



**XII**  
ENANPPAS

ENCONTRO NACIONAL  
DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL  
DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
EM AMBIENTE E SOCIEDADE

**COP30: ENFRENTAMENTOS ÀS  
DESIGUALDADES SOCIAIS  
E EMERGÊNCIA CLIMÁTICA**

## USO E COBERTURA DA TERRA NA BACIA DO RIO MADEIRA<sup>1</sup>

Silvia Sayuri Mandai<sup>1</sup>; Jocilene Dantas Barros<sup>2</sup>; Gabriela Alves Carreiro<sup>3</sup>; Gustavo Felipe Balué Arcoverde<sup>4</sup>; Guilherme Prado Alves<sup>5</sup>; Evandro Albiach Branco<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Universidade de São Paulo, [silvia.mandai@usp.br](mailto:silvia.mandai@usp.br)

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, [jocilene.barros@inpe.br](mailto:jocilene.barros@inpe.br)

<sup>3</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, [gabrielaalvescarreiro@gmail.com](mailto:gabrielaalvescarreiro@gmail.com)

<sup>4</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, [gustavo.arcoverde@inpe.br](mailto:gustavo.arcoverde@inpe.br)

<sup>5</sup> Universidade de São Paulo, Grupo de Pesquisa em Planejamento e Gestão Ambiental PLANGEA/USP [guilhermepradoalves@usp.br](mailto:guilhermepradoalves@usp.br)

<sup>6</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, [evandro.albiach@inpe.br](mailto:evandro.albiach@inpe.br)

**GT 18:** Transformações da paisagem no contexto das mudanças climáticas e ambientais

### RESUMO

Bacias hidrográficas são sistemas socioecológicos susceptíveis a impactos decorrentes de mudanças de uso e cobertura da terra. Este trabalho teve como objetivo analisar a dinâmica de uso e cobertura da terra na bacia do rio Madeira antes, durante e depois da instalação das usinas hidrelétricas (UHEs) Jirau e Santo Antônio. Foram utilizados dados de uso e cobertura da terra reclassificados do MapBiomas, geradas as transições de floresta para agropecuária espacialmente e calculadas as taxas de mudança florestal na bacia do Madeira e nos *buffers* ao redor das UHEs na bacia. As classes de uso e cobertura da terra que predominaram entre 2004 e 2020 foram floresta e agropecuária. As taxas de desmatamento foram maiores na bacia do que ao redor das UHEs. As regiões onde se encontram áreas protegidas apresentaram visualmente uma menor transição de floresta para agropecuária e percebeu-se que rodovias e hidrelétricas são fatores que contribuem com o desmatamento.

**Palavras-chave:** Bacia do rio Madeira; Desmatamento; Mudanças no uso e cobertura da terra.

---

<sup>1</sup> O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Códigos de Financiamento 001, processos #88887.716072/2022-00 e #88887.645287/2021-00 - e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Processos FAPESP #19/17113-9 e #20//07372-4).



**XII**  
ENANPPAS

ENCONTRO NACIONAL  
DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL  
DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
EM AMBIENTE E SOCIEDADE

**COP30: ENFRENTAMENTOS ÀS  
DESIGUALDADES SOCIAIS  
E EMERGÊNCIA CLIMÁTICA**

## Destaques (highlights)

- A principal mudança na bacia foi a conversão de floresta para agropecuária;
- Visualmente, as áreas protegidas da bacia tiveram menores taxas de desmatamento;
- A bacia teve desmatamento maior que ao redor das hidrelétricas Jirau e Santo Antônio;
- As rodovias e hidrelétricas parecem ser vetores importantes de desmatamento.

## INTRODUÇÃO

Uma bacia hidrográfica pode ser compreendida como um sistema socioecológico complexo, uma vez que seus elementos biofísicos e sociais estão interconectados e, simultaneamente, influenciam e são influenciados pelos processos e *feedbacks* existentes. A compreensão das dinâmicas territoriais é um elemento chave para a análise de unidades de bacia hidrográfica, já que elas integram aspectos econômicos, ambientais e políticos que modelam o uso e a ocupação do solo ao longo do tempo (Dias; Walde, 2013).

