



**MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE**  
**INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA**  
**BIODIVERSIDADE – ICMBIO**  
**DIRETORIA DE PESQUISA, AVALIAÇÃO E MONITORAMENTO DA**  
**BIODIVERSIDADE**  
**COORDENAÇÃO GERAL DE ESPÉCIES AMEAÇADAS**  
**COORDENAÇÃO DE AVALIAÇÃO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO**  
**DA BIODIVERSIDADE**

## INFORMAÇÃO TÉCNICA

**Metodologia utilizada na confecção do mapa de Áreas Sensíveis de espécies aquáticas ameaçadas de extinção por empreendimentos hidrelétricos da bacia do Baixo Iguaçu.**

Brasília/DF, 20 de dezembro de 2016.

### **1. Introdução e Área de Estudo**

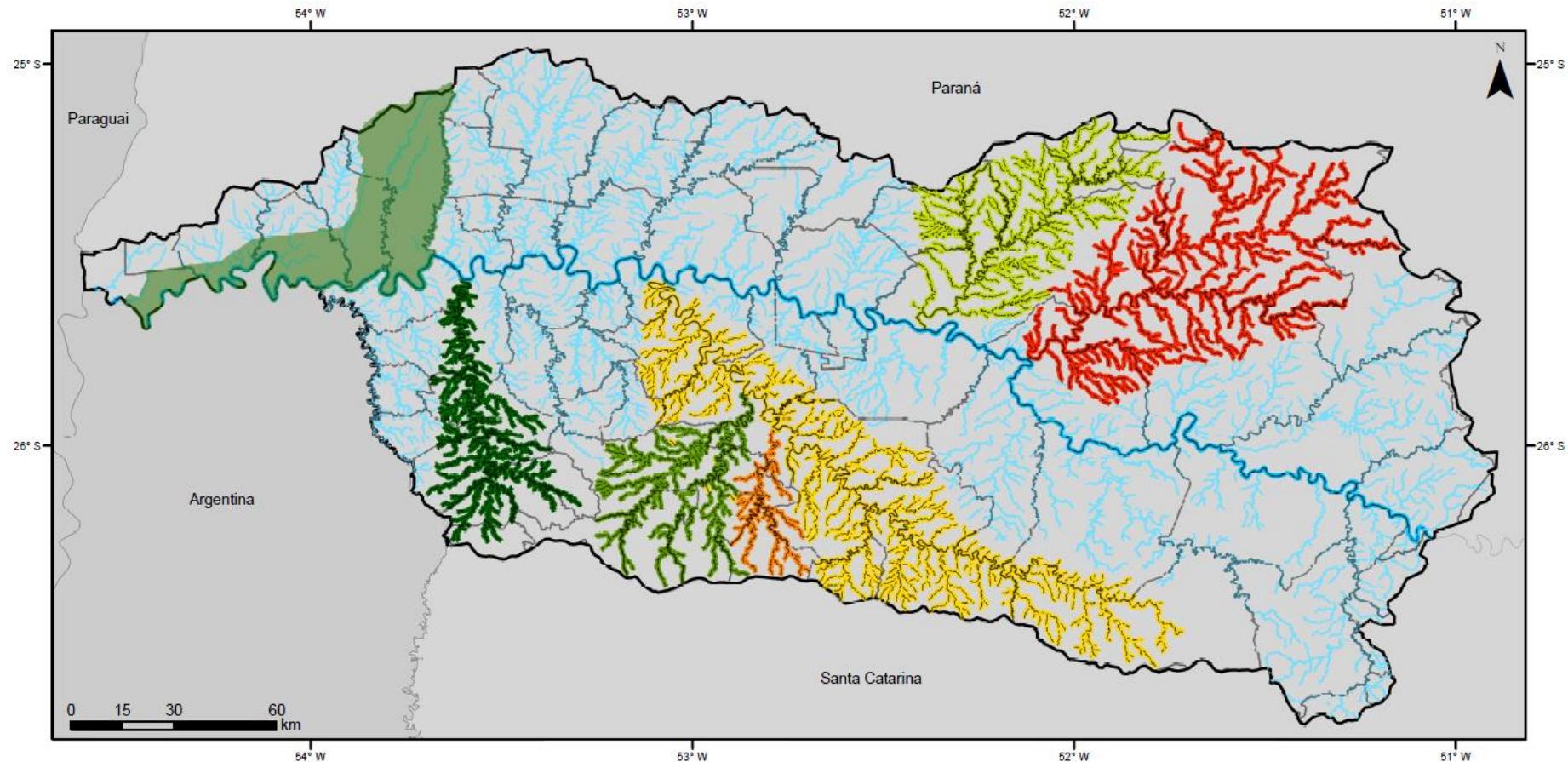
Durante a execução do Plano de Ação Nacional para a Conservação da Fauna Aquática e Semi-aquática Bacia do Baixo Iguaçu (PAN Baixo Iguaçu) foi identificada a demanda de um planejamento ambiental diante das ameaças provocadas pela exploração hidrelétrica na região e de seus impactos sobre espécies aquáticas. Tal demanda motivou a ação 4.1 “*Identificar e caracterizar áreas relevantes para preservação das espécies contempladas no PAN*” sob a articulação desta Coordenação. Portanto, o presente documento apresenta a metodologia utilizada para o zoneamento hierárquico de áreas sensíveis da biodiversidade aquática ameaçada na região do PAN Baixo Iguaçu.

O limite geográfico do PAN Baixo Iguaçu foi definido por meio das características geológicas da bacia do rio Iguaçu que se divide em três grandes planaltos que formam três unidades biogeográficas para Ictiofauna (Baumgartner et al., 2012). O platô mais próximo à foz do rio Iguaçu define a área do PAN, abrangendo as bacias do Baixo Iguaçu e metade do Médio Iguaçu, o que corresponde de leste a oeste do município de União da Vitória – PR até o município de Foz do Iguaçu – PR. A área compreende vários tributários do rio Iguaçu com empreendimentos hidrelétricos já existentes ou previsto, em especial os rios: Jordão, Cavernoso, Guaraní, Capanema, Chopim, Santana, Vitorino (Figura 1).

