



¿Por qué *no* seguir construyendo represas hidroeléctricas en la Amazonia brasileña?

Contribuciones a una matriz eléctrica renovable y efectivamente sostenible

Angélica Faria de Resende^{1*}; Erika Ferreira Rodrigues²; Flora Magdaline Benitez Romero³; Gabriel Costa Borba^{4*}; Igor Cavallini Johansen⁵; Luiza Santos Reis²; Marina Ghirotto Santos²; Songila Maria da Silva Rocha Doi⁶

¹ Universidade de São Paulo (USP), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ), Piracicaba, Brasil – gel.florestal@gmail.com

² Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, Brasil – erikarodrigues123rodrigues@gmail.com, luiza_sreis@yahoo.com.br, marina.ghirotto@gmail.com

³ Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, Amazonas, Brasil – benitezmagdaline@gmail.com

⁴ Virginia Polytechnic Institute and State University (Virginia Tech), Blacksburg, Virginia, EUA – gabrielborba@vt.edu

⁵ Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, São Paulo, Brasil – igorcav@unicamp.br

⁶ Universidade Federal do Acre (UFAC), Rio Branco, Brasil – songila35@gmail.com

*Angélica Faria de Resende – gel.florestal@gmail.com

* Gabriel Costa Borba – gabrielcostaborba@gmail.com

RESUMEN

La generación de electricidad mediante grandes proyectos hidroeléctricos suele pregonarse como fuente renovable, pero su sostenibilidad es cuestionable. En la Amazonia, estos proyectos traen consigo graves amenazas para los medios de vida de las comunidades indígenas y tradicionales, además de causar significativos daños a la fauna y flora de la región donde se instalan. Paradójicamente, mientras las poblaciones locales sufren la falta de acceso a la electricidad, la producción generada en la Amazonia se destina en su mayor parte a otras regiones de Brasil. En ese sentido, el presente artículo propone un análisis crítico de la construcción de hidroeléctricas en la Amazonia brasileña, partiendo de la pregunta fundamental: **¿Por qué *no* seguir construyendo grandes represas hidroeléctricas en la Amazonia brasileña?** A partir de la misma, detallamos el escenario ideal - por lo tanto, inalcanzable - en el que existiría esa posibilidad. Los elementos de este escenario serían: (1) Garantizar la deforestación cero, (2) Ofrecer una compensación efectiva a las poblaciones humanas directa o indirectamente impactadas, (3) Llevar a cabo una restauración ecológica, (4) Considerar futuros escenarios climáticos, (5) Mantener el pulso natural de crecida del río (régimen de caudales), (6) Asegurar la autonomía de la población directa o indirectamente impactada para decidir si se construye o no una central hidroeléctrica, y (7) Mantener el grado de endemismo de la fauna y flora locales. Sin embargo, en base de un análisis de los proyectos ya en marcha (planificados o en construcción), se revela que estos criterios no se respetan plenamente, asimismo, es posible que sean cumplidos en su integralidad. Esto hace que la construcción de hidroeléctricas en la Amazonia brasileña sea absolutamente inviable. Para garantizar el acceso a la electricidad en zonas aisladas de la Amazonia, recomendamos orientar las inversiones hacia fuentes de energía más sostenibles, caracterizadas por un menor impacto social y ambiental, mediante la producción a pequeña escala.

Palabras clave: Amazonía, hidroeléctrica, electricidad, justicia social, impactos ambientales.

Introducción

La creciente expansión de las hidroeléctricas representa una de las principales amenazas para la biodiversidad y los medios de subsistencia de las poblaciones que viven en la región amazónica, ya sea en zonas urbanas o rurales (Couto *et al.* 2021). La expansión mundial de los proyectos hidroeléctricos está impulsada, tanto, por ser considerada una alternativa a los combustibles fósiles (Almeida *et al.* 2022) como también fuente de energía renovable, que supuestamente contribuye para hacer frente al cambio climático (Fearnside 2019a). Esta expansión se está dando principalmente en países con economías emergentes, con la justificativa de la demanda energética para garantizar su desarrollo económico y social (Zarfl *et al.* 2015). En América del Sur, el enorme potencial hídrico del mayor bosque tropical del mundo hace de la cuenca amazónica un escenario teóricamente ideal para la expansión de nuevas hidroeléctricas (Almeida *et al.* 2019). Aunque las cifras exactas varían (Fearnside 2019b), al menos 158 hidroeléctricas con capacidades individuales instaladas de >1 MW están en operación y/o en construcción en las cinco naciones que conforman alrededor del 90% de la cuenca amazónica, y otras 351 nuevas hidroeléctricas se encuentran en fase de estudio de viabilidad (Flecker *et al.* 2022, ver Figura 1).

La construcción de grandes hidroeléctricas en la Amazonía brasileña es importante para las políticas transnacionales en América del Sur, ya que afecta a grandes áreas, no sólo en Brasil sino también en los países vecinos (Fearnside 2019a). Gobiernos de todo el mundo están haciendo promesas de descarbonización, con ambiciosos objetivos de reducción de emisiones y captura de carbono (Mountford *et al.* 2021). En este escenario, Brasil sigue afirmando que tiene una matriz eléctrica “limpia”, ya que produce alrededor del 62% de su electricidad a partir de energía hidroeléctrica (ANEEL 2023). Este discurso alimenta la creencia de que las hidroeléctricas son la mejor solución de energía renovable, ocultando la gravedad de los impactos socioambientales negativos causados por los megaproyectos hidroeléctricos (Fearnside 2013, 2017). En la Amazonía brasileña, grandes proyectos como las hidroeléctricas de Santo Antônio y Jirau, en Rondônia, y Belo Monte en Pará son ejemplos emblemáticos de los significativos daños sociales y ambientales causados en las cuencas de los ríos Madeira y Xingu, respectivamente (Couto *et al.* 2021).

Los impactos de las hidroeléctricas sobre la biodiversidad de la fauna y la flora, así como sobre las poblaciones locales, son subestimados en las Evaluaciones de Impacto Ambiental (EIA) realizadas en el proceso de concesión de licencias (Fearnside 2019c). Durante la construcción, los pueblos tradicionales

son desplazados, las poblaciones locales desestabilizadas, los bosques talados o inundados vivos para la formación de reservatórios, perjudicando a la fauna acuática debido al aumento de la descomposición, la liberación de metano y la reducción de la disponibilidad de oxígeno y alimentos (Souza Jr *et al.* 2019). Algunos años después de la instalación de la hidroeléctrica, los impactos continúan ocurriendo y expandiéndose, causando deforestación en los alrededores, mortalidad masiva de los bosques inundados aguas abajo (debido a las alteraciones en el ciclo hidrológico) y, en consecuencia, aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, provoca riesgos para la salud de los ribereños que viven en las orillas de los grandes ríos, lo que conduce a la escasez de recursos (Fearnside 2014, Lees *et al.* 2016, Resende *et al.* 2019, Schöngart *et al.* 2021, Silvano *et al.* 2005).

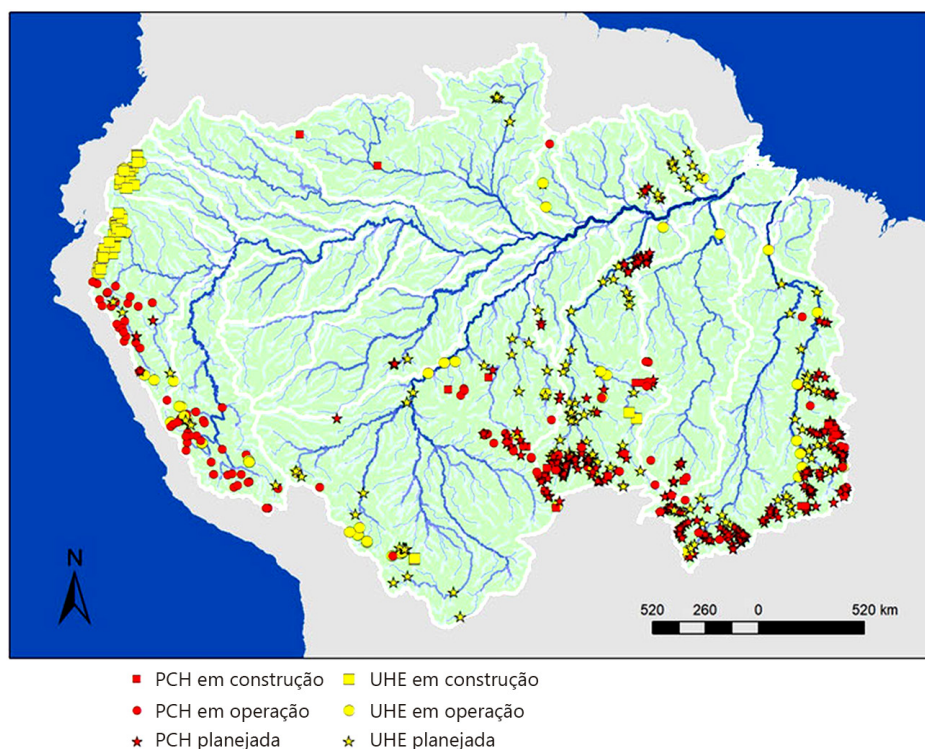


Figura 1 Mapa ilustrativo de los proyectos hidroeléctricos en la cuenca amazónica. Mapa elaborado por Thiago Couto. Disponible en: <https://amazoniacienciaciudadana.org/pt/impacts-small-hydroelectrics/>.

La energía hidroeléctrica producida por el método estándar en Brasil puede ser renovable, pero está lejos de ser sostenible. Para generar energía a través de centrales hidroeléctricas convencionales, es necesario convertir la energía mecánica generada por el paso del agua por las turbinas en energía eléctrica, y es obligatorio que haya una diferencia en el nivel del agua para activar el movimiento de las turbinas (Bagher *et al.* 2015). Modelos menos impactantes, como los del tipo “run-of-river” (hilo de agua) instalados en las hidroeléctricas de Santo Antônio y Jirau y en Belo Monte, utilizan la corriente del río para generar energía, pero precisamente por no tener grandes reservatórios, su producción de electricidad se reduce durante los períodos de escasez de lluvias (Roberts 1995), que en la Amazonía pueden durar hasta siete meses al año (Carvalho *et al.* 2021, Sombroek 2001). Otro punto relevante es el hecho de que una parte significativa de la producción de las grandes centrales hidroeléctricas de la Amazonía se destina a otras regiones del país.

La producción de energía en la Amazonía exportada a otras partes del país tiene altos costos económicos, sociales y ambientales, que son relegados a las poblaciones locales, la fauna y la flora (Randell & Klein 2021). Al mismo tiempo, una encuesta reciente encontró que la Amazonía tiene más de 990.000 personas sin acceso a la electricidad, siendo Pará el estado con el mayor número de personas sin acceso a la energía eléctrica (más de 409.000 residentes) y el estado del Acre el que tiene la mayor proporción de víctimas de la exclusión eléctrica, que afecta a cerca del 10% de su población (IEMA 2020). Estas personas excluidas carecen de energía para realizar sus actividades cotidianas, como congelar pescado o pulpa de fruta para consumo propio o venta, estudiar y acceder a información a través de la televisión y/o internet.

Este white paper, es resultado del grupo de trabajo “Aguas Libres” de la Escuela São Paulo de Ciencias Avanzadas AMAZONÍA Sostenible e Inclusiva (São Pedro-SP, Brasil - 21 de noviembre a 5 de diciembre de 2022), que analiza los impactos de los proyectos hidroeléctricos en la Amazonía y elabora un escenario ideal, nunca cumplido e imposible de serlo, para la construcción de nuevos proyectos, mostrando, en la práctica, por qué no se deben construir hidroeléctricas en la Amazonía brasileña. El artículo se complementa con una pieza de comunicación dirigida a la población brasileña, con datos e información clave sobre los impactos y los costos que conllevan el mantenimiento y la construcción de nuevas grandes centrales hidroeléctricas en la Amazonia brasileña.

