

POLICY BRIEF

SECAS NA AMAZÔNIA

*Flávia R.C. Costa**, *José Antonio Marengo**, *Ana Luisa M. Albernaz*, *Ana Paula Cunha*, *Nicolás Cuvi*, *Jhan-Carlo Espinoza*, *Ayan Santos Fleischmann*, *Joice Ferreira*, *Juan Carlos Jimenez-Muñoz*, *Maria Belén Páez*, *Luciano Carramaschi de Alagão Querido*, *Jochen Schöngart* | ***Autores co-líderes**

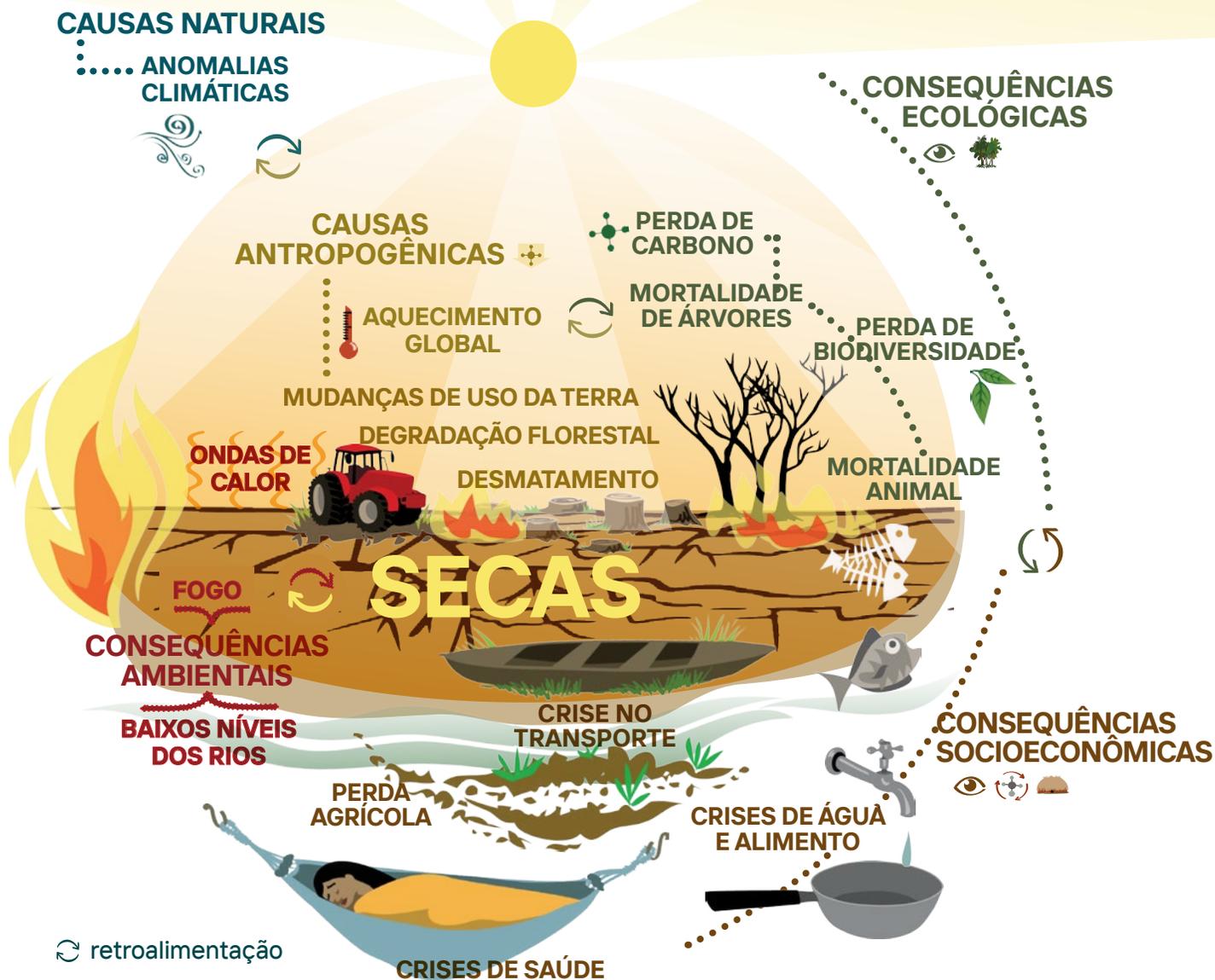
MENSAGENS-CHAVE

- Fortes secas na Amazônia têm aumentado em frequência e intensidade, de quatro em um século para quatro em menos de 25 anos, em conjunto com o desmatamento crescente e o aquecimento global. A sinergia das secas, desmatamento, fogo e degradação florestal tem o potencial de levar a Amazônia a um “ponto de não retorno”, onde este ecossistema de importância global pode reduzir significativamente sua capacidade de fornecer serviços críticos como reciclagem de água, armazenamento de carbono e provisão de bens para o bem-estar humano.
- As secas aumentam a mortalidade das árvores e, conseqüentemente, a perda de biomassa, colocando em risco o funcionamento do sumidouro de carbono proporcionado pelo crescimento das árvores. As secas também aumentam a mortalidade animal, especialmente quando os níveis dos rios diminuem abruptamente e quando as florestas são perturbadas por incêndios e degradação florestal.
- As secas aumentam o risco de incêndios, com impactos diretos como emissões de carbono, perda de biodiversidade e de serviços ecossistêmicos, ameaçando também a saúde humana e a segurança alimentar, além de retroalimentar o aquecimento global.
- Os impactos socioeconômicos das secas são grandes e resultam em vulnerabilidade social, cultural e econômica. Os impactos incluem ameaças à segurança e qualidade da água, segurança alimentar, saúde pública, direitos humanos, economias locais e de grande escala, mobilidade, produção de energia, estabilidade das margens dos rios e migrações humanas.
- Os impactos das secas variam em natureza e intensidade entre as comunidades sociais (por exemplo, Indígenas, afrodescendentes, ribeirinhos, caboclos, etc.), atividades econômicas predominantes (por exemplo, pesca, agricultura, extrativismo, serviços urbanos), gênero, idade e as diferenças regionais entre os países e as regiões amazônicas (por exemplo, terras baixas, Andes amazônicos e sopés).
- Existem lacunas críticas no conhecimento necessário para planejar respostas futuras e imediatas às crises climáticas. Estas incluem a falta de monitoramento abrangente das florestas amazônicas, do clima e da hidrologia para informar programas de adaptação, e a falta de dados sociais, econômicos, culturais e demográficos em escalas locais e regionais, especialmente no que diz respeito às populações vulneráveis.

RECOMENDAÇÕES

