

Conservação da  
Bacia do Tapajós:

---

Uma Visão de  
Sustentabilidade



# Introdução

## Quem somos

A The Nature Conservancy (TNC) é uma organização global de conservação ambiental com a missão de proteger as terras e água das quais a vida depende. Guiados pela ciência, trabalhamos em 72 países e utilizamos uma abordagem colaborativa que envolve comunidades locais, governos, setor privado e outros parceiros. Atuante no Brasil há 30 anos, a TNC desenvolve suas estratégias de conservação nos principais biomas brasileiros, com o objetivo de compatibilizar o desenvolvimento socioeconômico com a conservação dos ecossistemas naturais.

Com sua Estratégia de Infraestrutura, a TNC busca contribuir para que grandes obras de infraestrutura sejam planejadas e avaliadas sob a lógica sequencial da hierarquia da mitigação, evitando, minimizando e compensando os impactos identificados, contribuindo com a tomada de decisão sobre os melhores locais para o desenvolvimento dos projetos, os meios mais adequados ao contexto local e as formas de fomentar investimentos e ações compensatórias para a sociedade e o meio ambiente. O resultado esperado é que os projetos de infraestrutura tenham impacto líquido positivo no capital natural e na sociedade, isto é, que os impactos negativos causados pelos empreendimentos possam ser superados pelos benefícios sociais e ambientais gerados.

## Apresentação

Desde 2011, a TNC vem trabalhando na bacia do Tapajós buscando contribuir no desenvolvimento de modelos operacionais para a infraestrutura, onde o processo de planejamento de grandes obras no território amazônico seja implementado estrategicamente, criando reais oportunidades de desenvolvimento econômico, integrados com a conservação e o bem-estar social.

Neste estudo apresentamos o processo de elaboração do Blueprint Tapajós, ferramenta de planejamento sistemático da conservação, que auxilia a definição de cenários e indicadores sobre o estado de conservação da bacia, com base em informações hidrológicas, biológicas, geomórficas e de uso do solo, sob o ponto de vista dos meios aquático e terrestre. Sendo que nesta iniciativa, buscou-se priorizar nas análises as condições necessárias para manutenção da conectividade dos rios, responsáveis pela manutenção do processo hidrológico regional, demonstrando prioridades de conservação, mitigação e compensação ao longo da bacia.

O Blueprint é apresentado na forma de um mapa (ou planta baixa) no qual é possível visualizar as informações como se fossem “camadas” dentro de um grande modelo do território, permitindo análises combinadas que ajudam na tomada de decisão.

Conservação da Bacia do Tapajós: Uma Visão de Sustentabilidade apresenta uma análise integrada dos sistemas fluviais visando contribuir com o planejamento e gestão integral da bacia, identificando uma rede fluvial conectada que permite definir cenários e indicadores de conservação na região.

O estudo complementa duas outras publicações, realizadas pela TNC, que utilizam o Blueprint Tapajós como base de suas análises - Atlas Tapajós 3D: Desenvolvimento, Meio Ambiente e Bem-Estar Humano na Bacia do Tapajós, e Tapajós 3D: Atores Econômicos Atuantes na Bacia e Potencial Aplicação do Blueprint.

Com este conjunto de informações, a TNC espera seguir contribuindo para uma melhor avaliação dos impactos, cumulativos e sinérgicos, dos grandes projetos de infraestrutura que afetam a região, tão necessária para qualificar a tomada de decisão e fortalecer a governança territorial.

O rio Tapajós é um dos maiores afluentes do Amazonas, compreendendo uma bacia hidrográfica de aproximadamente 500 mil quilômetros quadrados. Ele começa com sua nascente no Escudo Brasileiro, e flui do sul para o norte, com inúmeros afluentes nas savanas do platô central que se transicionam à planície aluvial do vale central do Amazonas. A bacia intersecciona-se com três estados (Mato Grosso, Pará e Amazonas) e engloba 65 municípios e 1,4 milhão de pessoas, incluindo 10 grupos étnicos indígenas distribuídos em 42 terras de designação indígena e 30 outras áreas designadas para proteção, tanto nacionais quanto estaduais. Esse rio é um dos três principais rios de águas claras na bacia amazônica, dando suporte à vida aquática característica dessas condições ambientais. A bacia contém uma rica diversidade de fauna e flora que representa os ecossistemas do cerrado e da floresta equatorial, e foi identificada como mundialmente significativa devido às suas diversas e raras espécies terrestres e de água doce e também pelo relativo endemismo de suas espécies de peixes de água doce (Abell et al. 2008, Abell et al. 2011).

O rio Tapajós e sua bacia hidrográfica estão passando por um rápido desenvolvimento. Nove por cento da soja mundial são produzidos na bacia (Aprosoja Mato Grosso), com uma expansão contínua de terras para agricultura e o desenvolvimento de infraestrutura para apoiá-la. Estão sendo planejadas e construídas, ainda, barragens nos rios ao longo da bacia hidrográfica para geração de energia hidrelétrica e outros usos da água. A gestão do rio e de sua bacia hidrográfica para a sustentabilidade ambiental é fundamental para manter a biodiversidade e garantir que os serviços ecossistêmicos fornecidos aos povos da bacia - que dependem desses serviços - permaneçam abundantes, ao mesmo tempo em que orientam o desenvolvimento de uma forma que seja benéfica para todos.

Sistemas fluviais são redes hidrográficas complexas interconectadas, definidas e mantidas por processos que são determinados pelas terras nas quais eles ocorrem e das quais recebem água. O fluxo direcional dos rios exige uma

atenção para os processos a montante que sustentam partes dos rios que ocorrem a jusante, dentre outros padrões dinâmicos, que não podem ser sustentados por um pequeno subconjunto de áreas protegidas manejadas que só englobam o que está dentro de seus limites. Planejamento e gestão integral da bacia são a melhor oportunidade em relação ao resultado para a sustentabilidade do ecossistema fluvial.

O objetivo do presente estudo foi identificar um conjunto de áreas em uma rede conectada para informar o desenvolvimento e a gestão das decisões nesse sistema fluvial, a fim de manter sua biodiversidade e os benefícios que ela oferece às pessoas, no presente e no futuro.



© Fernando Lessa

# A bacia do Tapajós

## Visão geral



© Fernando Lessa



© Erik Lopes

O rio Tapajós é o quinto maior afluente da bacia amazônica por área de bacia hidrográfica e contribui com 6% da descarga de água doce lançada no rio Amazonas. Com 2.700 km de extensão, o rio Tapajós tem águas claras e se origina no Escudo Brasileiro (Figura 1). Ele flui para o norte ao longo de um curso estável, carrega poucos materiais em suspensão, tem baixa condutividade e pH que varia de 4,5 a 7,8. Formidáveis corredeiras e cachoeiras são observadas sobretudo nos trechos superiores da bacia do Tapajós, na transição do planalto para as terras baixas, enquanto que os trechos inferiores nas planícies aluviais são navegáveis. Os níveis das águas começam a subir na bacia superior em setembro ou início de outubro devido ao início precoce da estação chuvosa na margem sul da bacia, atingindo seus níveis máximos em março ou abril. Próximo da foz do rio, que

desemboca no rio Amazonas, os níveis mais altos ocorrem em maio ou junho, e são influenciados pelo refluxo do Amazonas. A flutuação média anual do nível da água varia entre quatro e cinco metros para o rio Tapajós e seus afluentes. Em toda a bacia, áreas baixas, como o baixo Juruena, desenvolveram várzeas laterais extensas que sofrem inundações sazonais cíclicas.

A bacia do Tapajós drena a vertente norte do Escudo Brasileiro. Ela é limitada ao sul pela divisa entre as drenagens do Tapajós e do Paraguai ao longo da Chapada dos Parecis. O limite norte fica nas proximidades de Santarém, onde o rio Tapajós deságua na planície de inundação do rio Amazonas, formando o maior "ria lake" na bacia amazônica (Hales e Petry, 2015). O substrato geológico é complexo e varia de depósitos sedimentares moles e não consolidados

nas terras baixas até a base cristalina dura do Escudo Brasileiro, com rochas cratônicas que datam de 1,6 a 2,5 Ga. Toda a porção superior da bacia está dentro do complexo Parecis, composto por depósitos sedimentares que variam do período Devoniano ao Cretáceo e cobrem as rochas cratônicas (Bahia et al. 2007). A elevação na bacia varia de 873 m a 28 m acima do nível do mar.

A bacia do Tapajós possui um clima tropical com uma estação seca que se torna mais pronunciada ao sul. A precipitação média anual é de 2.100 mm, mas varia entre 1.500 mm na Chapada dos Parecis, ao sul, a 2.900 mm ao redor da Serra do Cachimbo, na região central. A temperatura média anual varia entre 21 e 27 graus Celsius (Hales e Petry, 2015).

A vegetação terrestre na bacia varia desde cerrado mais seco nas cabeceiras do sul até florestas densas úmidas

equatoriais, típicas do vale central da Amazônia, ao norte (Figura 2). Na bacia central há uma zona de transição composta por floresta de planície, savana, florestas de galeria e matagais densos. Áreas de floresta de igapó de areia branca ocorrem ao longo do rio Tapajós com espécies como *Triplaris surinamensis*, *Piranhea trifoliata*, *Copaifera martii* e *Alchornea castaneaefolia* (Hales e Petry, 2015). A bacia contém uma matriz de usos do solo que incluem pastagem, agricultura de produção de grãos em larga escala, áreas urbanas, mineração e agricultura de pequena escala, com agricultura e pastagens predominantemente na metade superior da bacia (Figura 2).



© Erik Lopes



# Definindo áreas espacialmente distintas para manter o ecossistema da bacia do Tapajós



Em muitos sistemas fluviais, a biota é amostrada de forma deficiente ou irregular, e a diversidade de espécies, sua distribuição e necessidades de habitat durante os diferentes estágios da história de vida são pouco conhecidas. O desenvolvimento de prioridades espacialmente explícitas para manter a biodiversidade, somente a partir de dados de espécies, geralmente resulta na identificação de áreas que foram muito amostradas, em geral devido à facilidade de acesso, áreas, com alta diversidade de espécies ou que contêm espécies de interesse raras, ameaçadas e endêmicas. Essa abordagem resulta em uma representação desigual das áreas de importância, negligencia os locais que são importantes para as espécies comuns e representativas - que podem ser críticas para serviços ecossistêmicos - e ignora os processos ecológicos e múltiplos habitats dos sistemas fluviais necessários para sustentar as espécies e os serviços ecossistêmicos que elas propiciam. Esse resultado irregular e restrito é ampliado em áreas com dados muito limitados.

Neste estudo foi empregada uma abordagem que leva em conta uma rede fluvial conectada, buscando gerar uma representação abrangente da diversidade de habitats e processos ecossistêmicos que suportam a biodiversidade do sistema fluvial, mesmo para aquelas espécies mal amostradas ou desconhecidas e para aquelas áreas que são críticas para processos ecológicos, mas que podem conter poucas

espécies. Essa abordagem é comumente referida como um “filtro grosseiro” na linguagem do planejamento de conservação. A premissa da abordagem do filtro grosseiro é que a proteção e o gerenciamento de sistemas ecológicos representativos conservam espécies comuns e representativas, comunidades naturais, os processos ecológicos que as sustentam e os ambientes em que elas evoluem (Hunter 1991; Groves et al. 2002; Groves 2003). O uso dessa abordagem na preservação de água doce fez com que o foco passasse de espécies para a proteção e gestão de ecossistemas e habitats a partir de base sistemática (Moyle e Yoshiyama 1994; Angermeier e Schlosser 1995; Higgins 2003, Higgins et al. 2005). Os filtros grosseiros de água doce são frequentemente usados em conjunto com dados disponíveis sobre espécies, comunidades naturais, rotas migratórias e habitats críticos, para garantir que a seleção de áreas representativas capte espécies raras e ameaçadas, grupos de espécies e habitats críticos com distribuições limitadas (p. ex. Smith et al. 2003; Higgins e Duigan 2009; Heiner et al. 2013; Khoury et al. 2013). Em lugares onde os dados sobre as espécies são limitados, o filtro grosseiro é a principal ferramenta para representação da biodiversidade de água doce no planejamento regional e em termos da bacia (Higgins 2003).

Nosso objetivo foi identificar o conjunto de rios, riachos e suas bacias hidrográficas que servirão como base

para o desenvolvimento de prioridades espaciais em ações de conservação e manejo, para informar os tipos de ações com base na gravidade e nas fontes de impactos e para servir de ponto de partida para o diálogo com as partes interessadas, de forma a revisar e refinar prioridades e discutir ações de apoio aos habitats e processos ecológicos representativos da bacia hidrográfica do rio Tapajós. Como resultado, a representação da biodiversidade do rio Tapajós também deveria ser conservada, já que o sistema fluvial e todos os seus diversos componentes seriam, assim, sustentados. Informações adicionais sobre rotas migratórias, habitats críticos, espécies raras, ameaçadas e endêmicas devem ser usadas quando disponibilizadas, para avaliar até que ponto os resultados capturam esses elementos e áreas devem ser adicionadas, quando necessário.

Rios, riachos e suas bacias hidrográficas identificados coletivamente nessa abordagem como um portfólio de água doce. Não se pretende identificar áreas protegidas em si, mas sim o conjunto de áreas que representam a variedade de habitats e processos ecológicos em toda a bacia que são prioritárias para ações de conservação e manejo.

Projetamos o portfólio com base nas abordagens de Higgins (2003), Heiner et al. (2010), Khoury et al. (2010), e Tellez et al. (2012), que incorpora o seguinte:

- Unidades analíticas: geração e caracterização das

unidades espaciais fluviais e de bacias de captação para classificação e análises.

- Diversidade: classificação dos sistemas ecológicos de água doce - agrupamento de unidades com atributos ambientais semelhantes.

- Condição: avaliação da condição/integridade ecológica de cada exemplo de sistema ecológico.

- Representação: definição dos objetivos como números especificados ou quantidade de cada sistema ecológico no portfólio, para manter seus papéis ecológicos e potencial evolutivo em toda a bacia ao longo do tempo.