Assim como sistemas socioecológicos complexos, bacias hidrográficas estão sujeitas a perturbações que modificam suas funções e natureza, em processos complexos e cumulativos (Dias; Walde, 2013). Uma perturbação significativa sobre uma bacia hidrográfica é a implementação de uma usina hidrelétrica, que altera regimes de vazão, modifica processos de conectividade fluvial, provoca deslocamento de comunidades, cria novas infraestruturas e fomenta atividades socioeconômicas associadas (Roquetti *et al.*, 2024; Arantes *et al.*, 2022; Moran, 2016). Como as reconfigurações no uso e cobertura da terra decorrentes de projetos de usinas hidrelétricas são refletidas em níveis espaciais e temporais amplos (Slinger *et al.*, 2011), especialmente na Amazônia - onde processos sócio-culturais e econômicos se conectam a elementos biofísicos em redes extensas (Athayde *et al.*, 2019) - acredita-se que a escala de bacia hidrográfica possa ser um testemunho de mudanças socioecológicas causadas por essa tipologia de empreendimento, bem como apontar possíveis forças motrizes para as mudanças de uso e cobertura da terra.

O caso das usinas hidrelétricas de Jirau e Santo Antônio, instaladas no rio Madeira (Rondônia, Brasil), é representativo para a compreensão das mudanças de uso e cobertura da terra na Amazônia, pois evidencia como grandes empreendimentos hidrelétricos podem modificar dinâmicas territoriais e promover o surgimento de atividades econômicas, como garimpo, agricultura intensiva e especulação fundiária (Branco; Moretto, 2022), que muitas vezes são



**XII**  
ENANPPAS

ENCONTRO NACIONAL  
DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL  
DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
EM AMBIENTE E SOCIEDADE

**COP30: ENFRENTAMENTOS ÀS  
DESIGUALDADES SOCIAIS  
E EMERGÊNCIA CLIMÁTICA**

conflitantes com os modos de vida tradicionais da Amazônia. Logo, com base na importância da dinâmica territorial para os sistemas socioecológicos afetados pelas usinas do Madeira, esse trabalho tem como pergunta norteadora: quais as principais mudanças de uso e cobertura da terra na bacia do rio Madeira? A partir dessa pergunta norteadora, duas perguntas específicas foram analisadas: a) as taxas de mudanças de uso e cobertura da terra ao redor das UHEs Jirau e Santo Antônio são maiores do que na bacia do rio Madeira?; e b) quais os *hotspots* de mudança de uso e cobertura da terra? Assim, o objetivo do trabalho foi analisar a dinâmica de uso e cobertura da terra na bacia do rio Madeira antes, durante e depois da construção das UHEs Jirau e Santo Antônio. O trabalho utiliza dados de sensoriamento remoto para desenvolver análises de transição de uso e cobertura da terra e discutir possíveis fatores influenciando a dinâmica territorial da bacia do rio Madeira. Por fim, o trabalho problematiza as implicações dessas mudanças para os sistemas socioecológicos da bacia do rio Madeira.

## **METODOLOGIA**

A bacia do rio Madeira está no sudoeste do bioma amazônico no Brasil, abrangendo os estados do Amazonas, Mato Grosso e Rondônia (estado majoritário). A bacia do rio Madeira conta com as grandes UHEs Jirau e Santo Antônio, as quais entraram em operação em 2012 (Santo Antônio) e 2013 (Jirau) e estão entre as dez maiores produtoras de energia elétrica do Brasil.

Para analisar a dinâmica de uso e cobertura da terra da bacia do rio Madeira, foram utilizados dados de uso e cobertura da terra do MapBiomas (v. 6), com base em sete classes de uso e cobertura da terra. Três dessas classes foram obtidas pela reclassificação de algumas classes do MapBiomas para aumentar a acurácia das análises, agrupando temas parecidos: Floresta (antes, Formação florestal e Formação savânica), Campos e Áreas Úmidas (antes, Campos alagados e Área Pantanosa e Formação Campestre) e Agropecuária (antes, Pastagem, Soja, Outras Lavouras Temporárias, Silvicultura e Mosaico de Agricultura e Pastagem). Para essa reclassificação, foi utilizada a ferramenta “reclassificar por tabela” no *software* QGIS (v. 3.28). As outras quatro classes (Área Urbana, Mineração, Área Não Vegetada e Corpos Hídricos) foram as mesmas do MapBiomas.