### **2. Metodologia do estudo de Áreas sensíveis do PAN Baixo Iguaçu.**

#### **2.1 Definição das espécies alvos de conservação.**

Neste zoneamento a área de abrangência do PAN foi dividida em unidades de planejamentos e hierarquizada de acordo com o valor biológico derivado dos alvos de conservação, da condição da paisagem, da conectividade do sistema hídrico e do potencial hidrelétrico futuro. Visou, desta forma, compatibilizar a conservação das espécies e a exploração hidrelétrica, como uma alternativa planejada de geração energética atenta aos custos incididos sobre a biodiversidade. Para isso, espécies sensíveis a empreendimentos hidrelétricos foram definidas na oficina do PAN e suas particularidades biológicas foram elencadas a partir de artigos científicos publicados e respectivas fichas de avaliação do estado de conservação. O PAN Baixo Iguaçu contempla 22 espécies, sendo 11 espécies alvos de peixes e 11 espécies beneficiadas aquáticas e semi-aquáticas. Ressalta-se, porém, que no zoneamento foram utilizadas todas as espécies alvos do PAN e a *Austrolebias carvalhoi*, uma espécie beneficiada de Rivulídeo (Tabela 1).



### Legenda

- |               |                      |
|---------------|----------------------|
| Rio Iguaçu    | Rio Chopim           |
| Rio Capanema  | Rio Vitorino         |
| Rio Santana   | Rio Jordão           |
| Rio Cavernoso | Demais rios da bacia |

- |                     |                     |
|---------------------|---------------------|
| [Divisão municipal] | Divisões municipais |
| [Divisão estadual]  | Divisões estaduais  |
| [Divisão nacional]  | Divisões nacionais  |

- |                   |                          |
|-------------------|--------------------------|
| [Parque Nacional] | PARNA do Iguaçu          |
| [Área do PAN]     | Área do PAN Baixo Iguaçu |



Sistema de Coordenadas Geográficas  
Datum: Sirgas 2000  
Fonte: ICMBio, IBGE, IAP  
Setembro de 2016

Figura 1. Área do Plano de Ação Nacional para a Conservação da Fauna Aquática e Semi-aquática Bacia do Baixo Iguaçu (PAN Baixo Iguaçu), com destaque aos principais rios tributários com seus potenciais de geração energia inventariados ou explorado e, os limites do Parque Nacional do Iguaçu.

Tabela 1. Espécies alvos e beneficiada do PAN Baixo Iguaçu presentes no zoneamento hierárquico das áreas sensíveis da bacia do Baixo Iguaçu, estado de conservação (Portaria MMA 445/2014) e desempenho dos modelos de distribuição potencial (AUC – *Area under the curve*).

Espécie	Estados de ameaça de extinção	AUC
<i>Astyanax gymnogenys</i>	Em perigo (EN)	0,97
<i>Astyanax jordanensis</i>	Vulnerável (VU)	0,99
<i>Austrolebias carvalhoi</i>	Criticamente em perigo (CR)	*NA
<i>Cnesterodon carnegiei</i>	Vulnerável (VU)	0,98
<i>Cnesterodon omorgmatus</i>	Em perigo (EN)	*NA
<i>Gymnogeophagus setequetas</i>	Em perigo (EN)	0,98
<i>Jenynsia diphyes</i>	Em perigo (EN)	0,99
<i>Steindachneridion melanodermatum</i>	Em perigo (EN)	0,97
<i>Trichomycterus crassicaudatus</i>	Em perigo (EN)	0,96
<i>Trichomycterus igobi</i>	Em perigo (EN)	0,96
<i>Trichomycterus mboyicy</i>	Em perigo (EN)	*NA
<i>Trichomycterus papilliferus</i>	Em perigo (EN)	0,98

\*NA se refere às espécies sem registros suficientes para o uso de modelos.

## 2.2. Modelagem de distribuição potencial das espécies alvos de conservação.

Para cada espécie alvo foram compilados registros de ocorrências de diversas fontes (coleções biológicas, bases de dados on-line e da literatura científica) para identificar a melhor forma de representação da distribuição espacial. Todos os registros geográficos foram validados por pesquisadores especialistas quanto à coerência das coordenadas geográficas e questões taxonômicas. Os dados disponíveis permitiram o uso da modelagem de distribuição potencial para estimar a distribuição das espécies (Guisan e Zimmermann, 2000). Para isso, foram selecionadas variáveis ambientais (dados matriciais – rasters com 1 km de resolução) que representassem os principais componentes do nicho ambiental das espécies (Tabela 2). Todas as informações foram manuseadas utilizando programas e técnicas usuais de geoprocessamento para padronizar os dados quanto ao datum, resolução e extensão.

Tabela 2. Variáveis ambientais e tipo de dados utilizados para construção dos modelos de distribuição potencial das espécies alvo com suas respectivas fontes.

Variável ambiental	Tipo de dados	Fonte
Altitude	Quantitativo	AMBData <sup>1</sup>
Declividade	Quantitativo	AMBData <sup>1</sup>
Porcentagem de vegetação arbórea	Quantitativo	AMBData <sup>1</sup>
Posicionamento da vertente	Quantitativo	AMBData <sup>1</sup>
Conectividade dos rios	Quantitativo	HydroShed <sup>2</sup>
Densidade de drenagem	Quantitativo	HydroShed <sup>2</sup>
Direção de fluxo de água	Quantitativo	HydroShed <sup>2</sup>
Fluxo de água acumulado	Quantitativo	HydroShed <sup>2</sup>
Hidrogeologia	Qualitativo	IBGE <sup>3</sup>
Tipo de vegetação	Qualitativo	IBGE <sup>3</sup>
Precipitação média anual	Quantitativo	WorldClim <sup>4</sup>
Temperatura média anual	Quantitativo	WorldClim <sup>4</sup>

