval, with 52.6%. The PCH Passo do Inferno had the lowest estimated IA value, as just 2.1%.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente os recursos hídricos vêm sofrendo grande pressão devido ao aumento do consumo direto por atividades produtivas e pelo uso doméstico. Ao mesmo tempo, o retorno da água aos sistemas naturais se faz freqüentemente em condições inadequadas de qualidade. A pressão por geração de energia elétrica também vêm causando significativo impacto, seja através da interrupção da continuidade física dos segmentos de rio, seja através de alterações no regime de vazão. Uma das ações de extrema importância para a minimização dos impactos potenciais constitui-se na implantação de planos de gerenciamento de bacias hidrográficas que abranjam as regiões afetadas. A bacia hidrográfica pode ser definida como toda área de captação natural de água da chuva que escoam superficialmente para um determinado ponto de referência (BARELLA, 2001). Ao corpo de água principal se dá o nome de bacia, sendo cada contribuinte menor considerado uma sub-bacia ou área de drenagem. Estas são unidades fundamentais para conservação e manejo ambiental, pois as características ambientais de uma bacia são o reflexo dos efeitos conjugados da dinâmica natural e ação antrópica ao longo das subunidades nela contidas (LIMA & ZAKIA, 2000). A bacia hidrográfica serve como unidade primária para gerenciamento dos recursos hídricos e até para gestão ambiental como um todo, uma vez que os elementos físicos naturais estão interligados pelo ciclo da água (SEMA, 2006).

No Brasil, o planejamento de bacias hidrográficas começou a ser implementado na década de 70, proporcionando a criação do Comitê Especial de Estudos Integrados de Bacias Hidrográficas, que redundou posteriormente, no Rio Grande do Sul, na criação do Comitê de Estudos Integrados da Bacia do Guaíba (BARTH, 2002). Todo este processo resultou na criação da Lei nº9.433/97 que busca implantar o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e estabelece que a gestão da água deva ser realizada por bacia hidrográfica e que a água passa a ter um valor econômico (GRASSI & CANEPA, 1990). No Rio Grande do Sul, a lei que implanta o Sistema Estadual de Recursos Hídricos é a de nº10.350/94, que define o Plano Estadual de Recursos Hídricos e os Planos de Bacias Hidrográficas. Estes deverão discriminar, para cada bacia, os objetivos, princípios e diretrizes definidos na Política Estadual de Recursos Hídricos. O sistema se fundamenta num modelo de gerenciamento caracterizado pela descentralização das decisões e pela

ampla participação da sociedade organizada em Comitês de Bacias, permitindo que a população compartilhe da gestão de bacias hidrográficas (SEMA, 2006). Segundo a Associação Brasileira de Recursos Hídricos, o Brasil deve valorizar o aproveitamento de recursos hídricos para múltiplas finalidades, analisando seus empreendimentos em contextos de desenvolvimento regional integrado e contemplando inúmeros objetivos, principalmente de natureza econômica, social e ambiental (ANA, 2002). A gestão de recursos hídricos implica a constante avaliação da qualidade e quantidade de água, buscando monitorar e conhecer os potenciais conflitos, gerando indicações seguras sobre qual área deverá ser conservada e qual o custo dessa conservação (TUNDISI & STRASRABA, 1995). Adota-se a Bacia Hidrográfica como unidade de intervenção, pois esta constitui uma alternativa vantajosa, pois a rede de drenagem representa o caminho principal das relações de causa e efeito causados por conflitos que envolvem o meio hídrico (LANNA, 1995).

Para subsidiar o planejamento ambiental, a Política Nacional de Meio Ambiente adotou o zoneamento ambiental como modelo de instrumento para subsidiar a tomada de decisão, direcionando as propostas de manejo e educação ambiental e assim viabilizando a sustentabilidade dos ecossistemas (CABRAL, 2001). O zoneamento consiste na identificação e delimitação da paisagem em zonas segundo suas potencialidades e fragilidades, considerando fatores ambientais do meio físico, biológico e sócio-econômico de cada ecossistema (SILVA, 2003). Portanto, para realizar-se um zoneamento ambiental é preciso identificar parâmetros relevantes a serem prospectados, com base nos conflitos de uso da água e nas características ambientais e socioeconômicas de cada bacia. Estes parâmetros deverão gerar um índice de qualidade para cada zona, buscando a preservação e conservação das áreas com maior índice de qualidade e menor degradação ambiental (SILVEIRA & CRUZ, 2005). A utilização do zoneamento como instrumento para a tomada de decisão em um planejamento ambiental, vem demonstrando problemas desde a sua implantação no início da década de 90. Alguns destes problemas são provenientes da falta de equipes técnicas qualificadas, fragilidades dos órgãos governamentais, descentralização do governo, entre outros. A parte metodológica também apresenta algumas dificuldades, como a falta de dados confiáveis atualizados ou mesmo a incompreensão dos resultados gerados (LEITE, 2001). Assim, a constante busca por novos métodos provem da falta de respostas eficientes, seja em função da urgência na busca de soluções ou pela escassez de informações (PARTIDÁRIO, 2000). Ainda, no processo de

licenciamento ambiental brasileiro, a quantidade de processos burocráticos acaba prejudicando a realização do zoneamento de forma ágil e adequada, servindo apenas para o cumprimento de exigências legais (OLIVEIRA, 2004). Neste sentido, inúmeros críticos argumentam que as aplicações de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas, são mais implementadas pelo desejo de demonstrar do que pelo objetivo de resolver problemas reais relacionados ao planejamento e licenciamento ambiental (THI THU, 2009).

Os problemas burocráticos, a falta de metodologias adequadas e a aceitação dos resultados também geram conflitos na utilização correta desta ferramenta (FANG *et al.*, 2006). Em 2001, foi realizado um levantamento em alguns Estados que utilizam o zoneamento ambiental, visando identificar as dificuldades enfrentadas. Os principais problemas apresentados foram relacionados à área institucional, a falta de técnicos qualificados, de apoio governamental estadual, o alto custo devido à contratação de consultorias e demora na conclusão dos projetos (LEITE, 2001). Além destes problemas, a sistemática de planejamento ambiental visando à conservação é mais bem desenvolvida para sistemas terrestres e marinhos do que para sistemas de água doce (PRESSEY & BOTTRILL, 2008). Neste sentido, as avaliações de conservação são relativamente recentes para os sistemas de água doce, em parte por causa dos desafios espaciais e temporais que são característicos de rios, zonas úmidas e suas redes de drenagem (BARMUTA *et al.*, 2010).

Para auxiliar nesta questão de complexidade na gestão de bacias hidrográficas, inumeros autores propõem a adoção de uma Análise Multicritério de Decisão (PRESSEY & BOTTRILL, 2008; KNIGHT *et al.*, 2006a, b; BARMUTA *et al.*, 2010). Esta análise permite uma abordagem interdisciplinar, onde os fatores que compõem o meio físico, biótico e socioeconômico são considerados, assim como suas inter-relações sob a ótica de diferentes especialistas (SILVA, 2003). A análise multicritério teve início com o trabalho de PARETO (1986), o qual analisou um problema de agregação de critérios e definiu o conceito da eficiência entre duas alternativas de decisão. Este foi o passo inicial para a evolução da análise multicritério, mas foi CHARNES & COOPER (1961) que desenvolveram a teoria e métodos para a aplicação multiatributo, tornando esta análise uma das ferramentas mais utilizadas no campo da pesquisa operacional, em diferentes áreas do conhecimento (KORHONEN *et al.*, 1992). KEENEY & HAIFFA (1976)

estenderam os conceitos da teoria para o auxílio a problemas decisórios, nos quais cada alternativa pudesse ser descrita por uma lista de atributos, eles propuseram a construção de uma função matemática, capaz de agregar as informações dos múltiplos atributos de forma que, a cada alternativa, pudesse ser associada uma medida de valor. Nos anos 80, pesquisadores norte americanos buscavam otimizar os processos de análise multiobjeto, mas foram contestados por pesquisadores europeus, pois criticavam que a abordagem americana buscava uma solução que fosse perfeita ao invés de lhe apresentar inúmeras alternativas, podendo, desta forma, induzir o tomador de decisão. Os europeus se destacaram nesta area e criaram a chamada Escola Européia, a qual tem como objetivo buscar a solução de melhor comprometimento e não a mais racional, como ditava a Escola Americana. A Escola Européia possui alguns conceitos principais em relação a análise multicritério, o primeiro define que não existe um problema totalmente isolado de outras influências, que cada pesquisador vê o problema de forma diferente segundo seu sistema de valores, os elementos objetivos e subjetivos possuem interconexões e o tomador de decisão pode mudar seu ponto de vista conforme cresce seu conhecimento sobre o problema. Posteriormente surgiram autores (ROY, 1985; VINCKE, 1992; PARDALOS *et al.*, 1995) que criaram novas categorias de análise multicritério, contribuindo para a evolução dos métodos. ZUFFO (1998) utilizou cinco métodos diferentes de análise multicritério no planejamento do recursos hídricos, sendo que somente um dos métodos não demonstrou bons resultados. Na Alemanha utilizou-se a análise multicritério para resolver problemas envolvendo as políticas ambientais, os quais apresentaram bons resultados, demonstrando várias alternativas para o problema enfrentado (OMANN, 2000). O melhor modo de utilizar o zoneamento ambiental é realizar uma análise multicritério, pois dentro do zoneamento é necessário o levantamento e análise de diversos parâmetros, sendo que um influencia o outro. Nesta análise a identificação dos parâmetros e a modelagem do problema permitem a conversão dos conhecimentos tácitos em conhecimentos explícitos e a integração desses conhecimentos em prol de um objetivo comum que é a tomada de decisão. Em contrapartida a adoção de preceitos lógicos e explícitos permite o questionamento e reavaliação do processo decisório e a conseqüente aprendizagem organizacional (YAHAYA, 2008). Segundo BALLESTER *et al.* (1995), para o manejo ambiental é preciso o conhecimento detalhado das variações espaciais e temporais dos fatores naturais e antrópicos que atuam sobre o mesmo. A união destas dimensões permite o processamento dos dados, a qual tem sido possibilitada pelos

Sistemas de Informações Geográficas, que são definidos como tecnologias para investigação dos fenômenos ambientais que combinam os avanços tecnológicos da cartografia e banco de dados automatizados, o sensoriamento remoto e a modelagem.

A introdução das técnicas de geoprocessamento, utilizando Sensoriamento Remoto e o Sistema de Informações Geográficas (SIG), permitiu a modelagem da realidade ambiental, auxiliando nos processos de análises de dados espaciais. Tornou-se possível a manipulação de grandes volumes de dados, tratamento das imagens e disponibilização rápida de um universo de informações (ZAIDAN *et al.*, 2008), contribuindo para a agilidade no processo de Zoneamento Ambiental. O SIG consiste em um sistema computacional que possui como princípio fundamental de funcionamento a indexação geográfica das informações utilizadas. Outra característica importante é a integração de informações espaciais e não espaciais de origens diversas em uma única base de dados, a qual permite a geração de novas informações, visualizadas na forma cartográfica (CÂMARA, 1993). A informação é dividida em duas partes, a primeira é a informação espacial referenciada a um sistema de coordenadas, com localização e delimitação das zonas de interesses. A segunda parte consiste na composição de atributos não espaciais e reúne dados descritivos, organizados e tabulados em um banco de dados (BURROUGH, 1992). LOBÃO & VALE (2007), apresentaram um estudo utilizando um modelo SIG para a análise ambiental em micro-bacias na região do Morro do Chapéu, na Chapada Diamantina. Utilizando critérios geomorfológicos, vegetativos, climáticos, assim como declividade, altimetria e direção de fluxo, obtiveram bons resultados na classificação de zonas com fragilidade ou potencialidade erosiva. Os autores destacam que a obtenção de dados confiáveis e corretos, além da falta de participação de especialistas de diversas áreas, ainda são problemas enfrentados pelos métodos durante o zoneamento. ECKHART *et al.* (2007) realizaram um zoneamento ambiental no Vale do Taquari, Rio Grande do Sul, utilizando parâmetros hidrográficos, topográficos, hipsométricos, uso e cobertura do solo. Seguindo a mesma linha de estudo MARTINS *et al.*, realizou um trabalho de zoneamento ambiental no Arroio Cadena, no município de Santa Maria. O estudo utilizou seis parâmetros ambientais, drenagem, declividade, coeficiente de rugosidade, vegetação, ocupação humana e uso da terra. SAMPAIO *et al.* (2010), realizaram um zoneamento ambiental da sub-bacia hidrográfica do Rio Ibicuí-Mirim, no Rio Grande do Sul. Esta metodologia utilizou critérios como declividade, drenagem, rugosidade, vegetação, paisagem nativa, ocupação humana e uso da terra para zonedar a área em Área de

Preservação Permanente, Área de Conservação Permanente, Área de Restauração e Área de Uso e Ocupação. Os trabalhos, mesmo com metodologias e parâmetros diferentes, apresentaram resultados bons e próximos à realidade da região, utilizando o zoneamento ambiental e as ferramentas de geoprocessamento.

Para auxiliar no processo de zoneamento ambiental, utiliza-se um índice de qualidade, que é um instrumento desenvolvido para reduzir uma grande quantidade de dados a uma forma mais simplificada, retendo o significado essencial dos dados para responder a questões desejadas (OTT, 1978). Os indicadores de qualidade são considerados um meio de representar um sistema, mas sua orientação depende de uma definição dos parâmetros envolvidos e da dinamização do processo (SILVA, 2002). Segundo BELLEN (2005), deve-se promover uma integração entre os campos socioeconômicos e ambientais, com finalidade de ampliar o entendimento do conjunto de relações, permitindo uma análise ambiental completa. ATKINSON & HAMILTON (1996) estabeleceram três aspectos para a seleção de índices de qualidade. O primeiro trata da Relevância, que é a facilidade de interpretar, demonstrar tendências temporais, responder a mudanças e ser analisado em função de um padrão ou limite. O segundo, descrito como Condição Analítica visa o embasamento técnico e científico, e o terceiro, denominado de Mensurabilidade, é calculado a partir dos dados facilmente disponíveis, a custos razoáveis, em documentos de boa qualidade, obtidos em intervalos regulares. Todos estes aspectos deverão dar subsídio para sustentar a proposta de zoneamento ambiental.

Neste sentido, o presente projeto objetivou o desenvolvimento de uma proposta de zoneamento para o planejamento ambiental da Bacia Hidrográfica do Jacuí, utilizando-se de ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, com vistas a compatibilizar a produção energética com a conservação ambiental, em especial a manutenção sustentável de populações de peixes migradores de longo curso.

1.1. Conflitos com recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Jacuí

1.1.1. Bacia Hidrográfica do Rio Jacuí

O rio Jacuí é um dos principais rios do Rio Grande do Sul e possui como principais contribuintes o Vacacaí-mirim, Jacuí-mirim, Vacacaí, Pardo, Taquari e Jacuizinho. A Bacia Hidrográfica do Jacuí possui uma área de drenagem de 71.600 km² e a calha principal do rio possui uma extensão total de 710 km (<http://www.fepam.rs.gov>).

br/qualidade/qualidade_jacui/jacui.asp). A precipitação média anual atinge 1600 mm no seu valor mais alto, nas zonas do curso principal do rio Jacuí até a foz do Jacuizinho e possui vazão média na foz da ordem de 1.900 m³/s. O seu valor mais baixo fica em torno de 1200 mm por ano nas zonas entre Dona Francisca e o rio Taquari (<http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/jacui.asp>). A bacia hidrográfica distribui-se ao longo de 65 municípios, sendo que trinta e seis são banhados pelo Alto Jacuí, no Planalto Médio e vinte e nove pelo Baixo Jacuí, nas regiões de Depressão Central e Encosta Inferior Nordeste (<http://www.mma.gov.br/port/srh/sistema/riosesta/riosul/jacui.html>). Na região existe um aproveitamento energético de 971,2 MW proveniente de quatro Usinas Hidrelétricas (Jacuí, Passo Real, Itaúba e Dona Francisca) e duas Pequenas Hidrelétricas (Ernestina e Cotovelo Jacuí) (ANEEL, 2002). O rio é navegável de sua foz até o município de Cachoeira do Sul, onde, neste trecho, localizam-se três barragens eclusadas: a de Fandango, Dom Marco e Amarópolis (BRIGHETTI & SANTOS, 2002), sendo este considerado o principal trecho de pesca comercial de águas interiores do Rio Grande do Sul (<http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/jacui.asp>).



Figura 1: Bacia hidrográfica do rio Jacuí (Adaptado de: Secretaria Estadual do Meio Ambiente).

1.1.2. Sub-bacia do Alto Jacuí

A sub-bacia do Alto Jacuí abrange cidades importantes como Carazinho, Cruz Alta, Sobradinho, Passo Fundo e Tupanciretã, dentre outras (<http://www.sema.rs.gov.br/>). O Rio Jacuí é o maior do interior do Estado e contribui com 85% das águas que formam o Lago Guaíba, sendo represado pelas barragens de Ernestina, Itaúba e Passo Real. No verão

ocorrem problemas de abastecimento e navegação, pois em alguns trechos a sua vazão é regulada pelas turbinas dos empreendimentos hidrelétricos (http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade_jacui/jacui.asp). A economia desta sub-bacia baseia-se, principalmente, na agricultura e pecuária. Na agricultura destaca-se a produção de soja, milho, trigo e arroz. Já a pecuária é baseada no corte de bovinos e produção leiteira (<http://www.upf.br/coaju/>). Os principais usos da água se destinam a irrigação, dessedentação animal e consumo humano (<http://www.sema.rs.gov.br/>). Segundo o Plano de Gerenciamento da Bacia do Alto Jacuí (2009), a irrigação representa 69,4% do consumo total dos recursos hídricos desta sub-bacia, 19,8% para dessedentação animal, 8,7% para consumo humano e 2,2% para o uso industrial.

1.1.3. Sub-bacia do Baixo Jacuí

A sub-bacia do Baixo Jacuí abrange municípios como Eldorado do Sul, Charqueadas, Minas do Leão, Guaíba, dentre outros. Os principais usos da água destinam-se ao consumo industrial, irrigação de lavouras e abastecimento humano (<http://www.sema.rs.gov.br/>). Atualmente a paisagem desta região sofre com as crescentes alterações em função dos diferentes usos do solo. O cultivo de fumo, milho e arroz, atividades pastoris, assim como o florestamento com espécies exóticas contribuem para a degradação da região (ACCORDI, 2003). A extração de carvão também é intensa nesta sub-bacia, causando conflito ambiental principalmente nos municípios de Charqueadas e São Jerônimo. No curso inferior do Rio Jacuí encontra-se o Pólo Petroquímico de Triunfo e as principais indústrias da região atuam no ramo de química, plástico, metalurgia, borracha, siderurgia e produtos alimentares (http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade_jacui/jacui.asp).

1.1.4. Sub-bacia do Rio Vacacaí e Vacacaí – Mirim

A sub-bacia hidrográfica do rio Vacacaí e Vacacaí-Mirim possui uma área de drenagem de aproximadamente 11.077 km², abrangendo, principalmente, as províncias geomorfológicas da Depressão Central e Escudo Sul Rio-Grandense. A bacia limita-se ao norte com o Alto Jacuí e Ibicuí, ao sul com as bacias do Camaquã, ao leste com o Baixo Jacuí e ao oeste com a bacia do rio Santa Maria. A precipitação média anual é superior a 1.500 mm, entretanto, esta região pode sofrer um déficit anual superior a 200 mm de precipitação. Possui uma vazão média próxima à foz do rio Vacacaí em torno de 110,44

m³/s e seus principais cursos de água são os arroios Igá, Acangupá e Arenal, e os rios Vacacaí, dos Corvos, São Sepé e Vacacaí Mirim (<http://www.sema.rs.gov.br/>). A vegetação característica desta região é composta, principalmente, por Savana, Estepe, Floresta Estacional Decidual e Áreas de Tensão Ecológica. (<http://coralx.ufsm.br/ifcers/hidrografia.htm>). A sub-bacia hidrográfica do Rio Vacacaí e Vacacaí-Mirim banha 15 municípios, entre eles os municípios de Caçapava do Sul, Ivorá, Júlio de Castilhos, Lavras do Sul, Restinga Seca, Santa Maria, São Gabriel, São Sepé e Silveira Martins. Os principais usos de água destinam-se a irrigação, dessedentação de animais e abastecimento público. O cultivo do arroz irrigado coincide com a época de menor disponibilidade de água, gerando um dos principais conflitos de uso hídrico da região. O solo é ocupado por latifúndios, com pecuária extensiva e agricultura, sendo que a sub-bacia tem o menor parque industrial da Região Hidrográfica. Uma das características marcantes na questão sócio-econômica da região é a existência de inúmeras habitações ilegais que geram contaminação das águas devido ao lançamento indiscriminado de efluentes domésticos (<http://coralx.ufsm.br/ifcers/hidrografia.htm>).

1.1.5. Sub-bacia do Rio Taquari – Antas

A sub-bacia hidrográfica Taquari-Antas possui uma área de drenagem de 26.491 km², abrangendo as províncias geomorfológicas do Planalto Meridional e Depressão Central. Ela limita-se ao norte com a bacia do Apuae-Inhandaua, ao sul com a bacia do Caí e do Baixo Jacuí, a oeste com o Alto Jacuí e Pardo e ao norte com a bacia do rio Uruguai. Possui uma precipitação média anual de 1.715 mm e uma vazão média de 633,21 m³/s. Seus principais cursos de água são os Rios das Antas, Tainhas, Lageado Grande, Humatã, Carreiro, Prata, Guaporé, Forqueta, Forquetinha e o Taquari. A vegetação característica desta região é composta de Floresta Ombrófila Mista, Savana e Floresta Estacional Decidual (<http://coralx.ufsm.br/ifcers/hidrografia.htm>). A região da sub-bacia é uma das mais desenvolvidas do Estado, compreendendo municípios como Antônio Prado, Veranópolis, Bento Gonçalves, Cambará do Sul, Carlos Barbosa, Caxias do Sul, Estrela e Triunfo, entre outros. A captação e uso da água desta sub-bacia destinam-se, principalmente, a irrigação, agroindústrias, dessedentação animal e abastecimento público. No Vale do Taquari há um grande predomínio da agropecuária, enquanto na região colonial da Serra do Estado ocorre uma intensa atividade industrial (<http://coralx.ufsm.br/ifcers/hidrografia.htm>). Uma das culturas mais abundantes da região é o cultivo de maçãs,

que vem gerando um impacto bastante significativo em função do uso intenso de agrotóxicos. As cidades de Caxias do Sul e Bento Gonçalves contribuem significativamente para degradação ambiental, pois ocorrem emissões significativas provenientes dos parques industriais, assim como o despejo de efluentes domésticos provenientes dos aglomerados urbanos (<http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/guaiba.asp>).

As cidades que integram esta região concentram 20% do PIB Estadual, com base econômica voltada para o setor industrial. A população desta área representa cerca de 16% da população Estadual e os municípios caracterizam-se por apresentar um elevado grau de urbanização e taxa de crescimento populacional próxima a média estadual (http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade_taquari_antas/taquariantas.asp). Entre os municípios de Veranópolis e Antônio Prado se encontra o trecho mais significativo em termos de uso e ocupação de solo. Esta área concentra 50% da população e 57% das indústrias desta sub-bacia. As sub-bacias de drenagem dos rios Forqueta, Carreiro e das Antas, possuem áreas cultivadas onde ocorre o predomínio de culturas de milho e soja. Nas regiões mais planas, ao sul da sub-bacia ocorre também o cultivo de arroz. Essas culturas intensivas geram problemas em relação à utilização de agrotóxicos e adubos químicos, processos erosivos, aumento da turbidez e assoreamento. Os cursos d'água desta área servem como corpo receptor e via de transporte de efluentes doméstico, despejos industriais, águas pluviais de drenagem urbana, lixívias de depósitos de resíduos sólidos e de águas de drenagem rural (<http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/guaiba.asp>). O rio Taquari possui uma barragem provida de eclusa em Bom Retiro do Sul, já a bacia do Rio das Antas possui treze empreendimentos hidrelétricos em plena operação, sendo duas Usinas Hidrelétricas (Monte Claro e Castro Alves) e onze Pequenas Centrais Hidrelétricas (Salto Forqueta, Caçador, Linha Emília, Cotiporã, Rio São Marcos, Palanquinho, Passo do Meio, Herval, Galópolis, Jararaca e da Ilha). Encontra-se em processo de inventariamento mais quatro Usinas Hidrelétricas (Muçum, São Marcos, São Manuel e Espigão Preto) (ANEEL, 2008).