**XII**  
ENANPPAS

ENCONTRO NACIONAL  
DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL  
DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
EM AMBIENTE E SOCIEDADE

**COP30: ENFRENTAMENTOS ÀS  
DESIGUALDADES SOCIAIS  
E EMERGÊNCIA CLIMÁTICA**

A análise de transição para as classes de uso e cobertura da terra de floresta para agropecuária, foi utilizada a ferramenta *Cross Classification no Plugin Semi-Automatic Classification* (v. 7.10) no *software* QGIS (v. 3.28), considerando quatro períodos: pré-barragem (2004-2007), instalação (2008-2011), pós-barragem (2012-2020) e total (2004-2020). A transição floresta → agropecuária foi escolhida, pois apresentou a mudança mais representativa em km<sup>2</sup> e percentual na bacia do rio Madeira. Para uma análise visual de possíveis fatores que influenciaram as mudanças de uso e cobertura da terra, foram adicionados ao mapa de transição, os fatores mais comuns que atuam para o desmatamento na Amazônia, com adaptações de Branco (2020): presença de hidrelétricas (UHEs e PCHs), Unidades de Conservação, Terras Indígenas homologadas, setores urbanizados, assentamentos e rodovias federais.

Para comparar o desmatamento relativo entre os quatro períodos, foi aplicada a equação da taxa anual de mudança florestal (1) de Puyravaud (2003).

$$(1) \quad r = [1 / (t_2 - t_1)] * \ln (A_2 / A_1),$$

onde  $A_1$  e  $A_2$  são a cobertura florestal nos tempos  $t_1$  e  $t_2$  respectivamente. Valores de  $r$  negativos indicam desmatamento, enquanto valores positivos apontam ganho florestal. Por calcular as taxas relativas de mudança, essa equação permite lidar com as diferenças de anos entre os quatro períodos analisados e com as diferenças de área entre a bacia do rio Madeira e o *buffer* ao redor das UHEs.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de uso e cobertura da terra indicaram que a bacia do rio Madeira tem passado por dinâmicas territoriais complexas, principalmente nos estados de Rondônia e Mato Grosso, sendo que a classe floresta (classe predominante em todos os anos) foi majoritariamente convertida para agropecuária (segunda classe predominante) nestes estados. As demais classes não tiveram aumento representativo em termos de área (km<sup>2</sup>) e porcentagem. A predominância das classes floresta e agropecuária também pode ser visualizada nos mapas de uso e cobertura da terra de 2004 e 2020 (Figura 1).