<sup>1</sup> - [www.dpi.inpe.br/Ambdata/](http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/); <sup>2</sup> - [hydrosheds.cr.usgs.gov/index.php](http://hydrosheds.cr.usgs.gov/index.php); <sup>3</sup> - [downloads.ibge.gov.br/downloads\\_geociencias.htm](http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm); <sup>4</sup> - [www.worldclim.org/](http://www.worldclim.org/)

(Todos os dados coletados em julho 2016)

Com as informações espaciais e variáveis ambientais validadas, foram construídos modelos de distribuição potencial das espécies utilizando o algoritmo de máxima entropia (MAXENT, Phillips et al., 2011), implementados pelo pacote *dismo* no programa estatístico R (Hijmans et al., 2016). Para avaliar o desempenho matemático dos modelos produzidos, foi utilizado o método de mineração de dados (*data mining*) de validação cruzada com permutações (*5 fold cross-validation* com *Jackknife*) e o indicador *Area under the curve – AUC* (Hijmans, 2012). Todos os modelos apresentaram bom suporte matemático (Tabela 1). Contudo, os mesmos são incapazes de identificar barreiras naturais à dispersão de espécies e interações ecológicas entre espécies. Tal fato exigiu que os modelos fossem validados novamente por especialistas com experiência de campo na área de estudo para reduzir os erros de extração da área de ocorrência das espécies (Krueger et al., 2012). A validação ocorreu em uma plenária de pesquisadores, em que as áreas identificadas como extrações da distribuição real das espécies foram retiradas da análise, o que resultou no mapa de distribuição das espécies na área do PAN. Para três espécies não havia registros geográficos suficientes para construção de modelos de distribuição potencial (Tabela 1), para estas, considerou-se a ocorrência da espécie em toda célula do raster (1 km<sup>2</sup>) que possuísse registro de campo.

### 2.3. Planejamento sistemático da conservação do PAN Baixo Iguaçu.

Os mapas de ocorrência das espécies foram sobrepostos construindo uma superfície de riqueza de espécies que destacou três áreas: rio Jordão e uma região próxima à foz do rio Iguaçu como as áreas de maior riqueza, e a área do rio Chopin como área de menor conhecimento e potencial destaque de riqueza de espécies alvo. Dado que a métrica “riqueza de espécie” não é considerada a melhor para planejar a conservação da biodiversidade (Reyers et al., 2000), optou-se por utilizar a complementaridade e a representatividade das espécies na hierarquização das áreas do PAN Baixo Iguaçu, ou seja, seleção de áreas sensíveis que possuíssem amostras de todos os alvos de conservação e de maneira complementar ao que já está representado nas unidades de conservação da área de estudo.

O programa computacional Zonation (versão 4) foi empregado para localizar áreas de concentração de características biológicas insubstituíveis aplicando a regra de remoção *Basic core area Zonation* (Lehtomäki e Moilanen, 2013). Esta abordagem busca hierarquizar a paisagem se valendo de informações espaciais que aumentam a priorização (informações sobre a ocorrência e biologia dos alvos de conservação, e integridade da paisagem) e outras que reduzem a priorização (informações sobre paisagens já degradadas pela atividade humana). A área do PAN Baixo Iguaçu foi zoneada por unidades de planejamento delimitadas por ottobacias nível seis (Pfafstetter, 1987). A análise foi executada de forma a maximizar a complementaridade biológica entre as unidades (ottobacias). Os dados utilizados para realizar a análise de priorização foram convertidos do formato vetorial em raster para utilização do software (Tabela 3)

Tabela 3. Dados espaciais utilizados na análise de priorização e suas especificações.

Dados espaciais	Surrogates	Sistema de projeção	Formato	Fonte
Uso e cobertura do solo	Áreas Urbanas	SIRGAS 2000	Vetorial	IBGE <sup>1</sup>
	Áreas de agropecuária	SIRGAS 2000	Vetorial	IBGE <sup>1</sup>
Empreendimentos para a geração de energia elétrica	Número de barramentos	SIRGAS 2000	Vetorial	ANEEL <sup>2</sup>
	Reservatórios implantados	SIRGAS 2000	Vetorial	ANEEL <sup>2</sup>

1 - [downloads.ibge.gov.br/downloads\\_geociencias.htm](http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm); 2 - <http://sigel.aneel.gov.br/sigel.html> .(Todos os dados coletados em: julho 2016)

Para as espécies se atribuiu diferentes necessidades de conservação por meio de um somatório de pesos de acordo com: (1) categoria de ameaça de extinção (Portaria MMA 445/2014); (2) endemismo à área do PAN Baixo Iguaçu; (3) capacidade de migração; e (4) proporção da distribuição total já presente em unidades de conservação e terra indígenas.

Além das espécies, as oito fitofisionomias da Mata Atlântica (IBGE) presentes na área de estudo foram consideradas como alvos de conservação. Essa abordagem é uma aproximação da biodiversidade local não contemplada na análise, buscando garantir que outras espécies não incluídas no estudo fossem beneficiadas indiretamente. As fitofisionomias foram: Estepe, Estepe Gramíneo-Lenhosa, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Estacional Semidecidual Montana, Floresta Estacional Semidecidual Submontana, Floresta Ombrófila Mista, Floresta Ombrófila Mista Alto-Montana, e Floresta Ombrófila Mista Montana.

As fichas de avaliação do estado de conservação das espécies foram consultadas para determinar quais as ameaças mais impactantes e a sensibilidade a cada espécie alvo. Destacaram-se como as principais ameaças: assoreamento de rios, introdução de espécies exóticas invasoras, desmatamento, poluição por esgoto, poluição por agrotóxico, construção de empreendimentos hidrelétricos. A partir desse levantamento inicial, foram determinadas quatro variáveis antrópicas espacialmente explícitas que atuassem como *surrogates* de tais ameaças (Tabela 3). Com estas informações foi possível construir diferentes camadas de condição da paisagem que representassem a tolerância de cada espécie às diferentes pressões antrópicas. Adicionalmente, foi calculado a proporção de remanescentes de vegetação nativa existente por célula de raster, e o comprimento de rio existente entre os diferentes barramentos. Estes dois últimos arquivos espaciais foram considerados condições da paisagem que propiciam a permanência das espécies na área de estudo, de acordo com as necessidades ecológicas elencadas para cada alvo de conservação. Assim, foi feita uma média ponderada destas diferentes camadas, definindo um raster de condição da paisagem para cada espécie, o qual é multiplicado pela distribuição original de cada espécie, corrigindo a importância de cada célula para a espécie de acordo com a deterioração do habitat na mesma.