1.1.6. Sub-bacia do Rio Pardo

A sub-bacia hidrográfica do Rio Pardo possui uma área de drenagem de aproximadamente 3.636 Km² e uma extensão de 115 km. Está localizada na Depressão Central e Planalto Médio, limitando-se ao norte e a oeste com a bacia do Alto Jacuí, ao sul com a bacia do Baixo Jacuí e a leste com a bacia do Taquari-Antas. Seus principais cursos

de água são o rio Pardinho, rio Pequeno, arroio Andréas, arroio Francisco Alves e o rio Pardo, sendo que este último possui sua nascente na cidade de Barros Cassal e desemboca no rio Jacuí, no trecho próximo a cidade de Rio Pardo. A precipitação pluviométrica varia, anualmente, entre 1200 e 2000 mm e possui uma vazão próxima a foz em torno de 29,20 m³/s (http://www.comitepardo.com.br/bacia_riopardo.htm). A vegetação característica é a Floresta Estacional Decidual, podendo apresentar pequenos fragmentos de Áreas de Tensão Ecológica (<http://coralx.ufsm.br/ifcrs/hidrografia.htm>). A sub-bacia do rio Pardo abrange municípios como Candelária, Rio Pardo, Santa Cruz do Sul, Soledade e Venâncio Aires. A água desta bacia destina-se, principalmente, a irrigação de lavouras de arroz, soja, milho e fumo, agriculturas intensivas que, associadas ao desmatamento das encostas, causam sérios problemas de erosão (http://www.comitepardo.com.br/bacia_riopardo.htm). O déficit da mata ciliar, que é a diferença entre a quantidade de mata existente e a exigida legalmente, mostra-se intensa na parte baixa da sub-bacia, justificada pela presença de áreas urbanas e agrícolas mais expressivas. Outro problema grave é a poluição das águas da bacia devido à intensa geração de efluentes de origem humana, animal e uso de agrotóxicos (http://www.unisc.br/deptos/cpardo/bacia_riopardo.htm). A irrigação para o cultivo de arroz corresponde a 82,5% da demanda total de água na Bacia, enquanto o abastecimento industrial representa 5,95% da demanda total, o abastecimento humano 4,14% e a criação de animais apenas 2,45% (ECOPLAN, 1997). Há, também, a ocorrência de jazidas minerais de interesse econômico, muitas das quais já conhecidas e em fase de exploração. A exploração mineral, principalmente a extração de cascalho e areia, causa assoreamento e erosão, desmatamento das matas ciliares e contaminação por substâncias tóxicas provenientes do processo de extração e lavagem mineral (ECOPLAN, 2005). Na encosta do Planalto Meridional encontram-se, predominantemente, propriedades coloniais, com áreas de florestas remanescentes em diversos estágios de regeneração e representantes significativos da fauna do Estado (<http://coralx.ufsm.br/ifcrs/hidrografia.htm>). No Rio Pardinho encontra-se uma barragem de captação de água pertencente à CORSAN, que é destinada ao consumo doméstico, sendo este o único empreendimento da região desta sub-bacia (CORSAN).

1.1.7. Sub-bacia do Rio Caí

A Sub-bacia hidrográfica do rio Caí possui uma área de drenagem de 4.945 km² e está localizada nas regiões da Encosta Superior do Nordeste, partes dos Campos de Cima

da Serra e da Encosta Inferior do Nordeste. O rio Caí possui uma extensão de 285 km e seus principais afluentes são os arroios Cadeia, Cará, Mauá, Forromeco, Maratá e Piaí. A precipitação média anual nesta bacia é variável, atingindo 1.400 mm nas nascentes e 900 mm a jusante de São Sebastião do Caí até a foz, sendo este o menor índice pluviométrico da bacia dos formadores do Guaíba. A vegetação característica da bacia do Caí é a Floresta Estacional Decidual, Floresta Ombrófila Mista e Savanas (<http://coralx.ufsm.br/ifcers/hidrografia.htm>). A sub-bacia do Rio Caí compreende municípios como Canela, Caxias do Sul, Bom Princípio, Montenegro, São Francisco de Paula e Sapiranga. Os principais usos da água nesta bacia se destinam a irrigação, uso industrial e abastecimento público. A exploração agrícola intensa, o desmatamento das encostas com alta declividade e a poluição hídrica no curso médio e inferior são os maiores problemas enfrentados nesta bacia (<http://www.sema.rs.gov.br/>). A região possui municípios com indústrias de alto potencial poluidor, como Caxias do Sul e Farroupilha. Na região do Arroio Cadeia, os curtumes são as indústrias responsáveis pelo maior potencial poluidor. A região do Planalto é caracterizada pela criação extensiva de bovinos, produção de maçã e atividade madeireira. Na zona central e nordeste da sub-bacia, há a ocorrência de pequenas propriedades agrícolas com cultivos diversos e os maiores centros urbanos estão localizados às margens do rio. Na zona de várzea os solos planos são utilizados para a plantação de arroz e para pecuária e os maiores aglomerados urbanos estão localizados próximos ao rio principal (<http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/guaiba.asp>). A água é utilizada, principalmente, para abastecimento público, irrigação para o cultivo de morangos, arroz, hortaliças e produção de flores. A grande parte dos despejos domésticos dos municípios é lançada em esgotos pluviais e após nos recursos hídricos, na maioria das vezes sem tratamento. O grande volume de esgotos domésticos da região de Caxias do Sul é responsável pelo maior impacto ambiental na Bacia. Localiza-se nesta área uma grande quantidade de indústrias, principalmente nos municípios da Serra, destacando-se as metalúrgicas de Caxias do Sul e Farroupilha. Destacam-se também as a presença do Pólo Petroquímico junto à foz com o Jacuí. Há também a ocorrência de mineração na região do Rio Caí, onde são extraídos, principalmente, argila, cascalho, basalto, areia e arenito. Nesta região existem duas Usinas Hidrelétricas em operação (Canastra e Bugres) e duas Pequenas Centrais Elétricas (Passo do Inferno e Toca). Além destes empreendimentos, existem três barragens (Salto, Blang e Divisa) que conduzem água para as Usinas Hidrelétricas de Bugres e Canastra (ANEEL, 2008).

1.1.8. Sub-bacia do Rio dos Sinos

A Sub-bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos possui uma área de drenagem de 3.746 km² e seu curso principal possui uma extensão de 190 km. Os principais corpos de água são o rio Rolante, o Rio da Ilha, o rio Paranhana e o Rio dos Sinos e abrange as províncias geomorfológicas do Planalto Meridional e Depressão Central. Esta sub-bacia é delimitada a leste pela Serra Geral, pela bacia do Caí a oeste e ao norte, e ao sul pela bacia do Gravataí. A precipitação pluviométrica anual pode chegar a 1.350 mm. A vegetação desta bacia é caracterizada por um encontro de diversas formações fitogeográficas, onde ocorrem a Floresta Ombrófila Mista nas nascentes do rio Rolante, Savana, Floresta Estacional Decidual, Floresta Estacional Semi-decidual e Áreas de Tensão Ecológica (<http://coralx.ufsm.br/ifcers/hidrografia.htm>). A sub-bacia do Rio dos Sinos foi berço do primeiro comitê de gerenciamento de bacias hidrográficas do Brasil. O Rio dos Sinos é considerado o mais impactado da região, devido a possuir o maior parque industrial, com destaque para a área coureiro/calçadista, além do setor petroquímico e metalúrgico. A agricultura e pecuária é pouco desenvolvida na região, estando presente somente no curso superior do Rio dos Sinos. A utilização da água desta sub-bacia destina-se ao abastecimento público, uso industrial e irrigação. O trecho inferior do rio dos Sinos é ocupado por grande concentração populacional e industrial, onde os principais arroios desta região participam da drenagem de grandes centros urbanos (<http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/guaiba.asp>).

1.2. Ictiofauna

A ictiofauna representa a comunidade de peixes que depende e habita os recursos disponíveis em um determinado corpo de água. Cada bacia hidrográfica no Brasil possui uma fauna de peixes característica, apesar das similaridades entre elas (MENEZES, 1972). Em reservatórios artificialmente criados, a fauna íctica existente representa o resultado dos processos de reestruturação das populações que habitavam originalmente o leito do rio, antes do represamento. A implantação de lagos artificiais causa a transformação das características físicas e químicas dos habitat. Uma das principais conseqüências a montante da construção de barramentos é a alteração de um ambiente lótico em lântico, o que causa transformação no perfil de profundidade, velocidade de corrente, mudanças de temperatura, turbidez e deposição de sedimentos. Todas estas variáveis são importantes

para a sobrevivência das espécies de peixes. Já as conseqüências a jusante afetam diretamente os peixes migradores, visto que estas espécies necessitam migrar para as cabeceiras dos rios durante os períodos reprodutivos. A dimensão das barragens, principalmente a altura, impede o processo reprodutivo, além de causar a perda de grande número de peixes que tentam, sem sucesso, superar o barramento. No decorrer do tempo de construção e operação de reservatórios, a ictiofauna é forçada a se adaptar as novas condições ecológicas decorrentes do aumento da competição, predação e pressões antrópicas (PELICICE & AGOSTINHO, 2007). Além da construção de barragens, o desmatamento, as práticas agrícolas, a urbanização, assim como a utilização da água para abastecimento e irrigação geram um efeito cumulativo e alteram o regime hidrológico dos rios (CHRISTOFOLETTI, 1981). A bacia hidrográfica que contribui para o reservatório sofre profundas modificações no seu regime hidrológico, sendo o padrão de escoamento superficial influenciado tanto a jusante como a montante do empreendimento. As oscilações periódicas ou permanentes no nível do reservatório e no fluxo a jusante, assim como o tempo de represamento da água, são os maiores obstáculos para a estabilização hidrobiológica dos cursos de água, o que influencia toda a fauna da bacia (NOGUEIRA *et al.*, 2006).

1.2.1. Peixes Migradores

O movimento migratório consiste na alternância entre dois ou mais habitats separados, ocorrendo em algum período do ciclo de vida das espécies (NORTHCOTE, 1978). Os peixes migradores são conhecidos por deslocamentos consideráveis para a estimulação de seus órgãos sexuais e maturação de seus gametas, sendo que algumas espécies precisam de uma área de bacia de até 40.000 km² (GODOY, 1987). A construção de hidrelétricas e barramentos vem interferindo de forma importante no ciclo migratório de peixes, interrompendo rotas migratórias historicamente estabelecidas, além de alterar o ciclo natural de vazão, prejudicando diretamente o desenvolvimento destes animais.

Cada espécie possui uma estratégia reprodutiva determinada, dependendo do estímulo de fatores ambientais no desencadeamento de processos hormonais e o desenvolvimento dos gametas que asseguram a manutenção e sobrevivência da espécie (FLORES & HIRT, 1999). A presença de períodos com alto fluxo hidrológico é um fator desencadeador nos movimentos migratórios rio acima (NORTHCOTE, 1978). Neste

sentido, as barreiras consideradas completas podem reduzir ou fragmentar a distribuição de inúmeras espécies de peixes, resultando populações que ficam geneticamente isoladas e em maior risco de extinção. As barreiras parciais ou temporais podem impedir a circulação de parte da ictiofauna, reduzindo o acesso no momento de alto ou baixo fluxo hídrico (NORTHCOTE, 1978).

Para a bacia Jacuí existem três espécies reconhecidas como peixes migradores de longa distância (Alves & Fontoura, 2009): *Prochilodus lineatus* (Grumatã); *Salminus brasiliensis* (Dourado) e *Leporinus obtusidens* (Piava).

1.2.1.1. *Salminus brasiliensis* (Cuvier, 1816)

Salminus brasiliensis, é conhecido como dourado e apresenta grande capacidade migratória (GODOY, 1975a). É uma espécie reofílica, de hábito carnívoro, alimentando-se quando juvenil de peixes, insetos e microcrustáceos e na fase adulta exclusivamente de peixes (ZANIBONI FILHO, 1997). Esta espécie é apreciada pela qualidade de sua carne, para pesca esportiva e ornamental (KUBITZA, 1995). É uma espécie restritiva em relação à área de bacia necessária para sua ocorrência, exigindo rios com um porte maior (ALVES & FONTOURA, 2009). Assim como o grumatã, necessita de um curso migratório de no mínimo 100 km para completar seu desenvolvimento reprodutivo (AGOSTINHO *et al.*, 2005). O dourado ocorre em altitude máxima de 292 metros na região da bacia hidrográfica do Jacuí (ALVES & FONTOURA, 2009). A reprodução se dá uma vez ao ano, período no qual faz sua migração ascendente até a cabeceira dos rios, onde ocorre a desova (PETRERE JR., 1985). Os indivíduos se reproduzem entre dezembro e janeiro, épocas onde ocorrem cheias ou aumento da temperatura. Devido às mudanças ambientais causadas pelo homem, como a poluição da água dos rios, desmatamento, construção de barragens, além da pesca e captura em época de desova, as populações desta espécie vem diminuindo gradativamente (CAROSFELD & HARVEY, 1999). O dourado é descrito no Livro Vermelho da Fauna Ameaçada de Extinção no Rio Grande do Sul como vulnerável (REIS *et al.*, 2003).

1.2.1.2. *Leporinus obtusidens* (Valenciennes, 1837)

Leporinus obtusidens, também conhecido por piava, é uma espécie que possui preferência por ambientes profundos e com correnteza (BERTOLETTI, 1987).

Encontram-se ao longo do sistema hidrográfico do Rio da Prata e nas regiões Sul e Sudeste do Brasil (HARTZ *et al.*, 2000). São onívoros, alimentando-se de insetos, restos de peixes e vegetais (SANTOS, 2000). As espécies do gênero *Leporinus* são importantes na pesca extrativista, possuindo bom valor comercial e ocorrendo em grande número de rios e reservatórios de hidrelétricas (HAYASHI *et al.*, 1996). Durante a piracema, procura as calhas dos rios para se reproduzir (GODOY, 1975b). No período de setembro a outubro há um acréscimo na quantidade desses peixes com maturação avançada ou total, e a partir do final de outubro até janeiro, todos os indivíduos possuem gônadas maduras (OLDANI, 1992). No período de janeiro e fevereiro, períodos de cheia no rio Alto Paraná, já podem ser capturadas larvas desta espécie, indicando o final do processo reprodutivo (OLDANI, 1992). A construção de barramentos vem afetando as populações desta espécie. Abaixo da barragem de Volta Grande, na região do Rio Grande, não foram encontrados indivíduos de Piava com gônadas esgotadas, as quais são geralmente capturadas, pelos pescadores, entre os meses de novembro a março (ANDRADE & BRAGA, 2005). Na bacia hidrográfica do rio Jacuí esta espécie é encontrada em altitudes de até 280-300 metros (ALVES & FONTOURA, 2009)

1.2.1.3. *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1837)

Prochilodus lineatus, conhecido popularmente por grumatã ou curimbatá, caracteriza-se por apresentar enorme potencial pesqueiro (ALMEIDA *et al.*, 1993). É uma espécie reofílica, de ampla distribuição nas bacias brasileiras e consideradas relevante economicamente por sua grande biomassa (PESOA, 2004). Diversos estudos indicam que o grumatã apresenta padrões de movimento reprodutivo ocasionados pelos aumentos dos níveis hidrológicos causados pelas chuvas ou pelo aumento de temperatura (LIZAMA, 2000). Algumas observações mostraram que este peixe pode realizar duas migrações ascendentes antes de atingir o limite extremo de montante, sendo que tal fato comprovado pela continuidade da ascensão mesmo com seus órgãos sexuais em processo de regressão, demonstrando alguma necessidade de regulação metabólica (GODOY, 1975b). Esta espécie apresenta desova entre os meses de outubro e março e em suas migrações pode vencer grandes obstáculos e desníveis (BERTOLETTI, 1985). *Prochilodus lineatus* necessita de no mínimo 100 km de curso migratório para completar o seu desenvolvimento

gonadal e processo de desova (AGOSTINHO *et al.*, 2005). Na região hidrográfica do Rio Jacuí, o Grumatã ocorre em altitude máxima de até 297 metros (ALVES & FONTOURA, 2009).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O modelo foi criado com base nas características da área em estudo e o objetivo da proposta. A equação do modelo se baseia em funções algébricas para criar um índice de qualidade que determine quais regiões são mais propícias para a implantação de novos empreendimentos e quais são impróprias, principalmente, devido à presença de peixes migradores. A equação utiliza a subtração quando o parâmetro é de impacto negativo e adição quando ele tem um impacto positivo, como os peixes migradores são o foco desta proposta, eles aparecem no início da equação com função de multiplicação para que este parâmetro tenha maior efeito no aumento ou diminuição do índice de adequabilidade. Os parâmetros utilizados foram escolhidos por apresentarem efeito direto ou indireto nas sub-bacias hidrográficas, além de envolverem o setor econômico, social e ambiental, os quais são importantes para o planejamento ambiental.

Primeiramente foram definidos os parâmetros socioeconômicos e ambientais a serem considerados para a determinação do zoneamento, os quais se encontram representados na figura 2. Os dados primários, utilizados para a elaboração dos mapas que serviram de base para o zoneamento ambiental, foram adquiridos através de levantamento em órgãos municipais, estaduais e federais. A partir deste levantamento, foi criado um banco de dados (Anexo 1) dentro do software IDRISI Andes, que serviu como base para a geração das imagens iniciais em formato *raster*. Todos os produtos cartográficos utilizados no presente trabalho foram elaborados através do software IDRISI Andes (Clark Labs, 2006), com base em uma adaptação de um modelo numérico do terreno (MNT, altitude radar em *pixel* de 92 por 92 m) para o sistema de referência oficial brasileiro (SAD69) e recorte por unidade de federação (WEBER *et al.*, 2004). O modelo numérico de terreno é uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial, que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre e traduzem feições numéricas de uma região. As imagens da hidrografia total da bacia e da probabilidade de ocorrências de peixes migradores foram obtidas através do trabalho de Alves & Fontoura (2009).

Para determinação de um índice de adequabilidade para cada segmento da bacia Jacuí, com vistas ao licenciamento de novos barramentos, procedeu-se a elaboração um

modelo conceitual materializado sob a forma de uma equação matemática. O objetivo deste modelo é indicar as áreas mais propícias e menos propícias à construção de novos empreendimentos hidroelétricos. Nesta equação, parâmetros ambientais como integridade da cobertura vegetal, presença de peixes migradores, assim como o grau de encaixamento da calha do rio são coeficientes que definem baixos valores de adequabilidade dos barramentos. Por outro lado, o elevado consumo energético, elevadas densidades populacionais, grande produção agrícola e industrial são indicadores de facilitação da implantação de novos empreendimentos. A lógica por detrás do modelo proposto reside na proteção das áreas menos impactadas em sentido amplo, que representam área de ocorrência de peixes migradores, e que redundariam em grandes áreas alagadas no caso da implementação de barramento.

A metodologia pondera duas formas de pressões ambientais: as de caráter local, representando a pressão pontual decorrente de atividade econômica e degradação em cada município, e o impacto cumulativo de montante, que representa o somatório de impactos relativos desde a cabeceira do rio até cada ponto sob análise. Para calcular o impacto cumulativo cada imagem passou pelo processo de somatório dos valores a montante, onde o valor do primeiro município soma-se ao valor do município seguinte e assim por diante, até que todos tenham sido somados. O resultado gerou uma imagem onde o maior valor encontra-se no delta da bacia hidrográfica, representando o impacto acumulado.

O Índice de Adequabilidade encontra-se definido conforme a equação a seguir. Cada parâmetro pertencente à equação foi re-escalado entre 0 e 1, de forma a permitir com que todas as variáveis tenham efeitos relativos equivalentes. A representação do mapa final do índice de adequabilidade apresenta escala entre 0 e 100%, sendo que quanto maior o índice maior é a favorabilidade da área a novos empreendimentos. Na equação são utilizados os valores reais de cada parâmetro, determinados pelo levantamento de dados de cada município. Os parâmetros utilizados encontram-se descritos na tabela 1.

$$\begin{aligned}
\text{IA} &= (1-\text{PD}) \cdot (1-\text{PP}) \cdot (1-\text{PG}) \cdot & (1) \\
&[(\text{PAL} + \text{PAA} + \text{PSL} + \text{PSA} + \text{PIL} + \text{PIA}/6) + & (2) \\
&(\text{PTL} + \text{PTA} + \text{PRL} + \text{PRA} + \text{DPTL} + \text{DPTA} + \text{DPRL} + \text{DPRA}/8) + & (3) \\
&(\text{CEL} + \text{CEA}/2) & (4) \\
&+ \text{BM} + \text{BJ} + & (5) \\
&(\text{2} \cdot \text{HÁ}) - & (6) \\
&(\text{2} \cdot \text{VR})] & (7)
\end{aligned}$$

O bloco 1 do Índice de Adequabilidade representa a probabilidade de ocorrência de peixes migradores, conforme modelo descrito por ALVES & FONTOURA (2009). A Bacia Hidrográfica do Rio Jacuí abriga 3 espécie de peixes migradores, *Salminus Brasiliensis* (Dourado), *Leoporinus obtusidens* (Piava) e *Prochilodus lineatus* (Grumatã). Como estas espécies dependem diretamente de cursos de água livres de barramentos para completarem seu ciclo reprodutivo, ela representa, na equação, um parâmetro fundamental para a determinação dos índices de adequabilidade de cada segmento de rio. Uma vez que o bloco apresenta caráter multiplicativo, a presença de peixes migradores em alta probabilidade leva o IA para valores próximos de zero.

O bloco 2 representa a média simples de valores de PIB agrícola, de serviço e industrial, mensurando efeitos locais e acumulados de montante. Em função do caráter aditivo, quanto maiores estes indicadores, maior o índice de adequabilidade.

O bloco 3 representa a média simples de indicadores populacionais, mensurando efeitos locais e acumulados de montante. Em função do caráter aditivo, quanto maiores estes indicadores, maior o índice de adequabilidade.

O bloco 4 representa o consumo energético local e acumulado de montante. Ambos apresentam caráter aditivo, de forma que quanto maiores estes indicadores, maior o índice de adequabilidade. A valoração do consumo local baseia-se no princípio de valorização do consumo localizado de energia, de forma a diminuir as perdas de transmissão. O consumo energético de montante representa um indicador de atividade econômica que implica em potencial impacto para a bacia.

No bloco 5 são computados o número de barramentos a montante e jusante de cada segmento de rio. Barramentos a jusante serviriam como elementos impeditivos à migração de peixes. Barramentos à montante limitariam o processo migratório. O objetivo deste indicador constitui-se em aumentar a adequabilidade de trechos já impactados por barramentos em cascata, ao mesmo tempo em que diminui a adequabilidade de rios sem a presença de barramentos.

O bloco 6 constitui-se de uma única variável, de caráter aditivo, que representa a heterogeneidade altitudinal local. Esta variável visa aumentar o Índice de Adequabilidade de segmentos de rio com maior grau de encaixamento. Regiões muito planas implicam no alagamento de áreas extensas, gerando maior impacto ao ambiente e onerando custos associados a desapropriações. Por outro lado, rios encaixados alagam áreas menores, implicam em obras de engenharia de menor envergadura e determinam para um menor tempo de residência da água no lago, contribuindo para a qualidade da mesma tanto no lago formado como nas áreas de jusante. Como coeficiente de heterogeneidade altitudinal utilizou-se o valor da variância da altitude em uma matriz de 9 por 9 pixels. Em função da importância deste quesito, este se apresenta majorado através da multiplicação por dois.

Por fim, o bloco 7 representa a percentagem de cobertura vegetal sob a forma de mata em até 500 metros em cada um dos lados de cada segmento de rio. Este parâmetro é mensurado de forma acumulada de montante, objetivando proteger rios que no conjunto apresentam cobertura vegetal mais íntegra. A identificação foi efetuada através de imagens de satélite LANDSAT 7, selecionando-se a banda 3 em função da mesma apresentar um bom contraste entre os diferentes tipos de cobertura vegetal, manchas urbanas e áreas agrícolas. Como este coeficiente apresenta caráter subtrativo em peso dois, a cobertura vegetal penaliza o Índice de Adequabilidade proposto.