- Conectividade: assegura que os exemplos de sistemas ecológicos selecionados para o portfólio estejam conectados, para permitir processos ecológicos e ambientais que exijam que a conectividade seja mantida, como a migração de peixes, e os regimes de fluxo e de transporte de sedimentos.

- Eficiência: o portfólio contém a menor área e o número de exemplos de sistemas ecológicos necessários para atender às metas de representação em uma rede conectada.

# Quadro espacial para análises

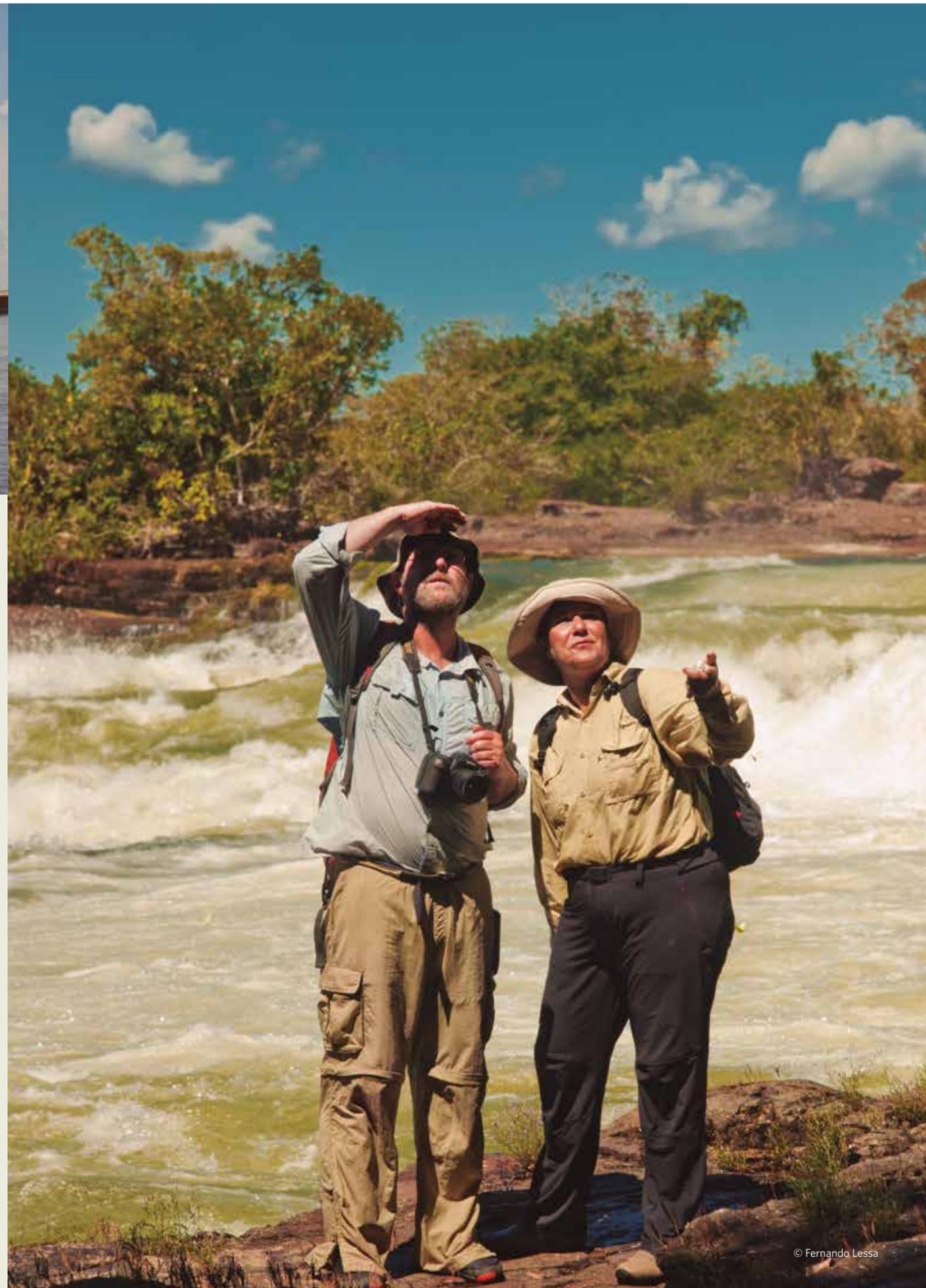


Para criar uma estrutura analítica espacial e definir unidades para análises, mapeamos uma rede de rios e uma hierarquia de bacias derivadas do MDE HydroSHEDs - uma superfície de fluxo topográfico desenvolvida pelo WWF-US (Lehner, Verdin & Jarvis, 2006). As superfícies de fluxo do HydroSHEDs são derivadas de dados de elevação digital da SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) em uma resolução de 90 m (3 segundos de arco). Isso fornece a estrutura para definir unidades analíticas e classificá-las como sistemas ecológicos, avaliar a condição, selecionar os melhores exemplos de sistemas ecológicos para representação e projetar um portfólio de áreas prioritárias para proteção e/ou gerenciamento.

As bacias foram geradas usando a área como um substituto para intervalos de tamanhos dos rios e fluxo máximo. As classes foram geradas para bacias de 100 a 1.000 km<sup>2</sup>, 1.001 a 10.000 km<sup>2</sup>, 10.001 a 1.000.000 km<sup>2</sup> e > 100.000 km<sup>2</sup> em uma hierarquia espacialmente aninhada. Essas bacias de diferentes tamanhos representam as áreas de drenagem das cabeceiras, de pequenos e grandes afluentes e dos rios principais respectivamente, com um total de 985 unidades de sistemas ecológicos distintas (Figura 3).

A ARA (Active River Area ou Área Ativa de Rio) (Smith et al. 2008) é um modelo de aproximação da maior extensão de inundação em um período de recorrência de cem anos, incluindo toda a extensão da planície aluvial e dos terraços laterais. A ARA define as áreas mais sensíveis de um sistema fluvial - aquelas nas quais um rio serpenteia naturalmente, onde o rio e a paisagem terrestre interagem, incluindo o local de ocorrência das matas ripárias e onde o rio se conecta às várzeas - e onde as alterações humanas na bacia geralmente geram os maiores impactos diretos em um sistema de córregos, além dos impactos dentro dos leitos devido a barragens, diques e alterações na geomorfologia de riachos. A ARA foi definida como um componente de cada bacia de captação do sistema ecológico para análises de condição/integridade, além das análises de captação total.

A ARA foi derivada do MDE (Modelo Digital de Elevação) usando uma combinação do gradiente de superfície lateral e da distância dos rios representados na hidrografia para gerar uma superfície de "custo de distância" para a água inundar as áreas laterais, dada a altura do nível de inundação em um rio. Usamos limites dos custos calibrados para gerar a ARA dentro de cada unidade de bacia de captação do sistema ecológico (Figura 4).



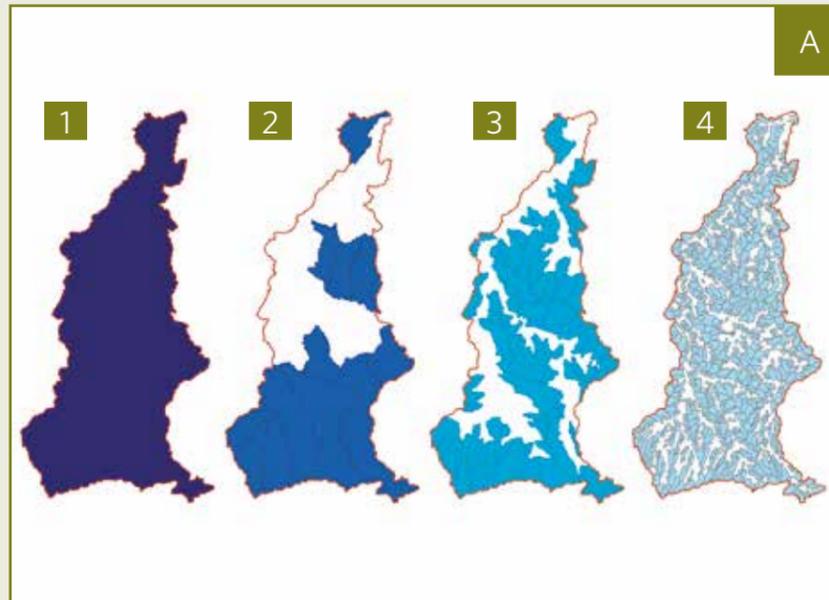


Figura 3. Quatro tamanhos de bacia para as unidades de sistema ecológico: 1) >100.000 km<sup>2</sup>, 2) 10.001 a 100.000 km<sup>2</sup>, 3) 1.001 a 10.000 km<sup>2</sup>, 4) 100 a 1.000 km<sup>2</sup> exibidos individualmente (a) e integrados (b).

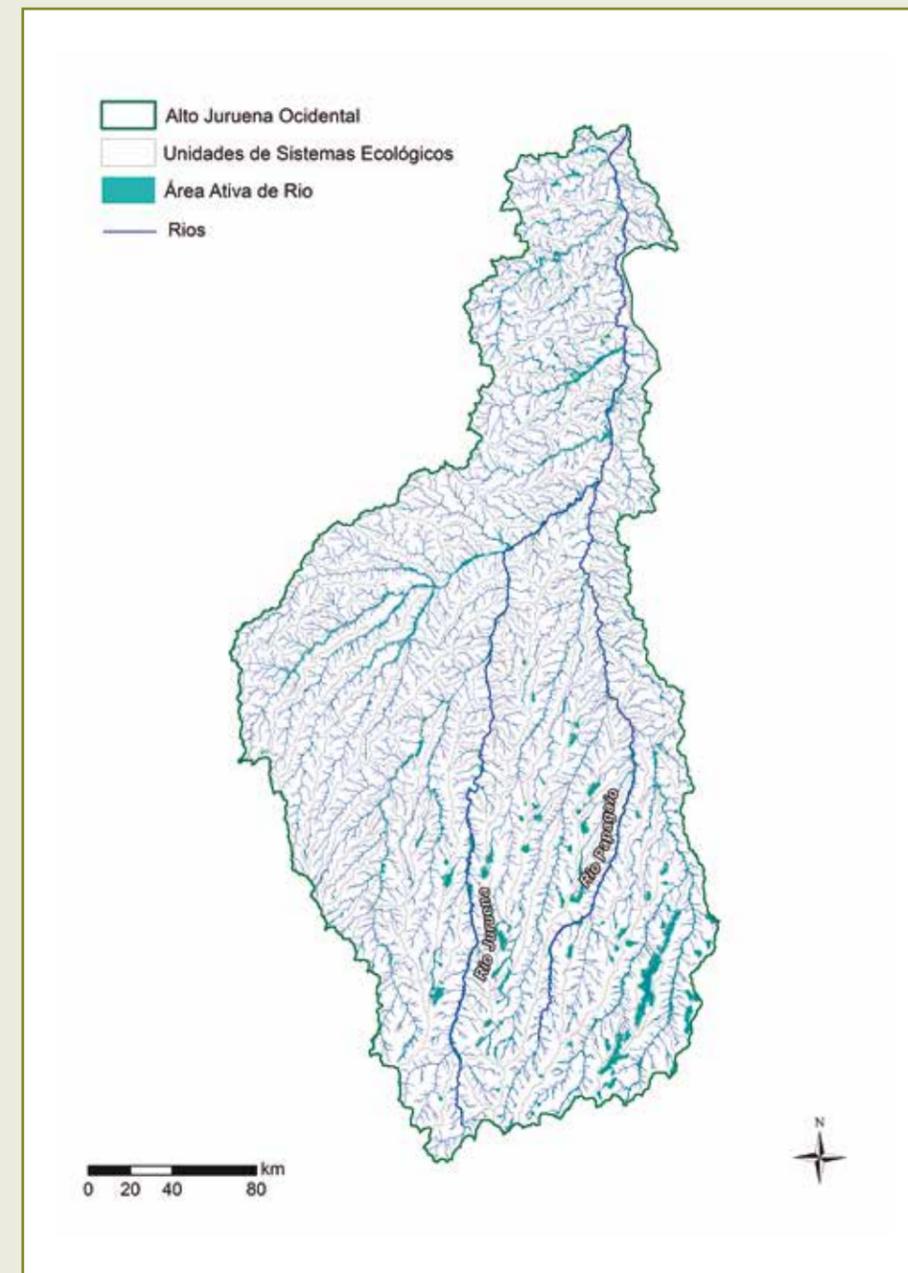
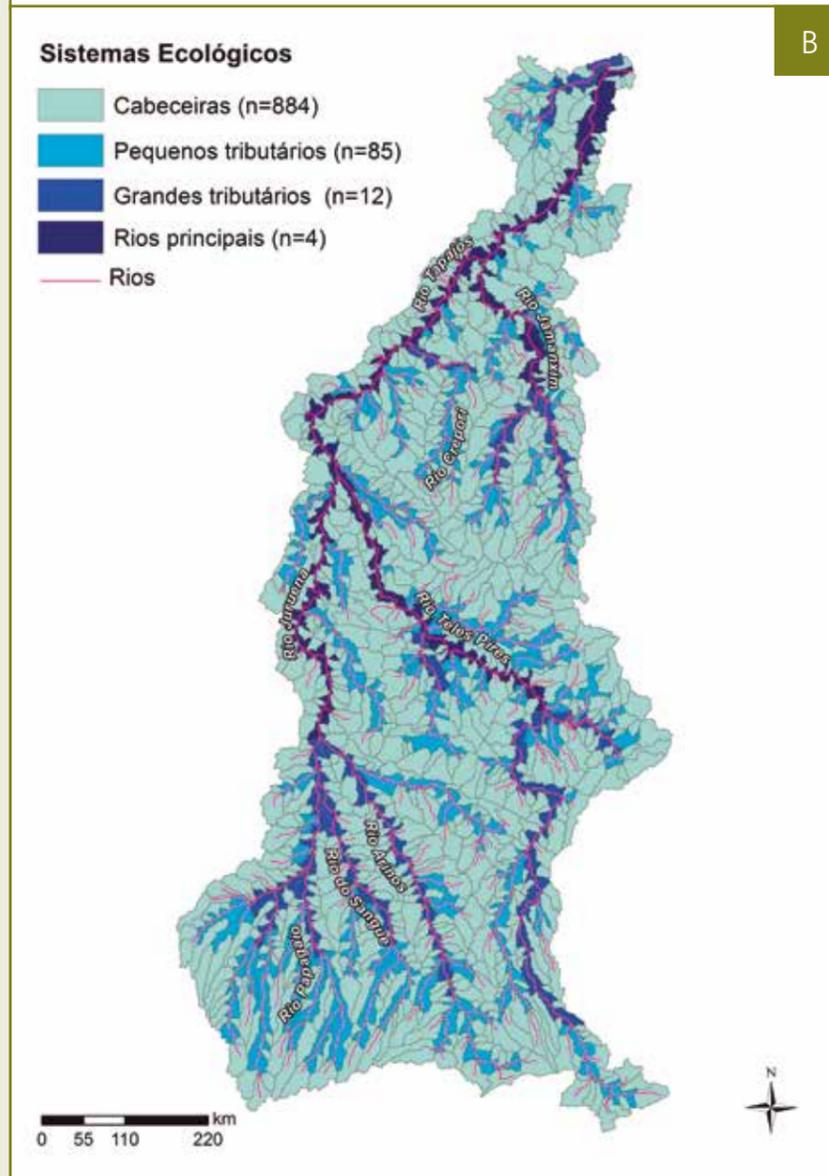


Figura 4. Áreas ativas de rios destacadas na sub-bacia do Juruena como um exemplo do que foi definido em toda a bacia do Tapajós.