Um barramento pode causar diferente respostas a montante e a jusante de acordo com as demandas ecológicas de habitat e a capacidade de migração das espécies. A conectividade linear dos rios (*Neighborhood Quality Penalty* – NQP) permite atribuir diferentes respostas das espécies ao surgimento de uma quebra da conectividade (Moilanen et al., 2008). Nesse sentido são esperados maiores impactos a montante para espécies dependentes de uma maior integridade do habitat, principalmente associadas aos ambientes de cabeceira e lóticos. Já para espécies mais tolerantes à degradação de habitat, espera-se que os efeitos da fragmentação sejam menos severos a montante. A jusante é esperado um maior efeito negativo para migradores de longas distâncias, uma vez que os barramentos limitam os movimentos naturais entre populações. Não obstante, espécies sedentárias serão menos afetadas por esses impactos, visto que seus indivíduos se deslocam pouco. Ao definir as respostas das espécies alvos, estas foram classificadas de acordo com três curvas resposta para a jusante do barramento (sedentários, migradores de pequenas distâncias e migradores de grandes distâncias) e a montante (1 – muito tolerantes à degradação de habitat: exclusivos de corpos hídricos amplos, profundos e de baixa correnteza; 2 – tolerantes à degradação de habitat: habitantes de corpos hídricos amplos, profundos e de grande correnteza ou corpos hídricos estreitos, rasos e de baixa correnteza; 3 – pouco tolerantes à degradação de habitat: restritos à corpos hídricos estreitos, rasos e de grande correnteza). Essas informações foram obtidas nas fichas de avaliação do estado de conservação das espécies ou na literatura científica, na ausência de informações foram utilizadas aproximações disponíveis para congêneres (Lucas et al., 2001; Agostinho et al., 2003; Carolsfeld, 2003; Baumgartner et al., 2012).

Com as informações acima, a área do PAN foi hierarquizada em unidades de planejamentos (ottobacias nível seis) de acordo com as espécies alvos (distribuição potencial das espécies) e suas particularidades biológicas, sendo sempre considerada a conectividade linear dos cursos de água, as condições da paisagem que favorecem e prejudicam a manutenção das espécies no ambiente, além das fitofisionomias (IBGE) e do potencial futuro de aproveitamento hidrelétrico. Ao final, foi obtido como resultado um gradiente de áreas sensíveis agrupados em cinco categorias: áreas extremamente sensíveis (17% das áreas com maior valor biológico); áreas altamente sensíveis (áreas com valor biológico entre 18% até

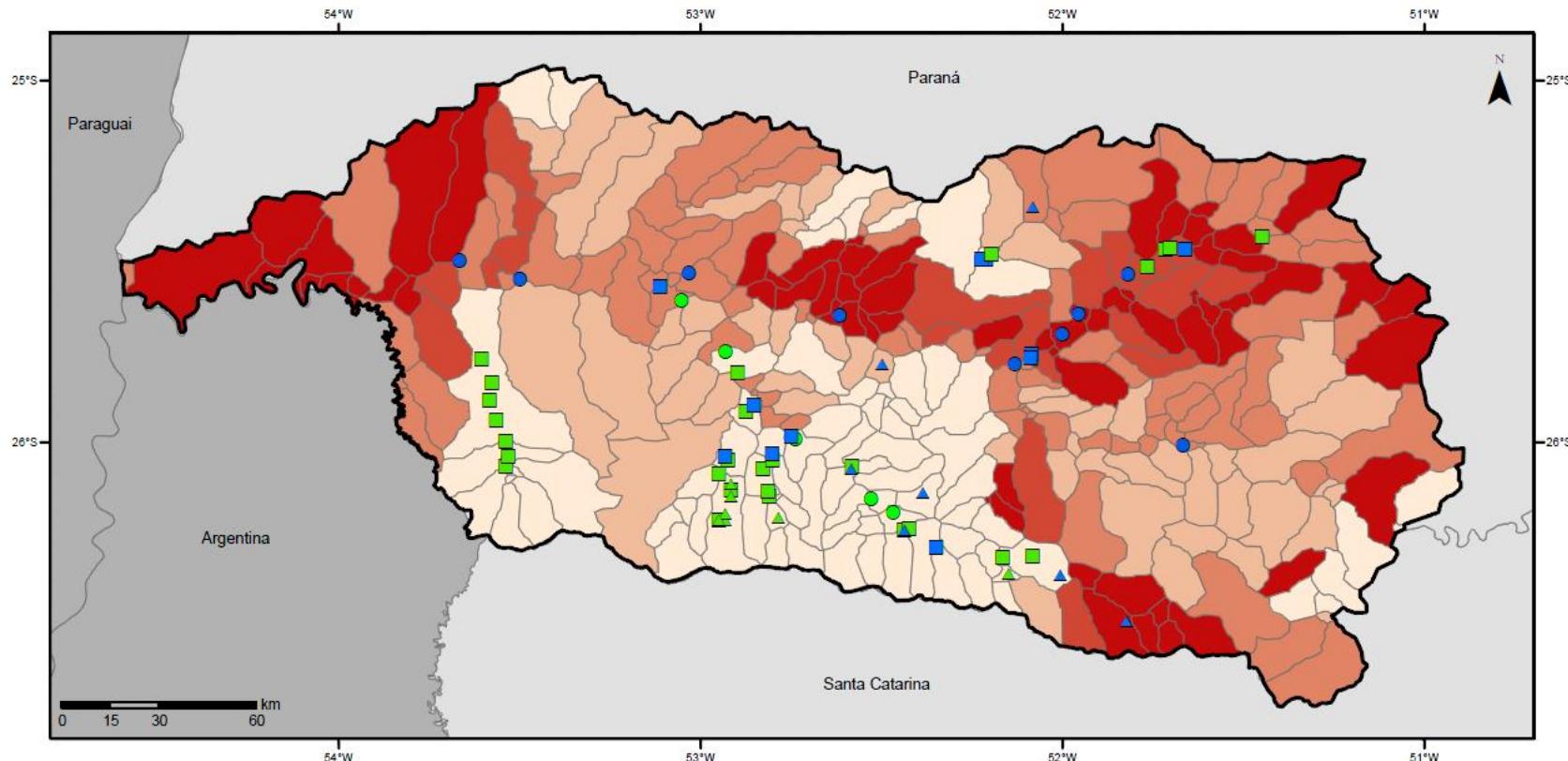
25% mais relevantes); áreas muito sensíveis (áreas com valor biológico entre 26% até 50% mais relevantes); áreas sensíveis (áreas com valor biológico entre 50% até 75% mais relevantes); áreas menos preocupantes (áreas com valor biológico de 76% até a área de menor valor biológico).