O protocolo completo das etapas do zoneamento está presente no Anexo 2. O banco de dados criado inicialmente gerou imagens primárias que demonstram dados armazenados na forma de matrizes, referenciadas na estrutura de linhas e colunas. Dentro desta estrutura, cada elemento de imagem é denominado de *pixel* e cada elemento possui um determinado valor associado ao banco de dados. Cada parâmetro gerou uma imagem diferente, chamado de *layer*, possibilitando o cruzamento e sobreposição destes. Cada imagem resultante foi

multiplicada pela imagem de hidrografia pertencente à bacia hidrográfica, incluindo em cada trecho de rio o valor do parâmetro correspondente.

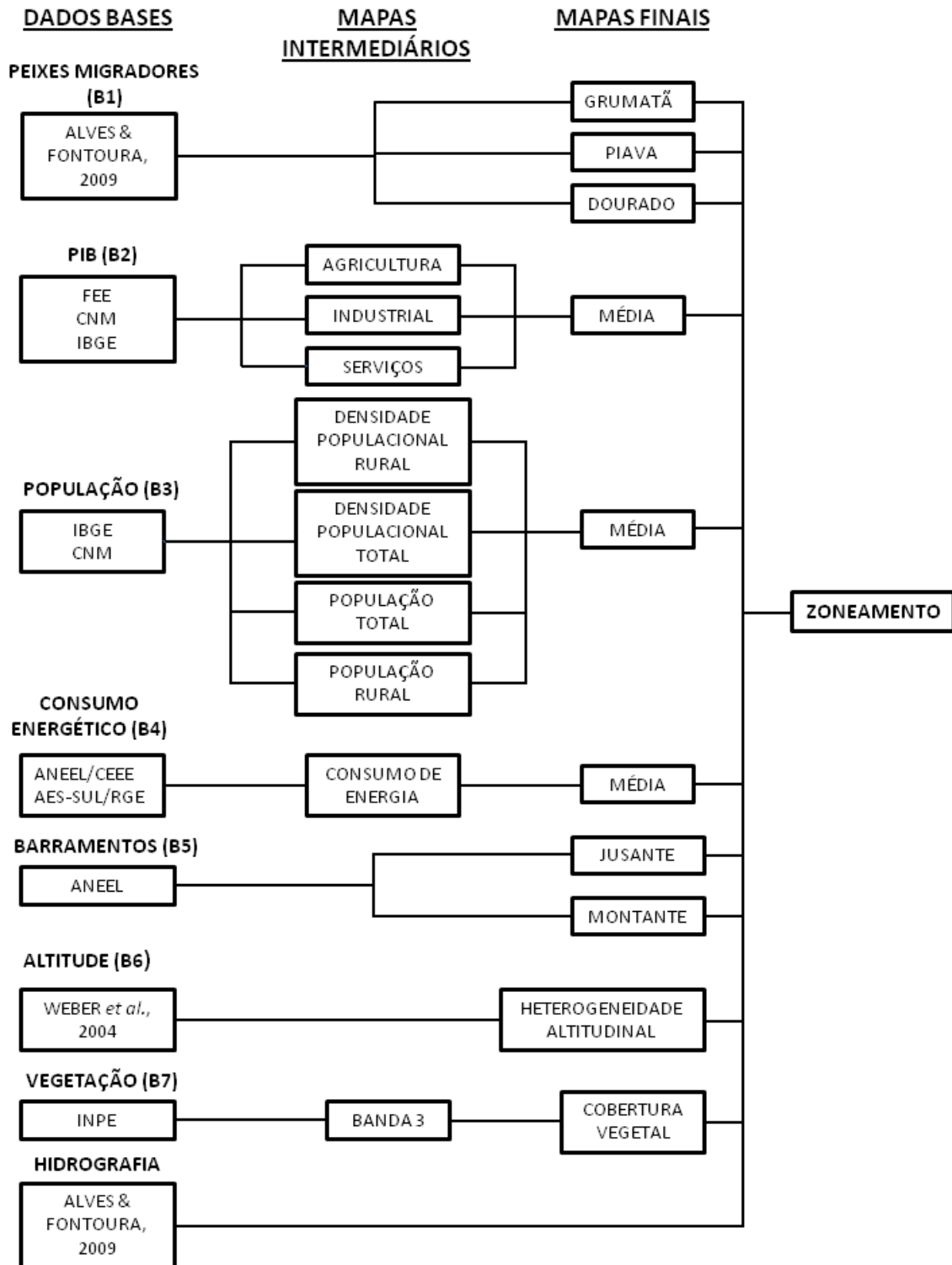


Figura 2: Fluxograma de discriminação dos parâmetros e mapas utilizados para o zoneamento ambiental. De B1 a B7 são representados os blocos utilizados na equação.

Tabela 1. Definição e sigla dos diferentes parâmetros empregados para o Índice de Adequabilidade de empreendimentos hidroelétricos na bacia Jacuí.

PARÂMETRO	SIGLA
Presença de Piava	PP
Presença de Grumatã	PG
Presença de Dourado	PD
PIB Agrícola Local	PAL
PIB Agrícola Acumulado	PAA
PIB Serviços Local	PSL
PIB Serviços Acumulado	PSA
PIB Industrial Local	PIL
PIB Industrial Acumulado	PIA
População Total Local	PTL
População Total Acumulado	PTA
População Rural Local	PRL
População Rural Acumulado	PRA
Densidade Populacional Total Acumulado	DPTA
Densidade Populacional Total Local	DPTL
Densidade Populacional Rural Local	DPRL
Densidade Populacional Rural Acumulado	DPRA
Consumo Energético Local	CEL
Consumo Energético Acumulado	CEA
Barragem a Montante	BM
Barragem a Jusante	BJ
Heterogeneidade Altitudinal	HA
Vegetação Ripária	VR

3. RESULTADOS

O zoneamento ambiental resultou em um mapa representando o índice de adequabilidade e oito mapas intermediários, representando cada parâmetro separadamente. Os resultados foram condizentes com os objetivos, sendo que áreas com menor presença de peixes migradores, tiveram seus índices de adequabilidade elevados. Os mapas econômicos e sociais demonstraram que as áreas com maiores valores de PIB e população são as mais adequadas para a instalação de novos empreendimentos, pois já possuem uma área vegetativa no entorno dos rios já degradada.

As figuras de 3 a 10 representam os mapas parciais referentes a cada bloco funcional do Índice de Adequabilidade, conforme descrito no Material e Métodos. A figura 11 apresenta o resultado final do modelo, indicando o Índice de Adequabilidade (IA) para cada segmento da bacia Jacuí. Para fins de relativização dos resultados, os valores de IA encontram-se re-escalados entre zero e 100. Os pontos lançados em cada mapa representam a localização de usinas hidroelétricas (UHE) e pequenas centrais hidroelétricas (PCH) em operação, assim como usinas em processo de inventariamento (UHE INV). A tabela 2 apresenta os indicadores parciais e o IA (0-100) para cada empreendimento em operação assim como UHE inventariadas na bacia Jacuí.

Conforme o padrão geral identificado através da figura 11, identifica-se que o modelo proposto privilegia segmentos de rios de porte médio localizados na escarpa da Serra Geral. Para rios de maior porte e em menor altitude são atribuídos baixos valores de IA em função da presença de peixes migradores, como é o caso de todas as UHE instaladas, exceto Canastra e Bugres. Por outro lado, as regiões no alto do planalto são influenciadas negativamente pela baixa heterogeneidade altitudinal, o que redundaria em empreendimento com grande área alagada. De forma geral, identifica-se que o presente modelo privilegia a instalação de pequenas centrais hidrelétricas em detrimento de grandes barramentos.

As figuras 12 a 14 apresentam os Índices de Adequabilidade (0-100) estimados para UHEs, UHEs inventariadas e PCHs, respectivamente. Dentre todos os empreendimentos, 18 apresentaram índices inferiores a 20%. Dentre as usinas hidrelétricas em operação, sete empreendimentos possuem uma potência efetiva superior a 100 MW e todas apresentaram estar em áreas com índice de adequabilidade inferior a 10. As usinas de Bugres e Canastra,

que possuem uma potência efetiva conjunta de 55,5 MW, encontram-se localizadas em áreas com IA próximo a 50 (Figura 12). Entre as hidrelétricas em processo de inventariamento, a de UHE Muçum possui a maior potência efetiva projetada, prevista em 67 MW. Este empreendimento, entretanto, apresenta um IA de praticamente zero, em função da presença de peixes migradores. Destaca-se ainda a inexistência de empreendimentos de jusante, o que aumenta o impacto potencial deste empreendimento. Por outro lado, a UHE de São Manuel, com IA superior a 70, apresenta-se com um dos empreendimentos de menor impacto relativo em função da metodologia proposta.

Por outro lado, a comparação das figuras 12 e 13, onde se comparam os IAs de UHE instaladas e em inventariamento, identifica-se uma clara evolução conceitual relativamente a relação custo/benefício de empreendimentos hidroelétricos. Enquanto apenas dois dentre nove UHEs instaladas apresentam IA superior a 10, três das quatro UHEs em processo de inventariamento ultrapassam este limite.

Ao mesmo tempo, identifica-se na figura 14 que apenas cinco dentre 17 PCHs apresentam IA inferior a 10, sugerindo que, em linhas gerais, empreendimentos de menor porte se adéquam mais facilmente aos critérios empregados no modelo proposto. Salientamos, ainda, que não há qualquer proposição de ponto de corte entre localidades adequadas e não adequadas (ex. IA=10). Acima de tudo, o IA proposto tem apenas a finalidade de sugerir as localizações mais adequadas dentro do universo de uma determinada bacia hidrográfica.

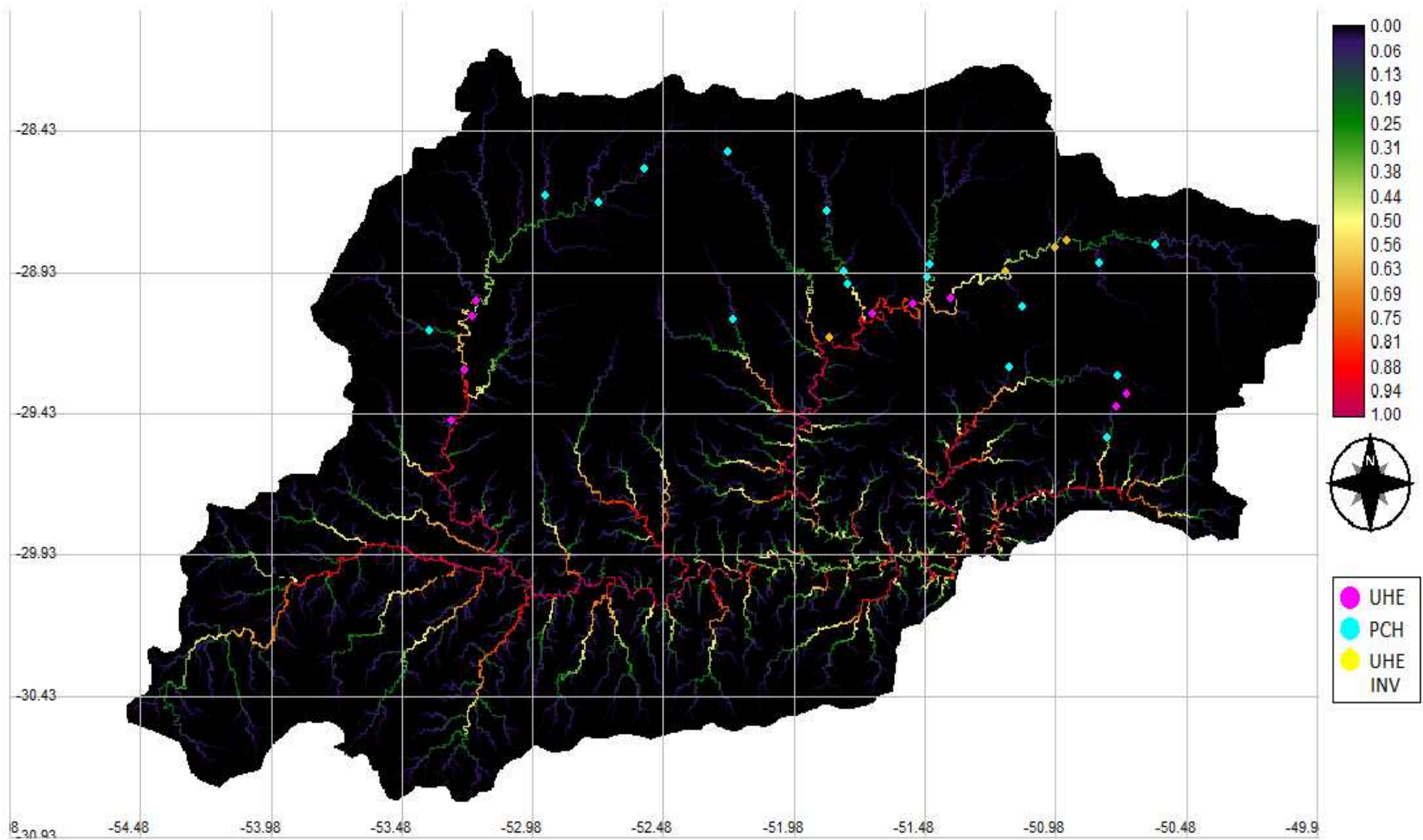


Figura 3 – Bacia hidrográfica do rio Jacuí. Média da probabilidade de ocorrência de dourado, piava e grumetã em valores re-escalados entre zero (0%) e um (100%) (hidrografia segundo Alves & Fontoura, 2009). UHE, Usina hidrelétrica; PCH, pequena central hidrelétrica, UHE INV, usina hidrelétrica em processo de inventariamento.

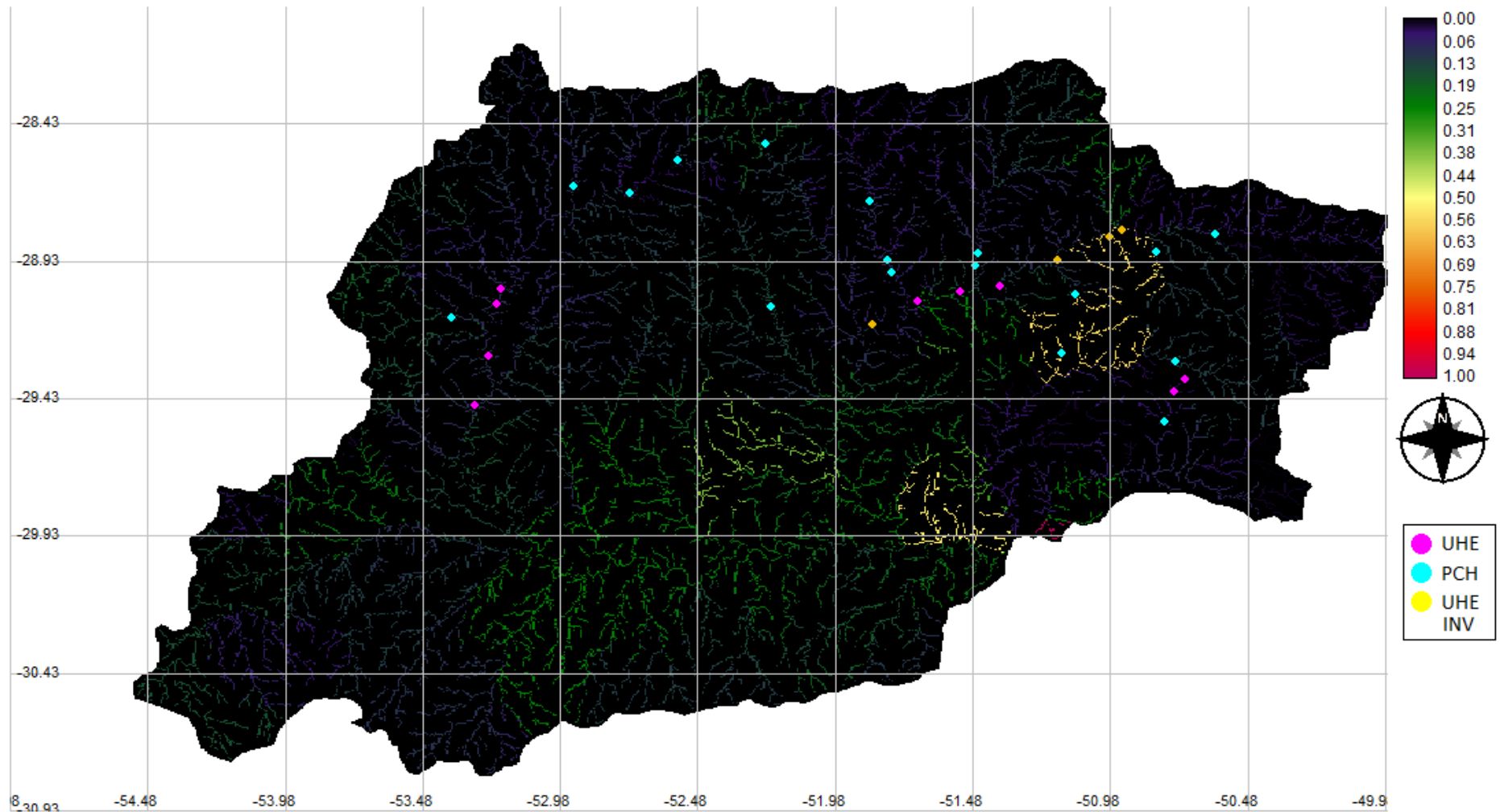


Figura 4 – Bacia hidrográfica do rio Jacuí. Média dos parâmetros econômicos por município e acumulado de montante para jusante em valores re-escalados entre zero (0%) e um (100%) (hidrografia segundo Alves & Fontoura, 2009; bases de dados a partir do IBGE, FEE e CNM). UHE, Usina hidrelétrica; PCH, pequena central hidrelétrica, UHE INV, usina hidrelétrica em processo de inventariamento.

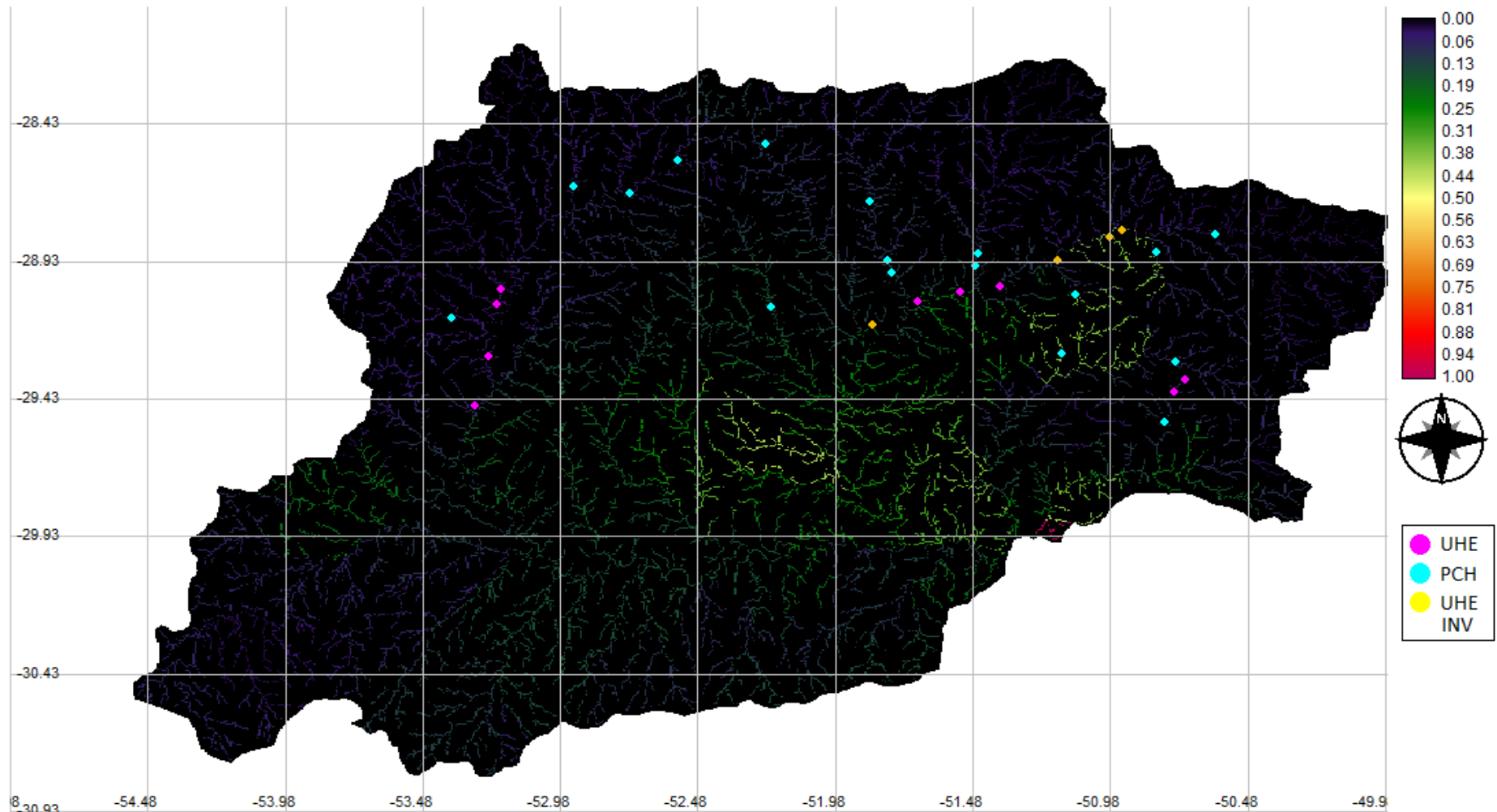


Figura 5 – Bacia hidrográfica do rio Jacuí. Média dos parâmetros populacionais por município e acumulado de montante para jusante em valores re-escalados entre zero (0%) e um (100%) (hidrografia segundo Alves & Fontoura, 2009; bases de dados a partir do IBGE e CNM). UHE, Usina hidrelétrica; PCH, pequena central hidrelétrica, UHE INV, usina hidrelétrica em processo de inventariamento.