Impactos económicos, ecológicos y sociales de las grandes hidroeléctricas en la Amazonia brasileña

Actualmente se considera la energía hidroeléctrica como la mayor fuente de energía renovable del mundo, desempeñando un papel importante para el desarrollo limpio y con bajas emisiones de carbono (Li & He 2022), e impulsando el desarrollo en la economía de la industria eléctrica mundial (Edwards 2005). Sin embargo, esta afirmación no abarca toda la verdad, ya que las centrales hidroeléctricas emiten grandes cantidades de carbono (Bertassoli Jr *et al.* 2021, Fearnside 2009), mientras que la eficiencia de la producción de energía puede ser relativamente baja, como en el caso de la hidroeléctrica de Balbina (Fearnside 1995). El costo de la construcción de hidroeléctricas es elevado, y la gran mayoría de los proyectos cuestan y tardan más de lo previsto. Además, las hidroeléctricas generan impactos ambientales y sociales negativos que son incuestionables, especialmente en la Amazonía, dada la riqueza y pluralidad de fauna, flora y características socioculturales de la región (Moran *et al.* 2018). En esta sección se presentarán los principales impactos económicos, ecológicos y sociales de las grandes centrales hidroeléctricas en la Amazonía brasileña.

Impactos econômicos

Los gastos reales de construcción de presas hidroeléctricas son difíciles de medir debido a la geología particular, la hidrología, los ecosistemas asociados y factores sociales de la región de instalación, pero se reconoce que los grandes proyectos hidroeléctricos suelen superar los gastos económicos estimados (Ansar *et al.* 2014; Sovacool *et al.* 2014). Un estudio sobre la construcción de represas hidroeléctricas a escala mundial analizó 245 grandes represas entre 1934 y 2007 en 65 países y demostró que una de cada diez represas hidroeléctricas costaba más de tres veces la cantidad estimada inicialmente (Ansar *et al.* 2014).

Los gastos de grandes construcciones de represas hidroeléctricas suele ser muy elevado, lo que limita el retorno positivo de la inversión, incluso si no se tienen en cuenta los impactos socioambientales del proyecto (Scudder 2006; Sovacool *et al.* 2014). A modo de ejemplo, el presupuesto inicial de la central hidroeléctrica de Belo Monte era de 19 millones de reales (Machado *et al.* 2011), pero en 2019 su costo ya ascendía a 42.000 millones de reales, cuando entró en funcionamiento la decimocuarta turbina como máquina principal. Belo Monte se ha convertido en la mayor central hidroeléctrica del país, con una capacidad de

8.788,5 MW, y representa el mayor proyecto de inversión del gobierno brasileño en las últimas dos décadas (Agência Brasil 2019). Debido a las fluctuaciones en el nivel del río Xingú y al sistema de "Hilo de agua" instalado, el factor de capacidad (garantía física o capacidad garantizada) es de alrededor del 43% de la capacidad instalada para la producción de energía (Almeida Prado *et al.* 2016). Como resultado, la producción media real es de 4.571 MW y no de 11.223,1 MW (Norte Energia, 2021, 2022). Sólo en 2019, cuatro años después del inicio de la operación de Belo Monte, la UEHE comenzó a operar con todas sus turbinas, produciendo una media de 3.445,8 MW en 2020 y 2021, lo que corresponde a alrededor del 75% de la capacidad garantizada (Norte Energia 2021, 2022). Con la estacionalidad del río Xingú, la producción se reduce considerablemente en los meses más secos: en septiembre de 2021, la UEHE de Belo Monte produjo una media de 431 MW, lo que supone menos del 11% de la capacidad garantizada (Norte Energia 2022).

Los argumentos a favor de la construcción de represas hidroeléctricas generalmente se basan en la creciente demanda de electricidad del país. Se prevé que la demanda nacional de electricidad crezca un 2,2% al año hasta 2050 (PNE 2050). Sin embargo, dada la situación económica actual del país, esta estimación está sobrevalorada y no sigue el ritmo de crecimiento previsto. La demanda energética actual puede satisfacerse con el 48% de la capacidad de producción de energía (Tolmasquim *et al.* 2021). Por lo tanto, la construcción de nuevas hidroeléctricas en la Amazonía, teniendo como principal justificativa la demanda de energía, es equivocada. Es necesario reevaluar la construcción de hidroeléctricas y su viabilidad económica, especialmente teniendo en cuenta sus impactos socioambientales negativos.

Impactos ecológicos

La interrupción del caudal natural de los ríos deteriora la conectividad hidrológica (Vannote *et al.* 1980), lo que provoca cambios en la dinámica y composición de las comunidades acuáticas y terrestres tanto a nivel local como regional (Fearnside 2013). Además, esta interrupción de los ríos provoca cambios en las características físicas, químicas y biológicas del medio acuático y de los ecosistemas en la interfaz terrestre-acuática en las zonas adyacentes a las centrales hidroeléctricas (Fearnside 2019a). El embalse de un río afecta las condiciones ambientales aguas arriba (es decir, el nuevo hábitat dentro del embalse) y aguas abajo (es decir, la alteración del régimen del flujo de agua) de las hidroeléctricas, fragmentando la conectividad longitudinal y lateral de la inundación (Arantes *et al.* 2019). La alteración de la hidrodinámica se produce junto con los cambios en la química del agua de los lagos del embalse, con un exceso de

sedimentación fluvial que no solo afecta a la producción hidroeléctrica -debido a la pérdida de almacenamiento del embalse y/o daños en los componentes mecánicos de la instalación-, sino también al medio ambiente (Fearnside 2013). El aumento de la sedimentación de aguas arriba de las hidroeléctricas provoca efectos medioambientales que pueden persistir durante décadas (Junk & Mello 1990). La sedimentación puede culminar en aguas turbias, con una menor transparencia del agua, lo que provoca una disminución de la productividad de las plantas y afecta negativamente a las especies de peces y aves (Melo *et al.* 2021).

Además de los cambios en el equilibrio químico, hidrológico y nutricional en el sistema acuático y en la interfaz terrestre-acuática, la instalación de centrales hidroeléctricas genera emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Los GEI se producen durante la construcción y el funcionamiento de las centrales hidroeléctricas (Fearnside 2015). Estas emisiones varían significativamente en función del tamaño del embalse y de las características del terreno inundado. Las inundaciones provocan una mayor descomposición de la vegetación y la liberación tanto de dióxido de carbono como de metano. La cantidad exacta de emisiones depende en gran parte de las características específicas del lugar. Sin embargo, se estima que las emisiones de GEI procedentes de las superficies de agua de los embalses del mundo son de 0,8 (0,5-1,2) Pg CO₂ equivalente al año, siendo el metano (CH₄) el responsable de la mayor parte de esta emisión (Deemer *et al.* 2016).

Las hidroeléctricas también son responsables de cambios en la fenología y el ciclo de vida de las especies arbóreas en los bosques inundados, causando la mortalidad masiva o la reubicación de las comunidades de aguas abajo de la hidroeléctrica (Resende *et al.* 2019, 2020, Schöngart *et al.* 2021). Este impacto es causado por el flujo irregular del agua que elimina la previsibilidad y altera la amplitud del efecto de desbordamiento del río a las orillas (pulso de inundación), dejando la vegetación expuesta a una nueva condición hídrica. Además, las poblaciones locales de animales acuáticos y terrestres a lo largo del río pueden sufrir una reducción de la calidad de los hábitats disponibles, lo que provoca la extinción de especies endémicas y cambios en la composición de la fauna (Fearnside *et al.* 2021).

Para los peces, el cambio brusco de ambientes lóticos (fluviales) a lénticos (lagunas) con la construcción de represas hidroeléctricas tiene efectos negativos sobre la abundancia y la riqueza taxonómica y funcional (Keppeler *et al.* 2022). La construcción de hidroeléctricas aumenta el riesgo de extinción de especies endémicas que dependen del mantenimiento de la dinámica hidrológica local

(Fitzgerald *et al.* 2018, Latrubesse *et al.* 2020, Zuanon *et al.* 2020). Por ejemplo, las especies de larga migración se ven gravemente afectadas tras la construcción de hidroeléctricas dada la necesidad de conectividad a lo largo del río para completar su ciclo vital, siendo el estancamiento una barrera que interrumpe las migraciones reproductivas (Duponchelle *et al.* 2021). Como consecuencia de estos procesos, la producción pesquera tiende a reducirse drásticamente después de la construcción de represas hidroeléctricas, especialmente de especies migratorias de alto valor comercial, lo que lleva a la reducción de los ingresos provenientes de la pesca (Arantes *et al.* 2022, Lima *et al.* 2020). Los impactos en la pesca, por lo tanto, también tienen consecuencias perjudiciales para la dinámica social, que se discuten a continuación.

Impactos sociales

Una serie de casos analizados por investigadores, pueblos tradicionales y organizaciones de la sociedad civil ilustra los graves impactos sobre los medios de subsistencia de las poblaciones de las regiones inundadas o situadas agua abajo de las hidroeléctricas en la región amazónica. Si consideramos sólo las hidroeléctricas de Tucuruí, Balbina y Belo Monte, hay ejemplos notables de remoción forzada o desplazamiento obligatorio de poblaciones, incluyendo pueblos indígenas que han tenido territorios inundados o indirectamente impactados por los embalses, así como graves impactos en la salud, ya sea debido a la proliferación de mosquitos o la metilación de mercurio, la pérdida de seguridad y soberanía alimentaria o el aumento de los indicadores de suicidio y violencia, especialmente contra las mujeres (Barroso 2019, Brum & Glock 2020, Fearnside 2019a). Asociado a los impactos sociales hay una serie de irregularidades tanto en los procesos de licenciamiento de las hidroeléctricas como en el proceso de toma de decisiones que lo precede (Fearnside 2019c). El caso de Belo Monte vuelve a ser emblemático: en 2022, el Supremo Tribunal Federal reconoció finalmente que no hubo una amplia consulta pública, con el necesario esclarecimiento de los potenciales impactos socioambientales -muchos de ellos graves y difíciles de revertir-, ni el mismo debate necesario con la sociedad, como prevén la Constitución brasileña de 1988 y el Convenio 169 de la OIT, del que Brasil es signatario. En resumen, se puede concluir que proyectos como la hidroeléctrica de Belo Monte son causas directas de ecocidio y etnocidio (Observatório da Volta Grande do Xingu 2023).

La construcción de hidroeléctricas genera impactos directos en la calidad de vida de las poblaciones ribereñas, como problemas de salud derivados de

los sentimientos de frustración, miedo e impotencia de los afectados (Fearnside 2017, 2019a). Por lo tanto, es necesario ampliar el discurso de la salud y abrir espacio para que las intervenciones se estructuren para ayudar a considerar a los afectados por las represas hidroeléctricas como sujetos políticos empoderados (Giongo *et al.* 2015). Asimismo, incorporar e identificar, dentro de los estudios de impacto asociados a la construcción de hidroeléctricas y los impactos en la calidad de vida de las poblaciones afectadas (Grisotti 2016). Son pocos los programas de investigación y evaluación que hacen un seguimiento longitudinal de los procesos previos y posteriores a la instalación de centrales hidroeléctricas, y son escasos los estudios que evalúan el estado de salud más allá de los aspectos puramente médicos, a lo que se suma la falta de datos oficiales de salud de las poblaciones afectadas (Grisotti 2016). Los estudios que contemplan la evaluación de los impactos de los proyectos hidroeléctricos en la salud de la población son fundamentales, ya que ayudan a la toma de decisiones sobre propuestas de proyectos que integren la promoción y prevención de problemas de salud. Tales estudios también pueden contribuir al desarrollo de programas y políticas públicas dirigidas a la salud de la población afectada, con base en modelos que incluyan aspectos económicos, políticos, sociales y ambientales de forma integrada (Okochi & Marques 2019).