### 3. Resultados

O gradiente de sensibilidade da biodiversidade a empreendimento hidrelétricos do PAN Baixo Iguaçu indicou desde áreas biologicamente insubstituíveis até áreas menos preocupantes para conservação (Figura 2). Duas grandes regiões de maior sensibilidade (áreas extremamente sensíveis) se destacaram como foco do investimento de esforços em conservação, uma a oeste, próxima a foz do Rio Iguaçu, e outra região na parte centro-leste da área de estudo, abrangendo desde as nascentes do Rio Jordão até a foz (Figura 2). Na primeira região há registro de ocorrência das espécies *Astyanax gymnogenys*, *Gymnogeophagus setequedas*, *Steindachneridion melanodermatum*, enquanto que a segunda área há registro de ocorrência das espécies *Trichomycterus papilliferus*, *Trichomycterus mboyicy*, *Trichomycterus igobi*, *Trichomycterus crassicaudatus*, *Steindachneridion melanodermatum*, *Jenynsia diphyes*, *Cnesterodon carnegiei*, *Astyanax jordanensis*, *Astyanax gymnogenys*. Complementar a essas áreas se observou outras regiões de maior destaque que contemplam a sudeste a espécie *Austrolebias carvalhoi* e, mais ao sul a espécie *Cnesterodon orgmatus*.

As áreas extremamente sensíveis contemplam ao menos parte da distribuição de todos os alvos de conservação (espécies e fitofisionomias) indicando aparentemente nenhuma perda líquida de biodiversidade. Esse padrão se justifica porque a maioria das espécies alvos apresenta distribuição restrita e uma grande sobreposição de ocorrência. No entanto, ressalta-se que essa concentração de espécies não exclui a necessidade das demais áreas sensíveis que desempenham papel essencial para a manutenção da conectividade entre as populações das espécies alvo.

Dentre os **empreendimentos hidrelétricos existentes** – em fase de operação ou instalação (Figura 2) – foi encontrada grande sobreposição daqueles que geram maior produção energética com as áreas sensíveis a empreendimentos hidrelétricos (Tabela 3), em que o somatório da energia gerada em áreas menos preocupantes (67 MW) é notadamente inferior a energia gerada em áreas sensíveis (7.352,24 MW). Quando observado os **empreendimentos futuros** – planejados e potências – há uma inversão de magnitude, com maior potencial de geração de energia em áreas menos preocupante (458,36 MW) e menor potencial para áreas sensíveis (85,7 MW). Esses resultados sugerem maiores possibilidades de conciliação na exploração hidrelétrica futura em comparação aos empreendimentos já existentes, uma vez que os maiores conflitos entre geração de energia hidrelétrica e os alvos de conservação já ocorreram, em alguns casos em áreas extremamente sensíveis. Isso indica a necessidade de priorizar esforços para mitigação de impactos nessas áreas já exploradas para garantir a manutenção das espécies originalmente presentes.



### Legenda

#### Hierarquização da sensibilidade

- Área extremamente sensível (0 a 17% dos remanescentes)
- Área altamente sensível (17% a 25% dos remanescentes)
- Área muito sensível (25% a 50% dos remanescentes)
- Área sensível (50% a 75% dos remanescentes)
- Área menos preocupante (75% a 100% dos remanescentes)

#### Empreendimentos hidrelétricos

- | CGH                       | PCH                       | UHE                       |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| ▲ Operação e instalação   | ■ Operação e instalação   | ● Operação e instalação   |
| ▲ Planajedos e potenciais | ■ Planejados e potenciais | ● Planejados e potenciais |

#### Divisas

- Nacionais
- Estaduais



Sistema de Coordenadas Geográficas  
Datum: SIRGAS 2000  
Fonte: ICMBio, IBGE e ANEEL  
Setembro de 2016

Figura 2. Hierarquização da sensibilidade de áreas a empreendimentos hidrelétricos na área do PAN Baixo Iguaçu em ordem decrescente de valor biológico por unidade de planejamento (ottobacia nível 6). Com a diferenciação dos empreendimentos já existentes (operação e instalação) dos futuros(planejados ou potenciais).

Tabela 3. Número de empreendimentos hidrelétricos e a produção energética (MW - megawatts) que coincidem com as categorias de sensibilidade encontrada. A informação foi organizada por categoria de empreendimento (UHE, PCH e CGH) e para as fases: empreendimentos existentes (em fases de operação ou instalação) e futuros (com potencial energético mapeado ou em fase de planejamento).

Categorias de sensibilidade	UHE <sup>1</sup>		PCH <sup>2</sup>		CGH <sup>3</sup>	
	Existentes(MW)	Futuras(MW)	Existentes(MW)	Futuras(MW)	Existentes(MW)	Futuras(MW)
Área menos preocupante	0 (0,00)	4 (218,03)	7 (64,16)	23 (234,84)	4 (2,84)	7 (5,52)
Área sensível	0 (0,00)	1 (67,00)	0 (0,00)	0 (0,00)	1 (0,32)	0 (0,00)
Área muito sensível	3 (3994)	0 (0,00)	1 (29,07)	2 (6,00)	1 (0,32)	0 (0,00)
Área altamente sensível	2 (1297,04)	0 (0,00)	1 (9,20)	3 (12,70)	0 (0,00)	0 (0,00)
Área extremamente sensível	4 (2010,2)	0 (0,00)	2 (11,70)	0 (0,00)	1 (0,39)	0 (0,00)

1 - Usina Hidrelétrica de Energia (UHE, com mais de 30 MW de potência instalada); 2 - Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH, entre 1,1 MW e 30 MW de potência instalada); 3 - Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH, com até 1 MW de potência instalada).