# Classificação dos sistemas ecológicos aquáticos



© Erik Lopes



© Fernando Lessa

*Desenvolvemos uma classificação para definir e mapear sistemas ecológicos de água doce que integram padrões de fatores ambientais em uma estrutura hierárquica que define as restrições que determinam um subconjunto de habitats e processos potenciais em cada nível inferior seguindo uma estrutura desenvolvida por Higgins et al. (2005). A hierarquia é estruturada usando unidades espaciais definidas como unidades zoogeográficas, de drenagem ecológica e de sistema ecológico.*

## **Unidades zoogeográficas**

As unidades zoogeográficas definem o *pool* de espécies que determina a fauna de água doce disponível para a ocupação no rio Tapajós. A bacia do Tapajós está contida e compreende uma única ecorregião de água doce - o Tapajós-Juruena (Abell et al. 2008). A bacia/ecorregião de água doce contém uma alta diversidade de peixes de água doce, anfíbios e uma diversidade moderada de quelônios e jacarés (Hales e Petry, 2015). A parte inferior do rio é o lar do peixe-boi amazônico (*Trichechus inunguis*), uma espécie endêmica da bacia amazônica. São conhecidas 378 espécies de peixes de água doce na bacia, das quais 115 são endêmicas, uma diversidade maior que a da ecorregião do Escudo Brasileiro do Madeira, a oeste, ou da ecorregião do Xingu, a leste. O nível de endemismo para peixes restritos à bacia do Tapajós é moderado para peixes de água doce dentro da bacia amazônica, mas o índice de raridade - uma medida do número de ecorregiões de água doce em que cada espécie ocorre - está entre os 10% mais altos da avaliação global de ecorregiões - o que significa que há uma alta proporção de peixes que ocorrem apenas dentro da ecorregião ou que ocorrem dentro de poucas outras ecorregiões (Abell et al. 2011; Albert et al. 2011).

No entanto, 53% das espécies endêmicas (61) foram apenas descritas formalmente nos últimos 10 anos, com uma média de cinco novas espécies endêmicas descritas anualmente (CAS Catalogue of Fishes, 2018), indicando que ainda há uma grande lacuna no que tange o conhecimento da diversidade de peixes na bacia, e os conjuntos de espécies podem ser ainda mais exclusivos do que estimado anteriormente.

Como o que ocorre dentro de todas as ecorregiões de água doce da bacia Amazônica, os Characiformes e os Siluriformes são os ordens dominantes, com mais de 80% das espécies de peixes. *Characidae* (Characiformes), *Cichlidae* (Perciformes), e *Loricariidae* (Siluriformes) são as famílias mais diversas. Há um número de espécies especializadas de peixes, inclusive *Hyphessobrycon* e *Hemigrammus*, o carapó (*Gymnotus carapo*), o muçum (*Synbranchus marmoratus*), caracóideos predatórios, como a traíra (*Hoplias malabaricus*) e a piranha de olhos vermelhos (ou piranha preta) (*Serrasalmus rhombeus*). Algumas espécies, como o muçum (*Synbranchus marmoratus*), o poraquê (*Electrophorus electricus*), e o jeju (*Hoplerythrinus unitaeniatus*) possuem estratégias respiratórias especialmente adaptadas para os baixos níveis de oxigênio (Hales e Petry, 2015).

## **Unidades Ecológicas de Drenagem**

As Unidades Ecológicas de Drenagem (UED) delimitam áreas dentro da bacia/unidade zoogeográfica por meio da agregação de bacias hidrográficas que contêm padrões distintos de clima, geomorfologia e geologia, que podem atuar como filtros em grande escala para os tipos de processos e habitats dentro delas e os padrões de biodiversidade que dali podem resultar. A representação de unidades ecológicas com a mesma classificação definida em menor escala espacial entre UED assegura que o contexto mais amplo no qual elas ocorrem seja levado em conta ao se gerar um portfólio de representação, já que fatores de maior escala, como o clima, podem criar distinções para certo tipo de unidade ecológica não perceptível em uma escala mais fina. Os dados espaciais usados para delinear as unidades ecológicas de drenagem incluem: faixas anuais e padrões de precipitação e temperatura derivados do Worldclim (Hijmans, RJ, S. Cameron e Parra., J. 2004); variações na elevação derivada do SRTM; padrões gerais de tipos de solo e geologia superficial derivados do mapa do solo do IBGE e dos ecossistemas terrestres da América do Sul (Sayre et al. 2008); e padrões de drenagem de fluxo derivados de HydroSHEDS (Lehner, Verdin & Jarvis, 2006). Os resultados dessas análises geraram 18 UED, representando captações distintas na bacia em termos de padrões gerais de clima, geomorfologia, solos, geologia e densidades de drenagem de riachos (Figura 5).

### Classificação dos sistemas ecológicos

Sistemas ecológicos são leitos de rios (fundo de vales) e suas respectivas bacias de captação. As bacias determinam as fontes e características da água, do fluxo da corrente, da química da água, de transparência e a geomorfologia. Os sistemas ecológicos foram caracterizados usando os seguintes atributos físicos para cada categoria de área definida anteriormente (100 - 1.000 km<sup>2</sup>, 1.001 - 10.000 km<sup>2</sup>, 10.001 - 100.000 km<sup>2</sup> e > 100.000 km<sup>2</sup>):

- Elevação (faixa de elevação e elevação média)
- Gradiente da drenagem
- Gradiente dos leitos dos rios
- Densidade de drenagens (km rio/km<sup>2</sup>)
- Grau de dendricidade (densidade de confluências)
- Potencial para contribuições de fluxo de águas subterrâneas

As bacias de captação foram classificadas por meio de uma análise hierárquica de agrupamentos dos atributos e grupos, utilizando dendrogramas e algoritmos para avaliar agrupamentos baseados em padrões de similaridades e dissimilaridades. O número de tipos de classificação pragmaticamente distinguíveis foi determinado usando o método de aglutinação de Wards e distâncias euclidianas como a métrica de dissimilaridade implementada no software JMP. O número final de classes foi determinado pela avaliação do dendrograma resultante dos atributos agrupados, levando-se em consideração os valores de dissimilaridade e a representação gráfica de distância, utilizando o Elbow Method (método cotovelo) para determinar o número de grupos (Salvador e Chan 2004; Madhulatha 2012). Mapas de elevação, densidade de drenagem, contribuição da água subterrânea e representações de agrupamentos e dendrogramas podem ser encontrados no Apêndice.

Essas análises resultaram na atribuição dos 985 sistemas ecológicos em 46 classes de tipos de nascentes, 22 classes de tipos de afluentes e 4 classes de tipos de sistemas ecológicos de rios principais (Figura 6).



© Erik Lopes

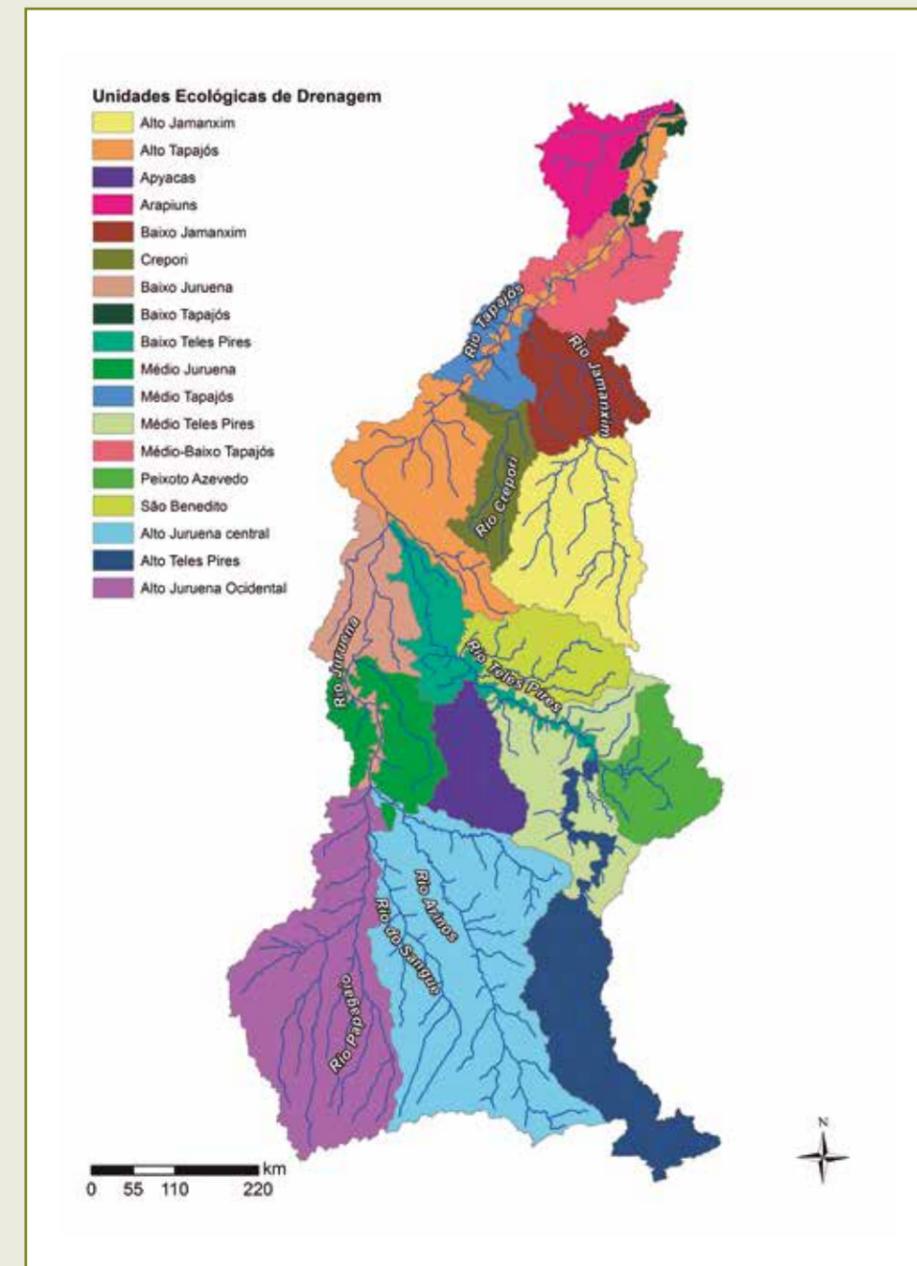
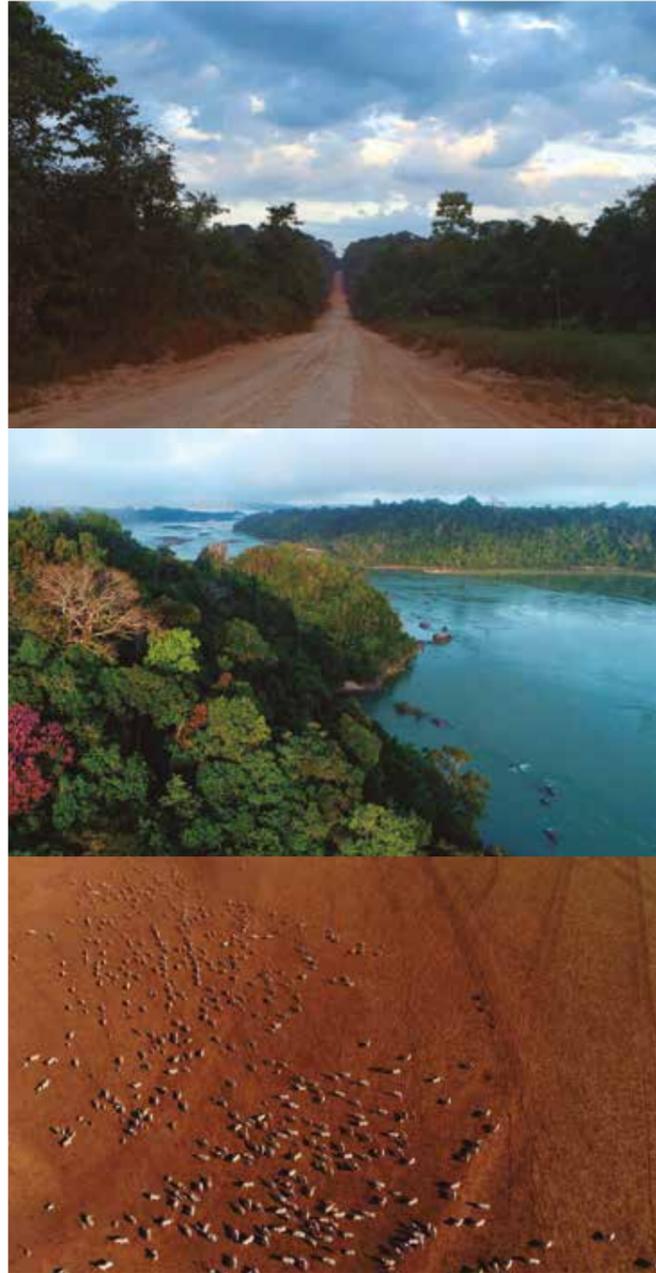