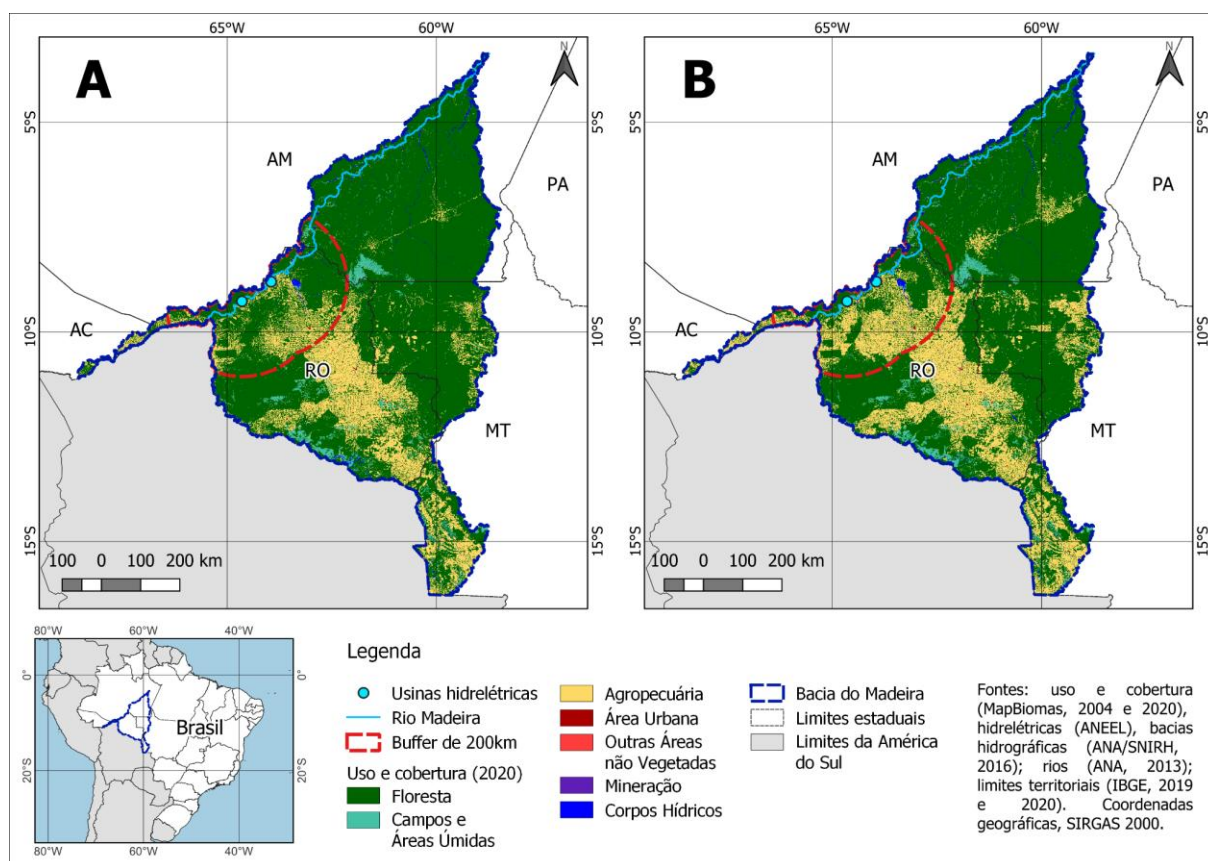


Figura 1: Uso e cobertura da terra em 2004 (A) e 2020 (B) para a bacia do rio Madeira, Brasil. Fonte: Elaboração própria (2025).

As classes Floresta e Campos e Área Úmida reduziram suas áreas (km<sup>2</sup>) de 2004 a 2020. No entanto, apenas a classe Floresta (77% para 71,5%) teve diferença maior que 1% considerando a área da bacia hidrográfica entre 2004 e 2020. As classes Agropecuária, Área urbana, Mineração e Água aumentaram suas áreas de 2004 a 2020, sendo que apenas a classe Agropecuária teve aumento percentual (18,3% para 23%) superior a 1%.

As taxas de perda florestal foram sempre (antes, durante e depois da instalação) maiores na bacia do rio Madeira do que ao redor das UHEs. Tanto na bacia hidrográfica quanto no *buffer*, o período anterior à instalação das UHEs apresentou maiores taxas de desmatamento (Tabela 1). Porém, os resultados apontaram redução das taxas de perda florestal na fase de operação tanto na bacia do rio Madeira quanto ao redor das UHEs. Isso pode ser explicado pelo fato da maior parte das áreas não protegidas já estarem desmatadas. Historicamente, as taxas de desmatamento estão ligadas principalmente ao Plano Nacional de Integração e à expansão da agropecuária do estado do Mato Grosso para Rondônia (Moran et al., 2016). Grande parte da



**XII**  
ENANPPAS

ENCONTRO NACIONAL  
DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL  
DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
EM AMBIENTE E SOCIEDADE

**COP30: ENFRENTAMENTOS ÀS  
DESIGUALDADES SOCIAIS  
E EMERGÊNCIA CLIMÁTICA**

bacia do rio Madeira encontra-se no estado de Rondônia, que faz parte do arco do desmatamento, com a conversão principal de floresta para pastagem e agricultura extensiva.

Tabela 1: Porcentagem de taxas anuais de mudança florestal para as Bacias do Rio Xingu e Madeira e os buffers ao redor das UHE de Belo Monte (BM) e Jirau e Santo Antônio (JSA).

	<b>Bacia do Rio Madeira</b>	<b>Buffer ao redor JSA</b>
<b>Pré-instalação</b>	-1.95	-0.78
<b>Instalação</b>	-0.57	-0.13
<b>Pós-instalação</b>	-1.53	-0.52
<b>Total</b>	-1.33	-0.46

A figura 2 representa as transições de floresta para agropecuária de 2004 a 2020 e uma sobreposição com fatores que influenciam a transição, seja contribuindo para barrá-la ou para aumentar o desmatamento. Em uma análise visual, as transições foram menos presentes em áreas protegidas - Terras Indígenas e Unidades de Conservação. Porém, o fato das áreas protegidas estarem mais dispersas entre si (não formam mosaicos de áreas protegidas) dificulta a conectividade ecológica entre os fragmentos florestais, diferentemente do observado no mosaico de Unidades de Conservação e Terras Indígenas na região do Xingu (Mandai et al., 2024).