- Adotar imediatamente as metas do Acordo de Paris da UNFCCC para reduzir as emissões de carbono a fim de desacelerar o aumento da frequência das secas. Ao mesmo tempo, redirecionar subsídios e investimentos públicos e privados de atividades intensivas em carbono para aquelas que conservam reservas naturais e restauram florestas, e aumentar as alocações orçamentárias para adaptação e gerenciamento de catástrofes.
- Parar o desmatamento e a degradação florestal, e estabelecer um programa para identificar áreas prioritárias que necessitam de conservação imediata, além de reforçar a proteção daquelas já formalmente protegidas, incluindo Terras Indígenas e as zonas de amortecimento ao redor das Áreas Protegidas. Todas essas ações são necessárias para garantir a produção de água das florestas amazônicas e reduzir a ocorrência de fluxos baixos dos rios.
- Promover a criação de novos empregos “climaticamente inteligentes” no setor de conservação para gerar fontes alternativas de receita. Uma dessas alternativas é a adoção de sistemas agroflorestais diversificados e agroecológicos como parte dos processos de restauração, melhorando a segurança alimentar, o manejo de recursos naturais e os meios de subsistência alternativos.
- Implementar programas de monitoramento e sistemas de alerta precoce para secas, incluindo:
 - Modelos globais e regionais do sistema terrestre e modelos hidrológicos continentais dos Andes ao oceano Atlântico.
 - Detecção de sinais precoces de estresse de animais e vegetação devido a secas.
 - Harmonização de políticas sobre manejo integrado do fogo, monitoramento em tempo real de incêndios e compartilhamento de dados entre jurisdições.
- Implementar os mandatos estabelecidos em 2022 pela UNFCCC referentes à abordagem baseada em direitos humanos e justiça climática. Avaliar a vulnerabilidade e a exposição das populações por meio de uma abordagem intersetorial para a formulação de políticas; as ações devem ser fundamentadas em uma compreensão abrangente das realidades locais de diferentes grupos socioeconômicos e regiões.
- Implementar os Fundos de Perdas e Danos e de Adaptação, e melhorar o financiamento para ações de mitigação e adaptação à seca por meio de fundos internacionais e nacionais. É necessária atenção especial para programas focados em:
 - Treinamento, educação, vigilância e combate a incêndios;
 - Desenvolvimentos em ciência, tecnologia e inovação para melhores estratégias de tratamento de água e maiores capacidades de armazenamento;
 - Melhoria da segurança alimentar em escalas locais;
 - Ciência, tecnologia e monitoramento de doenças causadas ou agravadas por secas.
- Investir na capacitação de pessoas e governos locais para acessar diretamente diversos mecanismos financeiros de adaptação e na coprodução de soluções com populações rurais e urbanas locais para gerenciar desastres causados por secas. Priorizar esforços de pesquisa e monitoramento para preencher lacunas de dados ambientais, ecológicos e socioeconômicos.