Directrices gubernamentales actuales y tendencias de crecimiento del sector eléctrico

Según el Plan Nacional de Energía para 2050 (PNE-2050, 2020), Brasil basa su planificación de expansión de la producción de energía en cuatro pilares fundamentales: seguridad energética, retorno adecuado de las inversiones, disponibilidad de acceso a la población y criterios socioambientales. Aunque se mencione el cuarto pilar, relacionado con los criterios socioambientales, su enfoque en el plan carece de mayor análisis.

Uno de los objetivos establecidos en el PNE es la transición de Brasil de país importador de energía a país exportador de energía. Sin embargo, este objetivo suscita preocupación, ya que puede exacerbar las disparidades existentes en términos de acceso a la energía limpia, en lugar de centrarse en garantizar dicho acceso a las comunidades aisladas. Esta transición supondría una reasignación de la energía producida en un lugar para transferirla a otros países, lo que podría ampliar la injusticia energética.

El plan también prevé un aumento de la eficiencia energética, con un interés creciente en la electrificación de la matriz energética. Además de la electrificación, el PNE establece directrices para la descarbonización y la búsqueda de fuentes de energía bajas en carbono. En Brasil, hay una adhesión a la tendencia mundial de adopción de fuentes de energía renovables más sostenibles, impulsada por la disminución de los costes de las tecnologías de generación de energía solar y eólica.

Sin embargo, en contra de este discurso, el plan también prevé la expansión del sector hidroeléctrico en Brasil (PNE-2050, 2020). Se prevé un aumento de más del 100% de la producción hidroeléctrica, mediante la modernización y repotenciación de centrales antiguas, así como la construcción de centrales ya inventariadas. Esta expansión se produce en medio de un preocupante solapamiento del 77% de las centrales hidroeléctricas inventariadas con zonas protegidas de la Amazonía. Ya están en marcha los proyectos de las centrales de Bem Querer, Castanheira y Tabajara (PNE-2050, 2020), que forman parte de estos planes de expansión en la región amazónica.

La construcción de represas hidroeléctricas: un escenario ideal nunca realizado

Para resaltar por qué no es viable seguir construyendo hidroeléctricas en la Amazonia brasileña, hemos resumido nuestra propuesta, como se muestra en la Figura 2. Se trata de ocho directrices o criterios limitantes que ponen de manifiesto la inviabilidad de construir nuevos proyectos hidroeléctricos. Como señalamos anteriormente, si estos criterios nunca se respetan en la práctica, no es posible seguir construyendo nuevas centrales hidroeléctricas en la Amazonia brasileña. Además, señalamos que la modernización y revisión de los proyectos ya en operación deberían, en la medida de lo posible, seguir estos mismos criterios. A continuación, sugerimos algunas alternativas para la generación de electricidad en Brasil, especialmente en la Amazonia.

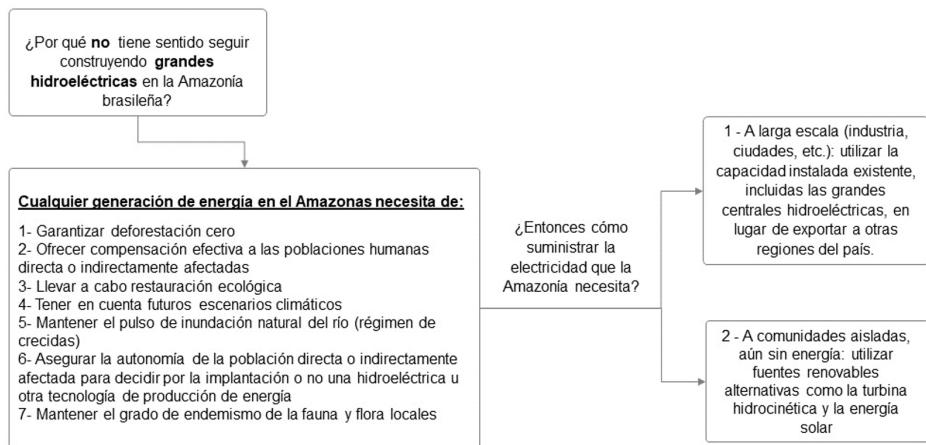


Figura 2 ¿Por qué no tiene sentido seguir construyendo grandes represas hidroeléctricas en la Amazonia brasileña? Justificaciones e intervención propuesta.

Garantizar la deforestación cero

Todo emprendimiento trae consigo impactos ambientales (Barbosa Filho *et al.* 2015). Aunque varios estudios muestran una clara asociación entre la construcción de represas hidroeléctricas y el aumento de la deforestación (Barreto *et al.* 2011; Fearnside 2014, Nickerson *et al.* 2022), las estrategias que buscan mitigar o compensar la pérdida de cobertura vegetal en las proximidades de las represas hidroeléctricas son aún poco exploradas y raramente incluidas en la planificación de nuevos proyectos. Teniendo esto en cuenta, proponemos el criterio de “deforestación cero”, que consiste en restringir cualquier pérdida de cobertura vegetal nativa en las proximidades de las centrales hidroeléctricas.

Como estrategia, los proyectos hidroeléctricos deben priorizar la creación de unidades de conservación y tierras indígenas, como forma de minimizar la ocupación depredadora alrededor de los embalses (Silva Júnior *et al.* 2018). Este criterio está en consonancia con las resoluciones 10/1987 y 021996 del Consejo Brasileño de Medio Ambiente (CONAMA), que establecen que la concesión de licencias para proyectos de gran impacto ambiental debe exigir la implementación de un área protegida en el dominio público. Además, es fundamental desanimar la ocupación mediante asentamientos y la apertura de carreteras, ya que estas variables son clave para aumentar las tasas de deforestación a través, por ejemplo, de la conversión de bosques en zonas de plantación y ganadería (Fearnside 2005).

También se sugiere que se establezcan metodologías para supervisar el cumplimiento de este criterio en proyectos que ya estén en funcionamiento. Una posible metodología podría basarse en la definición de un radio de impacto de una central hidroeléctrica (por ejemplo, un radio de 120 km, véase Resende *et al.* 2019), y el establecimiento de una cubierta forestal de referencia (por ejemplo, MapBiomass), basada en el año en que se aprueba la construcción de un proyecto hidroeléctrico. Además, debe establecerse un horizonte temporal para el seguimiento anual. En este caso, un ejemplo sería: en los alrededores de un proyecto (120 km de radio), hay 30 mil km² de cobertura forestal en el año 1989 (cuando se inicia la construcción); por lo tanto, en los próximos 30 años esta cobertura forestal debe mantenerse o aumentar, y es inaceptable que se produzca una sustitución de bosques maduros por bosques jóvenes. El seguimiento debería correr a cargo de una organización adecuada (por ejemplo, MapBiomass).

Compensación efectiva a las poblaciones humanas directa o indirectamente afectadas

La remoción de poblaciones locales ocurre para dar espacio a la construcción de represas hidroeléctricas, sea para la casa de máquinas (donde ocurre la generación de energía), sea para la construcción de diques de contención de agua, o incluso como resultado de la elevación del nivel del río agua arriba, afectando directamente a las poblaciones ribereñas y a las áreas urbanas en las márgenes de los ríos (Mayer *et al.* 2021). El desplazamiento de población está asociado a una parte significativa de los impactos sociales producidos por las hidroeléctricas en la Amazonia. Esto se debe al hecho de que la remoción de poblaciones de su localización original culmina en la situación de pérdida de relaciones de vecindad y familiares e incluso de sus fuentes de sustento (Mayer *et al.* 2022). Tales problemas no son nuevos ni específicos de la construcción de represas hidroeléctricas en la Amazonia. Estudios realizados en todo el mundo ya han demostrado que los desplazamientos de población son perjudiciales para las poblaciones locales, estando asociados a la pérdida de capital social en China (Tilt & Gerkey 2016), a la pérdida de tierras cultivables y ganado en el norte de Irán (Tajziehchi *et al.* 2013), al empobrecimiento de la población en la India (Cernea 2004) y al crecimiento de las desigualdades sociales en Vietnam (Huu 2015). Es importante destacar que estos procesos ocurren en países en vías de desarrollo, lo que se debe a que es en estos lugares donde se está expandiendo la construcción de centrales hidroeléctricas, mientras que los países desarrollados han invertido en el aprovechamiento de su potencial hidroeléctrico en el pasado y ahora están re-

curriendo a fuentes alternativas de energía, potencialmente menos dañinas para el medio ambiente y a la población (Moran *et al.* 2018).

En un escenario ideal, ningún proyecto de infraestructuras en la Amazonia podría llevar a cabo desplazamientos forzados de población. De esta forma, se extirparía la principal causa de los impactos sociales de las hidroeléctricas en la Amazonía. Este escenario, sin embargo, no tiene base en la realidad. Así, lo mínimo que se debe garantizar es que las poblaciones locales consientan, en su mayoría, la construcción del emprendimiento, a través de procesos efectivamente participativos y democráticos, y que se les traiga mayores beneficios sociales y económicos que perjuicios. Así, las poblaciones locales deben ser debidamente compensadas por los impactos generados por la construcción de hidroeléctricas y tal compensación debe ocurrir antes de la instalación y operación efectiva de las obras, lo que no fue el caso, por ejemplo, de Belo Monte (Gauthier & Moran 2018).

Sin embargo, son raros los estudios que muestran cierto éxito en el proceso de indemnización a las poblaciones locales impactadas por la construcción de hidroeléctricas (Randell 2016). Los programas de compensación a menudo no se ponen a disposición de todos los grupos de población impactados, especialmente los que se encuentran aguas abajo de la construcción de la represa (Castro-Díaz *et al.* 2018, Richter *et al.* 2010, Zhouri & Oliveira 2007). Además, algunas pérdidas derivadas de la construcción de hidroeléctricas son difíciles de cuantificar, como el capital social, los vínculos emocionales con el lugar y el patrimonio cultural, por lo que rara vez se incluyen en los programas de compensación (Green & Baird 2016, Vanclay 2017).

Mientras la compensación sea proforma, para garantizar la licencia de instalación del Instituto Brasileño de Medio Ambiente y Recursos Naturales (IBAMA) y renovar posteriormente las licencias de explotación de las centrales hidroeléctricas, estos programas seguirán siendo ineficaces para garantizar mejoras reales y permanentes de los medios de vida de las poblaciones afectadas.

Emprender la restauración ecológica

La restauración forestal ha sido promovida como la solución más eficaz para la mitigación del cambio climático debido al rápido almacenamiento de carbono en la biomasa a costos más bajos que las alternativas tecnológicas disponibles (Bastin *et al.* 2019, Griscom *et al.* 2017, Lewis *et al.* 2019). En Brasil y en todo el mundo se han establecido programas de restauración con objetivos audaces, en consonancia con la década de la restauración propuesta por las Naciones Unidas. El mantenimiento de varios servicios ecosistémicos esencia-

les para el bienestar de la población, como la protección de manantiales y la producción de bienes forestales, es de profundo interés social y económico, y la restauración es una de las principales soluciones para la obtención de estos servicios (Brancalion *et al.* 2019). La ampliación de las acciones de restauración forestal conlleva retos científicos y tecnológicos inmediatos, ya que la restauración se ha desarrollado esencialmente como una actividad a escala local, planificándose, ejecutándose y monitorizándose mayoritariamente a nivel de parcela (Holl 2017).

Además de garantizar la deforestación cero, los proyectos hidroeléctricos deben comprometerse a restaurar las áreas bajo su región de influencia (por ejemplo, 120 km de radio), incluidas las áreas que se convirtieron antes o durante el período de operación del proyecto. Debería establecerse de antemano un porcentaje máximo aceptable de superficie que pueda restaurarse. Por ejemplo, cada vez que haya un área mayor que el valor establecido por ley para el área de uso alternativo (por ejemplo, el 20% para la Amazonía, ya que el 80% debe constituir la Reserva Legal y Áreas de Preservación Permanente en las áreas forestales de la Amazonía Legal), excepto en áreas urbanas, dentro del radio de influencia de la hidroeléctrica, se debe realizar la restauración ecológica de los ecosistemas originales.