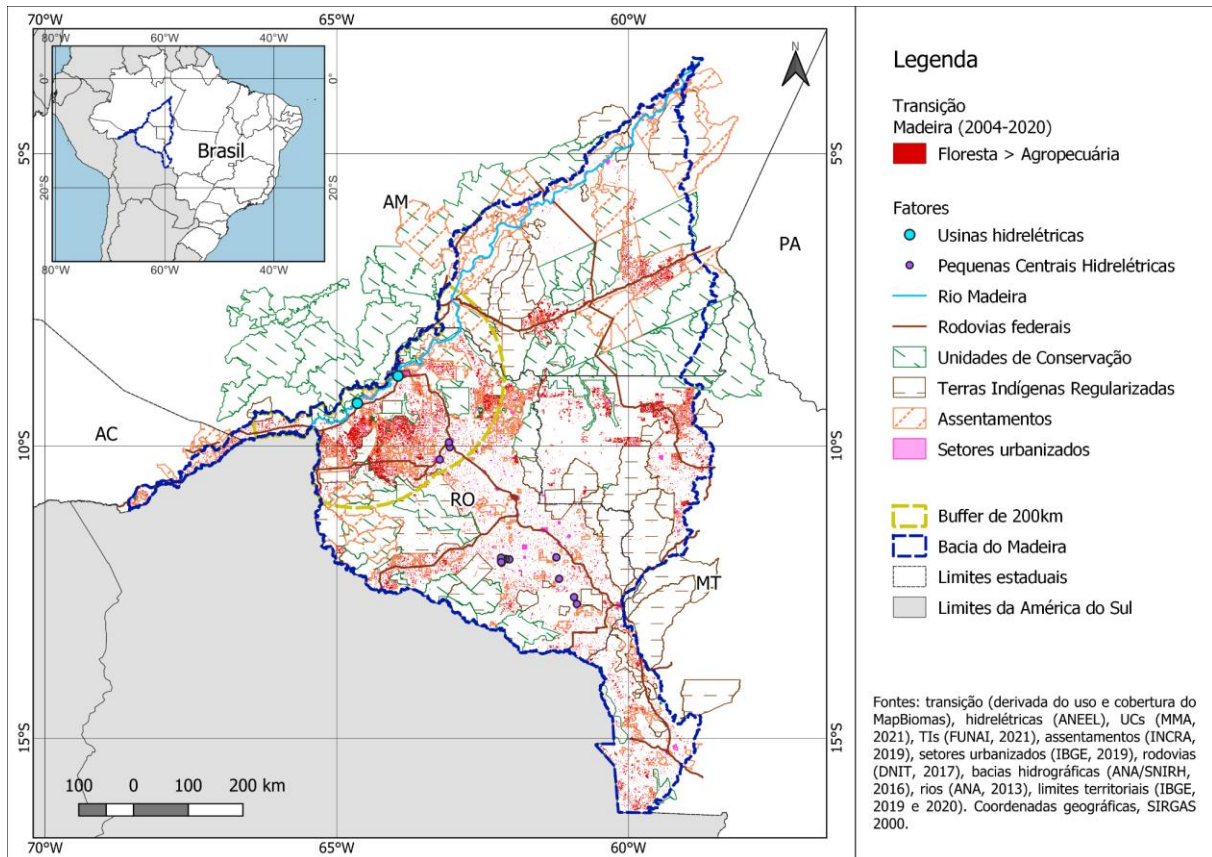


Figura 2: Transições de floresta para agropecuária e fatores para a bacia do rio Madeira, Brasil. Fonte: Elaboração própria (2025).