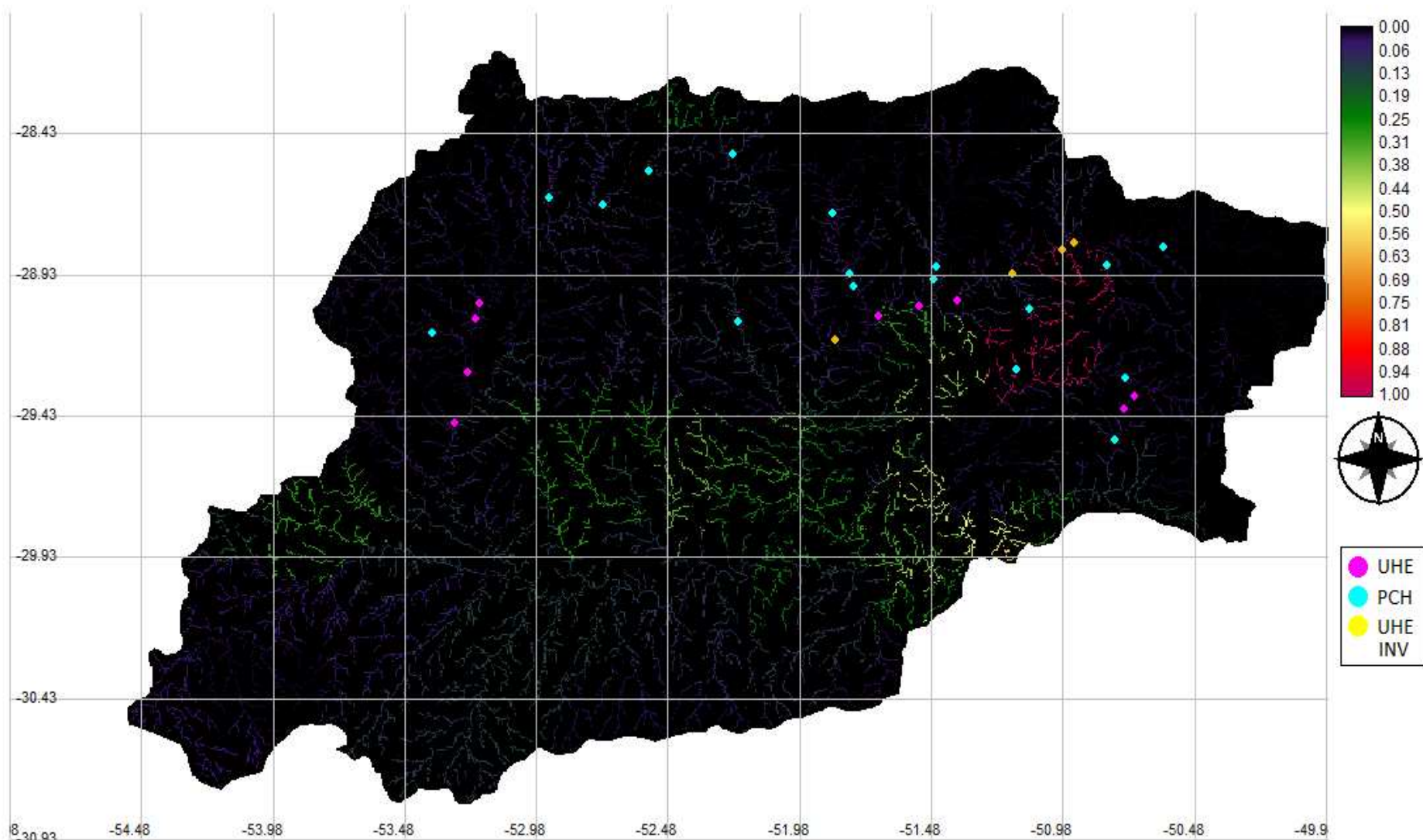


Figura 6 – Bacia hidrográfica do rio Jacuí. Média do parâmetro de consumo energético por município e acumulado de montante para jusante em valores re-escalados zero (0%) e um (100%) (hidrografia segundo Alves & Fontoura, 2009; bases de dados a partir do ANEEL, CEEE, AES-SUL e RGE). UHE, Usina hidrelétrica; PCH, pequena central hidrelétrica, UHE INV, usina hidrelétrica em processo de inventariamento.

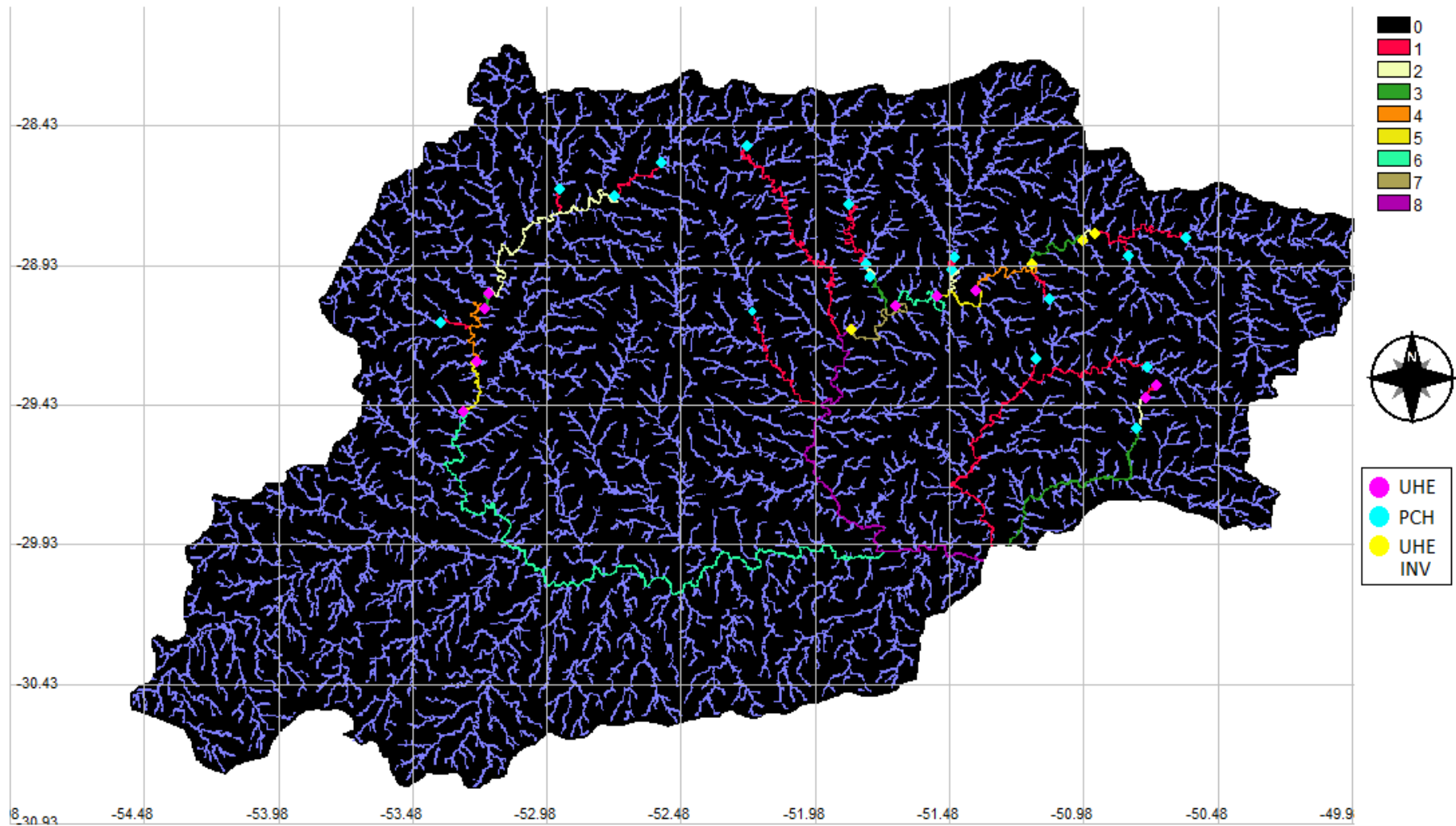


Figura 7 – Bacia hidrográfica do rio Jacuí. Presença de barramentos a montante. (hidrografia segundo Alves & Fontoura, 2009 e bases de dados a partir da ANEEL). UHE, Usina hidrelétrica; PCH, pequena central hidrelétrica, UHE INV, usina hidrelétrica em processo de inventariamento.

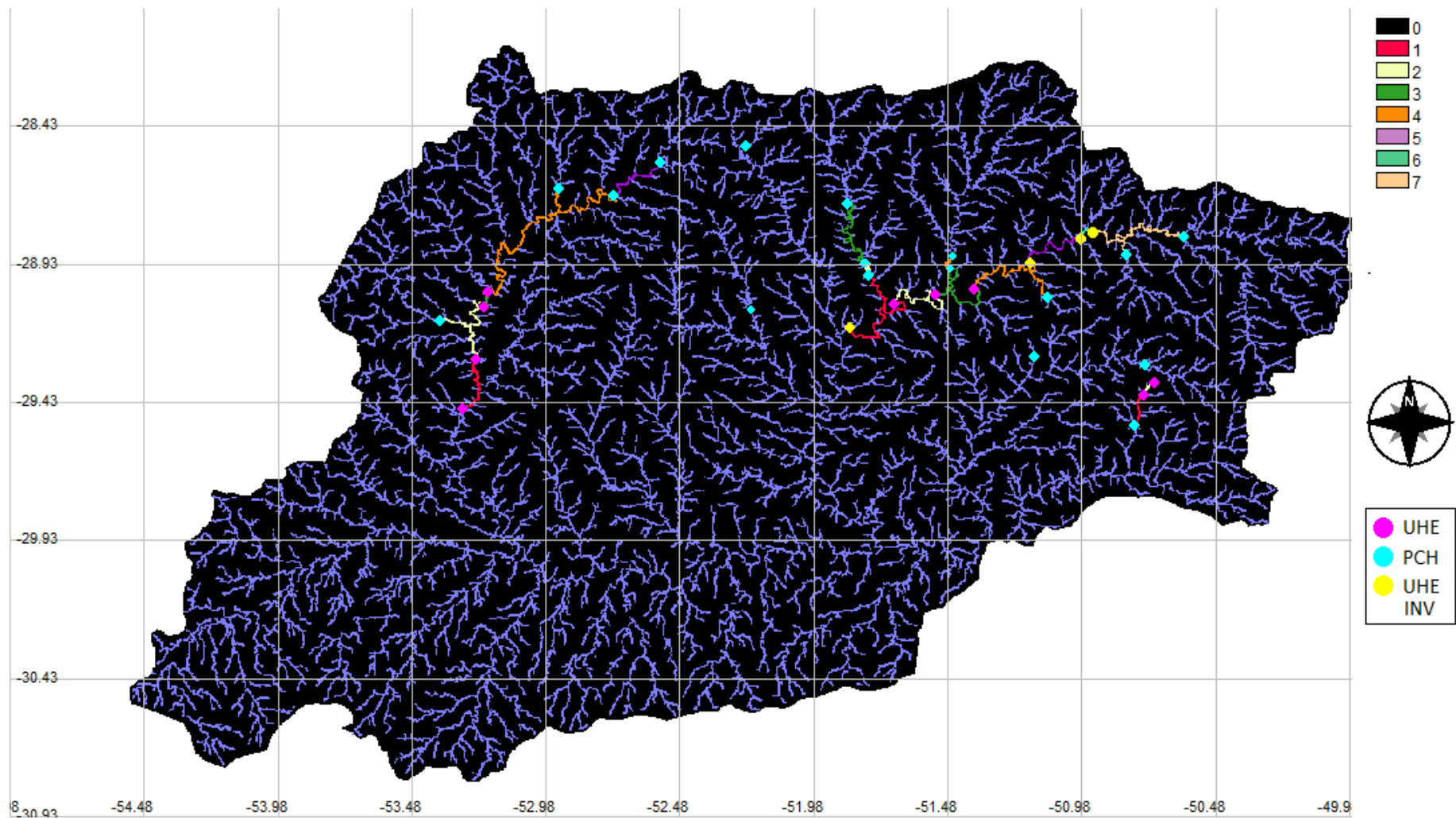


Figura 8 – Bacia hidrográfica do rio Jacuí. Presença de barramentos a jusante. (hidrografia segundo Alves & Fontoura, 2009 e bases de dados a partir da ANEEL). UHE, Usina hidrelétrica; PCH, pequena central hidrelétrica, UHE INV, usina hidrelétrica em processo de inventariamento.

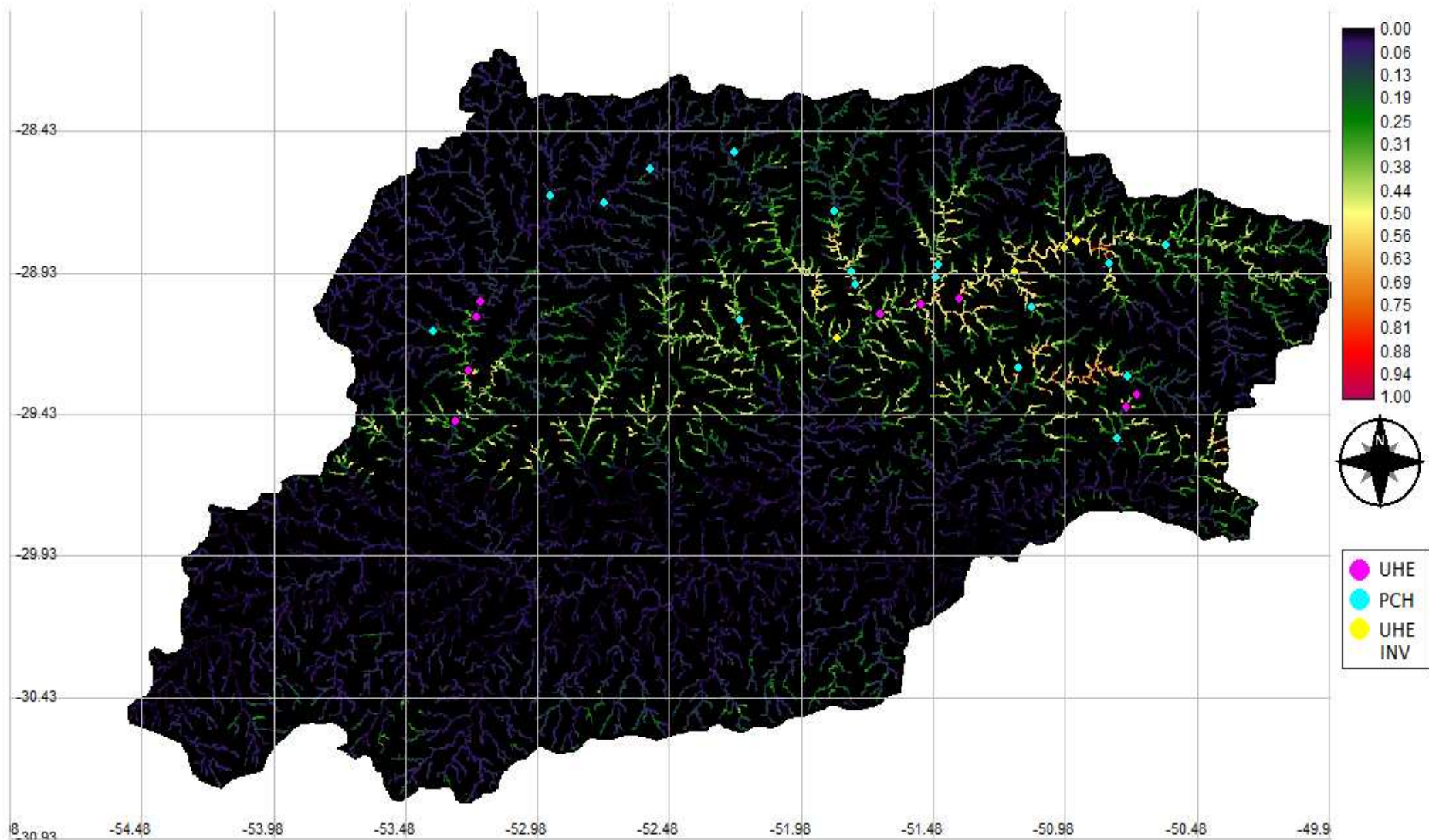


Figura 9 – Bacia hidrográfica do rio Jacuí. Heterogeneidade Altitudinal, representação das diferentes altitudes presentes ao longo da bacia hidrográfica do Rio Jacuí. (hidrografia segundo Alves & Fontoura, 2009). Valores re-escalados zero (0%) e um (100%). UHE, Usina hidrelétrica; PCH, pequena central hidrelétrica, UHE INV, usina hidrelétrica em processo de inventariamento.

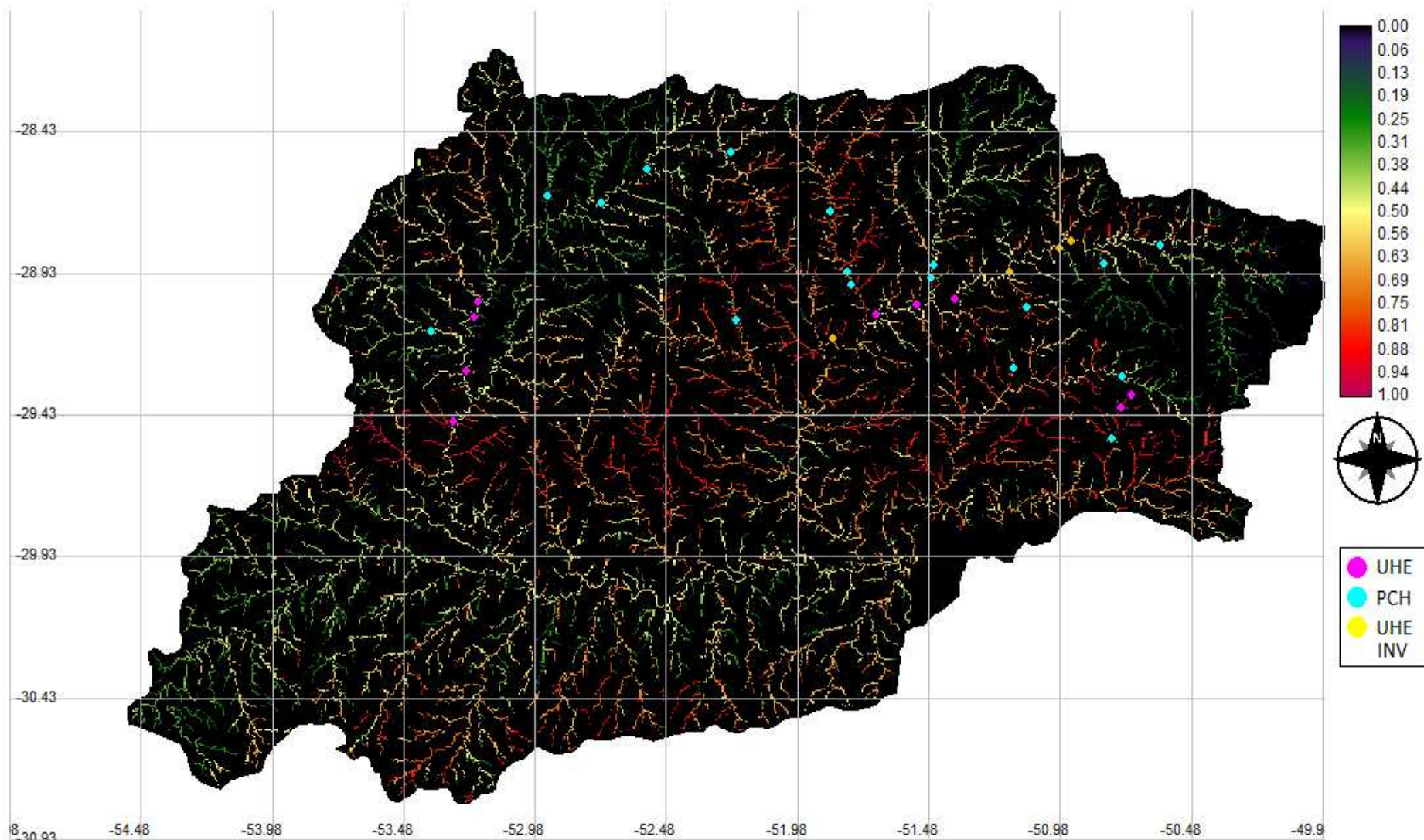


Figura 10 – Bacia hidrográfica do rio Jacuí. Índice de vegetação ripária em valores re-escalados entre zero e um (hidrografia segundo Alves & Fontoura, 2009 e imagem LANDSAT 7). Valores re-escalados zero (0%) e um (100%). UHE, Usina hidrelétrica; PCH, pequena central hidrelétrica, UHE INV, usina hidrelétrica em processo de inventariamento.

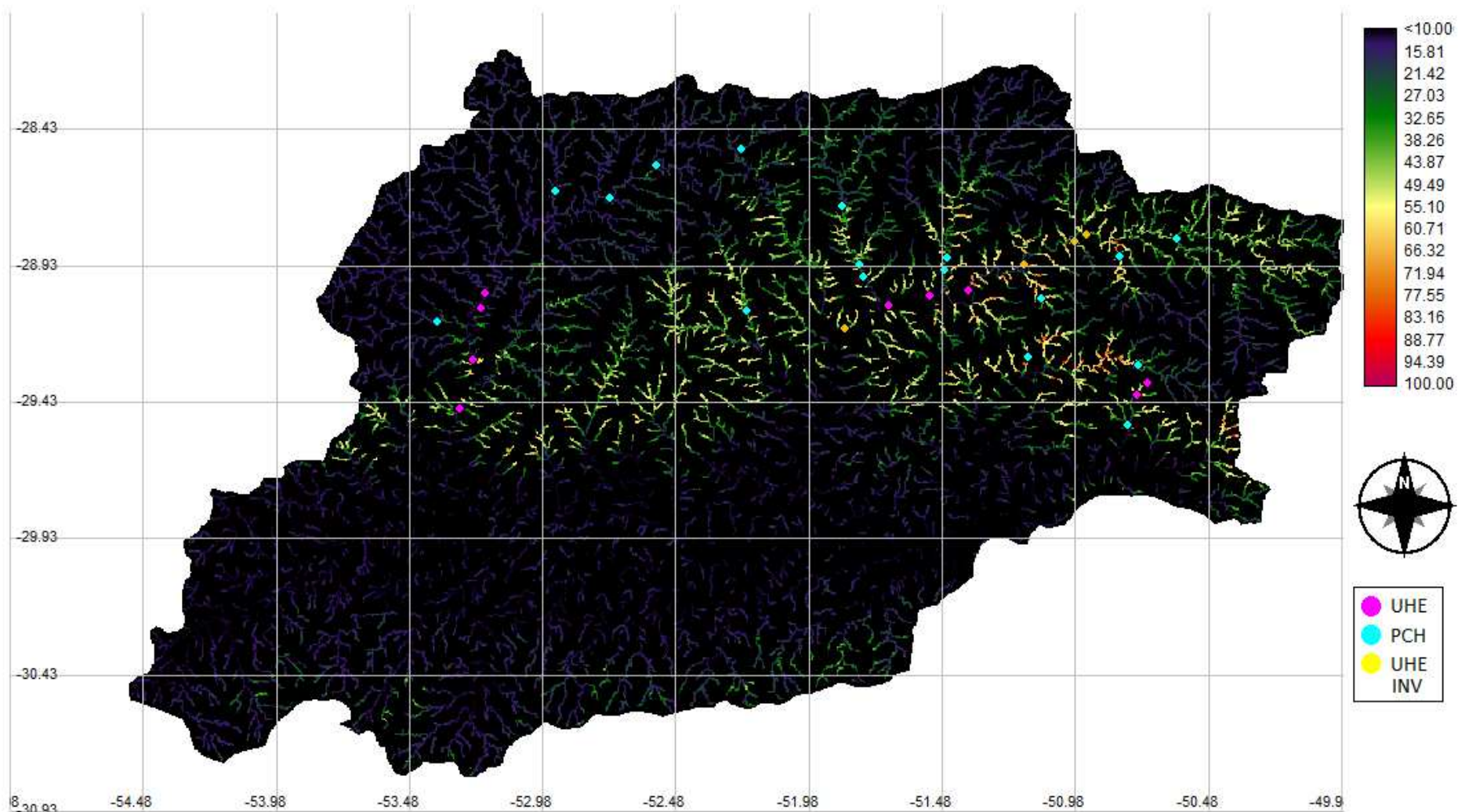


Figura 11 – Bacia hidrográfica do rio Jacuí. Proposição de zoneamento ambiental com ênfase na preservação dos estoques de peixes migradores. A escala de ocorrência vai de 0% a 100%, quanto mais vermelha a cor, mais a área é inadequada (hidrografia segundo Alves & Fontoura, 2009). UHE, Usina hidrelétrica; PCH, pequena central hidrelétrica, UHE INV, usina hidrelétrica em processo de inventariamento.

Tabela 2 – Resultado de cada parâmetro analisado e o índice de adequabilidade final, em cada empreendimento presente na Bacia Hidrográfica do Jacuí. A escala vai de zero (0%) a um (100%).