É possível pressupor que a grande sobreposição de empreendimentos já existentes com áreas sensíveis seja oriunda de um viés amostral associado aos monitoramentos realizados pelas concessionárias, caracterizado como um esforço sistemático de estudos de campo nas áreas dos reservatórios, fato que não ocorre da mesma forma nas demais ottobacias. Contudo, o uso dos modelos de distribuição validados por especialistas com experiência de campo na área do PAN Baixo Iguaçu auxilia a refutar essa possibilidade.

A melhor solução de hierarquização também permite avaliar o decaimento médio dos alvos de conservação conforme a paisagem é perdida por uso humano (Figura 3), o que abre uma variedade de possibilidades de negociação entre os setores envolvidos com diferentes cenários respaldado pelos resultados obtidos, como os cinco cenários de uso de recursos propostos nas curvas de desempenho dos alvos de conservação (Figura 3, Tabela 4). Por exemplo, o Cenário 1 indica que o uso de 26% da paisagem não há uma perda média expressiva de alvos de conservação (9,7%), com impactos detectados apenas nas espécies *Astyanax gymnogenys* e *Steindachneridion melanodermatum*. A partir deste cenário, o uso da paisagem gera grandes perdas conservação de média dos alvos, representado pelos declínios acentuados das curvas. Ainda, a solução obtida também indica que grande parte do potencial futuro de geração de energia hidrelétrica (99%) também é explorada com a perda dos 26% da paisagem.

Tabela 4. Representação numérica dos cinco cenários de negociação entre o setor elétrico e o meio ambiente (Figura 3). Apresentando os valores em proporção e porcentagem dos eixos apresentados.

Cenário	Proporção do potencial hidrelétrico futuro explorado	Proporção de paisagem perdida	Espécies aquáticas e fitofisionomias		
			Alvo de menor representação	Representação média dos alvos	Alvo de maior representação
1	0.0103 (99%)	0.2606 (26%)	0.39964 (99.9%)	0.71424 (90,3%)	1 (100%)
2	0.1012 (90%)	0.2478 (25%)	0.39964 (99.9%)	0.71633 (90,5%)	1 (100%)
3	0.2507 (75%)	0.1728 (17%)	0.39964 (99.9%)	0.72571 (91,7%)	1 (100%)
4	0.3469 (65%)	0.1254 (12%)	0.39964 (99.9%)	0.73341 (92,7%)	1 (100%)
5	0.4179 (58%)	0.0464 (4%)	0.3997 (99.9%)	0.74635 (94,3)	1 (100%)