Figura 5. Unidades ecológicas de drenagem na bacia do Tapajós



#### Atribuição da condição relativa/integridade ecológica dos sistemas ecológicos

Para identificar os melhores exemplos de cada tipo de sistema ecológico a ser selecionado para atingir as metas de representação em um portfólio de conservação, avaliamos a condição relativa da rede de riachos e bacias de captação de cada sistema ecológico, analisando tanto a ARA quanto a porção remanescente da bacia de captação, separadamente. Utilizamos os seguintes atributos espaciais que afetam o fluxo de rios e riachos naturais, a conectividade e a qualidade da água (os componentes geofísicos da integridade ecológica de Thieme et al. 2016):

- % Cobertura vegetal natural em toda a área do rio ativo (ARA)
- % Cobertura vegetal natural em toda a bacia de captação
- Presença/ausência de grandes instalações hidrelétricas
- Presença/ausência de pequenas instalações hidrelétricas
- Presença/ausência de áreas urbanas
- Presença/ausência de áreas de mineração

Para a determinação da porcentagem de vegetação natural na ARA e na bacia de captação e presença/ausência de áreas urbanas e áreas de mineração, foram utilizados o uso e a cobertura do solo do Terraclass 2014 (para a Amazônia) e do Terraclass 2013 (para o Cerrado). As legendas dos dois biomas foram unificadas, e todos os dados foram mesclados em um mosaico, projetados para o GCS Sirgas 2000 UTM 21S e cortados junto às divisas da bacia do Tapajós e em seus respectivos biomas. A presença de instalações hidrelétricas existentes e também potenciais foi obtida da ANEEL (2018).

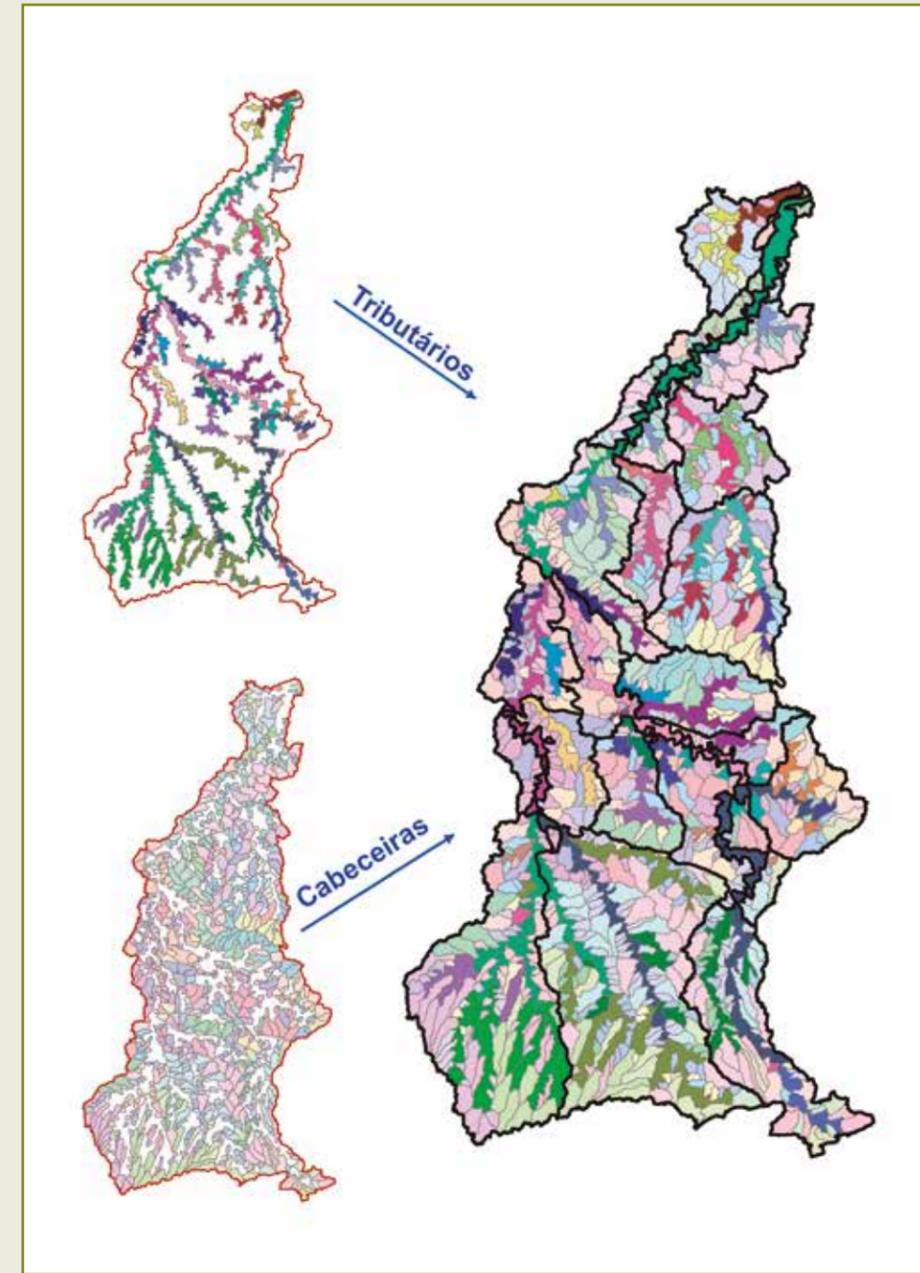


Figura 6. Classificação hierárquica das 46 classes de cabeceiras e das 22 classes de sistemas ecológicos de tributários.

# Geração do portfólio de conservação



© Erik Lopes



© Erik Lopes

Um portfólio de conservação é um conjunto de rios e suas bacias hidrográficas que representam a diversidade e a abundância relativa de sistemas ecológicos, nas unidades ecológicas de drenagem, que apresentam a melhor condição relativa, em uma rede conectada de rios. Foram definidas metas para representação de cada tipo de unidade de sistema ecológico, de acordo com sua abundância relativa dentro de cada UED, como segue:

- 1 a 2 ocorrências em uma UED - 100% de representação
- 3 a 10 ocorrências em uma UED - um mínimo de 2
- Mais de 10 ocorrências em uma UED - um mínimo de 20%

Os critérios para seleção de exemplos de cada tipo de sistema ecológico, em cada UED, foram aplicados em uma sequência de etapas a fim de identificar aqueles que estão na melhor condição relativa e que estão mais intactos (Tabela 1). Embora existam limites definidos abaixo, os dados bru-

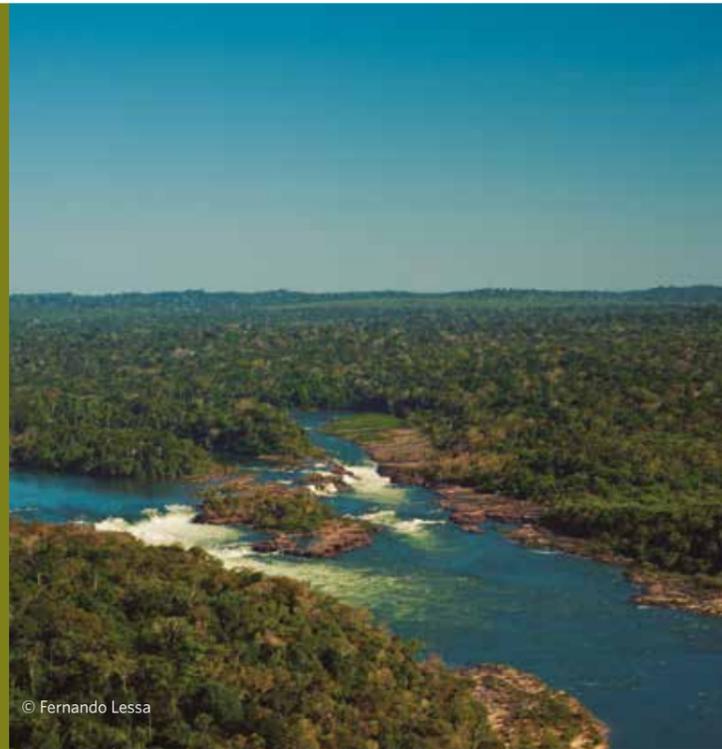
tos foram usados para identificar os melhores exemplos de cada tipo de sistema ecológico dentro das categorias de critérios. Os diferentes critérios definem os requisitos mínimos a serem selecionados usando o conjunto de filtros definidos em cada conjunto. Se um dos critérios não fosse atendido, o exemplo de sistema ecológico seria, então, comparado às alternativas que atendiam o próximo conjunto de critérios.

Outros critérios incluíram a seleção de unidades do sistema ecológico de água doce que evitariam a ocorrência de exemplos isolados de sistemas ecológicos, para garantir a conectividade entre todas as unidades selecionadas para o portfólio e a adição de nascentes rio acima para riachos com bacias de captação de 1.001 a 10.000 km<sup>2</sup>, inicialmente selecionados sem suas nascentes. No caso de exemplos onde havia dois tipos de sistema ecológico com a mesma condição relativa/integridade ecológica, foram selecionados, para o portfólio, aqueles dentro de áreas protegidas designadas e territórios indígenas.

Tabela 1. Critérios utilizados em uma série de filtros para seleção de unidades de sistema ecológico para representação

Filtros	Critério 1	Critério 2	Critério 3	Critério 4	Critério 5	Critério 6
	% de cobertura com vegetação natural na ARA	% de cobertura com vegetação natural na bacia de captação	Extração mineral na ARA	Áreas urbanas na ARA	% de uso do solo para agricultura na ARA	Instalações hidrelétricas na bacia de captação
<b>1ª. opção</b>	> 80%	> 80%	Nenhum	Nenhum	Nenhum	Nenhum
<b>2ª. opção</b>	> 80%	50 a 80%	Nenhum	Nenhum	Nenhum	Nenhum
<b>3ª. opção</b>	50 a 80%	> 80%	Nenhum	Nenhum	Nenhum	Nenhum
<b>4ª. opção</b>	50 a 80%	50 a 80%	Nenhum	Nenhum	< 20%	Nenhum
<b>5ª. opção</b>	20 a 50%	20 a 50%	Nenhum	Nenhum	< 20%	Nenhum
<b>Última opção</b>	Seguindo a estrutura em camadas acima	Seguindo a estrutura em camadas acima	Pode estar presente	Podem estar presentes	Seguindo a estrutura em camadas acima	Podem estar presentes

# Resultados



O portfólio de água doce resultante da classificação de UED e de sistemas ecológicos e da seleção dos melhores exemplos da variedade de sistemas ecológicos em uma rede conectada que atinge metas estabelecidas compreende 459 das 985 unidades de sistema ecológico (47% da bacia - Figura 7). Os critérios de seleção que foram usados para cada sistema ecológico no portfólio (apenas exemplos para atingir metas, melhores exemplos de integridade ecológica, para garantir conectividade ou assegurar a presença de nascentes no conjunto de sistemas ecológicos selecionados a seguir) estão disponíveis no Apêndice.

O portfólio inclui 28.964.466 hectares (58,8%) da área da bacia. Isto pode parecer uma grande proporção da bacia, mas é o que é considerado necessário para susten-

tar a variedade de processos ecológicos, funções e natureza conectada do rio Tapajós, necessários para dar suporte, no presente e no futuro, à biodiversidade e aos ecossistemas dos quais o sistema fluvial depende. Com esses resultados, é possível direcionar ações, dentro de um subconjunto da bacia, que contribuirão, de forma mais efetiva e eficiente, para sustentar a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos que o rio Tapajós suporta. O portfólio inclui um número significativo de unidades ecológicas que estão dentro de áreas protegidas designadas e de territórios indígenas. Isso resultou principalmente do fato de que a cobertura do solo tende a ser mais natural, e existem políticas relativas ao desenvolvimento de barragens nessas áreas (Figura 8).