Além das áreas protegidas, uma análise visual das transições indica que as rodovias e hidrelétricas podem ser fatores importantes para a perda florestal na bacia do rio Madeira. Houve maiores concentrações de áreas convertidas para agropecuária ao redor do *buffer* de 200km ao redor das UHEs. Inclusive, Mandai et al. (2024) encontraram que as taxas de desmatamento nas áreas protegidas próximas às UHEs Jirau e Santo Antônio e após o período de operação das UHEs foram mais altas que em áreas não protegidas. Assim como no caso do Plano de Integração Nacional, a construção de UHEs também está relacionada a planos governamentais (Moretto et al., 2012; Moran et al., 2016). Por exemplo, nas décadas de 2000 e 2010, o governo brasileiro liderou o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), com foco na produção de energia elétrica na região amazônica (Moretto et al., 2012; Borges, 2018), que resultou em sete UHEs, entre elas, Jirau e Santo Antônio no rio Madeira (Branco & Moretto, 2022). Assim como a bacia do rio Madeira, a Amazônia Legal tem tido sua paisagem modificada por mudanças ambientais ligadas a grandes obras de infraestrutura de planos



**XII**  
ENANPPAS

ENCONTRO NACIONAL  
DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL  
DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
EM AMBIENTE E SOCIEDADE

**COP30: ENFRENTAMENTOS ÀS  
DESIGUALDADES SOCIAIS  
E EMERGÊNCIA CLIMÁTICA**

estratégicos nacionais (Moretto et al., 2012; Moran et al., 2016; Athayde et al., 2019), o que leva ao questionamento da responsabilidade do Estado em relação aos impactos socioecológicos desses empreendimentos.

Também houve maiores concentrações de transições ao redor de rodovias federais. Por exemplo, houve uma expansão da perda florestal de 2004 a 2020 ao redor da rodovia transamazônica (BR-230), em formato de espinha de peixe (Figura 2). Por conta desse padrão de conversão de floresta para agropecuária na região e pelo fato das rodovias serem vetores importantes de desmatamento, a pavimentação da rodovia BR-319 interligando Porto Velho a Manaus acende um sinal de alerta para as altas chances de desse padrão de conversão se repetir, o que impactaria uma das áreas mais conservadas da Amazônia brasileira (Ferrante et al., 2021).

Apesar desse trabalho preliminar ter analisado visualmente alguns potenciais vetores de mudança de uso e cobertura da terra, como rodovias e hidrelétricas, pesquisas precisam ser realizadas no futuro para entender a influência de diferentes *drivers* na bacia hidrográfica do rio Madeira. Entender como esses vetores atuam também é importante no planejamento estratégico de atividades antrópicas para a bacia do rio Madeira, incluindo os impactos cumulativos (Athayde et al., 2019). Projetos de infraestrutura e fatores demográficos, econômicos, tecnológicos, político-institucionais e culturais podem resultar em grandes mudanças cumulativas no uso e cobertura da terra da paisagem (Branco & Moretto, 2022). Por exemplo, a expansão da soja nos estados do Mato Grosso e Rondônia pressionam outros componentes ambientais ao requererem uso da terra intensivo e extensivo, acessos rodoviários para escoamento das colheitas e mais portos para armazenamento e transporte dos produtos. Tais mudanças podem afetar os processos ecossistêmicos importantes para a manutenção da biodiversidade e relações socioecológicas e bioculturais da bacia do rio Madeira (Athayde et al., 2019; Branco & Moretto, 2022).

## CONCLUSÃO

O trabalho conclui que a principal mudança de uso e cobertura da terra na bacia do rio Madeira foi de floresta para agropecuária, desencadeada inicialmente por políticas de povoamento e desenvolvimentistas do governo federal e depois pelo fortalecimento do setor agropecuário no país, com uma lógica principalmente extensiva de produção. O trabalho respondeu às duas

Apoio:



Realização:



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
SUSTENTABILIDADE



Financiamento:





**XII**  
ENANPPAS

ENCONTRO NACIONAL  
DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL  
DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
EM AMBIENTE E SOCIEDADE

**COP30: ENFRENTAMENTOS ÀS  
DESIGUALDADES SOCIAIS  
E EMERGÊNCIA CLIMÁTICA**

perguntas específicas, concluindo que as taxas de mudanças de uso e cobertura da terra ao redor das UHEs Jirau e Santo Antônio foram menores do que na bacia do rio Madeira e que as áreas protegidas foram as áreas menos desmatadas. Os resultados de alta degradação do bioma amazônico na bacia do rio Madeira indicam que os sistemas socioecológicos desta bacia hidrográfica estão em estado de alta vulnerabilidade ambiental e que ameaçam as relações socioecológicas de comunidades tradicionais interdependentes com as florestas e processos ecossistêmicos associados.