HIDRELÉTRICA (UHE)	Peixes Migradores	Média PIB	Média População	Média Energia	Barramentos a montante	Barramentos a jusante	Heterogeneidade Altitudinal	Vegetação Ripária	Índice de Adequabilidade
Passo Real	0,089	0,082	0,041	0,032	2	3	0,129	0,452	3,434
Leonel Brizolla	0,096	0,082	0,041	0,032	3	2	0,122	0,451	2,734
Itaúba	0,245	0,099	0,051	0,016	4	1	0,459	0,457	1,993
Dona Francisca	0,720	0,095	0,074	0,029	5	0	0,405	0,468	0,037
14 de Julho	0,624	0,243	0,246	0,288	6	1	0,273	0,544	0,093
Monte Claro	0,396	0,243	0,246	0,288	5	2	0,544	0,534	1,619
Castro Alves	0,149	0,118	0,107	0,063	4	3	0,569	0,542	7,359
Canastra	0,000	0,023	0,069	0,026	1	1	0,448	0,878	47,245
Bugres	0,000	0,023	0,069	0,026	0	2	0,443	0,854	47,637
HIDRELÉTRICA INVENTARIADA (UHE INV)									
Muçum	0,843	0,096	0,223	0,057	7	0	0,203	0,582	0,006
São Marcos	0,067	0,102	0,080	0,064	3	4	0,435	0,522	11,631
São Manuel	0,000	0,555	0,361	1	2	5	0,761	0,419	74,671
Espigão Preto	0,021	0,035	0,041	0,004	1	6	0,661	0,492	26,207
PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS (PCH)									
Eng. Ernesto Dreher	0,002	0,082	0,041	0,032	0	2	0,119	0,448	7,393
Colorado	0,000	0,074	0,054	0,055	0	4	0,066	0,322	9,781
Cotovelo Jacuí	0,000	0,040	0,032	0,077	1	4	0,055	0,436	8,168
Ernestina	0,000	0,026	0,055	0,000	0	5	0,077	0,466	11,268
Capigui	0,000	0,179	0,093	0,064	0	0	0,102	0,608	11,548
Salto Forqueta	0,001	0,149	0,146	0,031	0	0	0,316	0,722	33,354
Caçador	0,000	0,074	0,105	0,044	0	3	0,103	0,578	7,299
Linha Emília	0,016	0,078	0,091	0,052	1	2	0,454	0,519	21,246
Cotiporã	0,046	0,064	0,113	0,037	2	1	0,587	0,769	45,755
Da Ilha	0,017	0,132	0,126	0,065	0	4	0,267	0,482	10,029
Jararaca	0,029	0,132	0,126	0,065	1	3	0,339	0,485	10,652
Rio São Marcos	0,000	0,102	0,140	0,064	0	4	0,370	0,705	36,214
Palanquinho	0,000	0,555	0,361	1	0	7	0,748	0,335	71,413
Passo do Meio	0,000	0,016	0,023	0,024	0	7	0,278	0,499	24,053
Herval	0,000	0,555	0,361	1	0	0	0,504	0,716	52,635
Galópolis	0,000	0,119	0,073	0,027	0	0	0,353	0,703	34,498
Passo do Inferno	0,021	0,045	0,095	0,048	2	0	0,035	0,864	2,145

Índice de Adequabilidade

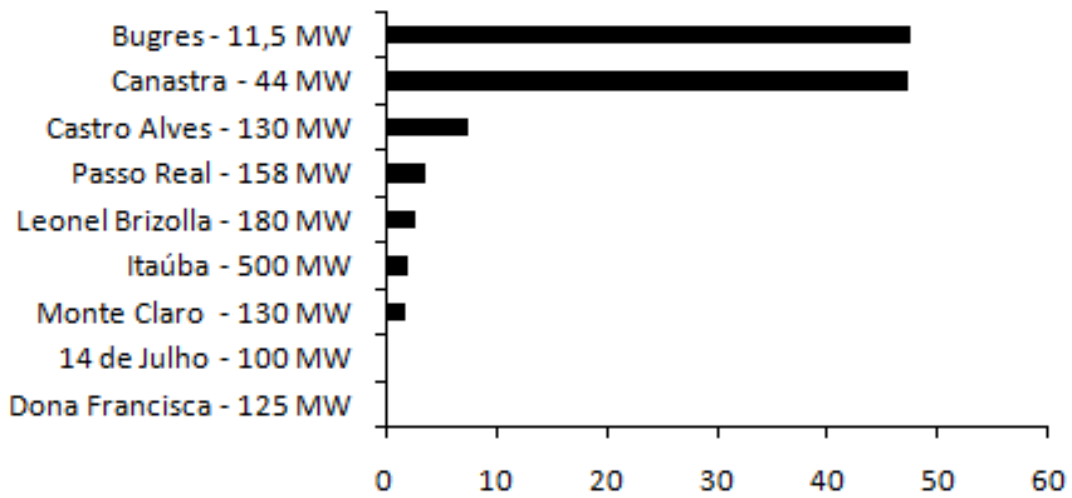


Figura 12 - Índice de Adequabilidade de cada Usina Hidrelétrica em operação na bacia hidrográfica em relação ao seu potencial efetivo de energia.

Índice de Adequabilidade

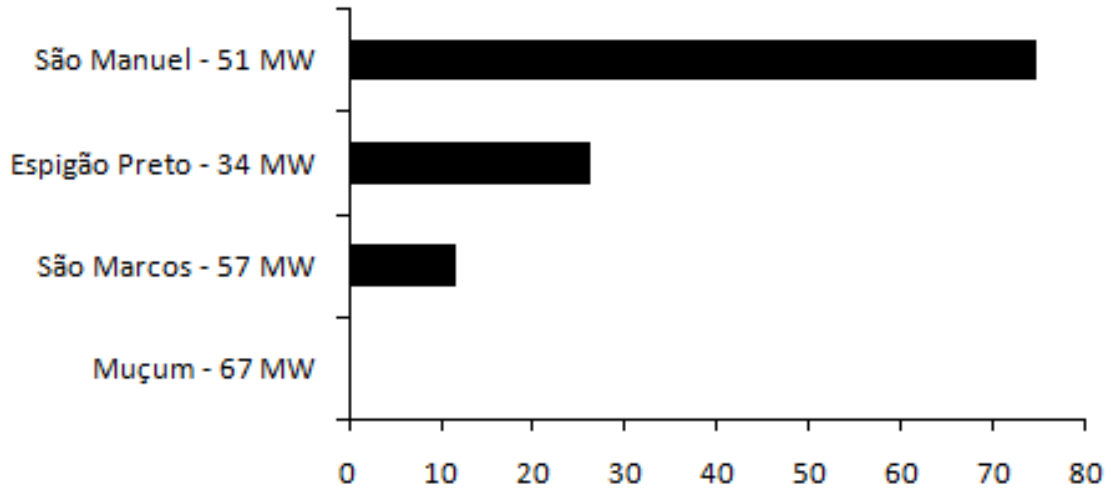


Figura 13- Índice de Adequabilidade de cada Usina Hidrelétrica em processo de inventariamento na bacia hidrográfica em relação ao seu potencial efetivo de energia.

Índice de Adequabilidade

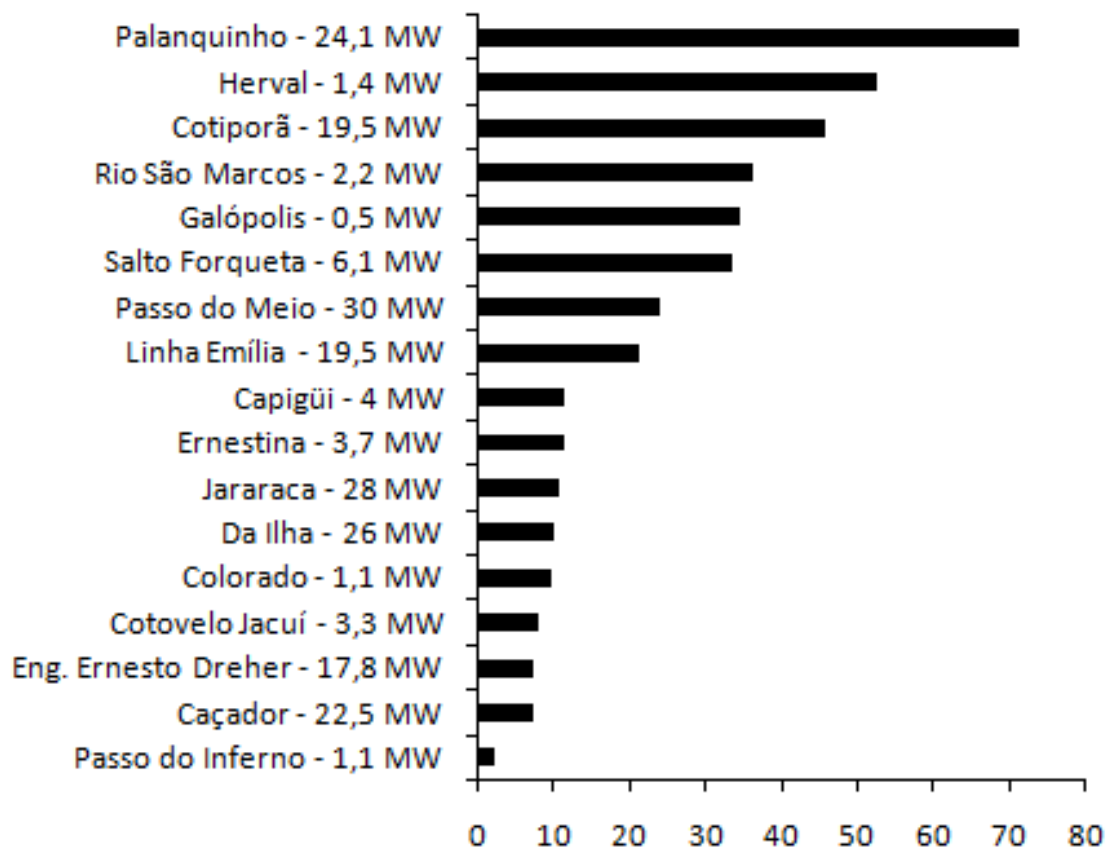


Figura 14- Índice de Adequabilidade de cada Pequena Central Hidrelétrica em operação na bacia hidrográfica em relação ao seu potencial efetivo de energia.

4. DISCUSSÃO

Já é de amplo conhecimento o conjunto de conflitos que vêm impactando as bacias hidrográficas. Na tentativa de minorar o impacto causado por diversos empreendimentos, o governo federal, através da política ambiental, define o zoneamento como instrumento fundamental para a tomada de decisão nos processos de licenciamento ambiental. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1986), o objetivo fundamental do zoneamento é de realizar divisões e classificações do espaço, baseado em parâmetros ecológicos, sociais e econômicos. O cruzamento destes dados permite identificar diferentes áreas que poderão ser objeto de propostas específicas para fins de uso e ocupação do solo. Outro objetivo importante é o detalhamento destas áreas, em maior escala, visando organizar o espaço, indicando as zonas de preservação e zonas liberadas à ocupação. Deve-se obedecer a uma política ambiental que seja voltada a assegurar a eficiência produtiva dos espaços, preservando os fluxos vivos da natureza. A utilização do instrumento de zoneamento, juntamente com as técnicas de geoprocessamento, permitiu uma visão ampla da problemática ambiental estudada em toda a Bacia Hidrográfica do Rio Jacuí. A partir de uma base de dados fundamentada em informações de natureza social, econômica e ambiental, foi possível gerar-se um conjunto de mapas temáticos que demonstraram o valor de cada parâmetro no trecho de rio pertencente a cada município. Estes resultados permitiram obter uma visão do impacto negativo de cada município em toda a bacia hidrográfica. Como a bacia hidrográfica reflete o efeito causado pelos conflitos hídricos, o somatório realizado a jusante da bacia, permitiu obter o valor de cada parâmetro acumulado até o Delta do Jacuí. Este resultado reflete o impacto acumulado sofrido pelo sistema hidrográfico. Segundo este modelo o cenário ideal para a instalação de um novo empreendimento, seria em uma região onde todos os parâmetros negativos encontram-se elevados, enquanto os parâmetros positivos estariam reduzidos.

A equação proposta pela metodologia permite a atualização rápida dos dados tabulares, podendo manter sempre atualizado seu banco de dados. A equação também permite a inclusão e exclusão de novos parâmetros, conforme a necessidade da área estudada. É preciso manter sempre a integração entre as diversas áreas científicas para que se possam realizar estudos cada vez mais detalhados que contemplem todos os parâmetros fundamentais para determinar, ou não, a preservação de uma área. A proposta de zoneamento ambiental com ênfase na conservação de peixes migradores, busca demonstrar que a problemática vivida por estas espécies merece ser olhada com mais cuidado. A construção incessante de barramentos, sem determinar se os peixes

vão ou não sofrer com o impacto, pode causar a extinção destas espécies em longo prazo, sem contar no prejuízo econômico que afetará inúmeras regiões da bacia hidrográfica.

Como descritos anteriormente, diversos autores realizaram estudos utilizando zoneamento ambiental e ferramentas de geoprocessamento de dados, mas o que vemos neste levantamento é uma limitação desses modelos utilizados em relação à fauna aquática e terrestre. Em grande parte dos trabalhos pesquisados não se faz uso de parâmetros de fauna, principalmente, aquática, sendo que é um critério relevante para determinar qual tipo de classificação será a zona estudada. A falta deste critério se torna um limitador, pois elas fazem parte das interações ambientais e possuem papel fundamental em seus ecossistemas. Encontram-se levantamentos a respeito das faunas aquáticas e terrestres nos Estudos de Impactos Ambientais, mas a interação deles com o ambiente em questão não é avaliada. Nos relatórios das Usinas Hidrelétricas e Pequenas Centrais Hidrelétricas pertencentes a este estudo, não foram encontrados qualquer menção a presença de peixes migradores em seus reservatórios e arredores, somente a descrição das espécies ícticas encontradas dentro do reservatório.

Atualmente os planejamentos ambientais enfrentam diversos problemas em suas aplicações, sendo que os sistemas de água doce são os que mais sofrem, pois as medidas de planejamento de conservação estão melhores definidas para sistemas terrestres e marinhos. BARMUTA *et al.* (2010), demonstram em seu artigo os desafios apresentados pelos sistemas hidrográficos de água doce e como é preciso novas metodologias para enfrentar as dificuldades apresentadas pela dinâmica hidrográfica dos rios. O modelo aqui proposto visa também contribuir para a progressão dos estudos envolvendo sistemas de água doce. Erros em zoneamentos ambientais podem gerar graves conflitos com o meio ambiente, prejudicando-o mais, ao invés de minimizar os problemas já existentes, pois podem demonstrar uma falsa realidade. Ainda, a falta de uma comparação que mostre alguma vantagem clara sobre os métodos convencionais de coleta, armazenamento e análise de informações de recursos naturais, também se mostra como um empecilho para o bom desenvolvimento destas técnicas. Além destes conflitos, o zoneamento ambiental exige investimento de grandes recursos financeiros na realização de levantamentos que podem gerar produtos de pouca utilidade prática. Na maioria dos casos, este instrumento vem sendo tratado como um exercício essencialmente técnico, menosprezando participação pública, dificultando sua compreensão por membros da comunidade e pessoal não especialista. A participação das populações envolvidas nos processos de organização territorial ainda é insuficiente, o zoneamento apresenta um baixo nível de legitimidade em decorrência desta falta de participação social na sua concepção e implementação

(BENATTI, 2003). O Ministério Público da União divulgou um estudo apresentando as deficiências em estudo de impacto ambiental, demonstrando onde estão os problemas nas diversas etapas necessárias para a conclusão deste estudo. Eles analisaram inúmeros relatórios pertencentes a diversos empreendimentos com diferentes finalidades e propuseram ações para se obter melhores resultados. Entre elas destaca-se a consideração das variáveis ambientais de empreendimentos desde a fase de planejamento das políticas públicas, promoverem a interdisciplinaridade, criação de banco de dados dos Estudos, possibilitando o registro e o acesso aos conhecimentos produzidos reduzindo prazos e custos para a elaboração de novos estudos e estímulo e ampliação da participação social, desde a realização dos estudos até a fase de avaliação. É necessário, portanto, buscar metodologias que sejam dinâmicas, já que o ambiente passa por constantes modificações, e é preciso que o método utilizado também possa ter seus dados primários modificados, buscando novos resultados a respeito de regiões aptas ou não a receberem empreendimentos. Da mesma forma, o método deve fornecer maior rapidez na conclusão de resultados, agilizando o processo de planejamento ambiental. O modelo aqui proposto visa, em essência, a conservação dos estoques de peixes migradores, privilegiando a implantação de novos empreendimentos em rios de porte pequeno e com altitude adequada, com baixo índice de cobertura vegetal relativa, que se encontrem próximos de centros consumidores de energias, com PIB e índices populacionais elevados. Apesar de não envolver especialistas de outras áreas, o modelo proposto demonstrou bons resultados utilizando parâmetros considerados relevantes, interdisciplinares e de fácil levantamento. Esta análise multicritério permitiu, não somente delimitar as áreas, mas como apresentar a realidade social e econômica de cada região da bacia hidrográfica. O que permite, também, buscar alternativas para controle de poluição e crescimento populacional, já que regiões como a de Caxias do Sul, é um claro exemplo de pólo industrial, onde se pode aplicar medidas para diminuir o impacto ambiental, contribuindo para a diminuição na contaminação dos rios.

Os peixes migradores da bacia hidrográfica do Rio Jacuí apresentam um limite de ocorrência de montante em altitudes de, aproximadamente, 300 metros (ALVES & FONTOURA, 2009). Portanto, trechos de rios que se encontram localizados abaixo deste limite terão um índice de adequabilidade baixo, pois a implantação de novos empreendimentos em áreas de ocorrência de peixes migradores, pode causar a perda de indivíduos importantes, como o Dourado, que já se encontra ameaçado. A altitude é um fator importante na decisão do local onde vão ser construídos novos empreendimentos, pois regiões muito planas não são favoráveis para a implantação de grandes empreendimentos, como é o caso da Amazônia, a qual possui o

maior potencial hidrelétrico, mas a topografia da região não favorece, elevando os custos da obra e aumentando a área de alagamento. Os mapas probabilísticos de distribuição de peixes migradores (ALVES & FONTOURA, 2009), tiveram papel fundamental na metodologia empregada. Empreendimentos que tiveram seus índices de adequabilidade igual ou menor que 10%, apresentaram índices elevados de probabilidade de ocorrência de peixes migradores. Este resultado demonstra que as metodologias utilizadas para a definição das áreas adequadas para a instalação de empreendimentos podem estar deixando de fora parâmetros importantes para o meio ambiente. É preciso ressaltar que ainda faltam muitos estudos com espécies de peixes migradores no estado do Rio Grande do Sul, e se fossem obtidos dados válidos a respeito das áreas de desova poderia se realizar um zoneamento que preservasse permanentemente essas áreas. O parâmetro de peixes migradores utilizado no modelo, demonstra quais altitudes e trechos de rios possuem a probabilidade de ocorrência destas espécies. A usina de Muçum, que se encontra em processo de inventariamento, apresentou a maior probabilidade de presença de peixes migradores, com um coeficiente de 0,84. A usina de Dona Francisca, em operação, apresentou um índice de 0,72, seguida pela usina 14 de Julho com um índice de 0,62. Em relação aos menores valores, 24 empreendimentos apresentaram índices de probabilidade de presença de peixes migradores inferiores a 0,10 (Figura 11).

Os resultados apresentados pelo parâmetro de vegetação ripária refletem a porcentagem de mata ciliar presente ao longo dos cursos d'água pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Jacuí. No modelo este parâmetro depende de mapas provenientes do site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, mas os arquivos disponíveis são datados do ano de 2002, portanto este critério sofreu com os problemas relatados por todos os autores, sobre a falta de dados atualizados. Este critério é decisivo na equação utilizada, pois a mata ciliar é considerada pelo Código Florestal Federal como “Área de Preservação Permanente”, que possui diversas funções ambientais e deve respeitar uma extensão determinada de acordo com a largura da nascente, lago, rio ou represa. A introdução de mapas atualizados contribuiria para demonstrar a realidade atual das regiões no entorno da bacia hidrográfica. A redução da mata ciliar pode causar inúmeros danos ambientais, como a perda da qualidade da água, erosão e perda de nutrientes do solo, assoreamentos de rios e enchentes, desequilíbrios climáticos, aumento de pragas em lavouras e redução da atividade pesqueira. O índice de vegetação ripária demonstrou que as regiões ao sul da bacia hidrográfica do rio Jacuí possuem, em sua maioria, valores inferiores a 50%, demonstrando ser uma área com degradação avançada quando comparada a metade norte da bacia. Na metade norte já se encontra inúmeros cursos de rio, principalmente na sub-bacia do

Taquaria-Antas e Caí, com presença de mata ciliar chegando a 100%. Na sub-bacia do Alto Jacuí, mesmo apresentando algumas áreas com vegetação chegando a 100%, há a predominância e áreas degradadas na porção norte desta sub-bacia. O índice de cobertura vegetal resultou em 15 empreendimentos com presença de mata acima de 50%. Os empreendimentos de Canastra, Bugres e Passo do Inferno apresentaram os valores mais altos, superiores a 80%. A Pequena Central Hidrelétrica de Colorado foi o empreendimento com menor valor de cobertura vegetal, com um índice de 32,2%.

A utilização dos parâmetros econômicos dentro do modelo demonstrou ser fácil utilização, pois os dados utilizados para a formação do banco de dados e dos mapas bases encontram-se, em sua grande maioria, atualizados e de fácil acesso. Este fator contribui para a agilidade no processo de zoneamento e na qualidade dos resultados. Os parâmetros econômicos demonstraram que as regiões que possuem grandes pólos industriais são as que mais contribuem para o impacto negativo ao longo da bacia hidrográfica. Os municípios de Venâncio Aires, Vacaria, Caxias do Sul e São Gabriel, foram os que apresentaram os maiores índices econômicos, variando entre 0,70 e 1, seja no ramo da agricultura, industrial ou de serviços. Das usinas hidrelétricas, o maior impacto provem da região de abrangência da usina de São Manuel, que se encontra em processo de inventariamento. Este empreendimento apresentou um índice de 0,55 de média econômica, demonstrando que a usina encontra-se em uma região onde o impacto ambiental já é alto, além de apresentar grande demanda energética. As usinas de 14 de Julho e Monte Claro apresentaram um índice de atividade econômica de 0,24, o segundo maior valor dentre as usinas em operação. As áreas que relativamente apresentam menor impacto econômico são as áreas das usinas de Canastra e Bugres, que apresentaram um índice de apenas 0,02. Dentre as pequenas centrais hidrelétricas, a região com maior impacto econômico é a que abrange as centrais de Palanquinho e Herval, com um índice de 0,55 sendo os dois empreendimentos na mesma região que a usina de São Manuel, seguido pelo empreendimento de Capigüi com 0,17. A pequena central de Passo do Meio foi a que apresentou a área com menor impacto econômico, com um índice de 0,01.

Os índices populacionais representam parâmetros importantes na análise de um Zoneamento Ambiental. Tundise (2003) define que a elevação da densidade populacional causa um aumento no volume de águas residuárias, prejudicando a qualidade da água de rios urbanos. Além deste problema, ocorre um aumento na demanda de água, causando a diminuição da recarga subterrânea, aumentando as enchentes e os picos de cheias nas áreas urbanas. Este

crescimento das cidades leva ao aumento do consumo de energia elétrica. Os municípios pertencentes ao entorno dos empreendimentos possuem grandes pólos industriais e altas taxas populacionais, o que gera uma demanda maior por energia. Identificou-se que o município de André da Rocha possui a menor população da bacia e o município de Esteio apresentou a maior população. A população rural da bacia ocupa maior espaço na cidade de Nova Araçá e a menor população rural é proveniente do município de Encruzilhada do Sul. A usina de São Manuel e as pequenas centrais de Herval e Palanquinho apresentaram um índice de populacional de 0,36, demonstrando serem áreas com grandes aglomerações urbanas. Já usinas Leonel Brizola e Passo Real, foram as que apresentaram menor resultado, com um índice de 0,04, contribuindo para o baixo índice de adequabilidade destes empreendimentos. Das pequenas centrais hidrelétricas, a de Passo do Meio, foi a que apresentou ser a área com menores aglomerações populacionais, com um índice de 0,02.

O parâmetro de consumo de energia segue os padrões dos resultados dos parâmetros anteriores. As cidades com parâmetros econômicos e populacionais mais elevados são os municípios que mais consomem energia na bacia hidrográfica do Jacuí. O índice de consumo energético na bacia hidrográfica do Jacuí demonstrou que o município com maior consumo é o de Caxias do Sul, devido à grande quantidade de indústrias e aglomeração populacional. Grande parte dos municípios que compõem a bacia possui um consumo de energia relativamente baixo, sendo que o maior impacto provem de regiões com altas taxas de produto interno bruto e elevados contingentes populacionais. A média dos parâmetros de consumo energético resultaram em três empreendimentos com valor máximo de 1, sendo estes os mesmos que apresentaram os valores mais elevados nos parâmetros descritos anteriormente. Os empreendimentos com menores valores foram a PCH de Ernestina com 0,0003, seguida pela usina em processo de inventariamento de Espigão Preto com uma média de consumo energética de 0,4 (Figura 8).