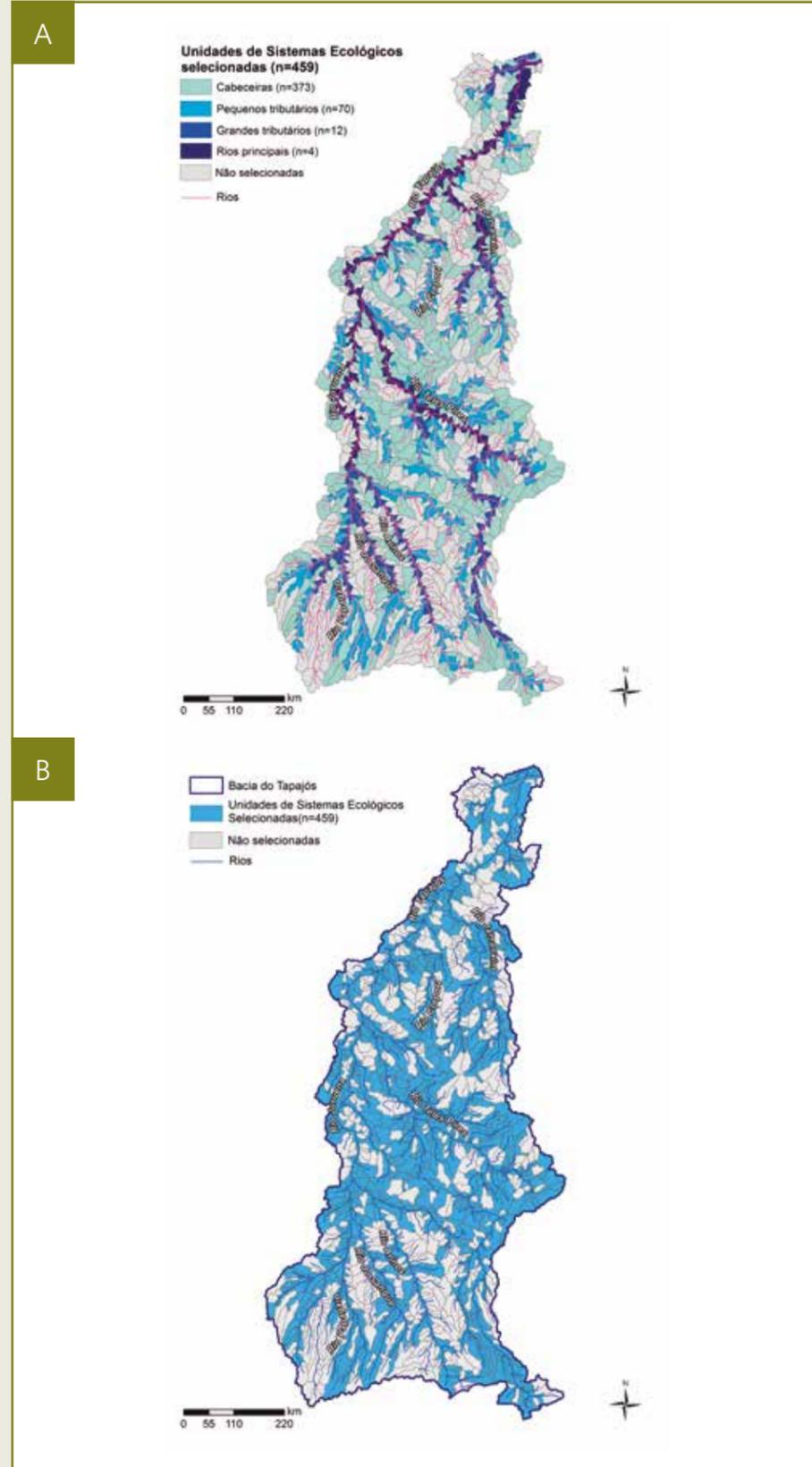


Figura 7. Unidades de sistemas ecológicos selecionadas para o portfólio de água doce da bacia do Tapajós, compreendendo 459 das 985 unidades ecológicas da bacia, mostradas como uma única cobertura (a) e representadas segundo os quatro tamanhos de classes de bacias de captação (b).

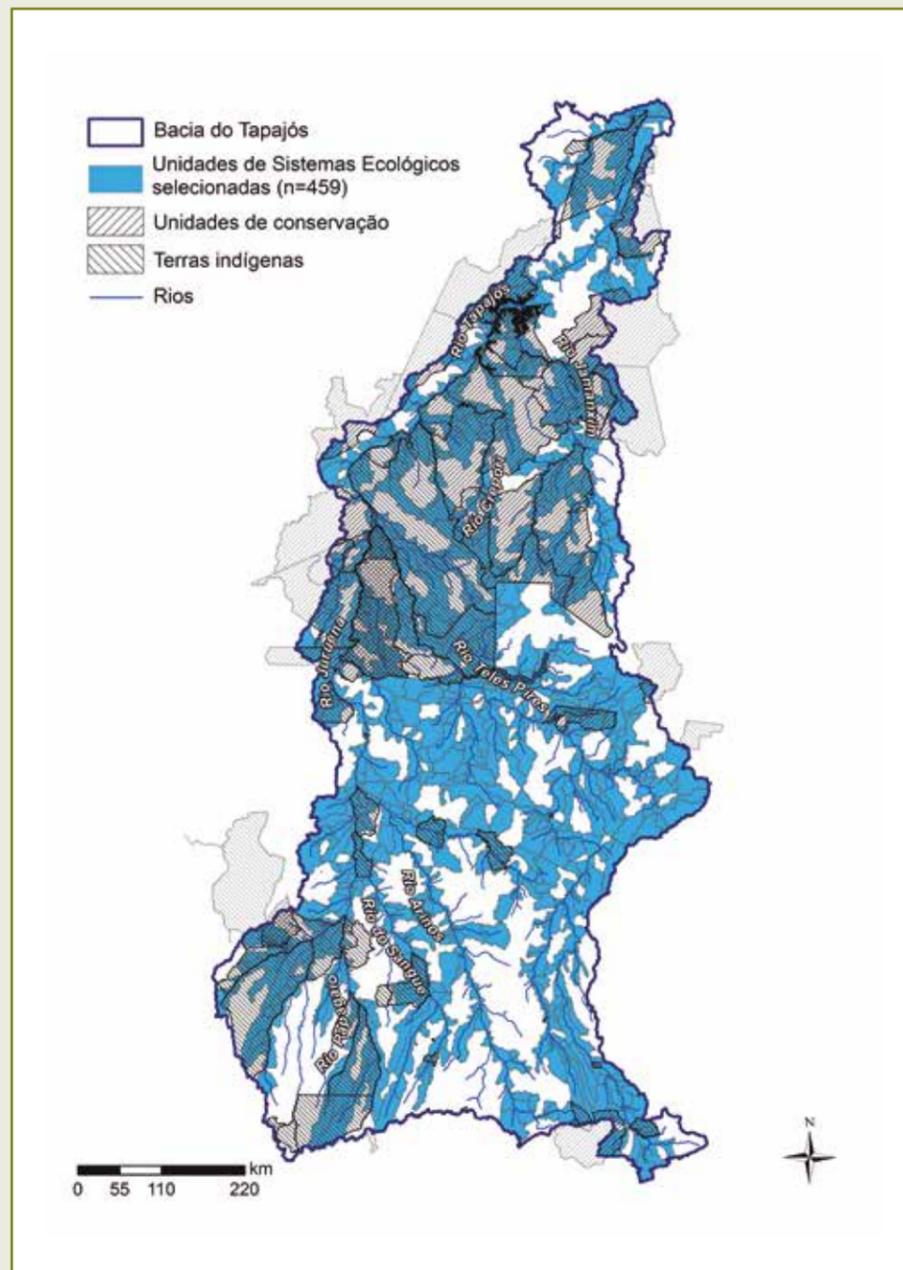


Figura 8. Áreas de conservação designadas (áreas protegidas) e territórios indígenas projetados sobre as unidades de sistemas ecológicos do portfólio de água doce.

## Como usar esses resultados

Estes resultados não sugerem que as áreas do portfólio sejam definidas como áreas protegidas ou que nenhum novo desenvolvimento possa ocorrer dentro da bacia. Em vez disso, destacam as áreas onde o desenvolvimento e outras atividades devem continuar com atenção, para evitar ou minimizar alterações nos processos ambientais, conectividade e habitats. Eles identificam as áreas que devem ser mantidas em seu status atual, seja por meio do status de áreas protegidas ou, mais provavelmente, por meio de incentivos para manter a condição atual/integridade ecológica; as áreas que poderiam se beneficiar da restauração; e aquelas que se beneficiariam de melhores práticas de gestão de componentes alterados da paisagem para abordar processos ambientais que poderiam ser melhorados, mantendo as paisagens produtivas.

A Figura 9a fornece um exemplo dessa perspectiva, destacando as unidades componentes do sistema ecológico no portfólio que possuem instalações hidrelétricas existentes, pequenas ou grandes, sugerindo prioridades para quaisquer ações potenciais de mitigação para lidar com a gestão de vazões e passagem de peixes. A Figura 9b ilustra as possíveis localizações futuras de pequenas e grandes barragens “planejadas” na bacia. Essa figura destaca áreas onde o desenvolvimento de barragens deve ser evitado. Essa figura e suas informações básicas podem ser usadas no desenvolvimento de energia hidrelétrica em escala de sistema, que avalia cenários e compensações de locais e operações alternativas de barragens para melhor atingir as metas de energia, enquanto sustenta a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos dependentes de uma bacia hidrográfica (Opperman et al 2017). Além do mais, ela pode orientar ações de compensação se as barragens forem, de fato, construídas em algumas dessas áreas.

A Figura 10a identifica grupos de atividades indicadas para unidades do sistema ecológico no portfólio como resultado da extensão da cobertura da área ativa de rio, tais como conservação para as áreas com mais de 80% de cobertura natural e restauração e boas práticas de manejo (BPMs) para áreas com menos de 80% de cobertura. Essa figura

e os seus dados básicos podem ser usados para informar a implementação das políticas atuais, como a identificação do grau de cumprimento do Código Florestal em toda a bacia, a identificação de áreas onde a restauração é necessária para que o Código seja cumprido e a identificação de áreas onde os incentivos para a conservação da cobertura atual do solo podem ser implementados fora dos regulamentos do Código Florestal. A Figura 10b identifica o mesmo, com base na cobertura da área da bacia de captação, e pode ser usada de forma semelhante para priorizar áreas para conservação, restauração ou BPMs em cenários agrícolas em que a restauração de processos críticos é importante, mantendo terras produtivas bem gerenciadas.

A Figura 11a identifica os sistemas ecológicos no portfólio que possuem minas (ou garimpos) na área ativa do rio e a Figura 11b identifica o mesmo, mas para as áreas de captação desses sistemas ecológicos. Essas figuras e seus dados básicos podem ser usados na identificação das prioridades para a mitigação e restauração de garimpos ativos e não ativos que representam riscos para a qualidade da água e que geram alteração significativa na cobertura do solo.

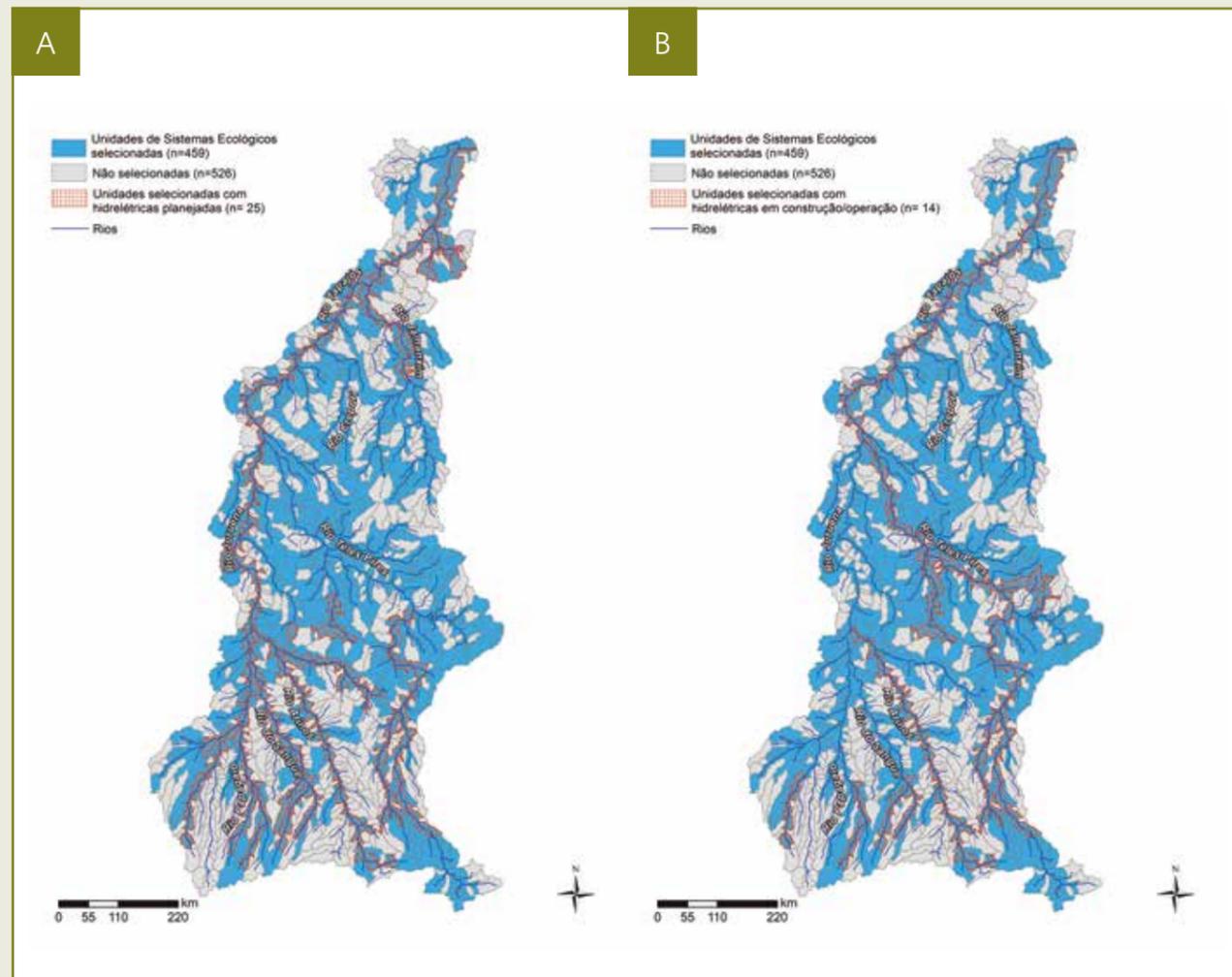


Figura 9. Unidades de sistemas ecológicos no portfólio com barragens existentes (a) e futuras barragens em potencial (planejadas). Muitas das barragens existentes também têm potencial para mais desenvolvimento no futuro.