## REFERÊNCIAS

Arantes, C. C., Laufer, J., Pinto, M. D. S., Moran, E. F., Lopez, M. C., Dutka-Gianelli, J., Pinto, D. M., Chaudhari, S., Pokhrel, Y., & Doria, C. R. C. (2022). Functional responses of fisheries to hydropower dams in the Amazonian floodplain of the Madeira River. *Journal of Applied Ecology*, 59(3), 680–692. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14078>

Athayde, S., Mathews, M., Bohlman, S., Brasil, W., Doria, C. R., Dutka-Gianelli, J., Fearnside, P. M., Loisell e, B., Marques, E. E., Melis, T. S., Millikan, B., Moretto, E. M., Oliver-Smith, A., Rossete, A., Vacca, R., & Kaplan, D. (2019b). Mapping research on hydropower and sustainability in the Brazilian Amazon: advances, gaps in knowledge and future directions. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 37, 50–69. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.06.004>

Branco, E. A. (2020). Dinâmicas de uso e cobertura da terra de grandes empreendimentos hidrelétricos na Amazônia. *Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo*.

Branco, E. A., & Moretto, E. M. (2022). Grandes Empreendimentos Hidrelétricos na Amazônia e Dinâmicas de Uso e Cobertura da Terra. In *Estudos Socioambientais* (pp. 213–236). <https://doi.org/10.5151/9786555502671-11>

Dias, L. T., & Walde, D. H.-G. (2013). Modelagem da dinâmica espacial do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Lago Paranoá-DF. *Revista Brasileira de Cartografia*, 65(1). <https://doi.org/10.14393/rbcv65n1-44784>

Ferrante, L., Gomes, M., & Fearnside, P. M. (2020). Amazonian indigenous peoples are threatened by Brazil's Highway BR-319. *Land Use Policy*, 94(October 2019), 104548. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104548>

Mandai, S. S., Branco, E. A., Moretto, E. M., Barros, J. D., Alves, G. P., Utsunomiya, R., Arcoverde, G. F. B., Assahira, C., Arantes, C. C., Lobo, G. de S., Calvi, M. F., Doria, C. R. da C., Johansen, I. C., Carreiro, G. A., Bonavigo, P. H., Ferronato, M. L., Reis, V. C. e. S., &



**XII**  
ENANPPAS

ENCONTRO NACIONAL  
DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL  
DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
EM AMBIENTE E SOCIEDADE

**COP30: ENFRENTAMENTOS ÀS  
DESIGUALDADES SOCIAIS  
E EMERGÊNCIA CLIMÁTICA**

Moran, E. F. (2024). Two decades of clear-cutting threats in the Brazilian Amazonian protected areas around the Jirau, Santo Antônio, and Belo Monte large dams. *Journal of Environmental Management*, 359(August 2023), 120864. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120864>

Moran, E. F. (2016). Roads and dams: Infrastructure-driven transformations in the Brazilian Amazon. *Ambiente e Sociedade*, 19(2), 207–220. <https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOC256V1922016>

Moretto, E. M., Gomes, C. S., Roquetti, D. R., & Jordão, C. D. O. (2012). Histórico, tendências e perspectivas no planejamento espacial de usinas hidrelétricas brasileiras: A antiga e atual fronteira amazônica. *Ambiente e Sociedade*, 15(3), 141–164. <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2012000300009>

Puyravaud, J. P. (2003). Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology and Management*, 177(1–3), 593–596. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00335-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00335-3)

Roquetti, D. R., Athayde, S., Silva-Lugo, J., & Moretto, E. M. (2024). Amazon communities displaced by hydroelectric dams: Implications for environmental changes and household's livelihood. *Global Environmental Change*, 89, 102933. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2024.102933>

Slinger, J., Hermans, L., Gupta, J., Van Der Zaag, P., Ahlers, R., & Mostert, E. (2011). *The governance of large dams: A new research area*. Recuperado em 25 de junho de 2025, de [https://www.researchgate.net/publication/272394944\\_The\\_governance\\_of\\_large\\_dams\\_A\\_new\\_research\\_area](https://www.researchgate.net/publication/272394944_The_governance_of_large_dams_A_new_research_area)