Consideración de escenarios climáticos futuros

Históricamente, la mayoría de las evaluaciones de riesgos hidroeléctricos han asumido un estado estacionario en la variabilidad de los fenómenos climáticos, incluyendo la frecuencia y magnitud de los eventos extremos (Fluixá-Sanmartín *et al.* 2018). Sin embargo, se han realizado estudios de escenarios hidroclimáticos sobre los efectos de los cambios hidrológicos, el calentamiento global y la deforestación en los cambios desde la mesoescala (respectivamente, Sorribas *et al.* 2016, Commar *et al.* 2023) hasta la macroescala (Arnell & Gosling 2016) y sus impactos en la operación hidroeléctrica (por ejemplo, Kahaduwa & Rajapakse 2022, Men *et al.* 2019). Esto ha suscitado preocupación por la disponibilidad de agua, y muchas investigaciones se han centrado en los cambios futuros del ciclo hidrológico. Dichos estudios apuntan a condiciones climáticas más cálidas y secas, con sequías prolongadas y una reducción de la cantidad e intensidad de las precipitaciones en varias zonas del planeta, incluida la cuenca del Amazonas (IPCC 2021).

Para la Amazonia, ya se identifican cambios en el régimen de distribución de las precipitaciones y la potencialización de la estacionalidad (Gloor *et al.* 2013). Tales cambios se señalan en las proyecciones futuras, donde se observa

una estación seca más cálida y seca y una estación lluviosa más fría y húmeda en diferentes porciones de la Amazonia (Baker *et al.* 2021, Duffy *et al.* 2015). Una de las principales consecuencias del cambio climático será la pérdida de predictibilidad del pulso de inundación, haciendo que la variación de las aguas bajas y altas sea cada vez más imponderable (Sorribas *et al.* 2016).

Por lo tanto, los supuestos de referencia climáticos estacionarios ya no son apropiados para la gestión de la seguridad de las represas a largo plazo (Kahaduwa & Rajapakse 2022). En consecuencia, es crucial que los desarrollos hidroeléctricos consideren escenarios climáticos extremos y se diseñen para la adaptación y el apoyo a la toma de decisiones bajo un enfoque más resiliente, evitando así el fracaso, en términos de generación de energía, de las grandes centrales hidroeléctricas, con graves consecuencias económicas, ambientales y sociales.

A partir de estudios científicos, se deben relevar las variables climáticas que influyen o pueden influir localmente en los proyectos hidroeléctricos. Deberían considerarse horizontes temporales similares a los que ofrecen los modelos climáticos futuros. Un ejemplo sería considerar las temperaturas y precipitaciones mínimas y máximas mensuales y anuales futuras (por ejemplo, hasta 2100) para la región del aprovechamiento, y trazar un mapa de los valores más extremos previstos. A partir de ahí, los operadores deberían presentar planes de acción para cada situación extrema.

Mantener el pulso de crecida natural del río (régimen de caudales)

La combinación de varios factores, como las precipitaciones estacionales y las grandes extensiones de varias cuencas hidrográficas, hace que la acumulación de agua se concentre en uno o más momentos del año, caracterizando así el "Pulso de Crecida" (Junk *et al.* 1989). En los grandes ríos de la Amazonía central, por ejemplo, el desnivel anual puede superar los 10 metros. Este fenómeno, en los grandes ríos de flujo libre, es generalmente anual y predecible (Junk *et al.* 2011, Grill *et al.* 2019).

Los cambios en el régimen fluvial natural generan diversos daños directos a las comunidades animales y vegetales locales y a las poblaciones humanas (Schöngart *et al.* 2021). Específicamente en el caso de las hidroeléctricas, el embalse de los ríos por las centrales produce pérdidas de pulso de crecida y afecta negativamente a los ecosistemas ribereños río abajo de la represa (Neves *et al.* 2019). Además, durante el período de operación de las represas, los bosques inundados de igapó y várzea son fuertemente impactados a través de condicio-

nes de inundación permanente en elevaciones topográficas bajas. Alrededor del 12% de los bosques de llanura de inundación se ven afectados a lo largo de un tramo de río abajo de más de 125 km (Resende *et al.* 2019, Schöngart *et al.* 2021).

Así, para mitigar los impactos generados y evitar pérdidas socioambientales, es necesario mantener el pulso de inundación. Para ello, se debe tener en cuenta la cantidad, duración y calidad de los niveles de agua para sostener el ecosistema acuático (Arthington *et al.* 2018). Parámetros como la duración y el momento de inicio de la crecida pueden mantenerse en regímenes naturales sin necesidad de reducir la producción de energía (Kuriqi *et al.* 2019). Sin embargo, en los casos en los que se produce el desvío de agua del cauce natural, como en la Volta Grande del río Xingú, existe la necesidad de reducir la producción de energía debido a los impactos en el clima en dichos parámetros hidrológicos. El uso de métricas de alteración hidrológica basadas en estos parámetros debería ayudar a los responsables de la toma de decisiones, garantizando el funcionamiento de la hidroeléctrica y la estabilidad de los ecosistemas de humedales de la cuenca amazónica, tan fundamentales para las poblaciones ribereñas e indígenas.

Garantizar la autonomía de la población directa o indirectamente afectada para decidir sobre la implantación o no de una hidroeléctrica u otra tecnología de producción de energía

El proceso de toma de decisiones para la construcción de represas hidroeléctricas en la Amazonia brasileña enfrenta serios problemas. Según Fearnside (2019b, p. 79),

[...] la decisión real de construir o no una represa es tomada por unas pocas personas en el gobierno mucho antes de que se preparen los estudios ambientales, se realicen las audiencias públicas y la agencia ambiental analice la información recopilada. Como se toman [las decisiones] antes de recabar información sobre los impactos, las decisiones políticas ignoran muchas de las consecuencias sociales y medioambientales, y el proceso de concesión de licencias acaba siendo un mero trámite burocrático para legalizar las decisiones ya tomadas (traducción nuestra).

Dicho esto, es esencial que se reformule el proceso de toma de decisiones para la construcción de hidroeléctricas. Debe respetarse la autonomía de la población directa o indirectamente afectada por el proyecto. Al mismo tiempo,

es necesario promover un debate más amplio sobre los costos socioambientales de las hidroeléctricas, para que la población tenga acceso a información calificada.

Para tratar este problema, tenemos dos propuestas. La primera se refiere a la creación de un Foro Permanente sobre Transición Energética, formado por representantes de la sociedad civil y de los poderes públicos, con funciones de debate interdepartamental y de divulgación a públicos no especializados sobre las hidroeléctricas y, más ampliamente, sobre las fuentes alternativas. Este foro estaría en línea con las propuestas de las ministras Anielle Franco, Marina Silva y también Sônia Guajajara (Ministerios de Igualdad Racial, Medio Ambiente y Cambio Climático y Pueblos Indígenas, respectivamente). Ellas destacan que problemas como la desigualdad, el hambre, el cambio climático y el racismo - parte de los problemas involucrados con las hidroeléctricas en la Amazonía - requieren un tratamiento transversal, que junte no sólo a los diferentes sectores del poder público, sino también a la sociedad civil (Vick 2023).

La segunda propuesta incluye la importancia de adoptar mecanismos legales vinculantes que garanticen la autonomía de la población directa e indirectamente impactada en la decisión sobre la construcción o no de hidroeléctricas en la Amazonía. En particular, destacamos la necesidad de reconocer y adoptar protocolos comunitarios/autónomos de consulta y consentimiento previo, libre e informado. Se trata de documentos previstos en el Convenio 169 de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) y elaborados por pueblos indígenas, quilombolas y tradicionales que establecen las reglas para el procedimiento de consulta previa, libre, informada y de buena fe, de manera que se respeten las especificidades culturales, los sistemas jurídicos propios, las formas de organización social y de deliberación colectiva (Observatorio de Protocolos Comunitarios 2023; ver también Marés *et al.* 2019). Además de adoptar los protocolos ya existentes, se sugiere destinar recursos públicos para que puedan crearse nuevos protocolos comunitarios. En los casos en que no existan tales protocolos, enfatizamos la importancia de que el Gobierno Federal realice procesos de consulta libre, previa e informada en cumplimiento efectivo de la Constitución Federal y del Convenio 169 de la OIT.

Mantenimiento del grado de endemismo de la fauna y flora locales

La elección del lugar para la construcción de represa hidroeléctricas fundamental para la preservación y conservación de especies endémicas (flora y fauna), debido a la biodiversidad y peculiaridades de cada región (Nunes-Gutjahr &

Braga 2015, Ziober & Zanirato 2014). Los cambios físicos y biológicos causados por la construcción e implementación de represas pueden causar daños permanentes a los hábitats y a la biodiversidad (Wu *et al.* 2019), ya que ponen en riesgo de extinción a especies endémicas cuya ocurrencia esté limitada al área de influencia directa del proyecto. Se sabe que la extinción de una sola especie en un determinado lugar provoca un desequilibrio en el ecosistema, ya que las especies que conservan una relación ecológica con ella se ven afectadas y, en consecuencia, se extinguen (Choueri 2013).

Por ello, es necesario identificar las zonas con especies endémicas, realizar inventarios de flora y fauna y modelos de distribución de especies (Park *et al.* 2003), así como consultar artículos científicos revisados por expertos. Por último, deben crearse zonas protegidas para garantizar la conservación de las especies, allí donde se encuentren, y reducir la pérdida de biodiversidad. Los organismos reguladores deberían exigir un seguimiento constante y la presentación de informes sobre el comportamiento de las poblaciones de especies endémicas.

Viabilidad de la propuesta: alternativas a las grandes represas para la generación de electricidad en (y para) la Amazonia

Teniendo en cuenta los criterios restrictivos expuestos y desarrollados en este trabajo, es poco probable que se construyan nuevas grandes represas hidroeléctricas en la región amazónica. Por ello, pasaremos a señalar las alternativas tecnológicas existentes para la producción de electricidad en la Amazonía, priorizando el beneficio de sus propios habitantes.

En primer lugar, partimos del entendimiento de que no tiene sentido mantener el colonialismo interno, en base al cual la Amazonía exporta la mayor parte de la electricidad que produce a otras regiones del país (Randell & Klein 2021). Alrededor del 26% del total nacional de electricidad se produce en la región amazónica de Brasil, principalmente a través de la energía hidroeléctrica; al mismo tiempo, la región consume sólo el 8% de la electricidad nacional (EPE 2022, Schutze *et al.* 2022). Por lo tanto, se supone que la región ya tiene suficiente producción de electricidad para desarrollar (de forma sostenible, pero no entraremos en esta discusión) en las próximas décadas para las ciudades, los grandes centros urbanos y otras áreas conectadas a la red de energía. Hay, sin embargo, cerca de 1 millón de personas todavía sin electricidad en la Amazonia (IEMA 2020), especialmente poblaciones aisladas, no conectadas a la red, ya sea por

la distancia o por el impacto ambiental que la extensión de la red traerá hasta ellas (deforestación, por ejemplo). Para estas poblaciones ya existen alternativas tecnológicas que todavía carecen de políticas públicas para ser económicamente viables.