Embora os setores de desenvolvimento e econômico tenham objetivos distintos, o portfólio pode ser usado como uma visão unificada da bacia hidrográfica visando manter o ecossistema, sua biodiversidade e os serviços que fornece à sociedade. O portfólio pode ser usado para guiar o desenvolvimento de energia hidrelétrica de forma a poder fornecer energia e permitir que os processos ambientais sejam mantidos. Também é possível usar o portfólio em conjunto com

outros dados, para avaliar áreas, dentro do mesmo, que estejam em maior risco quanto a impactos de curto prazo devido a desmatamento, expansão agrícola e desenvolvimento de infraestrutura e levar informações para essas áreas, de forma a ajudar na orientação dessas atividades visando gerar menos impacto negativo e, ao mesmo tempo, atingir os seus objetivos.

O portfólio não é um produto estático. Ele representa os exemplos de sistemas ecológicos que atualmente estão em melhores condições/integridade ecológica e que estão

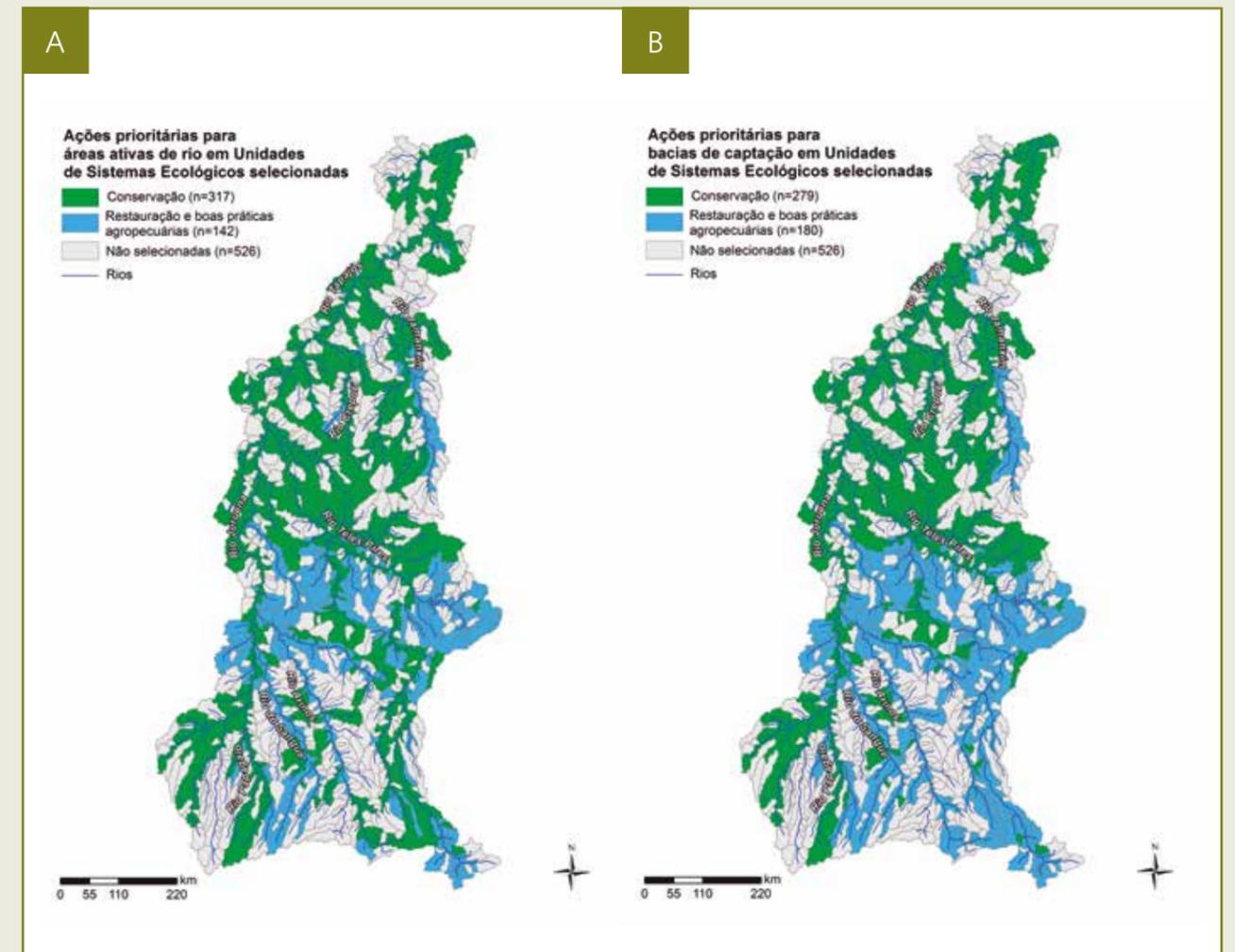


Figura 10. Unidades de sistemas ecológicos no portfólio com mais de 80% de cobertura natural do solo destinada para conservação e menos de 80% cobertura natural do solo destinada para restauração ou boas práticas de manejo na área ativa do rio (a) e na bacia de captação (b).

em uma rede conectada. Se componentes existentes do portfólio forem degradados por impactos de desenvolvimento ou outras fontes, alternativas de representação desses sistemas ecológicos podem ser identificadas - se existentes - e adicionadas para criar um portfólio atualizado, de forma a representar as novas condições e os melhores exemplos para manter os processos e as funcionalidades do sistema fluvial. Os dados básicos sobre uso e cobertura do solo e infraestrutura devem ser atualizados e o portfólio, avaliado por sua representação como a melhor solução e foco para manu-

tenção de processos e funções. À medida que novos dados espaciais pertinentes se tornam disponíveis, estes devem ser adicionados ao banco de dados e usados para aumentar aqueles que já existem, e para proporcionar ainda mais informações para as decisões de gestão e desenvolvimento na bacia hidrográfica.

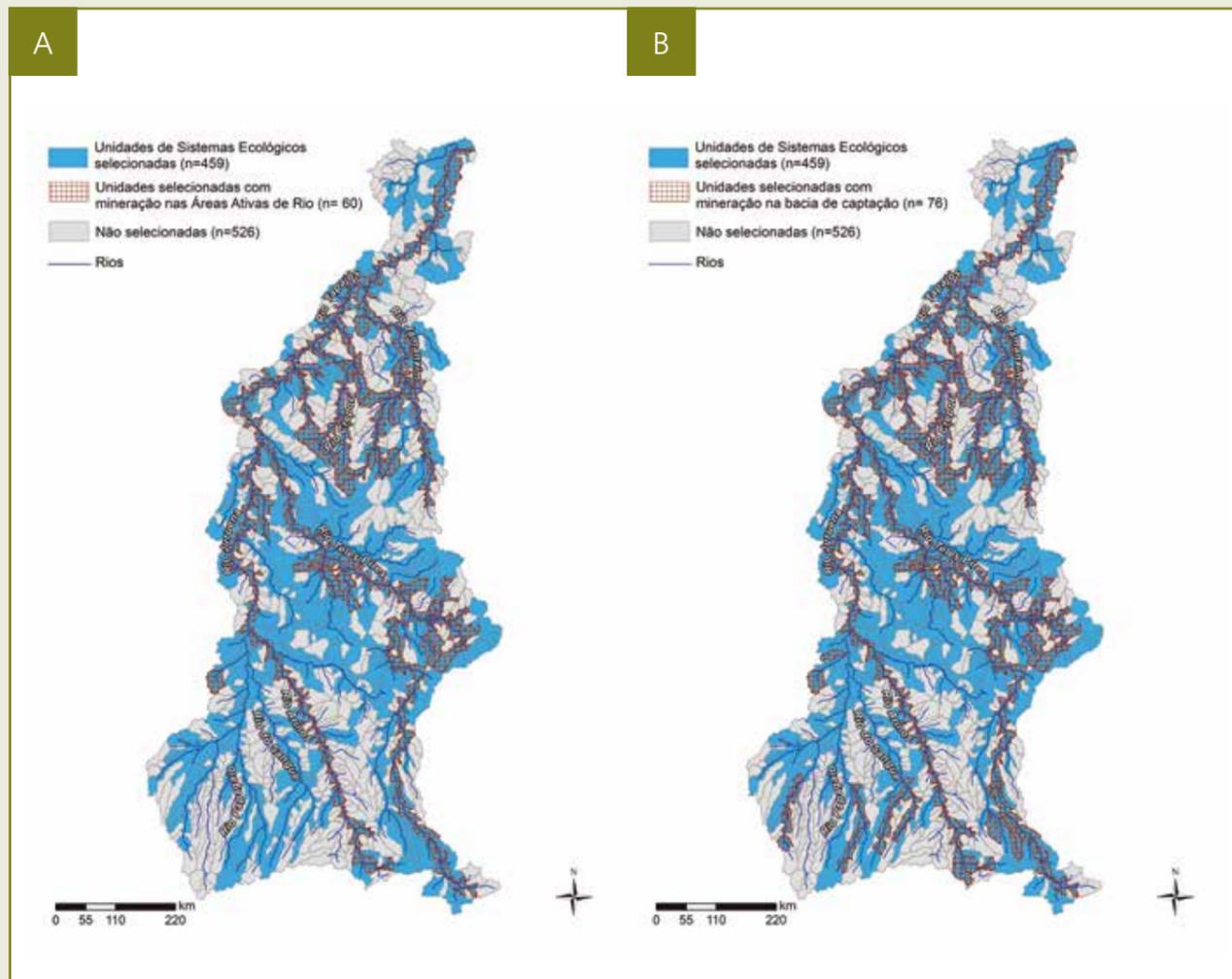


Figura 11. Unidades do sistema ecológico no portfólio que têm minas na área ativa do rio (1) e na bacia de captação (b).

## Próximas etapas

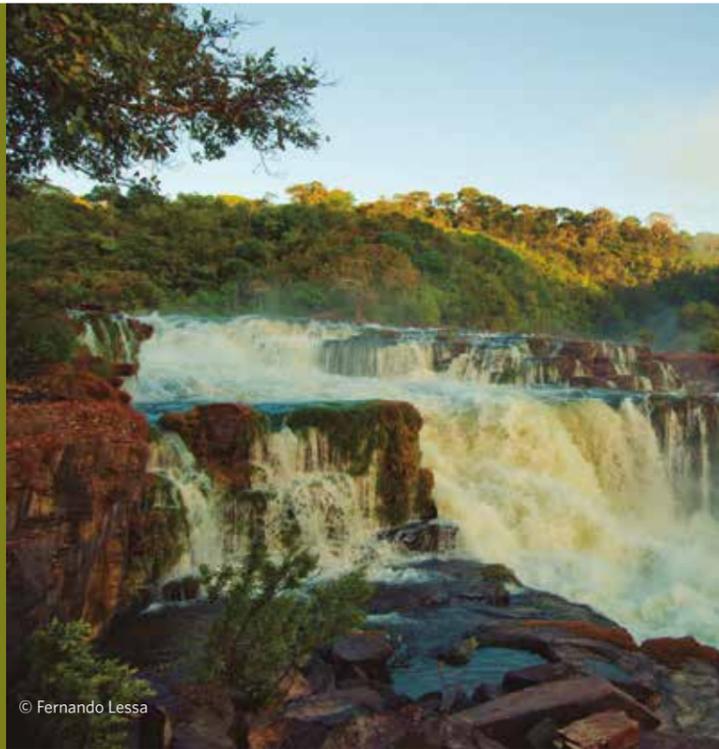


© Fernando Lessa

Este portfólio é um primeiro esboço. A base de dados e produtos estão disponíveis e podem ser refinados. Sugerimos que sejam tomadas medidas para revisar o presente portfólio quanto à omissão de áreas que contêm processos ambientais ou elementos de biodiversidade que não foram capturados, como locais de espécies raras e ameaçadas, habitats críticos, como áreas de reprodução ou corredores migratórios, ou outras áreas identificadas pelos especialistas do assunto como ausentes, bem como exemplos de tipos de sistemas ecológicos que sejam considerados melhores do que os identificados no portfólio, dadas as informações que não foram usadas para avaliar a condição/integridade ecológica.

O uso final do banco de dados e do portfólio é apoiar o engajamento das partes interessadas na bacia para discutir seus diferentes objetivos e avaliar alternativas de como atingi-los, criando um futuro que mantenha o rio Tapajós como um ecossistema fluvial funcional e vibrante. Este resultado provavelmente acontecerá se houver o desenvolvimento dos planos de ação de manejo de rios e bacias de captação, a identificação de áreas que necessitam de atenção urgente dentro delas, e os recursos obtidos e dedicados à implementação de ações necessárias para sustentar a diversidade de habitats e processos dentro da bacia.

# Referências



© Fernando Lessa

Abell, R., M. L. Thieme, C. Revenga, et al. 2008. Freshwater Ecoregions of the World: A New Map of Biogeographic Units for Freshwater Biodiversity Conservation. *BioScience* 58(5) 403-414.

Abell, R., M. Thieme, T. H. Ricketts, N. Olwero et al. 2011. Concordance of freshwater and terrestrial biodiversity. *Conservation Letters* (4) 127-136.

Albert, J. S., P. Petry, e R. E. Reis. 2011. Major Biogeographic and Phylogenetic Patterns. Págs 21-58 em J. Albert e R. E. Reis, editores. *Historical Biogeography of Neotropical Freshwater Fishes* University of California Press, Berkeley, CA.

ANEEL 2018. Agência Nacional de Energia Elétrica. <http://www.aneel.gov.br/>

Angermeier, P. L., e I. J. Schlosser. 1995. Conserving Aquatic Biodiversity: Beyond species and populations. *American Fisheries Society Symposium* 17:991-927.

Aprosoja Mato Grosso <http://www.aprosoja.com.br/soja-e-milho/estatistica/levantamento-de-safra-mt>

Bahia, R. B. C., M. A. Martins-Neto, M. S. C. Barbosa, e A. J. Pedreira. 2007. Análise da evolução tectonossedimentar da Bacia dos Parecis através de métodos potenciais. *Revista Brasileira de Geociências* 37:639-649.

California Academy of Sciences Catalogue of Fishes <https://www.calacademy.org/scientists/projects/catalog-of-fishes>

Groves C., Jensen D., Valutis L., Redford K., Shaffer M., Scott J., Baumgartner J., Higgins J., Beck M. & M. Anderson. 2002. Planning for biodiversity conservation: putting conservation science into practice. *BioScience*, 52, 499-512.