RESUMO GRÁFICO



AÇÕES NECESSÁRIAS:

PREVENÇÃO & MITIGAÇÃO

- Redução imediata das emissões de gases de efeito estufa.
- Redirecionar investimentos de atividade intensivas em carbono para atividades livres de carbono.
- Conservação de novas áreas na floresta com alto potencial para sobreviver as secas e restauração florestal em terras degradadas.
- Fortalecimento de Áreas de Conservação e Terras Indígenas.
- Investimento no Monitoramento e compreensão dos impactos e causas da seca.

ADAPTAÇÃO

- Implementar os Fundos de Perdas e Danos e Adaptação.
- Programas de controle de fogo, estoque e tratamento de água, segurança alimentar, doenças relacionada à seca.
- Construir capacidades e coprodução de soluções com populações rurais e urbana para gestão de desastres causados por seca.

1. DINÂMICAS CLIMÁTICA E HIDROLÓGICA

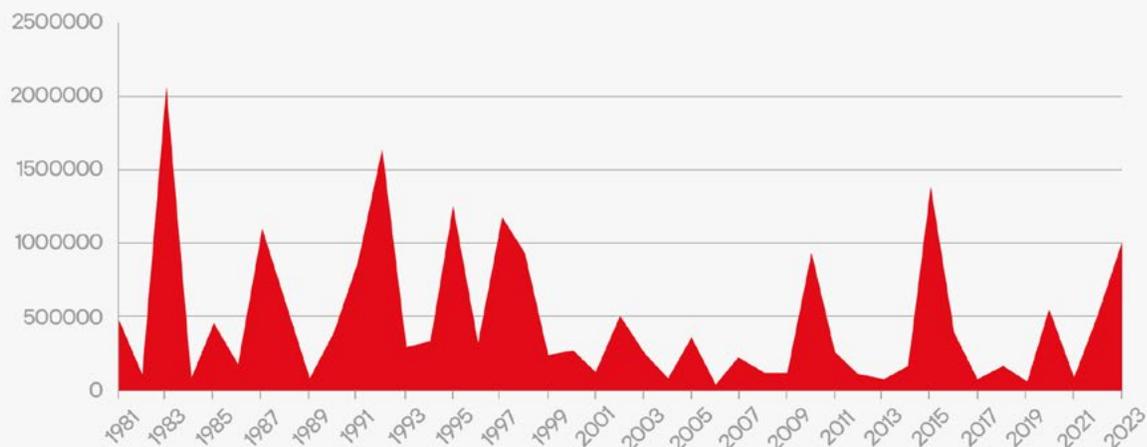
Causas naturais das secas. Desde o início do século XXI, quatro secas extremas ocorreram na Amazônia. Essas secas foram classificadas como eventos de “uma vez a cada 100 anos” no momento de sua ocorrência, e ainda assim, cada uma foi superada pela próxima¹⁻⁴. A maioria das secas severas na região amazônica está associada a temperaturas anômalas da superfície do mar (TSM) no Pacífico Equatorial, conhecidas como o evento El Niño. No entanto, as secas de 2005 e 2010 foram amplamente induzidas por altas anomalias de TSM no Atlântico Norte Tropical (TNA). Tanto o El Niño quanto o TNA quente inibem as chuvas sobre a Amazônia^{5,6}. Outro fator que contribui para as secas é a fase quente da Oscilação Multidecadal do Atlântico (AMO)^{6,7}, caracterizada por uma variação cíclica das condições oceânicas e atmosféricas em grande escala no Atlântico Norte Tropical (TNA). A maioria (80%) das secas hidrológicas severas históricas na bacia Amazônica coincide com as fases quentes da AMO (1925-1970 e desde 1995), enfraquecendo o transporte de umidade para dentro da Amazônia, a leste dos Andes, por meio de rios atmosféricos (“rios voadores”)^{8,9} (**BOX 1**). Os rios atmosféricos transportam uma quantidade tremenda de água na forma de vapor, até maior do que o fluxo de 19 bilhões de toneladas de água que sai do próprio Rio Amazonas.