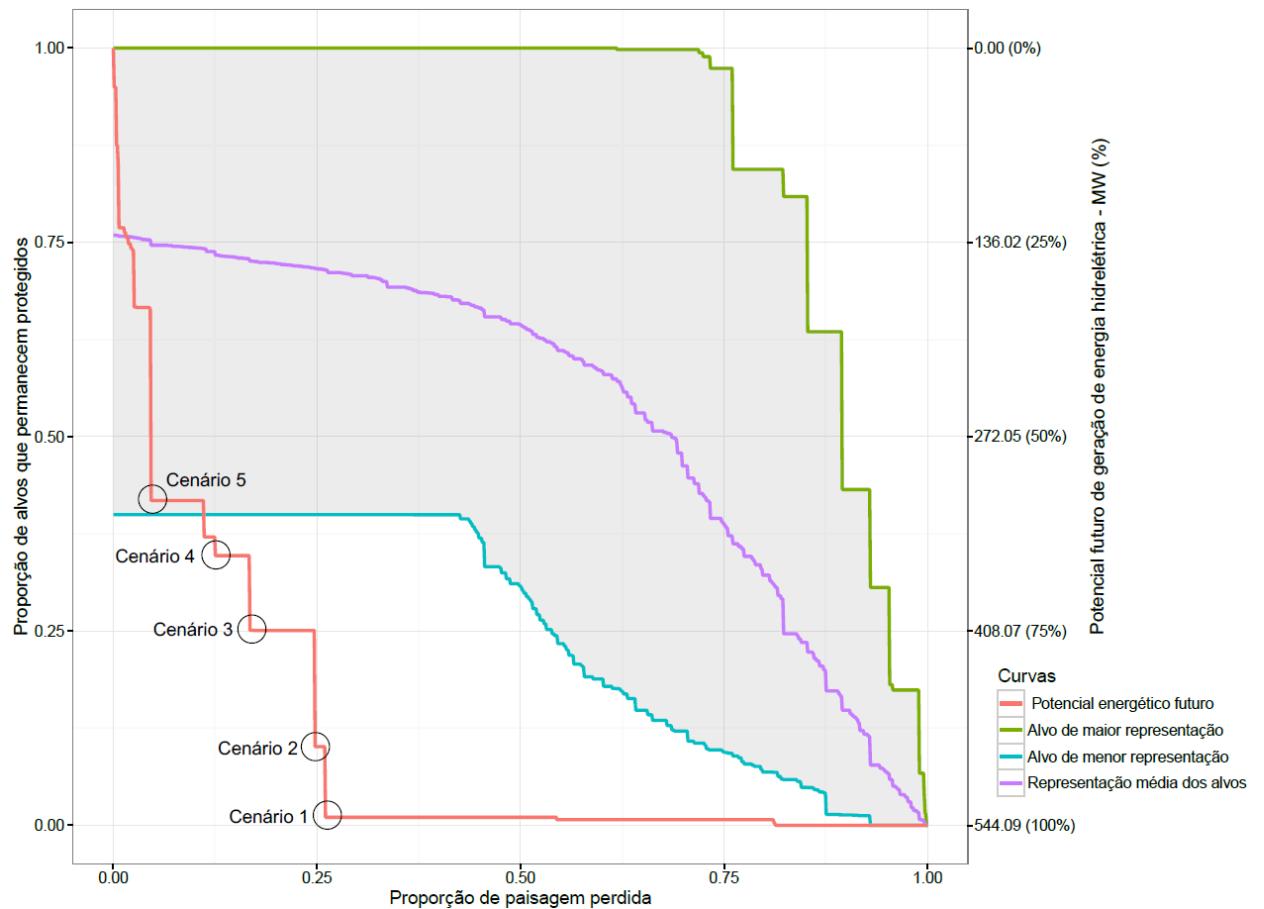


Figura 3. Curvas de desempenho dos alvos de conservação (espécies aquáticas ameaçadas e fitofisionomias) e a exploração do potencial energético futuro de acordo com a melhor solução encontrada. Apresentando cinco possíveis cenários de negociação.

Outro aspecto relevante dos resultados é a definição do rio Chopim como área de menor preocupação, uma vez que foi considerada na reunião de planejamento do PAN Iguaçu como um rio que necessitava de maiores investigações para avaliar a presença dos alvos de conservação. Essa solução foi obtida porque os alvos presentes no rio Chopim foram contemplados em outras unidades de planejamento de maior sensibilidade, de forma que o uso daquelas áreas não resulta em uma perda líquida de biodiversidade na área do PAN. Somado a isso, o rio Chopim possui um grande potencial de produção energética para ser explorado, caracterizando-o como uma área de forte interesse do setor elétrico e com baixo interesse para conservação. Por outro lado, ressalta-se a necessidade de maior conhecimento desta região do rio Chopim para melhor avaliar a importância biológica desta área.

A inferência para rio Chopim pode ser mais clara nos resultados da análise quadrática (Figura 4), que apresentam uma relação de custo-benefício entre a exploração energética da unidade de planejamento e seu valor para conservação associado, indicando quais unidades de planejamento potencialmente gerarão maior energia com menores custos ambientais associados (ex. rio Chopim) e quais deveriam ser evitadas para uso em razão do grande valor biológico e da baixa geração de energia associado à bacia (ex. rio Jordão). Assim, expõem de forma quantitativa e objetiva os potenciais conflitos e oportunidades do uso de recursos e a conservação do meio ambiente, contribuindo para um melhor planejamento nacional.

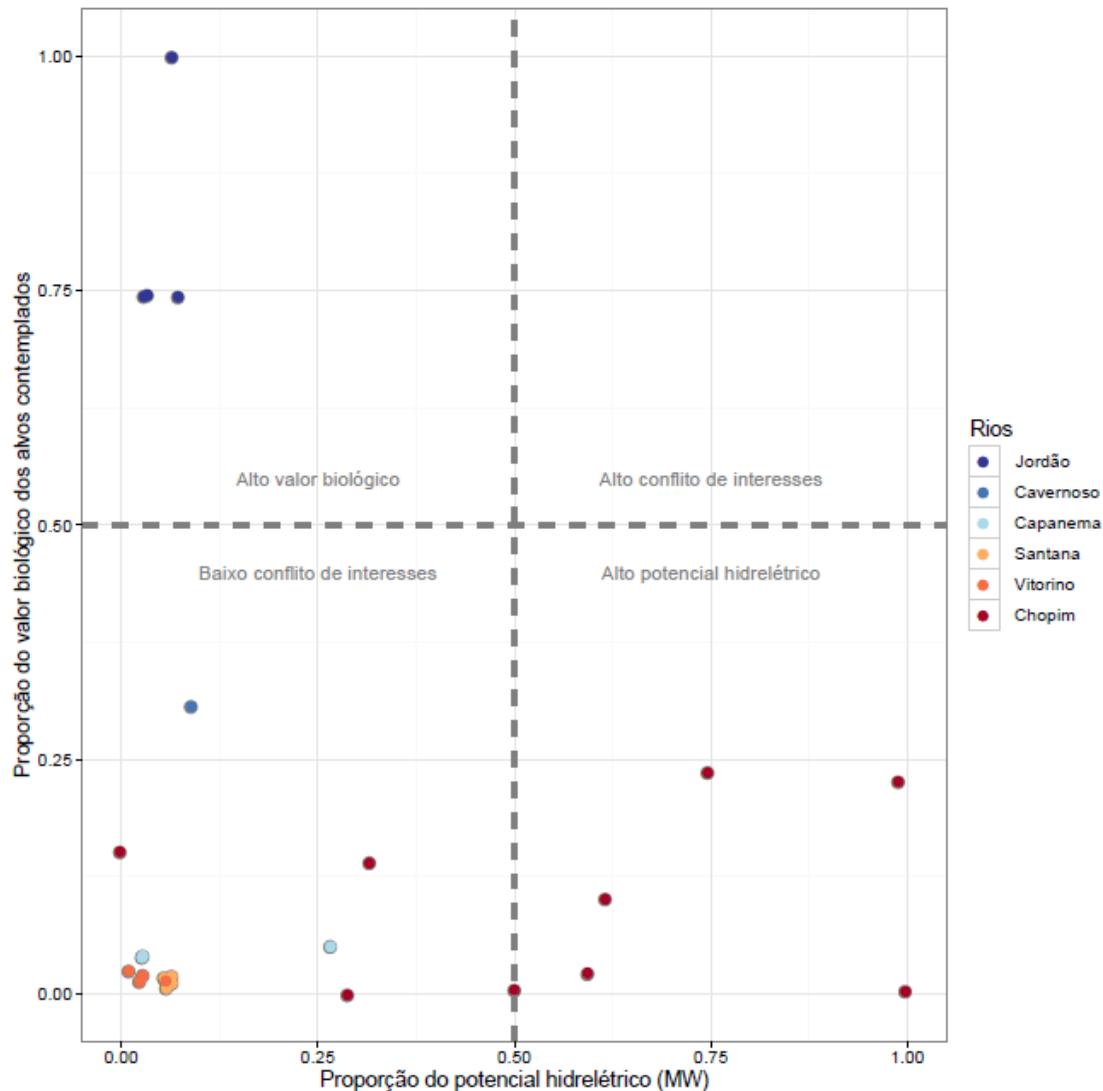


Figura 4. Análise de quadrante ilustrando a relação custo-benefício da proporção do valor biológico associado à proporção da exploração do potencial hidrelétrico de novos empreendimentos planejados ou potenciais agrupados pelas unidades de planejamento (ottobacias nível seis), separados por sub bacias do rio Iguaçu.