Groves, C. R. e contribuintes. 2003. *Drafting a Conservation Blueprint: a Practitioner's Guide to Regional Planning for Biodiversity*. Washington, D.C.: Island Press.

Hales, J., e P. Petry. 2015. Tapajos-Juruena Freshwater Ecoregion. [http://www.feow.org/ecoregions/details/tapajos\\_juruena](http://www.feow.org/ecoregions/details/tapajos_juruena)

Heiner, M., J.V. Higgins, X. Li e B. Baker. 2010. Identifying freshwater conservation priorities in the Upper Yangtze River Basin. *Freshwater Biology*. DOI:10.1111/j.1365-2427.2010.02466.x

Higgins, J. V. Maintaining the Ebbs and Flows of the Landscape - Conservation Planning for Freshwater Ecosystems. Capítulo em: Groves, C. R. e contribuintes. 2003. *Drafting a Conservation Blueprint: a Practitioner's Guide to Regional Planning for Biodiversity*. Washington, D.C.: Island Press.

Higgins, J. V., M. Bryer, M. Lammert e T. FitzHugh. 2005. "A Freshwater Classification Approach for Biodiversity Conservation Planning". *Freshwater Biology*, 19(2), 432-445.

Higgins, J. V., e C. Duigan 2009. Tanto a ser feito e tão pouco tempo disponível: identificando as prioridades para a conservação da biodiversidade da água doce nos Estados Unidos e Grã-Bretanha. Em: *Assessing the conservation value of fresh waters - an international perspective*. Editores: P.J. Boon. & C.M. Pringle. Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press. 293 pp.

Hijmans, R. J., S. Cameron e J. Parra. 2004. WorldClim, versão 1.4 (edição 3). Uma base de dados de resolução de quilômetros quadrados do clima da superfície terrestre global <http://www.worldclim.org>

Hunter M.L. 1991. Colaborando com a ignorância: a grosseira estratégia de filtragem para manutenção da biodiversidade. Em: *Balancing on the Brink of Extinction* (Ed. Kohm K.A.), p. 266- 281. Island Press, Washington

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. [https://ww2.ibge.gov.br/english/geociencias/recursosnaturais/mapas/mapas\\_doc3.shtm](https://ww2.ibge.gov.br/english/geociencias/recursosnaturais/mapas/mapas_doc3.shtm)

Khoury, M., J. Higgins, e R. Weitzell. 2010. A Freshwater Conservation Assessment of the Upper Mississippi River Basin Using a Coarse- and Fine-Filter Approach. *Freshwater Biology*. DOI: 10.1111/j.1365-2427.2010.02468.x.

Lehner, Verdin & Jarvis. 2006. Documentação técnica da HydroSHEDS. World Wildlife Fund US,

Washington, DC. Disponível on-line em <http://www.worldwildlife.org/hydrosheds>.

Madhulatha, T. S. 2012. An overview on clustering methods. *IOSR Journal of Engineering* 2:719-725.

Moyle, P. B., e R. M. Yoshiyama. 1994. A conservation-oriented classification system for the inland waters of California. *California Fish and Game* 77:161-180.

Opperman, J., J. Hartmann, J. Raepple, H. Angarita, P. Beames, E. Chapin, R. Geressu, G. Grill, J. Harou, A. Hurford, D. Kammen, R. Kelman, E. Martin, T. Martins, R. Peters, C. Rogé-liz, e R. Shirley. 2017. *The Power of Rivers: A Business Case*. The Nature Conservancy: Washington, D.C.

Peel, M. C., B.L. Finlayson, e T. A. McMahon. 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences* 11 1633-1644.

Salvador, S., e P. Chan. 2004. Determining the number of clusters/segments in hierarchical clustering/segmentation algorithms. Páginas 576-584 em 16th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence.

Sayer, R., J. Bow, C. Jose, et al. *Ecosistemas terrestres da América do Sul*, 131-152. Em: Campbell, J.C., B. Jones, e J.H. Smith (Eds). *North America Land Cover Summit: A special issue of the Association of American Geographers*. Washington, D.C., 2008.

Smith, R. K., P. L. Freeman, J. V. Higgins, K. S. Wheaton, T. W. FitzHigh, A. A. Das, e K. J. Ernstrom. 2002. *Priority Areas for Freshwater Conservation Action: A Biodiversity Assessment of the Southeastern United States*. 2002. The Nature Conservancy. Arlington, VA. 68 pp.

Smith et al. 2008. *The Active River Area: A conservation Framework for Protecting Rivers and Streams*. The Nature Conservancy. Arlington VA. 64 pp.

Telles, P., P. Petry, T. Walshurger, J. Higgins, e C. Apse. 2012. *Portafolio de Conservación de Agua Dulce Para La Cuenca Del Rio Magdalena - Cauca*. The Nature Conservancy e Cor-Magdalena, Bogotá, Colômbia. 199 pp.

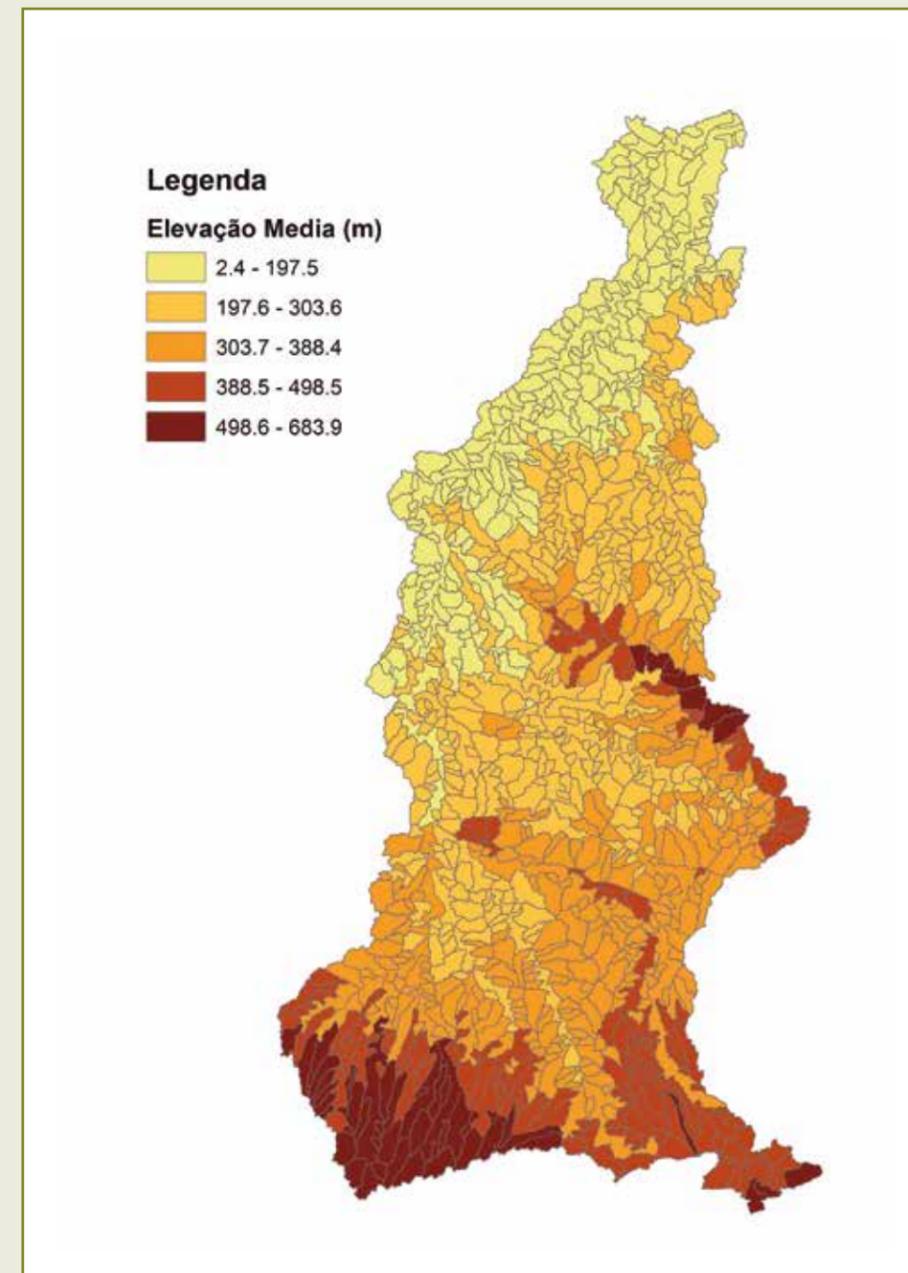
TerraClass 2014. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. [http://www.inpe.br/cra/projetos\\_pesquisas/terraclass2014.php](http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/terraclass2014.php)

TerraClass 2013. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. <http://www.dpi.inpe.br/tccerrado/>

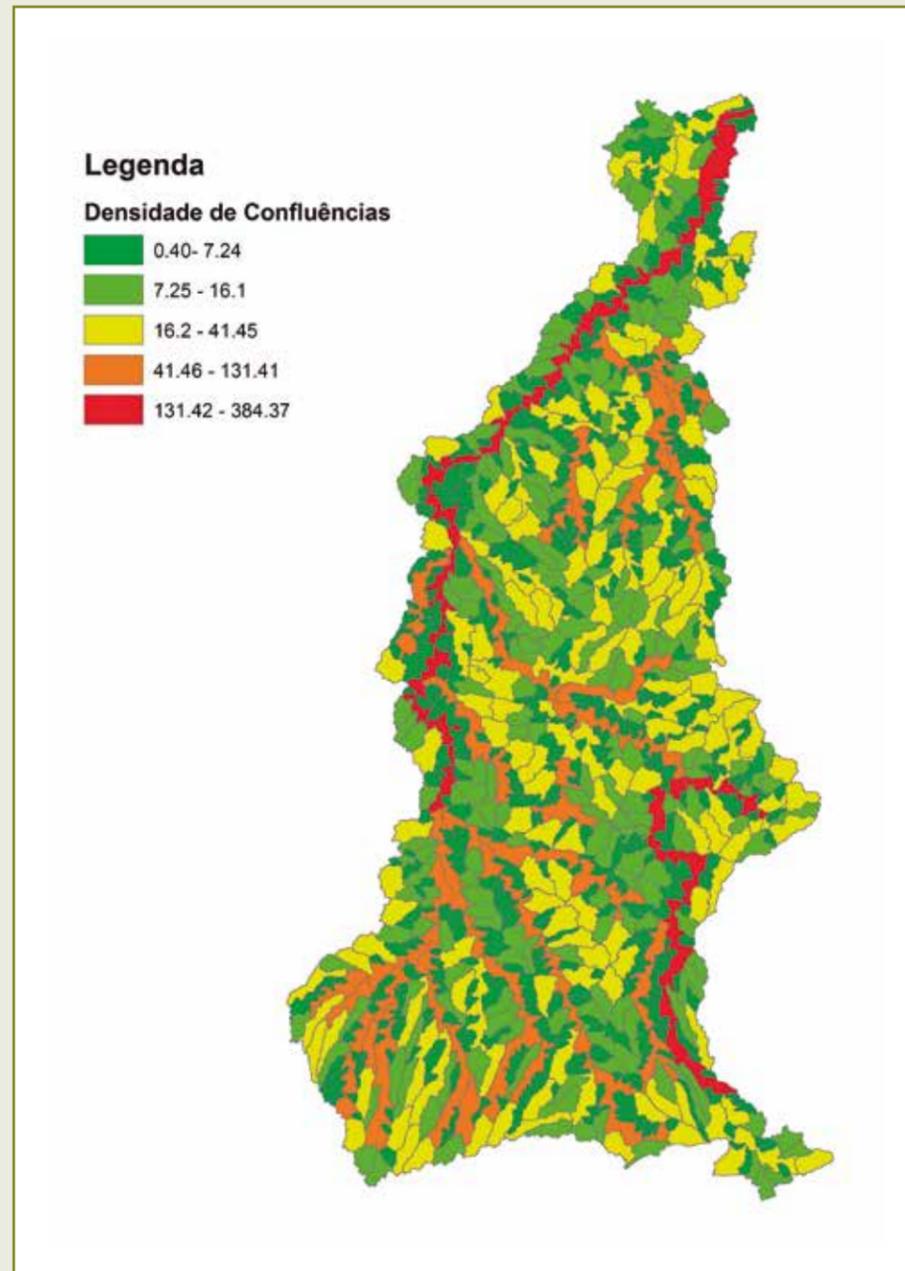
Thieme M.L., J. Rudolph, J. Higgins, e J.A. Takats. 2012. Protected areas and freshwater conservation: a survey of protected area managers in the Tennessee and Cumberland River Basins, USA. *Journal of Environmental Management* 109: 189-199.