Variabilidade climática natural vs secas induzidas pelo homem. Embora as secas tenham um componente climatológico natural e sempre tenham ocorrido na Amazônia, tem ocorrido um aumento da frequência e intensidade dessas secas, principalmente devido ao aquecimento global causado pelo ser humano, o desmatamento e a degradação florestal¹⁰. Estudos de modelagem e observacionais sugerem que as secas na Amazônia ocorrem devido a uma diminuição na precipitação

e ao atraso no início da estação chuvosa (período seco mais longo) durante anos de El Niño e/ou TNA. Por outro lado, o aumento da temperatura média global da superfície (ou seja, o aquecimento global) reduz a precipitação e eleva fortemente as temperaturas locais, aumentando assim a perda de água por evapotranspiração, o que resulta em grandes déficits hídricos nos sistemas terrestres e aquáticos¹¹. As mudanças climáticas aumentaram a probabilidade de secas hidrológicas (que impactam o fluxo dos rios) em um fator de¹⁰, enquanto as secas agrícolas (que afetam as atividades agrícolas) tornaram-se cerca de 30 vezes mais prováveis¹¹. Além disso, vários anos de desmatamento na Amazônia têm criado extensas áreas de terra seca, onde pastagens e áreas de cultivo reduzem significativamente o retorno de água para a atmosfera quando a vegetação envelhece na estação seca. Isso contribui com aproximadamente 4% para a tendência de ressecamento atmosférico, com a retroalimentação entre desmatamento e seca aumentando à medida que o desmatamento se acumula^{12,13}.

Em 2023, a Amazônia enfrentou uma situação extrema de seca e calor. O índice integrado de seca (que combina secas meteorológicas, hidrológicas e agrícolas) de 2023 foi classificado como severo-extremo na região oeste da Amazônia brasileira, sobre as regiões amazônicas da Bolívia e do Peru, e se estendeu pela maior parte da Amazônia ao sul de 5°S (**Figura 1 a, b**)². Um estudo recente mostra que a transição de La Niña em 2022 para El Niño em 2023 está relacionada a este evento histórico de seca na Amazônia². Além disso, um TNA excepcionalmente quente e o sinal de aquecimento global de fundo contribuíram para esse evento¹², exacerbando os impactos do El Niño sobre a região durante o inverno austral e a primavera de 2023, de forma que tanto o El Niño quanto as mudanças climáticas foram responsáveis por 50% da redução da precipitação.

a. Áreas afetadas pela seca (km²)