O parâmetro de heterogeneidade altitudinal demonstra que no alto do planalto e na depressão central ocorre a predominância de baixos graus de encaixamento, redundando em diminuição do Índice de Adequabilidade em função da necessidade de maior área alagada pelo lado da represa. Na escarpa do planalto, em especial no rio das Antas e seus afluentes, verifica-se a maior heterogeneidade altitudinal, com valores variando de 0,10 a 0,60 e pequenas áreas com uma variação de 0,60 a 1. O índice de heterogeneidade altitudinal demonstrou que a usina hidrelétrica de São Manuel possui o maior índice com 0,76, seguida da pequena central

hidrelétrica de Palanquinho com 0,74. Do total dos empreendimentos, 9 apresentaram heterogeneidade inferior a 0,20, sendo em sua maioria Pequenas Centrais Hidrelétricas.

Em um contexto geral, o modelo proposto através do Índice de Adequabilidade privilegia trechos de rios que tenham porte médio e que estejam localizados na escarpa da Serra Geral, no sopé da serra e em cotas altimétricas superiores a 300 metros com elevado grau de encaixamento. Todas as usinas hidrelétricas (UHE) que se encontram em operação, exceto as do Sistema Caí, estão instaladas em rios de grande porte e em regiões de menor altitude. Estes empreendimentos apresentaram baixos IA, pois nessas regiões ocorre a alta probabilidade de ocorrência de peixes migradores, o que torna estas áreas inadequadas. Por outro lado, as regiões no alto do planalto apresentam os baixos índices de heterogeneidade altitudinal, o que prejudica projetos que envolvam grandes construções e, conseqüentemente, necessitam de grande área alagada. Em áreas com baixas altitudes é preferível a construção de pequenas centrais hidrelétricas, as quais causam menor impacto ambiental. Estes empreendimentos possuem alguns benefícios em relação à construção de UHE, já que as pequenas centrais necessitam de pequena área de alagamento, constituem uma obra civil de pequeno porte e reduzem perdas no sistema elétrico de transmissão.

As usinas hidrelétricas em operação apresentaram índices de adequabilidade, relativamente baixos, quando comparados as PCH, devido aos altos índices de parâmetros ambientais e/ou socioeconômicos. A UHE Leonel Brizola, Passo Real, Dona Francisca e Itaúba localizam-se na região do Alto Jacuí e apresentaram um índice de adequabilidade abaixo de 4, devido, principalmente, aos parâmetros ambientais. O índice de cobertura vegetal destes empreendimentos variou entre 40% e 50%, contribuindo para a baixa adequabilidade dessas áreas. Nestes empreendimentos encontram-se formações vegetativas identificadas pelo IBGE como Floresta Ombrófila Mista, Estepe, Floresta Estacional Decidual e Savanas. Todas as áreas em torno dos reservatórios apresentaram degradação da mata ciliar devido, principalmente, as práticas agrícolas e de pecuária. As áreas ocupadas por campos nativos são raras e mal manejadas na região, e são ocupadas por lavouras de trigo, soja, milho e atividades pecuaristas (BOLDRINI, 1997). No entanto, o relevo acentuado de determinadas áreas protege a vegetação local, dificultando a intervenção antrópica nos locais mais íngremes. A probabilidade de ocorrência de peixes migradores foi inferior no empreendimento de Passo Real com um índice de 0,089. A usina de Leonel Brizola apresentou um índice de 0,096, Itaúba com 0,24 e Dona Francisca com 0,72, os maiores entre as usinas hidrelétricas em operação. Este parâmetro

influenciou diretamente na baixa adequabilidade dessas áreas. A heterogeneidade altitudinal apresentadas foi muito próxima para Leonel Brizola e Passo Real, que compartilham um índice de 0,12. As usinas de Dona Francisca e Itaúba também compartilham heterogeneidade parecida, variando de 0,40 a 0,45, demonstrando estarem instaladas em rios com melhor encaixamento que as duas primeiras usinas. A usina de Leonel Brizola aproveitou o desnível existente na cachoeira de Salto Grande. O índice populacional apresentado pelas áreas onde se encontram os empreendimentos variou de 0,04 a 0,07, demonstrando que as usinas estão instaladas em regiões com poucas aglomerações urbanas. Na área da usina de Itaúba há também a ocorrência de populações indígenas na região, que por suas práticas culturais assemelham-se a populações ribeirinhas em relação à utilização de recursos hídricos. Os índices apresentados pelo parâmetro econômico foram muito próximos para todas as usinas, variando de 0,08 a 0,09. Os parques industriais desta região são formados por estabelecimentos pequenos e médios vinculados, principalmente, a agropecuária. As indústrias contribuem nos setores de produtos alimentares, mecânica voltada a agricultura e produção de bebidas. Na região do reservatório de Passo Real a mineração também é importante para a economia, principalmente a exploração da pedra ágata, sendo que nas margens do rio Jacuí estão localizadas as maiores jazidas do mundo de ágata. O consumo energético das áreas dos empreendimentos variou entre 0,01 e 0,03, demonstrando haver um consumo baixo nestas regiões para a oferta de energia produzida por estas hidrelétricas. A potência efetiva conjunta dos quatro empreendimentos é de 963 MW, caracterizando uma elevada produção energética a despeito de baixos índices de adequabilidade e demanda energética regional não significativa.

A UHE de Monte Claro, Castro Alves e 14 de Julho, localizadas no rio das Antas, apresentaram baixos índices de adequabilidade, sendo de 7,35% para Castro Alves, 1,61% para Monte Claro e 0,09% para 14 de Julho. Tal fato deve-se a níveis elevados de cobertura vegetal, além da presença de peixes migradores. Os empreendimentos apresentaram um índice de mata ciliar muito parecido, com aproximadamente 54% de cobertura vegetal. A região é formada pela presença de mata de pinhais, principalmente pinheiro e cedro. A probabilidade de peixes migradores variou de 0,14 a 0,62, sendo maior a presença de Dourado nas áreas dos empreendimentos de 14 de Julho e Monte Claro. Por outro lado, a heterogeneidade altitudinal variou de 0,27 a 0,57, demonstrando que Monte Claro e Castro Alves encontram-se em áreas com rios bem encaixados quando comparados a 14 de Julho. A média de parâmetros populacional apresentou valor de 0,24 para Monte Claro e 14 de Julho e 0,10 para Castro Alves, sendo que a região apresenta pólos urbanos importantes como a cidade de Bento Gonçalves e

Veranópolis. A média do Produto Interno Bruto para Monte Claro e 14 de Julho foi de 0,24 e de 0,11 para Castro Alves, sendo que a economia da região é baseada, principalmente, na produção de bebidas alcoólicas, produção de queijo e vinicultura. Estes empreendimentos oferecem em conjunto uma potencia efetiva de 360 MW, sendo que só nos grandes pólos urbanos e econômicos é que há um consumo maior de energia e na região da usina de Castro Alves a energia produzida é suficiente para atender 227 mil famílias na área.

A UHE de Bugres e Canela ficam localizadas na sub-bacia do Caí e ambas possuem como contribuinte o rio Santa Maria, além do rio Santa Cruz e Paranhana. As duas usinas apresentaram os maiores índices de adequabilidade, com aproximadamente 47%, pois embora apresentando baixos indicadores populacionais, econômicos e elevado grau de cobertura vegetal, apresentam baixa probabilidade de presença de peixes migradores. O índice de cobertura vegetal apresentou um resultado de 85% e a área está inserida no Bioma Mata Atlântica, o qual é regido por normas legais específicas. Em seu entorno encontram espécies de *Araucaria angustifolia*, a qual é considerada uma espécie chave para a Floresta Ombrófila Mista, devido à produção de grande quantidade de sementes que são altamente nutritivas (PEREIRA, 2004). Apesar da baixíssima probabilidade de ocorrência de peixes migradores, a região apresenta espécies com interesse de conservação. O lambari *Bryconamericus lamberi* é endêmico do Rio Grande do Sul, mas só há registros de sua presença no arroio Feitoria, o qual é afluente do Rio Cadeia (MALABARBA & KINDEL, 1995). Apesar dos parâmetros sociais e econômicos resultarem em valores baixos, a região do entorno do reservatório possui aptidões agrícolas para culturas de verão, fruticultura adaptadas a climas temperados, silvicultura e pastagens (CEEE - BUGRES). O município de São Francisco de Paula apresenta maior produção na pecuária, com bovinos de corte e gado leiteiro, mas também há a produção de suínos e aves. Os empreendimentos, em conjunto, apresentam uma potência efetiva de 55,5 MW e o consumo energético da região é apresenta valores baixos. De todas as usinas hidrelétricas em operação, a de Bugres é a que apresenta a menor potência efetiva e o maior índice de adequabilidade, devendo-se tomar medidas de preservação da mata ciliar remanescente.

Todas as UHE em processo de inventariamento encontram-se localizadas na sub-bacia do Taquari-Antas. A futura usina de Muçum será localizada no município de Roca Sales e possui um índice e adequabilidade de apenas 0,006%, apresentando o menor índice de todos os empreendimentos devido a alta probabilidade de presença de peixes migradores. A probabilidade de ocorrências das espécies foi de 0,84 e este novo empreendimento poderá afetar a população

destes animais, pois haverá mais um obstáculo no seu curso migratório. O parâmetro de cobertura vegetal também foi elevado, com um índice de 58,2% de presença de mata ciliar, devendo haver medidas de preservação da mata nativa remanescente. A média populacional foi de 0,22, pois na região do empreendimento encontram-se áreas com grandes aglomerações urbanas, como Bento Gonçalves e Lajeado. A média econômica regional foi de 0,09, sendo que a economia da área é baseada no setor industrial. Na agropecuária, destaca-se a produção de suínos, bovinos e aves, além da cultura de soja e milho. A potência efetiva desta hidrelétrica será de 67 MW e em contraponto com um consumo energético de 0,05. Segundo o modelo proposto no presente trabalho, este empreendimento não deveria ser licenciado à instalação. A UHE de São Marcos e Espigão Preto apresentaram índice de adequabilidade de 11,63 e 26,2 respectivamente. O índice de cobertura vegetal dos empreendimentos variou de 49% a 52,2%. A heterogeneidade altitudinal foi de 0,43 a 0,66, demonstrando que a usina de Espigão encontra-se em um rio melhor encaixado e a região possui relevo com profundos vales. A probabilidade de peixes migradores foi baixa, apresentando índices de 0,02 a 0,06, sendo a espécie *Salminus brasiliensis*, o peixe migrador de maior probabilidade de ocorrência. A média de indicadores populacionais e econômicos foi maior para o empreendimento de São Marcos, devido à proximidade com a cidade de Caxias do Sul, onde se encontra grande aglomeração urbana e parque industrial. A potência efetiva, em conjunto, oferecida pelas duas usinas é de 91 MW, uma oferta suficiente para abastecer a região.

A usina hidrelétrica inventariada de São Manuel, a pequena central hidrelétrica de Palanquinho e a de Herval pertencem à mesma região e compartilham resultados iguais nos parâmetros socioeconômicos. A usina de São Manuel, localizada no rio das Antas, apresentou um índice de adequabilidade 74,6%, o mais alto de todos os empreendimentos. A região apresentou um índice de cobertura vegetal de 41,9% e baixa presença de peixes migradores, tornando a área adequada para a construção de empreendimentos. Os três empreendimentos estão situados dentro do bioma da Mata Atlântica, com vegetação dominante de mata de araucária. A heterogeneidade altitudinal também foi elevada, resultando em 0,76, resultado muito próximo a heterogeneidade apresentada pela PCH de Palanquinho, contribuindo positivamente para a construção da hidrelétrica e PCH. A PCH de Palanquinho apresentou um índice de adequabilidade de 71,4%, por compartilhar os mesmo resultados que a hidrelétrica de São Manuel. O índice de cobertura vegetal foi inferior ao da construção descrita anteriormente, apresentando um valor de 33,5%, demonstrando ser uma área com maior degradação da mata ciliar. A PCH de Herval apresentou um índice de adequabilidade de 52,6%, o menor dos três

empreendimentos descritos, mas igualmente significativo. Seu índice de cobertura vegetal foi de 71,6%, demonstrando estar localizada numa área com mata ciliar preservada, contribuindo para a diminuição do seu índice de adequabilidade. A heterogeneidade altitudinal foi de 0,50, sendo uma área apropriada para empreendimentos menores. A média de indicadores populacionais dos três empreendimentos foi de 0,36, por se encontrarem nas proximidades das cidades de Caxias do Sul. A média de indicadores econômicos das usinas foi de 0,55, pois o município de Caxias do Sul possui o segundo maior pólo metal-mecânico do Brasil. A potência efetiva dos empreendimentos de São Manuel e Palanquinho em conjunto é de 75,1 MW e a potência da central de Herval é de 1,4 MW. O consumo energético da região foi de 1, devido à grande aglomeração urbana, indústrias e comércio da região, caracterizando necessidade por produção energética.

As PCH foram os empreendimentos que tiveram a maior adequabilidade geral conforme o modelo proposto. Somente cinco centrais obtiveram índices de adequabilidade inferior a 10, a PCH Engenheiro Ernesto Dreher, Colorado, Cotovelo Jacuí, Caçador e Passo do Inferno. As centrais Da Ilha, Jararaca, Ernestina e Capigüi apresentaram uma adequabilidade pouco superior, chegando ao máximo de 11,5. Em relação ao índice de probabilidade de peixes migradores, todas as PCH apresentaram um resultado inferior a 0,04. O índice de cobertura vegetal destes empreendimentos variou entre 32% a 86%, resultados que influenciaram na baixa adequabilidade de alguns empreendimentos. Por outro lado, a heterogeneidade altitudinal destas centrais variou de 0,03 a 0,33 e os parâmetros socioeconômicos também não resultaram em valores elevados.

A PCH de Passo do Meio, localizada no rio das Antas apresentou um índice de adequabilidade de 24%, devido, principalmente, aos parâmetros socioeconômicos e de cobertura vegetal. O índice de presença de mata ciliar foi de 49,9%, sendo que esta região segue os padrões de formação vegetativa das outras construções na mesma região. A heterogeneidade altitudinal foi de 0,27, sendo adequada para empreendimentos de pequeno porte. A média populacional da área foi de 0,02, demonstrando que na região não há grandes aglomerações urbanas. O parâmetro econômico resultou em um índice de 0,01, sendo que nesta área a economia é voltada para a agropecuária com rebanhos de bovinos e cultura de milho. O consumo energético da área foi de 0,02 e a potência efetiva do empreendimento é de 30 MW, suficiente para abastecer a região. A PCH de Linha Emília e Cotiporã inserem-se no meio dos municípios de Cotiporã e Dois Lajeados e ainda abrange os municípios de Guaporé e Fagundes Varela. O índice de

adequabilidade de Linha Emília foi de 21,2% e o de Cotiporã foi de 45,7%, essa diferença decorreu-se devido que na área do empreendimento de maior adequabilidade, ocorreu uma maior probabilidade de ocorrência de peixes migradores. Além deste parâmetro, a heterogeneidade altitudinal também influenciou na adequabilidade, sendo que Cotiporã resultou em um valor maior que Linha Emília, apresentando estar em uma área com rio melhor encaixado. A presença de mata ciliar foi muito próxima em ambas as áreas, sendo que Linha Emília apresentou um valor de 57,8%, sendo Cotiporã obteve um índice de 51,9%, contribuindo para a diferença entre os índices de adequabilidade dos empreendimentos. Nas áreas mais íngremes são encontrados os maiores remanescentes florestais, pois são áreas de difícil interferência antrópica. A média populacional de Cotiporã foi de 0,11 e o de Linha Emília foi de 0,09, sendo que a população rural possui destaque nesta região. A média do Produto Interno Bruto variou de 0,06 e 0,07, sendo que a agricultura e o comércio são as áreas que mais contribuem para a economia da região. A potência efetiva dos dois empreendimentos em conjunto é de 39 MW e o consumo energético da região variou entre 0,03 e 0,05, sendo que esta região não possui pólos urbanos muito grandes.

A PCH de Salto Forqueta localiza-se no rio Forqueta, no município de São José do Herval. Este empreendimento apresentou um índice de adequabilidade de 33,3%, devido, principalmente, a alta presença de mata ciliar. O índice de cobertura vegetal da área foi de 72,2% e este empreendimento segue os mesmo padrões de formações vegetativas das outras construções descritas anteriormente. A heterogeneidade altitudinal apresentada na área do empreendimento foi de 0,31, mostrando que a construção está em uma região adequada para seu porte. Os indicadores populacionais foram de 0,14, sendo que as cidades que fazem limite com São José do Herval possuem aglomerações urbanas significativas, mas este município possui uma população pequena. A média econômica foi de 0,10, sendo que a agropecuária é o setor que mais contribui na economia da área. Este empreendimento tem uma potência efetiva de 6,1 MW e o consumo relativo de energia do município foi de 0,03, sendo que a maior parte da energia vai para residências urbanas. A PCH Rio São Marcos localiza-se no rio que denomina o empreendimento e se insere ao norte do município de Caxias do Sul. Esta usina apresentou um índice de adequabilidade de 36,2%, pois apesar da baixa probabilidade de peixes migradores, há a presença significativa de mata ciliar. O índice de cobertura vegetal foi de 70,5%, sendo que nesta área a vegetação é de Mata de Araucária. A heterogeneidade altitudinal foi de 0,37, demonstrando estar inserida em um relevo com rio bem encaixado, contribuindo positivamente para a construção de empreendimentos. A média populacional foi de 0,14 e a inserção no

município de Caxias do Sul contribui para a elevação deste parâmetro, pois a cidade apresenta grande aglomeração urbana. A média econômica da região foi de 0,10 e a maior contribuição provem do pólo industrial presente no município. O consumo energético resultou em 0,06, sendo que a maior parte da energia é consumida pelas indústrias. A PCH de Galópolis localiza-se no rio Santa Cruz e se insere ao sul do município de Caxias do Sul. Seu índice de adequabilidade foi de 34,4%, muito próximo ao valor apresentado pelo empreendimento localizado no mesmo município. O parâmetro de cobertura vegetal apresentou um índice de 70,3% e uma heterogeneidade altitudinal de 0,35, resultados muito próximos ao empreendimento Rio São Marcos. A probabilidade de peixes migradores foi de 0,01, sendo que a espécie de maior ocorrência foi o Grumatã. A média populacional da área foi de 0,07 e a média do Produto Interno Bruto apresentou um índice de 0,11, destacando-se, também, na região a produção de uva. Este empreendimento tem uma potencia efetiva de 0,5 MW e apresentou um consumo de 0,02, suficiente para suprir a energia da região. A PCH de Passo do Inferno localiza-se no rio Santa Cruz e se insere no município de São Francisco de Paula. Esta central apresentou um índice de adequabilidade de 2,14%, devido às altas taxas de cobertura vegetal e baixa heterogeneidade altitudinal e possui uma potência efetiva de 1,1MW. O índice de presença de mata ciliar foi elevado apresentando 86,4% de presença de cobertura vegetal na área do empreendimento. Esta região, como descrito anteriormente para os empreendimentos pertencentes à mesma sub-bacia, possui formação vegetativa de Mata de Araucária. A heterogeneidade altitudinal foi de 0,03, sendo que este tipo de topografia, com rios que não possuem bom encaixamento, não são os mais indicados para a implantação de grandes empreendimentos. A média populacional da região foi de 0,09 e a média do Produto Interno Bruto foi de 0,04, sendo a agricultura e pecuárias são as áreas que mais contribuem para a economia, seguida pelo comércio, turismo, serviços e indústrias. O consumo energético foi baixo apresentando um índice de 0,04, pois esta região não possui grandes parques industriais e pólos urbanos.

Conforme apresentado, a maioria dos empreendimentos estudados demonstrou estar em áreas inadequadas, seja pela alta presença de mata ciliar e/ou a alta probabilidade de peixes migradores na região das usinas. Alguns destes empreendimentos já estão instalados a muito tempo e foram construídos em épocas onde as leis ambientais ainda não estavam bem sedimentadas. A análise das UHES instaladas permitiu verificar a escolha efetuada pelos empreendimentos, quando visamos à conservação de peixes migradores, sendo que grandes usinas demonstraram estar em áreas onde estas espécies utilizam o rio como rota migratória. É preciso se pensar, cada vez mais, em medidas de preservação dos remanescentes vegetais no

entorno dos cursos de água, evitando o maior assoreamento dos rios. A construção de barramentos e reservatórios deve ser realizada em áreas já ambientalmente degradadas e que possuem outros empreendimentos instalados, preservando os estoques dos peixes migradores da bacia hidrográfica do rio Jacuí. A perda destas espécies causaria danos aos ecossistemas aquáticos onde eles habitam, causando desequilíbrio ambiental e perdas irreparáveis. As metodologias envolvendo zoneamento ambiental estão sempre evoluindo, e é preciso cada vez mais que a interdisciplinaridade aconteça para que se consiga chegar a resultados mais próximos a realidade e permitir que o processo de tomada de decisão fique mais claro e correto.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCORDI, I. A. **Levantamento e análise da conservação da avifauna na sub-bacia do baixo Jacuí, Rio Grande do Sul, Brasil.** p. 7-18, 2003.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **A Evolução da Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil.** TODA desenho e Arte LTDA.

AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C.; PELICICE, F. M. **Ecologia e Manejo de Recursos Pesqueiros em Reservatórios do Brasil.** Maringá: Eduem. 501p, 2007.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil.** 1º Edição, Brasília, 2002.

AGOSTINHO, A.A.; JULIO, H.F. Peixes da bacia do alto rio Paraná. In: McCONNEL, L. **Estudos ecológicos de comunidades de peixes tropicais.** pp. 374-400, 1999.

AGOSTINHO, A.A.; THOMAS, S.M.; GOMES, L.C. **Conservação da biodiversidade em águas continentais do Brasil.** Megadiversidade, V. 1, n. 1, pp. 70 – 78, 2005.

ALBUQUERQUE-FILHO, J.L.; SAAD, A.R.; ALVARENGA, M.C. **Considerações acerca dos impactos ambientais decorrentes da implantação de reservatórios hidrelétricos com ênfase nos efeitos ocorrentes em aquíferos livres e suas conseqüências.** UNESP, Geociências, v. 29, n. 3, p. 355-367. São Paulo, 2010.

ALMEIDA, V.L.L.; RESENDE, E.K.; FERREIRA, C.J.A. **Dieta e atividade alimentar de Prochilodus lineatus (Characiformes, Prochilodontidae) no Pantanal do Miranda-Aquidauana, Mato Grosso do Sul, Brasil.** Unimar 15, p.125-141, 1993.

ALVES, T.P.; FONTOURA, N.F. **Statistical distribution models for migratory fish in Jacuí basin, South Brazil.** Neotropical Ichthyology, 7(4):647-658, 2009

ALVES, T.P. **Modelo probabilístico de distribuição de peixes migradores na bacia hidrográfica do rio Jacuí (RS).** Porto Alegre: PUCRS, 2008. Dissertação (Mestrado em Zoologia), Faculdade de Biociências, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2008.

ANDRADE, P. M. & BRAGA, F. M. S. **Reproductive seasonality of fishes from lotic stretch of the Grande River, High Paraná River Basin, Brazil.** *Brazilian Journal of Biology* 65, pp. 387-394, 2005.

ATKINSON, G.; HAMILTON, K. **Accounting for Progress: Indicator for Sustainable Development.** Environment, Setember, 1996.

AZPELICUETA, M.M.; LUNDBERG, J.G.; LOUREIRO, M. *Pimelodus pintado* (Siluriformes: Pimelodidae), a new species of catfish from affluent Rivers of Laguna Merín, Uruguay, South America. Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia 157, p. 149-162, 2008.

BALA, S.K.; CHOUDHURY, B.U.; SOOD, A.; BAINSA, G.S. & MUKHERJEE, J. **Characterization of agro-ecological zones of Punjab State using remote sensing and GIS tools.** Workshop Impact of Climate Change an Agriculture. Ludhiana, 2009.