#### 4. Conclusão

Diante do conflito entre a geração de energia hidrelétrica e a conservação da biodiversidade, em especial as espécies ameaçadas de extinção, foi evidenciado a necessidade de um zoneamento ambiental na bacia do Baixo Iguaçu. O presente trabalho “Áreas Sensíveis de Espécies Aquáticas Ameaçadas de Extinção por Empreendimentos Hidrelétricos da Bacia do Baixo Iguaçu” apresentou uma solução de zoneamento hierárquico de alvos de biodiversidade espacialmente explícita que permite uma série de possíveis cenários de negociação entre os setores envolvidos, apresentando de forma transparente e técnica os conflitos e as oportunidades, com diferentes graus de conciliação da exploração energética e sem perda líquida aparente para os alvos de conservação utilizados.

Os resultados expostos não buscam substituir o rito do licenciamento ambiental nem o planejamento de exploração hidrelétrica, mas auxiliar o planejamento ecológico da região do PAN Baixo Iguaçu frente às ameaças inerentes da implantação e operação desses empreendimentos. Desta forma, os resultados apresentados podem subsidiar as avaliações dos órgãos licenciadores ambientais e fornecer aos órgãos planejadores do setor energético uma camada ambiental objetiva para inserir em seu planejamento. Reitera-se que quanto maior a

sensibilidade de uma área menor seja a sua exploração, recomendando-se que haja uma orientação de esforços conservacionistas para essas regiões. Em casos de inevitável sobreposição de espécies alvos com empreendimentos hidrelétricos, é fortemente desejado que estudos de viabilidade populacional sejam realizados para aferir a compatibilidade, bem como quais as melhores medidas mitigadoras de impactos devem ser aplicadas para compatibilização do uso de recursos naturais e a conservação das espécies.

Este resultado espacial da priorização está disponível, sob demanda, em formato vetorial junto com suas extensões e metadados. Esse arquivo é organizado pelas unidades de planejamento do estudo, indicados o código da ottobacia nível seis da Agência Nacional de Águas – ANA, seguido pelo enquadramento de sensibilidade a empreendimentos hidrelétricos e os alvos presentes.

## **Equipe Técnica envolvida**

Alexandre Bernardes Garcia – Coordenador COABIO

Amanda Galvão - Bolsista CNPq

Guth Berger Falcon Rodrigues - Bolsista CNPq

Lara Gomes Cortes - Analista Ambiental

Mayra Pimenta - Bolsista CNPq

Omolabake Alhambra Arimoro - Bolsista CNPq

Thomas Christensen - Técnico Ambiental

## **Referências Bibliográficas**

- Pfafstetter, Otto. Classificação das bacias. Rio de Janeiro, 1987. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/bibliotecavirtual/ottobacias.asp>>. Acesso em: 20 jul. 2016.
- Guisan, A., & Zimmermann, N. E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological modelling*, 135 (2), 147-186.
- Reyers, B., Van Jaarsveld, A. S., & Krüger, M. (2000). Complementarity as a biodiversity indicator strategy. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 267 (1442), 505-513.
- Lucas, M. C., Baras, E., Thom, T. J., Duncan, A., & Slavík, O. (2001). *Migration of freshwater fishes* (Vol. 47). Oxford: Blackwell Science.
- Agostinho, A. A., Gomes, L. C., Suzuki, H. I., & Júlio Jr, H. F. (2003). Migratory fishes of the upper Paraná River basin, Brazil. *Migratory fishes of South America: biology, fisheries and conservation status*, 19.
- Carolsfeld, J. (2003). *Migratory fishes of South America: biology, fisheries and conservation status*. Idrc.
- Moilanen, A., Leathwick, J., & Elith, J. (2008). A method for spatial freshwater conservation prioritization. *Freshwater Biology*, 53(3), 577-592.
- Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E., & Yates, C. J. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and distributions*, 17(1), 43-57.
- Baumgartner, G., Pavanelli, C. S., Baumgartner, D., Bifi, A. G., Debona, T., & Frana, V. A. (2012). *Peixes do baixo rio Iguaçu*. Editora da Universidade Estadual de Maringá-EDUEM.
- Hijmans, R. J. (2012). Cross-validation of species distribution models: removing spatial sorting bias and calibration with a null model. *Ecology*, 93(3), 679-688.
- Krueger, T., Page, T., Hubacek, K., Smith, L., & Hiscock, K. (2012). The role of expert opinion in environmental modelling. *Environmental Modelling & Software*, 36, 4-18.

- Lehtomäki, J., & Moilanen, A. (2013). Methods and workflow for spatial conservation prioritization using Zonation. *Environmental Modelling & Software*, 47, 128-137.
- Hijmans, R. J., Phillips, S., Leathwick, J., Elith, J., & Hijmans, M. R. J. (2016). Package 'dismo'. *Circles*, 9, 1.
- BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Portaria nº 445 de 17 de Dezembro de 2014. Reconhece como espécies de peixes e invertebrados aquáticos da fauna brasileira ameaçadas de extinção aquelas constantes da "Lista Nacional Oficial de Espécies da Fauna Ameaçadas de Extinção - Peixes e Invertebrados Aquáticos". Disponível em: [http://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Portaria/2014/p\\_mma\\_445\\_2014\\_lista\\_peixes\\_amea%C3%A7ados\\_extin%C3%A7%C3%A3o.pdf](http://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Portaria/2014/p_mma_445_2014_lista_peixes_amea%C3%A7ados_extin%C3%A7%C3%A3o.pdf).