Una de las tecnologías más promisoras, que ha sido perfeccionada para el contexto amazónico, son las pequeñas turbinas en el cauce de los ríos para la generación de energía hidrocinética. Tales equipos, instalados en los ríos, permiten la producción de energía a partir de la propia corriente, sin necesidad de represar el caudal del río ni desviar su curso. Además, los peces pueden atravesar las hélices de las turbinas sin sufrir daños. Por último, al no construir represas, se mantiene la conectividad y navegabilidad de los ríos, tan importante para conectar a las poblaciones locales. Esta tecnología, que se perfecciona constantemente, es objeto de estudios científicos y ya funciona en varios lugares del mundo (Built *et al.* 2015, Mendes *et al.* 2020, Van Zwieten *et al.* 2015, Zhou & Deng 2017). Obviamente, los ríos amazónicos tienen especificidades. Por lo tanto, se deben considerar los estudios que se han desarrollado para adaptar la tecnología a las características de estos ríos (Els & Junior 2015, Moran *et al.* 2022b). En esta dirección, un estudio reciente señala que el 63% del total de la energía que se prevé generar mediante centrales hidroeléctricas convencionales en la Amazonía brasileña podría producirse utilizando turbinas en el propio cauce del río, aprovechando la energía cinética del agua como fuente y sin necesidad de represas (Chaudhari *et al.* 2021).

Existen otras fuentes promisoras para la generación descentralizada de energía en la Amazonía brasileña. La energía solar fotovoltaica, actualmente la segunda fuente de energía en Brasil (Canal Energía 2023), es también la base de la política pública en la Amazonía para proporcionar energía a las comunidades aisladas, a través del Programa Mais Luz Para a Amazônia (Brasil 2022). Otro potencial a ser profundizado en la Amazonía, a pequeña escala, es la generación de energía a partir de la biomasa. Esta fuente puede vincularse a actividades de bioeconomía, es decir, a la producción de productos con materias primas de la propia región para generar trabajo e ingresos para la población local a partir de la valorización del bosque en pie. Los estados de Amapá, Amazonas, Rondônia y Roraima juntos tienen potencial para generar biogás suficiente para abastecer a 107.000 hogares, lo que significa cerca de 429.000 personas (Instituto Escolhas 2020).

Considerando la diversidad de potenciales fuentes de energía en la Amazonía brasileña, sugerimos que se desarrollen estrategias localizadas de producción de electricidad en la región, basadas en el nivel de demanda y, sobre todo,

en las especificidades ambientales locales, que favorecen el uso de una determinada tecnología en detrimento de otras. También cabe señalar que la generación de energía puede realizarse de forma combinada, es decir, a partir de sistemas híbridos, mezclando distintas fuentes de producción que se potencian mutuamente. A modo de ejemplo, un estudio reciente señalaba la viabilidad de utilizar turbinas hidrocínicas en el cauce junto con paneles solares fotovoltaicos para producir electricidad para comunidades aisladas de la Amazonia brasileña, destacando la importancia de que las ciencias sociales y la ingeniería trabajen juntas para desarrollar sistemas eficaces y sostenibles, adecuados a la realidad local (Brown *et al.* 2022).

Conclusión

Estamos convencidos de que las restricciones aquí propuestas pueden ayudar a los responsables de la toma de decisiones a reflexionar profundamente sobre los impactos inherentes a la construcción de represas hidroeléctricas en la Amazonia y a no permitir nuevos emprendimientos de esta naturaleza en la región. También esperamos que puedan utilizar este marco para reevaluar las represas hidroeléctricas construidas, con vistas a minimizar los daños ya causados. Es probable que las empresas interesadas argumenten que seguir las restricciones aquí propuestas es inviable, lo que pone de relieve la imposibilidad de seguir aprobando nuevas solicitudes de construcción. Por lo tanto, nuestro trabajo apunta a la inviabilidad de construir nuevas presas hidroeléctricas en la Amazonia sin causar daños al medio ambiente y a las comunidades locales, en línea con lo señalado por Fearnside *et al.* (2021).

El aumento del consumo de energía y de las emisiones de gases de efecto invernadero suele asociarse al crecimiento de indicadores de riqueza como el Producto Interno Bruto (PIB). Sin embargo, tal correlación ha sido disociada en muchos países, entre ellos Estados Unidos y el Reino Unido. Brasil también puede reducir sus emisiones, incluso con un PIB en aumento. Para ello, necesita revisar la falacia de la energía “limpia” producida por grandes hidroeléctricas, ya que éstas, además de efectos sociales nocivos, también tienen impactos ambientales claros y ampliamente documentados, como el aumento de las emisiones de dióxido de carbono y metano. Además, lo ideal sería que la generación de electricidad estuviera cerca del mercado de consumo, evitando no sólo las pérdidas de energía y los costos de transmisión, sino principalmente promoviendo la justicia ambiental, ya que toda generación de energía provoca externalidades, que deberían repartirse especialmente entre quienes reciben sus beneficios. Existen

alternativas a las grandes hidroeléctricas, pero para ganar competitividad necesitan ser el foco de políticas públicas centradas en el bienestar de la población nacional y en la preservación del patrimonio ambiental del país.

Agradecimientos – AFR, ICJ, LSR, ESFR y FMBR agradecen a la FAPESP y al CNPq la financiación de las becas postdoctorales (números de proceso #2019/24049-5, #2020/16378-6, #2020/16412-0, #2022/06221-8, #300537/2023-9, respectivamente). Las opiniones, hipótesis y conclusiones o recomendaciones expresadas en este material son las de los autores y no reflejan necesariamente los puntos de vista de la FAPESP. Los autores agradecen al Comité Organizador del Curso “São Paulo School of Advanced Science Sustainable and Inclusive AMAZÔNIA”, realizado en São Pedro-SP, Brasil, entre el 21 de noviembre y el 5 de diciembre de 2022, por haber creado una nueva red de contactos entre investigadores dedicados al tema amazónico. Agradecemos también a la FAPESP por apoyar esta iniciativa.

Contribuciones de los autores – Todos los autores contribuyeron por igual a la conceptualización, metodología y redacción de las versiones inicial y final del texto.

Conflictos de intereses – Los autores declaran que no tienen conflictos de intereses relacionados con la publicación de este manuscrito.

Ética – El presente estudio no involucra seres humanos y/o ensayos clínicos que deban ser aprobados por el Comité de Ética Institucional.

Referencias

Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/ministro-aciona-belo-monte-a-maior-geradora-de-energia-do-bras-1>. Acesso em: 05 de junho de 2023.

AGÊNCIA BRASIL 2023. **Ministério de Minas e Energia. Programa Mais Luz para a Amazônia chega à marca de 44 mil pessoas beneficiadas**. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2022/12/programa-mais-luz-para-a-amazonia-chega-a-marca-de-44-mil-pessoas-beneficiadas>. Acesso em: 29 jan. 2023.

PRADO, Fernando Almeida; ATHAYDE, Simone; MOSSA, Joann; BOHLMAN, Stephanie; LEITE, Flavia; OLIVER-SMITH, Anthony. How much is enough? An integrated examination of energy security, economic growth and climate change related to hydropower expansion in Brazil. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [S.L.], v. 53, p. 1132-1136, jan. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.050>.

ALMEIDA, Rafael M; SCHMITT, Rafael Jp; CASTELLETTI, Andrea; FLECKER, Alexander s; HAROU, Julien J; A HEILPERN, Sebastian; KITTNER, Noah; KONDOLF, G Mathias; OPPERMAN, Jeff J; SHI, Qinru. Strategic planning of hydropower development: balancing benefits and socioenvironmental costs. **Current Opinion In Environmental Sustainability**, [S.L.], v. 56, p. 101175, jun. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cosust.2022.101175>.

- ALMEIDA, Rafael M.; SHI, Qinru; GOMES-SELMAN, Jonathan M.; WU, Xiaojian; XUE, Yexiang; ANGA-RITA, Hector; BARROS, Nathan; FORSBERG, Bruce R.; GARCÍA-VILLACORTA, Roosevelt; HAMILTON, Stephen K.. Reducing greenhouse gas emissions of Amazon hydropower with strategic dam planning. **Nature Communications**, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 1-9, 19 set. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41467-019-12179-5>.
- BRASIL. ANEEL. **Matriz Elétrica Brasileira**. 2023. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrJoiNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2liwidCI6JjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOjR9>. Acesso em: 10 fev. 2023.
- ANSAR, Atif; FLYVBJERG, Bent; BUDZIER, Alexander; LUNN, Daniel. Should we build more large dams? The actual costs of hydropower megaproject development. **Energy Policy**, [S.L.], v. 69, p. 43-56, jun. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.069>.
- ARANTES, Caroline C; FITZGERALD, Daniel B; HOEINGHAUS, David J; WINEMILLER, Kirk O. Impacts of hydroelectric dams on fishes and fisheries in tropical rivers through the lens of functional traits. **Current Opinion In Environmental Sustainability**, [S.L.], v. 37, p. 28-40, abr. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cosust.2019.04.009>.
- ARANTES, Caroline C.; LAUFER, Juliana; PINTO, Mac David da Silva; MORAN, Emilio F.; LOPEZ, Maria Claudia; DUTKA-GIANELLI, Jynessa; PINTO, Danielle Mendonça; CHAUDHARI, Suyog; POKHREL, Yadu; DORIA, Carolina R. C.. Functional responses of fisheries to hydropower dams in the Amazonian Floodplain of the Madeira River. **Journal Of Applied Ecology**, [S.L.], v. 59, n. 3, p. 680-692, 26 nov. 2021. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/1365-2664.14082>.
- ARNELL, Nigel W.; GOSLING, Simon N.. The impacts of climate change on river flood risk at the global scale. **Climatic Change**, [S.L.], v. 134, n. 3, p. 387-401, 6 mar. 2014. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-014-1084-5>.
- BAGHER, Askari Mohammad; VAHID, Mirzaei; MOHSEN, Mirhabibi; PARVIN, Dehghani. Hydroelectric Energy Advantages and Disadvantages. **American Journal Of Energy Science**, [S.L.], v. 2, n. 2, p. 17-20, abr. 2015.
- BAKER, Jessica C. A.; GARCIA-CARRERAS, Luis; GLOOR, Manuel; MARSHAM, John H.; BUERMANN, Wolfgang; ROCHA, Humberto R. da; NOBRE, Antonio D.; ARAUJO, Alessandro Carioca de; SPRACKLEN, Dominick V.. Evapotranspiration in the Amazon: spatial patterns, seasonality, and recent trends in observations, reanalysis, and climate models. **Hydrology And Earth System Sciences**, [S.L.], v. 25, n. 4, p. 2279-2300, 28 abr. 2021. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/hess-25-2279-2021>.
- BARBOSA FILHO, Wilson Pereira; FERREIRA, Wemerson Rocha; AZEVEDO, Abílio César Soares de; COSTA, Antonella Lombardi; PINHEIRO, Ricardo Brant. EXPANSÃO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL: impactos ambientais e políticas públicas. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [S.L.], v. 4, p. 628, 7 dez. 2015. Anima Educação. <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v4e02015628-642>.
- BARRETO, Paulo et al. **Risco de desmatamento associado à hidrelétrica de Belo Monte**. Belém: Imazon, 2011. 98 p.
- BARROSO, Milena Fernandes. Violência estrutural contra mulheres em Belo Monte: o que os dados oficiais (não) revelam | structural violence against women in belo monte. **Revista em Pauta**, [S.L.], v. 17, n. 43, p. 140-154, 7 maio 2019. Universidade de Estado do Rio de Janeiro. <http://dx.doi.org/10.12957/rep.2019.42509>.
- BASTIN, Jean-Francois; FINEGOLD, Yelena; GARCIA, Claude; MOLLICONE, Danilo; REZENDE, Marcelo; ROUTH, Devin; ZOHNER, Constantin M.; CROWTHER, Thomas W.. The global tree restoration potential. **Science**, [S.L.], v. 365, n. 6448, p. 76-79, 5 jul. 2019. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <http://dx.doi.org/10.1126/science.aax0848>.
- BAUMANN, Michael; SCHULLER, Oliver. Life Cycle Assessment and environmental comparison of electricity generation from hydropower, considering technical and climate boundary conditions. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON EFFICIENCY, COST, OPTIMIZATION, SIMULATION AND ENVI-

ENVIRONMENTAL IMPACT OF ENERGY SYSTEMS, 26., 2013, Guilin. **Proceedings**. Guilin: [S.N], 2013. p. 1-6.