BALLESTER, M.R.V; SANTOS, J.E.; FERESIN, E.G.; OBARA, A.A.; KRUSCHE, A.V.; BARROSO, G.F.; ALBUQUERQUE, A.L.S.; PIRES, J.S.R.; MOZETO, A.A.; CAVALHEIRO, F.; MARGARIDO, L.A.C.; GENTIL, J.G. **Desenvolvimento planejado (utilização do solo) da estação ecológica de Jataí.** In: ESTEVES, F.A. (ed.). **Oecologia Brasiliensis.** v.1, Rio de Janeiro: UFRJ, 616 p., p. 511-522. 1995.

BARRELLA, W. *et al.* As relações entre as matas ciliares, os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) **Matas Ciliares: conservação e recuperação.** 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.

BARMUTA, L.A.; LINKE, S.; TURAK E. **Bridging the gap between ‘planning’ and ‘doing’ for biodiversity conservation in freshwaters.** *Freshwater Biology*, 56, pp. 180-195, 2010.

BARTH, F.T. Aspectos Institucionais do Gerenciamento de Recursos Hídricos. In REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. **Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação.** 2ª Ed. São Paulo, 2002.

BELLEN, H. M. **Indicadores de Sustentabilidade: uma análise comparativa.** Rio de Janeiro: Editora FGV, 2005.

BENATTI, H.J. **Direito de propriedade e proteção ambiental: apropriação e uso dos recursos naturais no imóvel rural.** Tese de Doutorado. Universidade Federal do Pará. Belém, 2003.

BENCKE, C.A.; FONTANA, C.S.; REIS, R.E.; **Livro vermelho da fauna ameaçada de extinção no Rio Grande do Sul.** Edipucrs, 1ª Edição, Porto Alegre, 2003.

BERTOLETTI, J. J. **Aspectos sistemáticos e biológicos da ictiofauna do rio Uruguai.** *Veritas* 30, p.93-129, 1985.

BERTOLETTI, J.J. **Contribuição de passagens de peixes em barragens no Rio Grande do Sul.** Comunicações do Museu de Ciência e Tecnologia da PUCRS 42, pp.131-138, 1987.

BORROUGH, P.A. **Principles of geographical information system for land resources assesment.** Oxford University Press, 194 p. Oxford, 1992.

BRIGHETTI, G.; SANTOS, S.R. Navegação. In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. **Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação.** São Paulo: Escrituras, pp. 419-450, 2002.

CABRAL, B. **Legislação Brasileira de resíduos sólidos e ambiental correlata**. Brasília; s.n; 2001. 1 v., 582 p. (Caderno legislativo, 004/99), 2001.

CÂMARA, G. Anatomia de sistemas de informações geográficas, visão atual e perspectivas de evolução. In: **Sistemas de informações geográficas e suas aplicações na agricultura**. p. 37-59. Brasília, 1993.

CAROSFELD, J.; HARVEY, B. **Conservação de recursos genéticos de peixes: teoria e prática. Curso de treinamento brasileiro**. 47p. Belo Horizonte, 2000

CENTRAIS ELÉTRICAS DO SUL DO BRASIL S/A. **Aqüicultura**. Florianópolis: Eletrosul, 1985.

CHARNES, A.; COOPER, W.W. **Management models and industrial application of linear programming**. New York, Wiley, vol.1, 1961.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. Ed. Edgard Blucher, São Paulo, 1981

CIÊNCIA & AMBIENTE – Disponível em <coralx.ufsm.br/ifers/hidrografia.htm>. Último acesso em: 07 de Setembro de 2010.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO JACUÍ. **Plano de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Alto Jacuí. Relatório T2**. Passo Fundo, 2009.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO JACUÍ. **Termos de referência, inventário, diagnóstico e consolidação das informações sobre os recursos hídricos da bacia do Alto Jacuí e elaboração do programa de ações da bacia hidrográfica**. pp. 01-44, 2002.

COMITÊ DE GERENCIAMENTO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO JACUÍ. **Relatório – T2 – Consolidação das informações existentes sobre os recursos hídricos da bacia**. Passo Fundo, 2009.

COMITÊ DO RIO PARDO. Disponível em <www.comitepardo.com.br/bacia_riopardo.htm>. Acesso em: 23 de maio de 2009.

COMPANHIA ESTADUAL DE GERAÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Plano de uso e ocupação do solo no entorno do reservatório Maia Filho – UHE Governador Leonel de Moura Brizola**. CEEE-GT. Porto Alegre, 2009.

COMPANHIA ESTADUAL DE GERAÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Plano de uso e ocupação do solo no entorno do reservatório da UHE Capigüi**. CEEE-GT. Porto Alegre, 2009.

COMPANHIA ESTADUAL DE GERAÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Plano de uso e ocupação do solo no entorno do reservatório da UHE Ernestina**. CEEE-GT. Porto Alegre, 2009.

COMPANHIA ESTADUAL DE GERAÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Plano de uso e ocupação do solo no entorno do reservatório da UHE Itaúba**. CEEE-GT. Porto Alegre, 2009.

COMPANHIA ESTADUAL DE GERAÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Plano de uso e ocupação do solo no entorno do reservatório Divisa – UHE Bugres.** CEEE-GT. Porto Alegre, 2009.

COMPANHIA RIO GRANDENSE DE SANEAMENTO – CORSAN. Disponível em <www.corsan.com.br>. Acesso em: 16 de maio de 2009.

ECKHARDT, R.R.; REMPEL, C.; GUERRA, T.; PORTO, M.L. **Uso do sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento no zoneamento ambiental do Vale do Taquari – RS.** Estudos Geográficos, Rio Claro, 5(2): 93-111, 2007.

ECOPLAN ENGENHARIA. **Avaliação Quali-quantitativa das disponibilidades e demandas de água na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo/Pardinho.** Porto Alegre, 1997.

ECOPLAN ENGENHARIA. **Consolidação do Conhecimento sobre os Recursos Hídricos da Bacia do Rio Pardo e Elaboração do Programa de Ações da Sub-bacia do Rio Pardinho.** Porto Alegre, 2005.

ENERGÉTICA S.A. **Plano ambiental de conservação e uso do entorno e das águas do reservatório da PCH Caçador.** Porto Alegre, 2008.

ENERGÉTICA S.A. **Plano ambiental de conservação e uso do entorno e das águas dos reservatórios das PCHs Linha Emília e Cotiporã.** Porto Alegre, 2008.

DEI TOS, C.; BARBIERI, G.; AGOSTINHO, A.A.; GOMES, L.C. & SUZUKI, H.I. **Ecology of *Pimelodus maculatus* (Siruliformes in the Corumbá Reservoir, Brazil.** Cybium 26, pp. 275-282, 2002.

FANG, Q.; ZHANG, L.; HONG, H.; ZHANG, L. & BRISTOW, F. **Ecological function zoning for environmental planning at different levels.** Environ. Dev. Sustain. 10, p.41-49, 2008.

FIDALGO, E.C.C. **Critérios para a análise de métodos e indicadores ambientais usados na etapa de diagnóstico de planejamentos ambientais.** Campinas: UNICAMP. 276f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2003.

FLORES, S.A. & HIRT, L.M. **Tipo de desova Del sabalo (*Prochilodus scrofa*) (Pisces, Prochilodontidae) em el area de influencia del embalse de Yariceta.** (<http://www1.unne.edu.ar/cyt/veterinarias/v-014.pdf>), 1999.

FOLEGATTI, M.V. **Impacto ambiental da irrigação na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Martins.** Relatório Científico Edital CT-HIDRO – MCT/CNP. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2007.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL – FEPAM. Disponível em <www.fepam.rs.gov.br/qualidade/jacui.asp>. Acesso em: 15 de maio de 2009.

GUSTAFSON, J.E. **Quantifying Landscape Spatial Pattern: What is the State of the Art?** Ecosystem 1, p. 143-156, 1998.

GODOY, M.P. **A escada de peixes de Cachoeira de Ema, rio Mogi Guassú, estado de São Paulo, Brasil.** Comunicações do Museu de Ciências e Tecnologia da PUCRS 43, pp.139-151, 1987.

GODOY M.P. **Dez anos de observações sobre a periodicidade migratória de peixes do rio Mogi Guassú.** Revista Brasileira de Biologia, 27(1): 1-12, 1967.

GODOY, M.P. **Peixes do Brasil – Subordem CHARACOIDEI – Bacia do Rio Mogi Guassú.** Vol 4-8. São Paulo: Franciscana, 1975a.

GODOY, M.P. **Peixes do Brasil – Subordem CHARACOIDEI – Bacia do Rio Mogi Guassú.** Vol 4-8. São Paulo: Franciscana, 1975b.

GRASSI, L.A.T.; CÁNEPA, E.M. **Os Comitês de Bacia do Rio Grande do Sul;** Revista de Ciências e Ambiente V.1. Santa Maria: Universidade de Santa Maria, 1990.

HAYASHI, C.; RIBEIRO, R.P.; FURUYA, W.M.; FURUYA, V.R.B. **Curso de atualização em piscicultura: espécies nativas e exóticas.** Apostila. FADEC/UEM, 185p. Maringá, 1996.

HARTZ, S.M.; SILVEIRA, C.M.; CARVALHO, S.; VILLAMIL, C. **Alimentação da piava, *Leporinus obtusidens* (Characiformes, Anostomidae), no Lago Guaíba, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.** Pesquisa Agropecuária Gaúcha 6(1):145-150, 2000.

KEENEY, R.L.; HAIFA, H. **Decision with multiple objectives: preferences and value tradeoffs.** John Wiley & Sons, Inc. 1976.

KNIGHT, A.T.; COWLING, R.M.; CAMPBELL, B.M. **An operational model for implementing conservation action.** Conservation Biology, 20, pp. 408-419, 2006a.

KOCH, W.R.; MILANI, P.C.; GROSSE, K.M. **Guia ilustrado: Peixes Parque Delta do Jacuí.** Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

KORHONEN, P.; MOSKOWITZ, H.; WALLENIUS, J. **Multiple criteria decision support – A review.** European Journal of Operational Research, 63, pp. 361-375, 1992.

KUBITZA, F. **Preparo de rações e estratégias de alimentação no cultivo intensivo de peixes carnívoros.** Simpósio Internacional Sobre Nutrição de Peixes e Crustáceos. Campos do Jordão, 1995.

LANNA, A.E.L. **Gerenciamento de bacias hidrográficas: aspectos conceituais e metodológicos.** IBAMA. 171 p. Brasília, 1995.

LEITE, C.M.L. **O zoneamento ecológico – econômico: impasses e perspectivas de um instrumento de gestão ambiental.** Brasília: UnB. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade de Brasília, 2001.

LIMA, W.P.; ZAKIA, M.J.B. Hidrologia de matas ciliares. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) **Matas Ciliares: conservação e recuperação.** 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, pp.33-43, 2000.

LIZAMA, M. de los A. P. **Estimativa dos parâmetros de crescimento, recrutamento e mortalidade de *Prochilodus lineatus* da planície de inundação do alto rio Paraná, Brasil.** Boletim do Instituto de Pesca, São Paulo, 26(2): 121-128 pp., 2000.

LOBÃO, J.S.B.; VALE, R.M.C. **Microbacias na Região do Parque Estadual de Morro do Chapéu (PEMC): Um Modelo em SIG para Análise Ambiental.** Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, INPE, p. 2769-2776. 21-26 Abril 2007.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil.** Ed. Nova Odessa. V.1, 4ª. Instituto Plantarium. São Paulo, 2002.

MARCHIORETTO, M.S. & SIQUEIRA, J.C. **Espécies endêmicas do Rio Grande do Sul (Angiosperma – Dicotiledôneas): estudo dos padrões de distribuição geográfica.** Pesquisas Botânicas, 48, PP 111-144, 1998.

MARTINS, F.B.; ROCHA, J.S.M.; ROBAINA, A.D.; KURTZ, S.M.J.M.; KURTZ, F.C.; GARCIA, S.M.; SANTOS, A.H.O.; DILL, P.R.J.; NOAL, T.N. **Zoneamento Ambiental da Sub-bacia Hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria (RS) - (Estudo de Caso).** Cerne, Lavras, v. 11, n. 3, pp. 315-322, 2005.

MENEZES, N.A. **Distribuição e origem da fauna de peixes de água doce das grandes bacias de fluviais do Brasil.** p. 73- 78, In: Poluição e Piscicultura. Fac. Saúde Pública da USP e Inst. de Pesca, 216 pp. São Paulo, 1972.

MILANI, P.C.C.; FONTOURA, N.F. **Diagnóstico da pesca artesanal na lagoa do Casamento, sistema nordeste da laguna dos Patos: uma proposta de manejo.** Biociências, Porto Alegre, v.15, n.1, pp. 82-125, 2007.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. Disponível em <www.mma.gov.br/port/srh/sistema/riosesta/riosul/jacui.html>. Último acesso em: 22 de maio de 2010.

MINISTÉRIO PÚBLICO DA UNIÃO. **Deficiências em estudos de impacto ambiental : síntese de uma experiência.** – Brasília: Ministério Público Federal/4ª Câmara de Coordenação e Revisão ; Escola Superior do Ministério Público da União, 2004.

MONTAÑO, M.; OLIVEIRA, S.D.; RANIERI, V.E.L.; FONTES, A.T. & SOUZA, M.P. **O zoneamento ambiental e sua importância para a localização de atividades.** Revista de Pesquisa e Desenvolvimento. Engenharia de Produção, n°6, p.49-64, 2007.

NOGUEIRA, M.G.; HENRY, R.; JORCIN, A. Reservatórios em cascata e os efeitos da Limnologia e organização das Comunidades Bióticas (Fitoplâncton, Zooplâncton e Zoobentos) – Um estudo de caso no Rio Paranapanema (SP/PR). In: **Ecologia de Reservatórios. Impactos Potenciais, Ações de Manejo e Sistemas em Cascata.** 2 ed. RiMa Ed, pp. 83 – 125, São Carlos, 2006.

NORTHCOTE, T.G. Mechanisms of fish migration in rivers. In: McCLEAVE, J.D.; DODSON, J.J.; NEILL, W.H. **Mechanism of Migrations of Fishes.** Plenum, New York. pp. 317-355, 1978.

OLDANI, N. O.; IWASZKIW, J. M.; PADÍN, O. H. & OTAEGUI, A. **Fluctuaciones de la abundancia de peces en el Alto Paraná (Corrientes, Argentina)**. *Publicaciones de la Comisión Administradora del Rio Uruguay*, pp. 43-55, 1992.

OLIVEIRA, I.S.D. **A contribuição do zoneamento ecológico-econômico na avaliação de impacto ambiental: bases e propostas metodológicas**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 2004.

OMANN, I. **How can Multi-criteria Decision Analysis contribute to environmental policy making? A case study on macro-sustainability in Germany**. 3rd Biennial Conference of the European Society for Ecological Economics, Vienna, May 3 – 6, 2000.

OTT, W. R. **Environmental Indices: theory and practice**. Ann Arbor Science, Ann Arbor, Michigan, 371 p., 1978.

PARDALOS, P.M.; SISKOS, Y.; ZOPOUNIDIS, C. **Advances in multicriteria analysis**. Kluwer academic publishers. Netherlands, p.249. 1995.

PARETO, V. **Course d'economy politique**. Lausanne, Rouge. 1896.

PARTIDÁRIO, M.R. **Elements of an SEA framework – Improving the added-value of SEA**. *Environmental Impact Assessment. Review*, 20, p. 647-663, 2000.

PESOA, N.A. **Migração e Movimentos do Grumatã (*Prochilodus lineatus*, Valenciennes, 1836) (Characiformes, Prochilodontidae) no Rio dos Sinos, RS, Brasil, determinados por Radiotelemetria**. São Leopoldo: Unisinos, 2004. Dissertação (Mestrado em Biologia), Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2004.

PETRERE JR., M. **Migraciones de peces de água Dulce em América Latina**. Comisión de Pesca Continental para América Latina. COPESCAL, pp. 1-17, 1985.

PRATES, S.H.; DE LUCA, S.J. **Contribuição à gestão ambiental da UHE Dona Francisca através de modelo de simulação de qualidade de água**. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Alegre, 2000.

PREFEITURA DE SÃO FRANCISCO DE PAULA. **Plano Ambiental Municipal**. São Francisco de Paula, 2008.

PRESSEY, R.L., BOTYRILL, M.C. Opportunism, threats, and the evolution of systematic conservation planning. *Conservation Biology*, 22, pp. 1340-1345. 2008.

PRÓ-GUAÍBA. Disponível em < <http://www.proguaiba.rs.gov.br> >. Último acesso em: 27 de Agosto de 2010.

REIS, R.E; KULLANDER, S.O.; FERRARIS JR., C.J. **Check List of the Freshwater Fishes of South América and Central América**. Edipucrs, Porto Alegre, 2003.

REMPEL, C. ; GUERRA, T. ; PORTO, M. L. ; PÉRICO, E. ; ECKHARDT, R. R. ; CEMIN, G. . **A Ecologia de Paisagem como base para o zoneamento ambiental da região político-**

administrativa - Vale do Taquari RS-Brasil - Um Modelo de Proposta Metodológica. Geofocus (Madrid), v. 9, p. 102-125, 2009.

RIO GRANDE DO SUL. **Legislação de Recursos Hídricos.** Porto Alegre, Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 136 p., 1994.

ROCHA, J.V. **El Sistema de Informaciones Geograficas (SIG) em los contextos de planificación Del médio físico y de las cuencas hidrográficas.** II Curso Internacional de Aspectos Geológicos de Protección Ambiental. Cap.7. Campinas, 2000.

ROSA, R. **Metodologia para zoneamento de bacias hidrográficas utilizando produtos de Sensoriamento Remoto e integrados por Sistema de Informação Geográfica.** Anais VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p.363 – 368. INPE. Salvador, 1996.

ROY, B. **Méthodologie multicritère d'aide la décision.** Economica, Paris. 1985.

SAMPAIO, M.V.; SANTOS, M.S.; SALBEGO, A.G.; ROCHA, J.S.M; SAMPAIO, F.M.A.S.; MENDES, A.V.; BARROS, H.M.M. **Zoneamento ambiental da sub-bacia hidrográfica do Rio Ibicuí-Mirim, RS.** Tecnol. & Ciên. Agropec., João Pessoa, v.4, n.2, p.25-28, jun. 2010.

SANTOS, G.O. **Aspectos importantes para a piscicultura do gênero *Leporinus spix*, 1829 – uma revisão.** Pesquisa Agropecuária Gaúcha, v.6, n.1, p.151-156, 2000.

SANTOS, J.E.; NOGUEIRA, F.; PIRES, J.S.R.; OBARA, A.T.; PIRES, A.M.Z.C.R. **The value of the ecological station of Jataí's ecosystem services and natural capital.** *Rev. Brasil. Biol.*, 61(2): 171-190, 2001.

SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – SEMA. Disponível em <www.sema.rs.gov.br>. Acesso em: 20 de maio de 2009.

SILVA, A.B. **Sistemas de Informações Geo-referenciadas: Uma Introdução.** Noprelo. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1998.

SILVA, J.S.V. **Análise multivariada em zoneamento para planejamento ambiental; estudo de caso: bacia hidrográfica do alto Taquari MS/MT.** 307p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

SILVA, M. L. G. **Análise da Qualidade Ambiental Urbana da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição.** Florianópolis: UFSC. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

SILVEIRA, G.L.; CRUZ, J.C. **Seleção Ambiental de barragens: Análise de favorabilidade ambientais em escala de bacia hidrográfica.** Editora UFSM, ABRH, Santa Maria, 2005.

SOARES, W.L; PORTO, M.F. **Atividade agrícola e externalidade ambiental: uma análise a partir do uso de agrotóxicos no cerrado brasileiro.** Ciênc. saúde coletiva, vol.12, n.1, Rio de Janeiro, 2007.

THI THU, H. L. **Application GIS on environmental zoning and management (Case study in Sontay, Hanoi, Vietnam)**. 7th FIG Regional Conference. p.19-22. Vietnam, 2009.

TUNDISE, J.G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. RiMa. São Carlos, 2003.

TUNDISI, J.G.; STRASRABAS, M. **Strategies for building partnership in the context of river basin management: the role of ecotechnology and ecological engineering**. Lakes & Reservoirs: Research and Management 1:13-8, 1995.

UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL – UNISC Disponível em: <www.unisc.br/deptos/cpardo/bacia_riopardo.htm>. Último acesso em: 15 de Setembro de 2010.

VINCKE, P. **Multicriteria decision aid**. John Wiley & Sons. New York, 154 p. 1992.

WEBER, E.J. **Usos de Sistema de Informação Geográfica como subsídio ao planejamento em águas agrícolas. Um caso no planalto do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.

WEBER, E.; HASENACK, H. & FERREIRA, C.J.S. **Adaptação do modelo digital de elevação do SRTM para o sistema de referência oficial brasileiro e recorte por unidade da federação**. Centro de Ecologia da UFRGS. Porto Alegre, 2004.

YAHAYA, S. **Multicriteria Analysis for Flood Vulnerable Areas in Hadejia-Jama'are River Basin, Nigeria**. Annual Conference Portland, Oregon, April 28 - May 2, 2008.

ZUFFO, A.C. **Seleção e Aplicação de Métodos Multicriteriais ao Planejamento Ambiental de Recursos Hídricos**. São Carlos: USP. Tese de Doutorado. São Paulo, 1998.

ZANIBONI FILHO, E. **Piscicultura das espécies nativas de água doce**. Apostila. Universidade Federal de Santa Catarina, p.20, 1997.

ANEXOS

ANEXO 1

Tabela 3 – Valores de cada parâmetro levantado em relação ao seu município.