# Apêndice

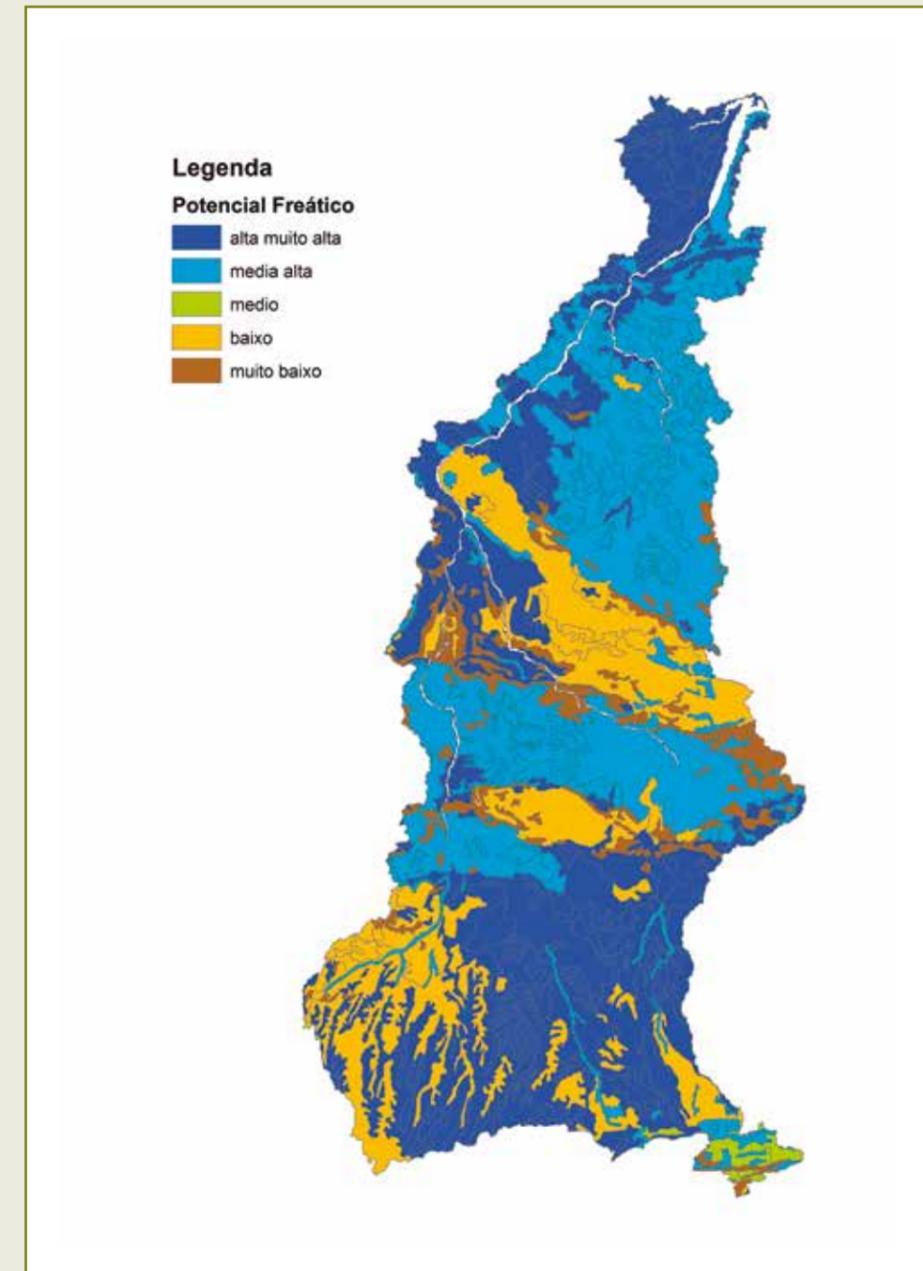
## Classificação do sistema ecológico



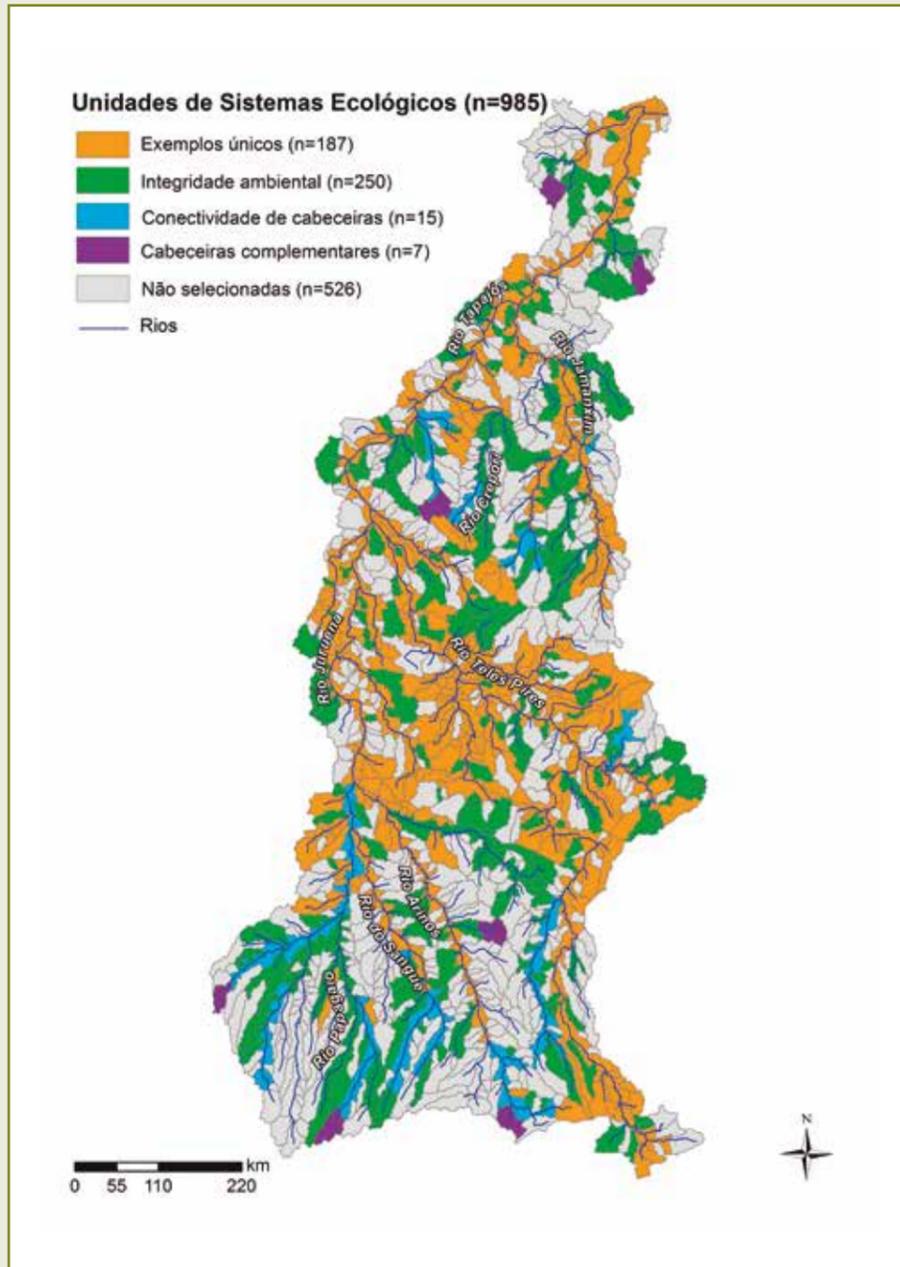
A faixa de elevação e a elevação média dos sistemas ecológicos foram calculadas para cada unidade usando o DEM em HydroSHEDS. As faixas de elevação para cada unidade do sistema ecológico são mostradas em metros acima do nível do mar:



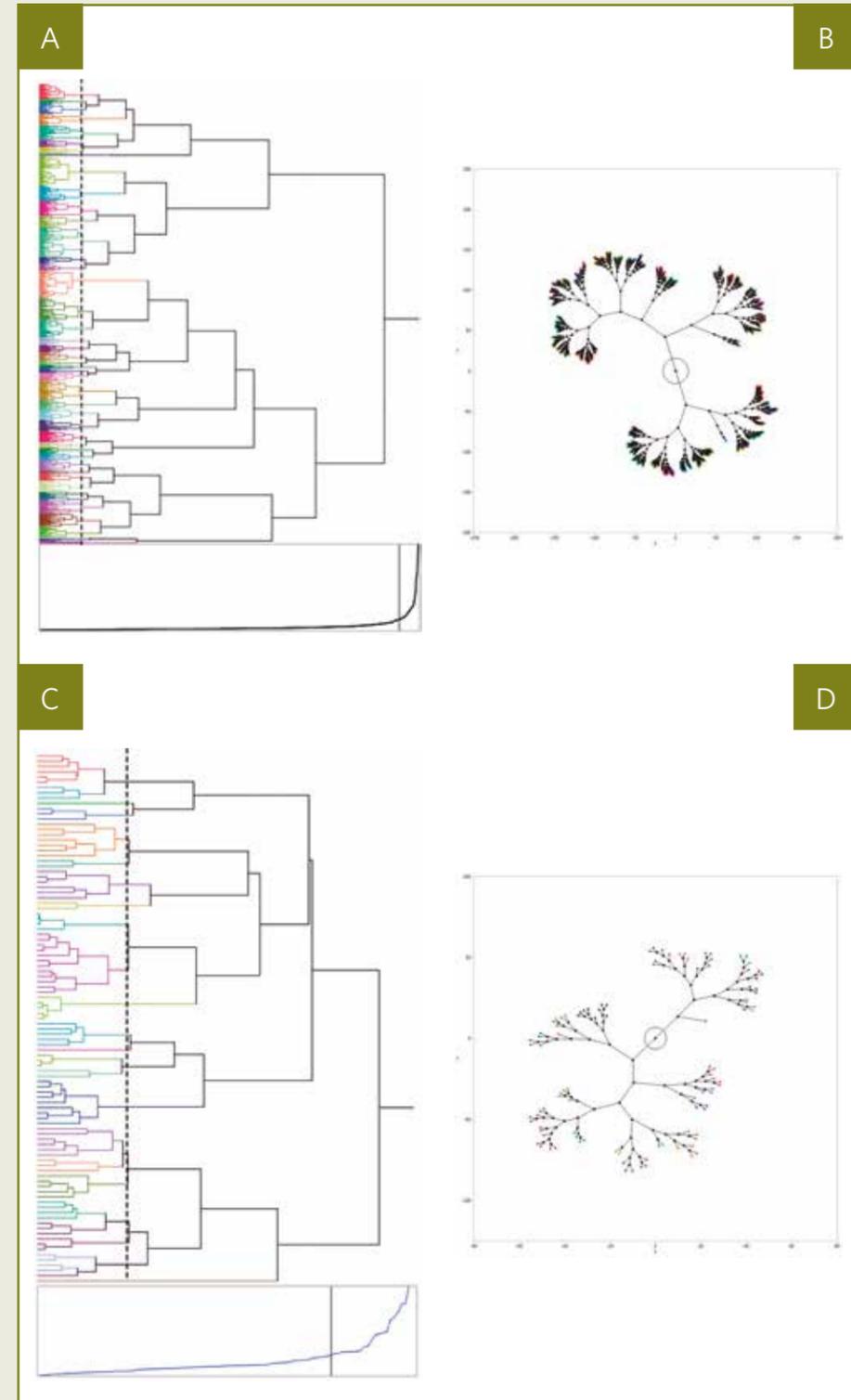
A densidade do rio e o grau de dendricidade - o número de confluências, por unidade do sistema ecológico - foram calculados usando os dados hidrográficos do HydroSHEDS. O número de confluências fluviais é mostrado acima, indicando o grau de dendricidade:



O potencial de contribuição da água subterrânea como componente do fluxo de base foi estimado agrupando-se os solos conforme textura e porosidade a partir dos mapas de solos gerados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. Uma reclassificação de solos foi conduzida para gerar caracterizações do potencial da água subterrânea ao longo do rio Tapajós. As unidades do sistema ecológico foram avaliadas quanto às proporções de diferentes classes de contribuição potencial de água subterrânea nas análises de agrupamento.



O portfólio foi gerado por meio da seleção dos únicos exemplos disponíveis para atingir metas de 100% de representação dos sistemas ecológicos que tiveram apenas uma ou duas ocorrências; aqueles que foram selecionados como os melhores exemplos de sistemas ecológicos devido à sua integridade; aqueles que foram adicionados para fornecer continuidade aos sistemas ecológicos que foram incluídos como nascentes, mas não tinham conectividade abaixo deles (conectividade de nascentes) e aqueles que forneceram nascentes para os que não as possuíam (nascentes complementares):



Dendrogramas e resultados de análise de agrupamentos representados graficamente para as nascentes que geraram 46 tipos de sistemas ecológicos de nascentes (a e b) e 22 tipos de ecossistemas de afluentes (c e d).



© Kevin Arnold

Copyright © 2019 - The Nature Conservancy |  
Todos os direitos desta publicação são reservados à The Nature Conservancy

**TNC Brasil**

**Direção:** Ian Thompson

**Gerente de Infraestrutura:** Karen Oliveira

**Coordenação Geral**

Karen Oliveira - Gerente de Infraestrutura

Adriana Kfoury - Gerente de Projeto

**Coordenação Científica**

Edenise Garcia - Coordenadora Adjunta de Ciências

**Concepção do Blueprint**

Jonathan Higgins - Diretor de Conservação - Great Rivers

Paulo Petry - Cientista Sênior de Água Doce para América Latina

© **Conservação da Bacia do Tapajós: Uma Visão de Sustentabilidade (versão em português)**

© **A Conservation Assessment of the Rio Tapajós, Brazil - A vision for a sustainable Rio Tapajós (texto original)**

**Autores:**

Paulo Petry<sup>[1]</sup>, Jonathan Higgins<sup>[2]</sup>; Arnaldo Carneiro<sup>[3]</sup>; Sidney Rodrigues<sup>[4]</sup>; David Harrison<sup>[5]</sup>; Pedro Bara<sup>[6]</sup>; Raphael Vale<sup>[7]</sup>; Edenise Garcia<sup>[8]</sup>.

**Edição de Arte:** Marcelo Almeida

**Revisão:** Edenise Garcia, Karen Oliveira, Adriana Kfoury

**Foto de Capa:** Rio Juruena/Bacia do Tapajós

@ Fernando Lessa

**Apoio:** PSR

<sup>[1]</sup> TNC América Latina;

<sup>[2]</sup> TNC Global;

<sup>[3]</sup> Parceiro TNC;

<sup>[4]</sup> Parceiro TNC;

<sup>[5]</sup> Parceiro TNC

<sup>[6]</sup> Parceiro TNC;

<sup>[7]</sup> TNC Brasil;

<sup>[8]</sup> TNC Brasil.

The Nature  
Conservancy  
Brasil



[TNC.org.br](http://TNC.org.br)  
[Nature.org/brazil](http://Nature.org/brazil)

The Nature Conservancy  
Brasil  
Avenida Paulista, 2439  
9º andar, cj 91 - São Paulo/SP  
01311-936

APOIO