Dailson J. Bertassoli, Jr. et al. How green can Amazon hydropower be? Net carbon emission from the largest hydropower plant in Amazonia. **Science Advances**. [S.L.], v. 7, n. 26, p. 1-9, 5 nov. 2021. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <http://dx.doi.org/10.1126/sciadv.abe1470>.

BRANCALION, Pedro H. S.; NIAMIR, Aidin; BROADBENT, Eben; CROUZEILLES, Renato; BARROS, Felipe S. M.; ZAMBRANO, Angelica M. Almeida; BACCINI, Alessandro; ARONSON, James; GOETZ, Scott; REID, J. Leighton. Global restoration opportunities in tropical rainforest landscapes. **Science Advances**. [S.L.], v. 5, n. 7, p. 1-11, 5 jul. 2019. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <http://dx.doi.org/10.1126/sciadv.aav3223>.

BROWN, Erik; JOHANSEN, Igor Cavallini; BORTOLETO, Ana Paula; POKHREL, Yadu; CHAUDHARI, Suyog; CAK, Anthony; SULAEMAN, Samer; CASTRO-DIAZ, Laura; LOPEZ, Maria Claudia; MAYER, Adam. Feasibility of hybrid in-stream generator–photovoltaic systems for Amazonian off-grid communities. **Pnas Nexus**, [S.L.], v. 1, n. 3, p. 1-9, 9 jun. 2022. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1093/pnasnexus/pgac077>.

BRUM, E. & GLOCK, C. 2020. **A cidade que mata o futuro**: em 2020, Altamira enfrenta um aumento avassalador de suicídios de adolescentes. Disponível em: <https://www.mpmt.mp.br/conteudo/733/84586/a-cidade-que-mata-o-futuro-em-2020-altamira-enfrenta-um-aumento-avassalador-de-suicídios-de-adolescentes>. Acesso em: 10 fev. 2023.

CANAL ENERGIA. **Solar passa eólica e é segunda maior fonte no Brasil**. 2023. Disponível em: <https://www.canalenergia.com.br/noticias/53234514/energia-solar-se-torna-a-segunda-maior-fonte-na-matriz-eletrica-brasileira>. Acesso em: 29 jan. 2023.

CARVALHO, Nathália s; ANDERSON, Liana O; A NUNES, Cássio; PESSÔA, Ana C M; SILVA JUNIOR, Celso H L; REIS, João B C; SHIMABUKURO, Yosio e; BERENGUER, Erika; BARLOW, Jos; ARAGÃO, Luiz e O C. Spatio-temporal variation in dry season determines the Amazonian fire calendar. **Environmental Research Letters**, [S.L.], v. 16, n. 12, p. 125009, 1 dez. 2021. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/ac3aa3>.

CASTRO-DIAZ, Laura; LOPEZ, Maria Claudia; MORAN, Emilio. Gender-Differentiated Impacts of the Belo Monte Hydroelectric Dam on Downstream Fishers in the Brazilian Amazon. **Human Ecology**, [S.L.], v. 46, n. 3, p. 411-422, 5 abr. 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10745-018-9992-z>.

CERNEA, M.M. Social Impacts and Social Risks in Hydropower Programs: Preemptive Planning and Counter-risk Measures In **Symposium on Hydropower and Sustainable Development**. p.1-22.

CHAUDHARI, Suyog; BROWN, Erik; QUISPE-ABAD, Raul; MORAN, Emilio; MÜLLER, Norbert; POKHREL, Yadu. In-stream turbines for rethinking hydropower development in the Amazon basin. **Nature Sustainability**, [S.L.], v. 4, n. 8, p. 680-687, 22 abr. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41893-021-00712-8>.

CHOUERI, Ricardo Brasil; AZEVEDO, Josué Anderson Rêgo. BIODIVERSIDADE E IMPACTO DE GRANDES EMPREENDIMENTOS HIDRELÉTRICOS NA BACIA TOCANTINS-ARAGUAIA: uma análise sistêmica. **Sociedade & Natureza**, [S.L.], v. 29, n. 3, p. 439-453, 20 dez. 2017. EDUFU - Editora da Universidade Federal de Uberlândia. <http://dx.doi.org/10.14393/sn-v29n3-2017-6>.

COMMAR, Luiz Felipe Sant'anna; ABRAHÃO, Gabriel Medeiros; COSTA, Marcos Heil. A possible deforestation-induced synoptic-scale circulation that delays the rainy season onset in Amazonia. **Environmental Research Letters**, [S.L.], v. 18, n. 4, p. 044041, 1 abr. 2023. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/acc95f>.

COUTO, T.; FANZERES, A.; MESSEAGER, M.; FERNANDES, I.; CARVALHO, R.; EYNG, V.; ATHAYDE, S.; OL-DEN, J. **Os impactos socioambientais e a insustentabilidade energética das Pequenas Centrais Hidrelétricas na Amazônia**. 2021. Disponível em: <https://www.amazoniacienciadadana.org/portugues/novidades/impactos-pequenas-hidreletricas/>. Acesso em: 10 fev. 2023.

DEEMER, Bridget R.; HARRISON, John A.; LI, Siyue; BEAULIEU, Jake J.; DELSANTO, Tonya; BARROS, Nathan; BEZERRA-NETO, José F.; POWERS, Stephen M.; DOS SANTOS, Marco A.; VONK, J. Arie. Gre-

- enhouse Gas Emissions from Reservoir Water Surfaces: a new global synthesis. **Bioscience**, [S.L.], v. 66, n. 11, p. 949-964, 5 out. 2016. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1093/biosci/biw117>.
- DUFFY, Philip B.; BRANDO, Paulo; ASNER, Gregory P.; FIELD, Christopher B.. Projections of future meteorological drought and wet periods in the Amazon. *Proceedings Of The National Academy Of Sciences*, [S.L.], v. 112, n. 43, p. 13172-13177, 12 out. 2015. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1421010112>.
- DUPONCHELLE, Fabrice; ISAAC, Victoria J.; DORIA, Carolina Rodrigues da Costa; VAN DAMME, Paul A.; HERRERA-R, Guido A.; ANDERSON, Elizabeth P.; CRUZ, Rivetla E.A.; HAUSER, Marília; HERMANN, Theodore W.; AGUDELO, Edwin. Conservation of migratory fishes in the Amazon basin. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, [S.L.], v. 31, n. 5, p. 1087-1105, 19 mar. 2021. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/aqc.3550>.
- EDWARDS, B.K. The Economics of Hydroelectric Power. **Energy J**, [S.L.] v. 26, n. 4, p. 131-133, 2005.
- VAN ELS, Rudi Henri; BRASIL JUNIOR, Antonio Cesar Pinho. The Brazilian Experience with Hydrokinetic Turbines. **Energy Procedia**, [S.L.], v. 75, p. 259-264, ago. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.328>.
- Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica**. 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>. Acesso em: junho 2023.
- FEARNSIDE, Philip M.. Hydroelectric Dams in the Brazilian Amazon as Sources of 'Greenhouse' Gases. **Environmental Conservation**, [S.L.], v. 22, n. 1, p. 7-19, 1995. Cambridge University Press (CUP). <http://dx.doi.org/10.1017/s0376892900034020>.
- FEARNSIDE, Philip M.. Deforestation in Brazilian Amazonia: history, rates, and consequences. **Conservation Biology**, [S.L.], v. 19, n. 3, p. 680-688, jun. 2005. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00697.x>.
- FEARNSIDE, P.M. Viewpoint – Decision Making on Amazon Dams: Politics Trumps Uncertainty in the Madeira River Sediments Controversy. **Water Altern**, [S.L.], v. 6, n. 2, p. 313-325, 2013.
- FEARNSIDE, Philip M.. Impacts of Brazil's Madeira River Dams: unlearned lessons for hydroelectric development in amazonia. **Environmental Science & Policy**, [S.L.], v. 38, p. 164-172, abr. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2013.11.004>.
- FEARNSIDE, Philip M.. Emissions from tropical hydropower and the IPCC. **Environmental Science & Policy**, [S.L.], v. 50, p. 225-239, jun. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2015.03.002>.
- FEARNSIDE, Philip M.. **Hidrelétricas na Amazônia: impactos ambientais e sociais na tomada de decisões sobre grandes obras**. 2. ed. Manaus: Inpa, 2015.
- FEARNSIDE, Philip M.. Belo Monte: actors and arguments in the struggle over brazil's most controversial amazonian dam. **Die Erde**, [S.L.], p. 14-26, 31 mar. 2017. Gesellschaft für Erdkunde. <http://dx.doi.org/10.12854/erde-148-27>.
- FEARNSIDE, P.M. **Hidrelétricas na Amazônia: impactos ambientais e sociais na tomada de decisões sobre grandes obras**. Editora INPA. Vol. 3.
- FEARNSIDE, P. M. **Plano de expansão de barragens hidrelétricas na Bacia Amazônica coloca em risco populações locais e a biodiversidade**. Entrevista especial com Philip M. Fearnside, por Patrícia Fachin, 2019b.
- FEARNSIDE, P.M. Impactos das hidrelétricas na Amazônia e a tomada de decisão. **Novos Cad**, [S.L.], v. 22, n. 3, p. 69-96, 2019c. Disponível em: <https://www.ihu.unisinos.br/604025-plano-de-expansao-de-barragens-hidreletricas-na-bacia-amazonica-coloca-em-risco-populacoes-locais-e-a-biodiversidade-entre>. Acesso em: 10 fev. 2023.
- FEARNSIDE, P.M., BERENGUER, E., ARMENTERAS, D., DUPONCHELLE, F., GUERRA, F.M., JENKINS, C.N., BYNOE, P., GARCÍA-VILLACORTA, R., MACEDO, M., ALMEIDA-VAL, V.M.F., NASCIMENTO, N. Drivers and Impacts of Changes in Aquatic Ecosystems. *In*: NOBRE, C. *et al.* (Eds). **Amazon Assess-**

ment Report. New York: United Nations Sustainable Development Solutions Network. Disponível em: <https://www.theamazonwewant.org/spa-reports/>.

FITZGERALD, Daniel B.; PEREZ, Mark H. Sabaj; SOUSA, Leandro M.; GONÇALVES, Alany P.; PY-DANIEL, Lucia Rapp; LUJAN, Nathan K.; ZUANON, Jansen; WINEMILLER, Kirk O.; LUNDBERG, John G.. Diversity and community structure of rapids-dwelling fishes of the Xingu River: implications for conservation amid large-scale hydroelectric development. **Biological Conservation**, [S.L.], v. 222, p. 104-112, jun. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2018.04.002>.

FLECKER, Alexander S.; SHI, Qinru; ALMEIDA, Rafael M.; ANGARITA, Héctor; GOMES-SELMAN, Jonathan M.; GARCÍA-VILLACORTA, Roosevelt; SETHI, Suresh A.; THOMAS, Steven A.; POFF, N. Leroy; FORSBERG, Bruce R.. Reducing adverse impacts of Amazon hydropower expansion. **Science**, [S.L.], v. 375, n. 6582, p. 753-760, 18 fev. 2022. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <http://dx.doi.org/10.1126/science.abj4017>.

FLUIXÁ-SANMARTÍN, Javier; ALTAREJOS-GARCÍA, Luis; MORALES-TORRES, Adrián; ESCUDER-BUENO, Ignacio. Review article: climate change impacts on dam safety. **Natural Hazards And Earth System Sciences**, [S.L.], v. 18, n. 9, p. 2471-2488, 17 set. 2018. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-18-2471-2018>.

GAUTHIER, Cristina; MORAN, Emilio F.. Public policy implementation and basic sanitation issues associated with hydroelectric projects in the Brazilian Amazon: altamira and the belo monte dam. **Geoforum**, [S.L.], v. 97, p. 10-21, dez. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoforum.2018.10.001>.