MUNICÍPIO	PIB AGROPECUÁRIA	PIB SERVIÇOS	PIB INDUSTRIAL	DENSIDADE POPULACIONAL	POPULAÇÃO TOTAL	DENSIDADE RURAL	POPULAÇÃO RURAL
Agudo	56885,91	84619,15	35071,72	317	17.020	0,020	9.650
Água Santa	20675,04	23926,24	2785,96	125	3.646	0,010	2.248
Alto Alegre	8715,32	9477,23	1121,91	177	2.032	0,010	1.191
Alto feliz	7209,23	9798,92	4893,66	38	3.048	26,861	2.122
André da Rocha	16404,45	7211,42	1594,49	38	1.262	0,002	769
Anta Gorda	26603,7	28949,91	5867,23	257	6.243	0,015	3.748
Antônio Prado	36912,75	85771,54	46858,6	399	13.866	1,000	3.746
Araricá	1319,4	20565,36	12505,36	145	5.078	15,400	539
Arroio do Meio	28074,7	149344,23	191657,01	1158	18.288	0,023	3.679
Arroio do Tigre	59960,78	73763,57	13071,42	403	12.828	0,020	6.397
Arroio dos Ratos	12252,82	60663,48	24651,19	323	13.779	0,001	583
Arvorezinha	32239,29	46094,66	8187,94	381	10.341	0,015	4.030
Barão	11384,86	19454,87	9586,66	434	5.399	0,021	2.581
Barão do Triunfo	24787,32	22015,16	2332,69	161	7.024	0,014	6.196
Barros Cassal	36444,55	42330,39	5272,12	179	11.604	0,012	7.611
Bento Gonçalves	51944,17	988826,65	666081,42	2671	102.168	0,023	8.753
Boa Vista do Incra	30.210	65344,18	3647,34	5	2521	345,000	1741
Boa Vista do Sul	14461,76	11808,98	4069,75	287	2.710	0,024	2.303
Bom Jesus	28706,22	49197,89	8579,52	46	12.096	0,001	2.743
Bom Princípio	23122,25	67506,66	49751,51	131	11.532	28,966	2.549
Bom Retiro do Sul	10092,15	50687,31	30357,62	1095	11.201	0,021	2.163
Boqueirão do Leão	36369,29	30439,32	2925,61	298	7.917	0,023	6.058
Brochier	11988,06	19444,17	4770,22	435	4.769	0,024	2.664
Butiá	32546,82	92275,08	39427,55	26	19.996	0,001	1.089
Caçapava do Sul	40462,94	160110,72	79610,65	109	33.223	0,041	12.627
Cachoeira do Sul	121581,98	483068,48	97326,85	231	86.214	0,003	11.413
Camargo	15145,15	12852,29	3260,72	18	2.483	0,010	1.330
Cambará do Sul	16787,92	32169,77	26601,04	58	7.009	0,003	3.230

Campestre da Serra	22781,69	19119,85	6484,71	6	3.221	3,877	2.086
Campo Bom	1811,37	504701,69	441702,21	9665	58.915	35,738	2.180
Campos Borges	8902,64	15927,94	1710,52	155	3.667	0,007	1.544
Candelária	96802,08	139953,24	26101,37	317	29.885	0,015	14.172
Canela	7957,03	204215,7	51450,4	158	40.449	11,235	2.865
Canoas	3069,06	5178870,15	3076423,79	2518	329.903	64,542	8.455
Canudos do Vale	7357,99	7206,61	1055,49	241	1.990	0,018	1.479
Capão Bonito do Sul	22759,04	12234,97	1136	37	1.937	0,002	1.312
Capela de Santana	10592,34	45039,74	11178,82	62	11.478	20,408	3.755
Capitão	10761,91	10137,75	1909,42	357	2.667	0,020	1.481
Caraá	11244,79	22988,16	8074,75	4379	11.813	2727,000	7.666
Carazinho	51499,1	474778,03	149546,55	888	59.081	0,002	1.203
Carlos Barbosa	28375,7	208846,43	267387,55	106	24.371	0,020	4.651
Casca	32884,91	71278,76	19505,85	313	8.507	0,128	3.476
Caseiros	12470,85	14653,41	2318,91	129	3.031	0,006	1.490
Caxias do Sul	150509	4123392,61	3096853,1	2446	402.163	0,012	19.823
Cerro Branco	16399,75	17188,42	1805,92	294	4.524	0,020	3.082
Cerro Grande do Sul	24.570,49	32838,02	7015,4	286	9.304	0,021	6.883
Chapada	50822	68307,95	7252,7	14	9.544	0,058	3.961
Charqueadas	8376,3	222432,79	455571,48	1575	34.099	0,004	803
Ciríaco	24916,8	23055,76	3644,7	185	5.058	0,009	2.406
Colinas	7896,63	9560,16	2265,11	427	2.492	0,021	1.237
Colorado	24298,01	31194,07	2202,07	133	3.809	0,006	1.714
Coqueiro Baixo	6657,87	5585,38	663,19	146	1.645	1,203	1.351
Coronel Pilar	11295,54	7512,79	900,08	172	1.813	0,015	1.597
Cotiporã	16893,5	18431,64	9526,88	27	4.658	0,013	2.306
Cruz Alta	84562,88	643250,41	73945,36	477	64.836	0,001	1.799
Cruzeiro do Sul	24608,99	55040,44	27781,86	794	12.327	0,304	4.717
David Canabarro	25914,46	22708,08	2486,76	272	4.763	0,156	2.721
Dilermando de Aguiar	18659,99	11239,81	1520,48	53	3.222	0,004	2.111
Dois Irmãos	5940,39	216402,15	169009,35	401	26.070	2,508	163
Dois Lajeados	16495,19	17593,29	5413,19	252	3.362	0,013	1.794
Dom Feliciano	42426,41	55835,53	6088,79	116	14.624	0,009	11.096
Dona Francisca	8268,89	16162,61	6429,63	317	3.627	0,011	1.266
Doutor Ricardo	8120,51	7592,36	2442,95	197	2.135	0,013	1.454
Eldorado do Sul	15588,27	224942,87	424566,89	622	31.723	0,015	7.852

Encantado	13729,79	152.895,97	99583,58	1419	19.752	0,016	2.276
Encruzilhada do Sul	51657,66	98638,39	14924,88	71	24.479	0,002	7.292
Ernestina	23264,68	16516,86	1788,18	128	3.071	0,007	1.714
Esmeralda	24159,37	20883,13	1819,38	39	3.282	0,001	1.002
Espumoso	41318,13	103195,67	16555,65	194	15.210	0,005	3.949
Estância Velha	7747,62	1213906,88	906283,89	22648	173.319	1131,000	9201
Esteio	84274,35	6892473,35	3320038,44	954,00	924.401	13721,000	30865
Estrela	38086,54	227252,52	118280,2	1594	29.356	0,022	4.025
Estrela Velha	21246,38	22839,68	1734,72	131	3.696	0,009	2.567
Fagundes Varela	10549,86	12586,41	5806,48	188	2.524	0,009	1.198
Farroupilha	73119,41	509478,98	358769,6	1681	60.816	0,030	10.751
Faxinal do Soturno	10244,83	40682,39	13484,98	38	6.459	0,014	2.412
Fazenda Vilanova	11454,16	20830,07	26376,45	37	3.134	0,018	1.566
Feliz	20933,33	78654,71	34373,47	126	12.126	34,802	3.341
Flores da Cunha	66810	185113,18	140769,53	937	25.544	0,030	8.123
Fontoura Xavier	20795,12	41434,85	8489,66	194	11.313	0,012	7.000
Formigueiro	19997,93	29279,28	8713,88	124	7.238	0,008	4.564
Forquetinha	8097,76	9318,68	2773,02	286	2.679	0,023	2.127
Fortaleza dos Valos	32543,18	39986,18	2622,29	72	4.706	0,002	1.585
Garibaldi	25405,99	248400,66	252137,97	1734	29.079	0,017	2.825
General Câmara	33174,46	34023,13	5563,97	179	8.867	0,007	3.258
Gentil	13095,79	11978,86	1085,29	87	1.605	0,005	968
Gramado	11674,06	239050,16	88048,75	140	33.257	22,215	5.265
Gramado Xavier	19637,27	13627,05	1363,27	183	3.972	0,016	3.486
Gravataí	80377,96	1771097,18	1857899,15	7178	335.052	8645,000	40.487
Guabiju	13293,57	10161,36	1586,33	121	1.794	0,007	973
Guaíba	16576,69	542932,61	676790,68	2518	94.937	0,005	1.907
Guaporé	19041,63	140127,26	61265,72	731	21.748	0,006	1.765
Harmonia	17515,79	21515,56	17431,56	83	3.777	41,733	1.878
Herveiras	14968,03	10316,08	1215,76	245	2.896	0,210	2.480
Ibarama	21732,15	16620,95	2862,67	229	4.416	0,017	3.228
Ibiraiaras	29383,42	52739,42	4812,65	24	7.217	0,115	3.453
Ibirapuitã	15471,45	16254,97	1977,91	139	4.273	0,006	1.834
Ibirubá	56785,75	187622,53	44478,86	311	19.016	0,006	3.890
Igrejinha	4442,22	191761,27	185200,83	240	32.945	9,029	1.237
Ilópolis	13792,12	19409,64	6030,96	37	4.309	0,017	1.971

Imigrante	11999,83	19294,27	15095,57	413	3.031	0,020	1.487
Ipê	33802,1	29401,84	6893,95	10	5.988	0,005	2.980
Itaara	6285,36	20113,24	6311,59	276	4.717	0,006	1.023
Itapuca	12335,42	8430,71	1260,13	137	2.516	0,010	1.932
Ivorá	7197,33	12200,93	942,11	197	2.423	0,013	1.564
Ivoti	3783,5	165297,23	89847,27	313	19.724	24,333	1.533
Jacuizinho	16075,08	10628,6	1076,17	86	2.703	0,006	2.023
Jaquirana	7887,11	16266,85	4190,62	5	4.511	0,002	1.717
Jari	36709,56	16688,22	1349,39	44	3.805	0,004	3.147
Julio de Castilhos	81541,01	140176,4	16148,33	104	19.978	0,002	3.010
Lagoa Bonita do Sul	17370,11	9973,28	1306,11	248	2.693	2,139	2.321
Lagoa dos Três cantos	22.804	6543,23	1234,12	119	1.654	56,000	777
Lagoa Vermelha	59756,11	181657,88	45263,54	221	27.852	0,003	3.374
Lagoão	20750,09	18313,74	1891,2	169	6.477	0,013	5.150
Lajeado	11618,94	718819,61	392313,63	7563	68.386	0,002	205
Lavras do Sul	44768,43	36491,88	3653,8	32	8.254	0,001	3.137
Lindolfo Collor	2701,45	27100,49	47723,39	170	5.614	30,182	996
Linha Nova	7356,28	6015,46	1094,96	23	1.522	18,781	1.202
Maratá	11117,4	11134,14	5682,22	311	2.500	0,021	1.684
Marau	61845,98	290781,61	407018,46	528	34.257	0,693	4.499
Mariana Pimentel	11095	13116,58	1956,39	118	3.992	0,010	3.228
Marques de Souza	12712,7	16480,72	4318,68	328	4.106	0,020	2.444
Mato Castelhano	17543,74	11831,25	2424,59	111	2.649	0,009	2.108
Mato Leitão	8535,8	19169,59	29843,73	793	3.641	0,043	1.958
Minas do Leão	11710,6	29056,97	9739,06	184	7.790	0,001	276
Montauri	9182,35	6225,34	1306,28	198	1.623	0,011	928
Monte Alegre dos Campos	14978,28	11202,86	1309,75	58	3.184	0,055	3.005
Monte Belo do Sul	15124,52	13872,04	2467,74	409	2.799	0,030	2.019
Montenegro	52187,9	472341,12	423182,62	1369	57.506	0,013	5.592
Mormaço	10877,16	13768,39	2071,25	178	2.607	0,014	2.069
Morro Reuter	5594,47	26733,68	20032,41	67	5.897	9,409	828
Muçum	6968,7	31427,62	22773,97	416	4.608	0,006	697
Muitos Capões	87950,57	26365,1	2951,02	25	3.013	0,002	1.950
Muliterno	12310,17	8436,9	739,86	171	1.899	0,012	1.359
Não Me Toque	36380,17	121875,55	88885,16	427	15.433	0,052	1.896

Nicolau Vergueiro	13503,66	11919,57	1185,95	116	1.813	0,072	1.125
Nova Alvorada	15026,2	28926,24	2844,91	206	3.080	0,012	1.814
Nova Araçá	15644,02	20916,07	26481,98	517	3.844	0,148	1.098
Nova Bassano	35708,46	72257,09	131440,8	416	8.808	0,015	3.210
Nova Brésicia	11636,89	15698,11	3319,76	311	3.182	0,016	1.626
Nova Hartz	2537,15	87946,67	111756,99	278	17.535	34,794	2.192
Nova Pádua	35152,65	18030,2	4250,74	244	2.517	0,016	1.687
Nova Palma	21988,96	46661,4	20661,61	207	6.495	0,011	3.325
Nova Petrópolis	43765,99	567912,83	217569,92	3491	88.754	4017,000	10.556
Nova Prata	18717,14	207604,88	362677,29	869	22.489	0,014	3.614
Nova Roma do Sul	17174,16	19138,67	7290,58	236	3.521	0,011	1.596
Nova Santa Rita	7377,12	101956,79	74271,85	101	22.177	19,266	4.200
Novo Hamburgo	9675,48	2257937,42	959414,49	1142	255.945	18,768	4.204
Novos Cabrais	15891,76	14460,09	1404,19	201	3.861	0,017	3.334
Pantano Grande	24979,27	54168,18	28913,79	119	10.089	0,002	1.434
Paráí	21793,69	43269,9	31070,71	552	6.644	0,023	2.814
Paraíso do Sul	30679,96	31469,71	6994,18	217	7.432	0,016	5.467
Parei Novo	18853,61	16703,29	2665,24	56	3.236	45,614	2.600
Parobé	4113,98	230858,63	161908,02	468	51.036	12,266	1.337
Passa Sete	25405,68	18185,7	2132,54	166	5.049	0,147	4.470
Passo do Sobrado	27517,42	27107,03	6300,31	229	6.058	0,017	4.515
Passo Fundo	55080,82	1890267,46	373559,7	2373	185.147	0,004	3.332
Paverama	15750,49	30088,6	7800,93	451	7.747	0,020	3.496
Picada café	4901,73	35486,31	53437,63	58	5.009	8,294	705
Pinhal Grande	26011,67	24674,88	22128,8	95	4.556	0,005	2.601
Poço das Antas	6891,97	7421,62	1618,71	325	2.019	0,019	1.193
Portão	10394,24	196608,7	236648,1	189	30.254	30,244	4.839
Pouso Novo	8400,92	9790,72	1417,02	201	2.138	0,014	1.444
Presidente Lucena	5551,27	9552,69	8353,75	50	2.485	22,347	1.095
Progresso	25531,79	25850,27	3884,3	246	6.279	0,017	4.255
Protásio Alves	12584,14	8608,36	2342,31	124	2.141	0,096	1.665
Putinga	28205,93	19180,29	5668,71	194	4.277	0,012	2.630
Quinze de Novembro	22683,66	27955,88	2498,69	161	3.594	0,007	1.576
Relvado	7860,26	9653,63	1452,17	207	2.247	0,013	1.447
Restinga Seca	48273,71	82073,58	24306,9	164	15.806	0,007	6.311
Rio Pardo	95507,75	166428,04	63026,36	185	37.966	0,005	10.659

Riozinho	3478,48	5000,76	3478,48	19	4.612	6,456	1.543
Roca Sales	19690,53	61327,74	83946,25	482	10.044	0,017	3.619
Rolante	18225,2	87411,69	46848,29	67	20.094	13,209	3.923
Saldanha Marinho	15150,68	22226,62	4041,71	136	3021	0,004	996
Salto do Jacuí	31678,63	63423,58	35655,87	238	12.370	0,003	1.723
Salvador do Sul	21977,9	57204,6	28474,45	676	6.699	0,027	2.725
Santa Bárbara do Sul	69373,53	90100,22	11513,74	95	9.269	0,002	1.800
Santa Clara do Sul	11338,68	26321,29	19846,32	639	5.535	0,032	2.789
Santa Cruz do Sul	103060,83	1179113,6	1001304,59	1595	117.005	0,017	12.381
Santa Margarida do Sul	24552,85	13783,71	1233,56	24	2.285	0,002	1.630
Santa Maria	73245,35	1956070,78	358174,01	1496	266.209	0,005	9.202
Santa Maria do Herval	9730,03	37225,62	25394,29	46	6.427	12,460	1.732
Santa Tereza	12165,09	8008,73	2833,64	256	1.855	0,154	1.116
Santana da Boa Vista	20994,8	29703,4	3489,69	61	8.636	0,003	4.440
Santo Antonio da patrulha	38417,44	172841,88	79041,26	37	39.302	12,919	13.552
Santo Antônio da Palma	10845,33	9122,17	1646,64	178	2.247	0,012	1.538
Santo Antonio do Planalto	19580,85	15830,27	3348,31	101	2.091	0,004	825
São Domingos do Sul	9443,56	10994,8	3039,25	368	2.909	0,015	1.163
São Francisco de Paula	81696,13	93398,38	20759,73	66	21.526	0,002	7.403
São Gabriel	112985,35	308001,94	67665,12	117	58.783	0,001	5.921
São Jerônimo	37788,48	126825,66	39719,86	22	20623	0,005	4.293
São João do Polêsine	5921,23	14281,21	3255,59	321	2.751	0,017	1.496
São Jorge	14792,23	14421,12	2502,95	238	2.808	0,011	1.331
São José do Herval	5595,45	9348	1541,04	243	2.504	0,015	1.597
São José do Hortêncio	11078,73	18074,46	16281,83	64	4.103	20,219	1.294
São Jose do Sul	6810,71	8396,86	2328,08	33	1.988	0,917	55
São José dos Ausentes	37922,64	16594,02	2376,88	28	3.266	0,001	1.349
São Leopoldo	83439,31	5149654,05	2370392,01	450,00	718.414	11857,000	29850
São Marcos	24785,04	120753,47	69106,12	776	19.893	0,010	2.579
São Pedro da Serra	4894,64	12444,01	8232,33	888	3.143	0,045	1.576
São Sebastião do cai	34652,76	152262,97	80674,53	190	21.142	33,721	3.743

São Sepé	57176,2	120943,35	41211,46	111	24.194	0,002	4.732
São Valentim do Sul	11409,55	12703,71	21148,98	246	2.273	0,167	1.544
São Vendelino	3571,66	9159,73	5813,01	58	1.873	19,219	615
Sapiranga	3347,93	453097,04	289983,71	560	77.282	24,667	3.404
Sapucaia do Sul	519,32	657428,22	608684,93	2137	126.085	15,898	938
Segredo	31144,85	23556,22	2700,74	288	7.116	0,020	5.034
Selbach	25683,28	33475,81	4007,09	272	4.804	0,009	1.615
Serafina Corrêa	25045,95	99793,23	90791,51	839	13.699	0,013	2.084
Sério	11242,7	8486,16	915,69	245	2.446	0,019	1.845
Sertão Santana	20862,98	24159,03	13303	232	5.836	0,018	4.498
Silveira Martins	5932,35	9826,07	1486,67	212	2.514	0,011	1.316
Sinimbu	40847,52	46362,93	7690,45	205	10.477	0,173	8.804
Sobradinho	18657,03	87233,38	16632,62	1102	14.372	0,199	2.596
Soledade	30690,32	157707,18	41829,75	25	30.308	0,046	5.620
Tabaí	4678,1	14228,3	2218,58	433	4.102	0,029	2.754
Tapera	17391,55	86813,06	48634,17	587	10.540	0,009	1.610
Taquara	14217,03	307607,37	75541,35	120	55.270	21,225	9.700
Taquari	21231,74	147731,6	116567,96	745	26.087	0,011	3.902
Teutônia	27658,45	235558,89	250314,77	1425	25.539	0,190	3.409
Tio Hugo	9688,17	19292,36	2164,91	228	2.609	0,013	1.500
Travesseiro	10815,4	8969,97	4868,05	298	2.417	0,017	1.419
Três coroas	49285,15	694996,52	346188,68	47977	113.060	5287,000	12919
Triunfo	35159,93	812330,97	3112941,91	295	24.301	0,010	8.604
Tunas	14756,59	16813,79	1460,11	204	4.454	0,014	2.967
Tupanciretã	122325,58	182995,26	18333,13	102	22.904	0,002	4.292
Tupandi	14639,2	19042,5	22027,44	64	3.843	15,867	952
União da Serra	14859,64	8252,1	989,4	135	1.768	0,011	1.428
Vacaria	134514,67	405810,88	91776,18	285	60.484	0,002	3.582
Vale do Sol	63332,28	43137,44	17448,14	334	10.959	0,029	9.639
Vale Real	7917,49	21497,48	9614,45	112	4.971	14,636	644
Vale Verde	19289,9	12952,65	2103,89	98	3.232	0,007	2.288
Vanini	8222,13	9219,56	1340,04	309	2.003	0,015	1.002
Venâncio Aires	134556,32	494576,3	366588,47	841	65.057	0,028	21.985
Vera Cruz	53549,28	133959,12	137917,86	742	22.969	0,317	9.804
Veranópolis	22364,99	166464,18	158638,11	839	24.280	0,010	2.841
Vespasiano Corrêa	13570,76	10211,68	4291,55	177	2.021	0,014	1.594

Vila Flores	11.302,24	16038,89	18735,22	30	3.234	0,017	1.808
Vila Maria	27282,54	24699,83	5431,57	232	4.216	0,112	2.040
Vila Nova do Sul	7528,57	18031,63	10872,94	82	4.300	0,004	2.037
Vista Alegre do Prata	7091,77	6361,08	918,38	128	1.532	0,009	1.082
Vitor Graeff	26356,26	26469,5	2058,02	132	3.136	0,007	1.741
Westfalia	12501,31	14926,38	20897,74	433	2.756	0,026	1.672

ANEXO 2 - PROTOCOLO IDRISI

DADOS SÓCIO-ECONÔMICOS

- 1) Determinar quais parâmetros utilizados:
 - PIB Agrícola
 - PIB Industrial
 - PIB Serviços
 - População Total
 - População Rural
 - Densidade Populacional Total
 - Densidade Populacional Rural
 - Consumo de Energia
- 2) Elaboração de um banco de dados (DATABASE WORKSHOP) dentro do software, com todos os municípios incluídos no estudo, onde cada coluna representa um parâmetro de valor determinado.
- 3) Geração dos mapas iniciais, em formato raster, com os valores de cada parâmetro (CREATE RASTER IMAGE).
- 4) Somatório a jusante dos valores encontrados para cada município.
- 5) Geração de novos mapas em formato raster, com valores a jusante.
- 6) Multiplicação dos mapas pela hidrografia da bacia (OVERLAY).
- 7) Re-escalonar os dados para 0 até 1 (SCALAR).

COBERTURA VEGETAL

- 1) Obtenção dos mapas de satélite LANDSAT 7 da região estudada.
- 2) Reajuste dimensional da imagem para se igualar em tamanho e escala com as anteriores (PROJECT).
- 3) Escolha da banda mais visível para cobertura vegetal (BANDA 3).
- 4) Criação de polígonos (DIGITIZE) de MATA, ÁGUA, AREIA, POLO URBANO, PLANTAÇÕES utilizando paralelamente o Google Earth para confirmação.
- 5) Transformar os polígonos Vector em Raster (RASTERVECTOR).
- 6) Somatório (OVERLAY) das imagens raster dos polígonos e as imagens LANDSAT 7.

- 7) Determinação por HISTOGRAMA de quais valores de pixel determina cada polígono.
- 8) Diminuição do valor de mata, encontrada no histograma, das imagens LANDSAT 7 (IMAGE CALCULATOR).
- 9) Transformar os números negativos em positivos (TRANSFORM – ABSOLUTE)
- 10) Binarizar (RECLASS) a imagem resultante onde:
 - > 0,1 = 1 (mata)
 - < 0,1 = 0 (outros)
- 11) Somatório de todos os quadrantes (OVERLAY).
- 12) Soma entre as imagens de mata binarizada do total da bacia e a hidrografia (OVERLAY).
- 13) Reclassificar a imagem onde tudo que é 2 vire 1.
- 14) Produto entre a imagem anterior e o mapa do modelo numérico do terreno (MNT) (OVERLAY).
 - 1) Reclassificar a imagem onde tudo que é 0 passe para 2000.
 - 2) Usar a função RUNOFF na imagem.
 - 3) Reclassificar a imagem resultante onde tudo que é 1 passe a ser 0 (RECLASS).

HETEROGENEIDADE ALTITUDINAL

- 1) Produto da imagem de hidrografia pela imagem MNT (OVERLAY).
- 2) Reclassificar a imagem, onde tudo que é 0 vai para 2000 (RECLASS).
- 3) Usar a função RUNOFF na imagem.
- 4) Reclassificar a imagem, onde tudo que é 1 vai para 0.
- 5) Multiplicar a imagem resultante com a imagem de hidrografia (OVERLAY).
- 6) Fazer o inverso da hidrografia (IMAGE CALCULATOR: maior valor - hidrografia)
- 7) Fazer o inverso da imagem do passo 5 (IMAGE CALCULATOR: maior valor – imagem)
- 8) Produto entre as imagens resultantes do passo 6 e 7 (OVERLAY).
- 9) Soma da imagem resultante com a imagem de hidrografia original (OVERLAY)

BARRAMENTOS

- 1) Coleta de dados e coordenadas geográficas das Usinas Hidrelétricas e Pequenas Centrais Hidrelétricas em operação e as inventariadas.

- 2) Marcação dos pontos em suas respectivas coordenadas geográficas, representando cada barramento na imagem da hidrografia original.

BARRAMENTOS À JUSANTE

- 1) Utilizar o recurso PATHWAY, onde:

MATRIZ DE CUSTO = Imagem da Heterogeneidade altitudinal do passo 7.

TARGET = Imagem com todos os pontos de barramentos

BARRAMENTOS À MONTANTE

- 1) Criação de polígonos para contagem das barragens das extremidades até a última a montante (DIGITIZE).
- 2) Binarizar cada polígono.
- 3) Multiplicar o primeiro polígono criado com a imagem de todos os pontos junto com a hidrografia para a retirada dos barramentos das extremidades.
- 4) Rodar a função PATHWAY na imagem resultante e guardar a imagem. Repetir esses dois passos até que todos os polígonos criados tenham passado pelo PATHWAY.
- 5) Somar todas as imagens resultantes dos PATHWAYS, para obter a imagem final (OVERLAY).

EQUACÃO

$$IA = (1-PD) \cdot (1-PP) \cdot (1-PG) \cdot [(PAL + PAA + PSL + PSA + PIL + PIA/6) + (PTL + PTA + PRL + PRA + DPTL + DPTA + DPRL + DPRA/8) + (CEL + CEA/2) + BM + BJ + (2 \cdot HÁ) - (2 \cdot VR)]$$