GIONGO, Carmem Regina; MENDES, Jussara Maria Rosa; SANTOS, Fabiane Konowaluk. Desenvolvimento, saúde e meio ambiente: contradições na construção de hidrelétricas. **Serviço Social & Sociedade**, [S.L.], n. 123, p. 501-522, set. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0101-6628.034>.

GLOOR, M.; BRIENEN, R. J. W.; GALBRAITH, D.; FELDPAUSCH, T. R.; SCHÖNGART, J.; GUYOT, J.-L.; ESPINOZA, J. C.; LLOYD, J.; PHILLIPS, O. L.. Intensification of the Amazon hydrological cycle over the last two decades. **Geophysical Research Letters**, [S.L.], v. 40, n. 9, p. 1729-1733, 14 maio 2013. American Geophysical Union (AGU). <http://dx.doi.org/10.1002/grl.50377>.

GREEN, W. Nathan; BAIRD, Ian G.. Capitalizing on Compensation: hydropower resettlement and the commodification and decommmodification of nature-society relations in southern laos. **Annals Of The American Association Of Geographers**, [S.L.], v. 106, n. 4, p. 853-873, 8 abr. 2016. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/24694452.2016.1146570>.

GRILL, G.; LEHNER, B.; THIEME, M.; GEENEN, B.; TICKNER, D.; ANTONELLI, F.; BABU, S.; BORRELLI, P.; CHENG, L.; CROCHETIERE, H.. Mapping the world's free-flowing rivers. **Nature**, [S.L.], v. 569, n. 7755, p. 215-221, maio 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41586-019-1111-9>.

GRISCOM, Bronson W. *et al.* Natural climate solutions. **Proceedings Of The National Academy Of Sciences**, [S.L.], v. 114, n. 44, p. 11645-11650, 16 out. 2017. Proceedings of the National Academy of Sciences. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1710465114>.

GRISOTTI, Márcia *et al.* THE CONSTRUCTION OF HEALTH CAUSAL RELATIONS IN THE BELO MONTE DAM CONTEXT. **Ambiente & Sociedade**, [S.L.], v. 19, n. 2, p. 287-304, jun. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc0252v1922016>.

HOLL, Karen D. *et al.* Research Directions in Tropical Forest Restoration. **Annals Of The Missouri Botanical Garden**, [S.L.], v. 102, n. 2, p. 237-250, 11 ago. 2017. Missouri Botanical Garden Press. <http://dx.doi.org/10.3417/2016036>.

HUU, T. P. **Dilemmas of hydropower development in Vietnam:** between dam-induced displacement and sustainable development. 2015. Disponível em: <https://landgovernance.org/dilemmas-hydropower-development-vietnam-dam-induced-displacement-sustainable-development/>. Acesso em: 10 fev. 2023.

IEMA (Instituto de Energia e Meio Ambiente) **Amazônia legal:** Quem está sem energia elétrica. 2020. Disponível em: <http://energiaeambiente.org.br/produto/exclusao-eletrica-na-amazonia-legal-quem-ainda-esta-sem-acesso-a-energia-eletrica>. Acesso em: 28 jan. 2023.

INSTITUTO ESCOLHAS. **Biogás na Amazônia**: energia para mover a bioeconomia. São Paulo, 2020. Disponível em: <https://escolhas.org/wp-content/uploads/2020/12/Biog%C3%A1s-na-Amaz%C3%B4nia-energia-para-mover-a-bioeconomia.pdf>. Acesso em: 29 jan. 2023.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). **I.P.C.C. Task Force on National Greenhouse Gas Inventories** (T.F.I.). T.F.I. Interim Guidance Notes to Experts and Authors. Kanagawa, Japan: T.F.I. Technical Support Unit, Institute for Global Environmental Strategies (I.G.E.S.), 2011. 13 p. Disponível em: http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/Dossie/Hydro-G/1106_Guidance_to_Authors.pdf.

IPCC 2021. In: MASSON-DELMOTTE, V., Z.H.A.I., P., P.I.R.A.N.I., A., C.O.N.N.O.R.S., S.L., PÉAN, C., B.E.R.G.E.R., S., C.A.U.D., N., C.H.E.N., Y., GOLDFARB, L., G.O.M.I.S., M.I., H.U.A.N.G., M., LEITZELL, K., L.O.N.N.O.Y., E., MATTHEWS, J.B.R., M.A.Y.C.O.C.K., T.K., WATERFIELD, T., YELEKÇI, O., YU, R., ZHOU, B. (Eds.), **Climate Change 2021: the Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2021. 40 p.

JUNK, W.J.; B.A.Y.L.E.Y., P.B.; SPARKS, R.E. 1989. The Flood Pulse Concept in River-Floodplain Systems. **Can. Spec Publ. Fish. Aquat Sci**, [S.L.] v. 106, p. 110–127, 1989.

UNK, Wolfgang J.; PIEDADE, Maria Teresa Fernandez; SCHÖNGART, Jochen; COHN-HAFT, Mario; ADENEY, J. Marion; WITTMANN, Florian. A Classification of Major Naturally-Occurring Amazonian Lowland Wetlands. **Wetlands**, [S.L.], v. 31, n. 4, p. 623–640, 8 jul. 2011. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s13157-011-0190-7>.

KAHADUWA, Amaya *et al.* Review of climate change impacts on reservoir hydrology and long-term basin-wide water resources management. **Building Research & Information**, [S.L.], v. 50, n. 5, p. 515–526, 21 set. 2021. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/09613218.2021.1977908>.

KEPPELER, Friedrich W. *et al.* Early impacts of the largest Amazonian hydropower project on fish communities. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 838, p. 155951, set. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155951>.

KURIQI, Alban; PINHEIRO, António N.; SORDO-WARD, Alvaro; GARROTE, Luis. Influence of hydrologically based environmental flow methods on flow alteration and energy production in a run-of-river hydropower plant. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 232, p. 1028–1042, set. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.358>.

LATRUBESSE, Edgardo M. *et al.* Vulnerability of the biota in riverine and seasonally flooded habitats to damming of Amazonian rivers. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, [S.L.], v. 31, n. 5, p. 1136–1149, 17 ago. 2020. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/aqc.3424>.

LEES, Alexander C. *et al.* Hydropower and the future of Amazonian biodiversity. **Biodiversity And Conservation**, [S.L.], v. 25, n. 3, p. 451–466, mar. 2016. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10531-016-1072-3>.

LEWIS, Simon L. *et al.* Restoring natural forests is the best way to remove atmospheric carbon. **Nature**, [S.L.], v. 568, n. 7750, p. 25–28, abr. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/d41586-019-01026-8>.

LI, Mingxu; HE, Nianpeng. Carbon intensity of global existing and future hydropower reservoirs. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [S.L.], v. 162, p. 112433, jul. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2022.112433>.

LIMA, Maria Alice Leite *et al.* Declining fisheries and increasing prices: the economic cost of tropical rivers impoundment. **Fisheries Research**, [S.L.], v. 221, p. 105399, jan. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fishres.2019.105399>.

MACHADO, A. M. F.; PEREIRA, B. R.; RAMOS, L. D. O. **Usina Hidrelétrica Belo Monte**: Implicações Institucionais, Econômicas e Sociambientais. São Paulo: (Produção de caso) Escola de direito de São Paulo – Fundação Getúlio Vargas, 2011. 21 p.

MAYER, Adam *et al.* Is hydropower worth it? Exploring amazonian resettlement, human development and environmental costs with the Belo Monte project in Brazil. **Energy Research & Social Science**, [S.L.], v. 78, p. 102129, ago. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.erss.2021.102129>.

MAYER, Adam *et al.* Hydropower, Social Capital, Community Impacts, and Self-Rated Health in the Amazon*. **Rural Sociology**, [S.L.], v. 87, n. 2, p. 393-426, 19 nov. 2021. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/ruso.12419>.

MELO, Tais *et al.* Flipped reductarianism: a vegan fish subordinated to carnivory by suppression of the flooded forest in the amazon. **Forest Ecology And Management**, [S.L.], v. 435, p. 138-143, mar. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2018.12.050>.

MEN, Baohui; LIU, Huanlong; TIAN, Wei; WU, Zhijian; HUI, Ji. The Impact of Reservoirs on Runoff Under Climate Change: a case of nierji reservoir in china. **Water**, [S.L.], v. 11, n. 5, p. 1005, 14 maio 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w11051005>.

MENDES, Rafael Castilho Faria; DONALD, Ramsay Rafael Mac; MIRANDA, Ana Rafaela Sobrinho; VAN ELS, Rudi Henri; NUNES, Mauricio Andre; BRASIL JUNIOR, Antonio Cesar Pinho. Monitoring a hydrokinetic converter system for remaining energy in hydropower plants. **Ieee Latin America Transactions**, [S.L.], v. 18, n. 10, p. 1683-1691, out. 2020. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/tla.2020.9387638>.

MORAN, Emilio F. *et al.* Sustainable hydropower in the 21st century. **Proceedings Of The National Academy Of Sciences**, [S.L.], v. 115, n. 47, p. 11891-11898, 5 nov. 2018. Proceedings of the National Academy of Sciences. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1809426115>.

MORAN, Emilio F. *et al.* Advancing convergence research: renewable energy solutions for off-grid communities. **Proceedings Of The National Academy Of Sciences**, [S.L.], v. 119, n. 49, p. 1-12, 29 nov. 2022. Proceedings of the National Academy of Sciences. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.2207754119>.

MOUNTFORD, H.; Waskow, D.; Gonzalez, L.; Gajjar, C.; Cogswell, N.; Holt, M.; Fransen, T.; Bergen, M.; Gerholdt, R. **COP26**: key outcomes from the un climate talks in glasgow. 2021.

MUSA, Mirko *et al.* Performance and resilience of hydrokinetic turbine arrays under large migrating fluvial bedforms. **Nature Energy**, [S.L.], v. 3, n. 10, p. 839-846, 30 jul. 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41560-018-0218-9>.

NEVES, Juliana Rocha Duarte *et al.* Impact of climatic and hydrological disturbances on blackwater floodplain forests in Central Amazonia. **Biotropica**, [S.L.], v. 51, n. 4, p. 484-489, 24 maio 2019. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/btp.12667>.

NICKERSON, Samuel *et al.* Forest loss is significantly higher near clustered small dams than single large dams per megawatt of hydroelectricity installed in the Brazilian Amazon. **Environmental Research Letters**, [S.L.], v. 17, n. 8, p. 084026, 1 ago. 2022. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/ac8236>.

NIEBUHR, C.M. *et al.* A review of hydrokinetic turbines and enhancement techniques for canal installations: technology, applicability and potential. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [S.L.], v. 113, p. 109240, out. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2019.06.047>.

NORTE ENERGIA 2021. **Relatório da Administração 2021**. 2021. Disponível em: <https://www.norte-energiasa.com.br>. Acesso em: jun. 2023.

UNES-GUTJAHR, Ana Lúcia *et al.* Análise faunística de gafanhotos Acridoidea da Volta Grande do Rio Xingu, área de influência direta da Hidrelétrica Belo Monte, Pará, Brasil. **Ciência Rural**, [S.L.], v. 45, n. 7, p. 1220-1227, jul. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20120442>.

OBSERVATÓRIO DA VOLTA GRANDE DO XINGU 2023. **O governo Lula precisa lidar com os crimes de Belo Monte**. 19 Jan. 2023. Disponível em: <https://sumauma.com/novo-governo-lula-precisa-lidar-crimes-belo-monte/>. Acesso em: 10 fev. 2023.

BARCELLOS, Christovam *et al.* HEALTH RISK ASSESSMENT ASSOCIATED WITH THE IMPLEMENTATION OF THE MADEIRA A HYDROELECTRIC COMPLEX, BRAZILIAN AMAZON. **Ambiente & Sociedade**, [S.L.], v. 21, p. 1-9, 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc0019r-1vu18l4ft>.

PARK, Young-Seuk *et al.* Conservation Strategies for Endemic Fish Species Threatened by the Three Gorges Dam. **Conservation Biology**, [S.L.], v. 17, n. 6, p. 1748-1758, dez. 2003. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1523-1739.2003.00430.x>.

Ministério das Minas e Energia. **PNE (Plano Nacional de Energia) 2050**. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2020.

RANDELL, Heather. Structure and agency in development-induced forced migration: the case of Brazil's Belo Monte dam. **Population And Environment**, [S.L.], v. 37, n. 3, p. 265-287, 4 set. 2015. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11111-015-0245-4>.

RANDELL, Heather; KLEIN, Peter. Hydropower Development, Collective Action, and Environmental Justice in the Brazilian Amazon. **Society & Natural Resources**, [S.L.], v. 34, n. 9, p. 1232-1249, 9 jul. 2021. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/08941920.2021.1948649>.

RESENDE, Angélica Faria de; SCHÖNGART, Jochen; STREHER, Annia Susin; FERREIRA-FERREIRA, Jefferson; PIEDADE, Maria Teresa Fernandez; SILVA, Thiago Sanna Freire. Massive tree mortality from flood pulse disturbances in Amazonian floodplain forests: the collateral effects of hydropower production. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 659, p. 587-598, abr. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.208>.

RESENDE, Angélica F. *et al.* Flood-pulse disturbances as a threat for long-living Amazonian trees. **New Phytologist**, [S.L.], v. 227, n. 6, p. 1790-1803, 19 jun. 2020. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/nph.16665>.

RICHTER, B.D.; REVENGA, C.; SCUDDER, T.; LEHNER, B.; CHURCHILL, A.; CHOW, M. Lost in Development's Shadow: The Downstream Human Consequences of Dams. **Water Altern**, [S.L.], v. 3, n. 2, p. 14-42, 2010.

ROBERTS, T.R. Mekong mainstream hydropower dams: Run-of-the-river or ruin-of-the-river. **Natural History Bulletin of the Siam Society**, v. 43, n. 1, p. 9-19, 1995.

ROMANELLI, J.P.; PICOLI, R.A.; SILVA, L.G.M. Avaliação socioambiental de pequenas centrais hidrelétricas: Uma proposta para o aprimoramento das avaliações vigentes no Brasil. **Espacios**, [S.L.], v. 38, n. 7, p. 1-11, 2017.

SCHÖNGART, Jochen *et al.* The shadow of the Balbina dam: a synthesis of over 35 years of downstream impacts on floodplain forests in central Amazonia. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, [S.L.], v. 31, n. 5, p. 1117-1135, 15 fev. 2021. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/aqc.3526>.

SCHUTZE, A., BINES, L., ASSUNÇÃO, J.J. **Rivers of diesel in the Amazon**: Why Does the Region with Brazil's Biggest Hydroelectric Plants Still Rely on Expensive, Dirty Fuel? 3 Jun. 2022. Disponível em: <https://www.climatepolicyinitiative.org/publication/rivers-of-diesel-in-the-amazon-why-does-the-region-with-brazils-biggest-hydroelectric-plants-still-rely-on-expensive-dirty-fuel/>. Acesso em: jun. 2023.

SCUDDER, T. **The future of large dams**: dealing with social, environmental, institutional and political costs. Earthscan, 2006.

SILVANO, JURAS, A. & BEGOSSI, A. Clean energy and poor people: ecological impacts of hydroelectric dams on fish and fishermen in the Amazon rainforest. **Energy, Environ. Ecosyst. Dev. Landsc. Archit.** p. 139-147, 2015.

SOMBROEK, Wim *et al.* Spatial and Temporal Patterns of Amazon Rainfall. **Ambio: A Journal of the Human Environment**, [S.L.], v. 30, n. 7, p. 388-396, nov. 2001. Royal Swedish Academy of Sciences. <http://dx.doi.org/10.1579/0044-7447-30.7.388>.

SORRIBAS, Mino Viana *et al.* Projections of climate change effects on discharge and inundation in the Amazon basin. **Climatic Change**, [S.L.], v. 136, n. 3-4, p. 555-570, 9 mar. 2016. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-016-1640-2>.

SOUZA, Carlos *et al.* Long-Term Annual Surface Water Change in the Brazilian Amazon Biome: potential links with deforestation, infrastructure development and climate change. **Water**, [S.L.], v. 11, n. 3, p. 566, 19 mar. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w11030566>.

SOVACOL, Benjamin K.; GILBERT, Alex; NUGENT, Daniel. Risk, innovation, electricity infrastructure and construction cost overruns: testing six hypotheses. **Energy**, [S.L.], v. 74, p. 906-917, set. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2014.07.070>.

TAJZIEHCHI, S. *et al.* Quantification of Social Impacts of Large Hydropower Dams- a case study of Alborz Dam in Mazandaran Province, Northern Iran. **International Journal Of Environmental Research**, [S.L.], v. 7, n. 2, p. 377-382, abr. 2013. University of Tehran. <http://dx.doi.org/10.22059/ijer.2013.615>.

TILT, Bryan *et al.* Dams and population displacement on China's Upper Mekong River: implications for social capital and social/ecological resilience. **Global Environmental Change**, [S.L.], v. 36, p. 153-162, jan. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.11.008>.

TOLMASQUIM, Maurício T. *et al.* Electricity market design and renewable energy auctions: the case of Brazil. **Energy Policy**, [S.L.], v. 158, p. 112558, nov. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112558>.

VAL, A. L. *et al.* Environmental disturbances and fishes in the Amazon. **Journal Of Fish Biology**, [S.L.], v. 89, n. 1, p. 192-193, 11 fev. 2016. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/jfb.12896>.

VANNOTE, Robin L. *et al.* The River Continuum Concept. **Canadian Journal Of Fisheries And Aquatic Sciences**, [S.L.], v. 37, n. 1, p. 130-137, 1 jan. 1980. Canadian Science Publishing. <http://dx.doi.org/10.1139/f80-017>.

VANCLAY, Frank *et al.* Project-induced displacement and resettlement: from impoverishment risks to an opportunity for development?. **Impact Assessment And Project Appraisal**, [S.L.], v. 35, n. 1, p. 3-21, 2 jan. 2017. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/14615517.2017.1278671>.

VANZWIETEN, James *et al.* In-Stream Hydrokinetic Power: review and appraisal. **Journal Of Energy Engineering**, [S.L.], v. 141, n. 3, p. 04014024, set. 2015. American Society of Civil Engineers (ASCE). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)ey.1943-7897.0000197](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)ey.1943-7897.0000197).

VICK, M. **O que é uma política transversal.** E o que é preciso para ela vingar. 2023. Disponível em: <https://www.nexojournal.com.br/expresso/2023/01/12/O-que-%C3%A9-uma-pol%C3%ADtica-transversal.-E-o-que-%C3%A9-preciso-para-ela-vingar>. Acesso em: 10 fev. 2023.

WU, Haipeng *et al.* Effects of dam construction on biodiversity: a review. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 221, p. 480-489, jun. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.001>.

ZARFL, Christiane *et al.* A global boom in hydropower dam construction. **Aquatic Sciences**, [S.L.], v. 77, n. 1, p. 161-170, 25 out. 2014. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00027-014-0377-0>.

ZHOU, Daqing *et al.* Ultra-low-head hydroelectric technology: a review. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [S.L.], v. 78, p. 23-30, out. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.086>.

ZHOURI, Andréa *et al.* Desenvolvimento, conflitos sociais e violência no Brasil rural: o caso das usinas hidrelétricas. **Ambiente & Sociedade**, [S.L.], v. 10, n. 2, p. 119-135, dez. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1414-753x2007000200008>.

ZIOBER, B.R.; ZANIRATO, S.H. Actions to safeguard biodiversity during the building of the Itaipu Binacional Hydroelectric plant. **Ambient. Soc.**, [S.L.], v. 17, v. 1, p. 59-78, 2014.

ZUANON, Jansen *et al.* Condições para a manutenção da dinâmica sazonal de inundação, a conservação do ecossistema aquático e manutenção dos modos de vida dos povos da volta grande do Xingu. **Papers do Naea**, [S.L.], v. 1, n. 2, p. 20-62, 7 abr. 2019. Universidade Federal do Para. <http://dx.doi.org/10.18542/papersnaea.v28i2.8106>.

ANEXO I

Infografía dirigida a la población en general, con datos e información clave sobre los impactos y costos involucrados en la construcción y mantenimiento de represas hidroeléctricas en la Amazonía.



Sobre los autores

Angélica Faria de Resende es Ingeniera Forestal graduada en la Universidad Federal de Viçosa UFV, con maestría y doctorado en el Instituto Nacional de Investigaciones de la Amazonia/INPA. Completó un posdoctorado en EMBRAPA Amazônia Oriental y actualmente es investigadora postdoctoral en las Universidades de São Paulo y Stirling. <https://orcid.org/0000-0002-9875-1122>

Erika Ferreira Rodrigues es Agrónoma, graduada en la Universidad Federal Rural de la Amazonia/UFRA, con maestría y doctorado en la Universidad Federal de Pará/UFPA. Actualmente, se encuentra realizando un posdoctorado en la Universidad de São Paulo-GSA/IGc/USP. <https://orcid.org/0000-0002-0554-5160>

Flora Magdaline Benítez Romero es Ingeniera Agroforestal en la Universidad Amazónica de Pando, con maestría en Desarrollo Regional de la Universidad Federal de Acre/UFAC y Doctora en Ciencia Forestal de la Universidad Federal de Viçosa/UFV. Actualmente realiza un posdoctorado en el Instituto Nacional de Investigaciones de la Amazonia/INPA. <https://orcid.org/0000-0001-9417-1780>

Gabriel Costa Borba es Biólogo por la Universidad Federal de Río Grande/FURG, máster en ecología por el Instituto Nacional de Investigaciones de la Amazonia/INPA, e un candidato a PhD en Conservación de Peces y Vida Silvestre en la Universidad Virginia Tech. <https://orcid.org/0000-0002-3159-2120>

Igor Cavallini Johansen es formado en Sociología y Ciencias Políticas por la Universidad Estatal de Campinas/UNICAMP, y posee un máster y un doctorado en Demografía por la UNICAMP. Actualmente es becario postdoctoral de la FAPESP en la Universidad Estatal de Campinas/UNICAMP <https://orcid.org/0000-0002-5360-3740>

Luiza Santos Reis es licenciada en Oceanografía por la Universidad Federal del Para/UFPA, Maestra en Uso Sostenible de los Recursos Naturales por el Instituto Tecnológico Vale/ITV Doctora en Ciencias por la Universidad de São Paulo/USP, con pasantía en la Universidad de Sorbonne. Actualmente, es becaria de la FAPESP y becaria postdoctoral en el Laboratorio de Micropaleontología (IGc/USP). <https://orcid.org/0000-0002-4006-7088>

Marina Ghirotto Santos es formada en Relaciones Internacionales por la Escola Superior de Propaganda e Marketing/ESPM, máster en Ciencias Sociales por la Pontificia Universidad Católica de São Paulo/PUC-SP y doctora en Antropología Social por la Universidad de São Paulo/USP. <https://orcid.org/0000-0001-8220-3327>

Songila Maria da Silva Rocha Doi es Bióloga, licenciada por la Universidad Regional de Cariri/URCA y Nutricionista por la Universidad Arthur de Sá Earp Neto/UNIFASE, con especialización en Nutrición y Salud por la Universidad Federal de Lavras/UFLA, máster en Ingeniería Biomédica por la Universidad Tecnológica Federal de Paraná/UTFPR y doctorado en Biotecnología y Biodiversidad por la Universidad Federal de Acre/UFAC. Actualmente es coordinadora y profesora del curso de Nutrición en Faculdade Pequeno Príncipe – FPP. <https://orcid.org/0000-0001-8928-8247>