b. Índice Integrado de Seca (IDI) 2023

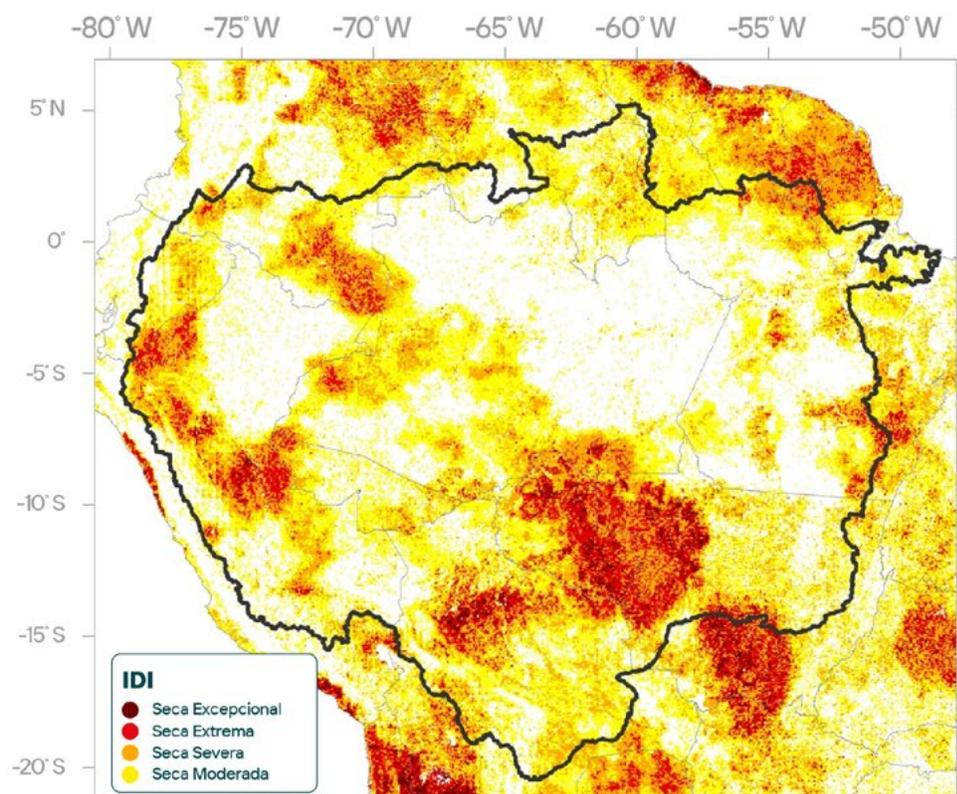


FIGURA 1. a) Área afetada por secas na região amazônica desde 1981; b) Áreas afetadas por seca hidrológica conforme representado pelo Índice Integrado de Secas (IDI 99), usando SPI-12. O IDI combina o Índice Padronizado de Precipitação (SPI), a Água Disponível no Solo (ASW) juntamente com o Índice de Suprimento de Água da Vegetação (VSWI), representando assim a resposta às secas meteorológicas, hidrológicas e agrícolas.

BOX 1. DEFINIÇÕES

Seca agrícola: Condições que resultam em respostas adversas das culturas agrícolas, geralmente devido à limitação de umidade no solo e à alta demanda de transpiração das plantas.

Oscilação Multidecal do Atlântico (AMO): A AMO é uma série contínua de mudanças de longa duração na temperatura da superfície do mar no Oceano Atlântico Norte, com fases frias e quentes que podem durar de 20 a 40 anos, com uma diferença de cerca de 1°F entre os extremos. Essas mudanças são naturais e têm ocorrido há pelo menos os últimos 1.000 anos. (https://www.aoml.noaa.gov/phod/amo_faq.php)

Rios atmosféricos (“rios voadores”): Regiões relativamente longas e estreitas na atmosfera - como rios no céu - que transportam a maior parte do vapor d'água para fora dos trópicos. (<https://www.noaa.gov/stories/what-are-atmospheric-rivers>)

Seca: Um período de tempo anormalmente seco o suficiente para causar um desequilíbrio hidrológico sério. Do ponto de vista climático, a seca resulta de uma deficiência na precipitação ao longo de um período prolongado, da inadequação do momento da precipitação em relação às necessidades da cobertura vegetal, ou de um balanço hídrico negativo devido a uma evapotranspiração potencial aumentada causada por altas temperaturas⁹⁷.

El Niño: Refere-se a um aquecimento acima da média das temperaturas da superfície do mar no Oceano Pacífico tropical central e leste. Isso leva os ventos de baixo nível da superfície, que normalmente sopram de leste para oeste ao longo do equador ('ventos alísios'), a enfraquecer ou, em alguns casos, a começar a soprar na direção oposta. O El Niño ocorre irregularmente, de dois a dez anos, e nenhum evento é exatamente igual ao outro. Os eventos do El Niño podem perturbar os padrões climáticos normais globalmente. (<https://www.usgs.gov/faqs/what-el-nino-and-what-are-its-effects>)

Seca hidrológica: Período prolongado de precipitação abaixo do normal, causando deficiências no abastecimento de água, como medido pelo fluxo de rios abaixo do normal, níveis de lagos e reservatórios, níveis de água subterrânea reduzidos e conteúdo de umidade do solo esgotado.

Falha hidráulica: A perda da capacidade de conduzir água através dos vasos da planta além de um limite para sobrevivência, que ocorre durante o estresse hídrico induzido pela seca.

Igapó: Vegetação que é sazonalmente inundada pelas águas dos rios pobres em sedimentos e nutrientes, provenientes dos Escudos das Guianas e Brasileiro.

La Niña: Refere-se ao resfriamento periódico das temperaturas da superfície do mar no Pacífico equatorial central e leste-central. Tipicamente, os eventos La Niña ocorrem a cada 3 a 5 anos, mas ocasionalmente podem ocorrer em anos sucessivos. La Niña representa a fase fria do ciclo do El Niño. (https://www.weather.gov/iwx/la_nina)

Mega-incêndios florestais: Incêndios que se espalham por 10.000 hectares ou mais, resultantes de eventos de ignição únicos ou múltiplos relacionados⁹⁸.

Temperatura da superfície do mar (SST): A temperatura da superfície do mar (SST) é definida como a temperatura dos primeiros poucos milímetros do oceano. (<https://ecowatch.noaa.gov/thematic/sea-surface-temperature>)

Ponto de não retorno: Para um sistema que foi perturbado, este é o ponto de não retorno às condições originais. Aqui, isso se aplica ao ponto além do qual grandes áreas da Amazônia não têm mais precipitação suficiente para sustentar florestas perenes de folhas largas.

Várzea: Vegetação que é sazonalmente inundada por águas de rios ricos em sedimentos e nutrientes, que descem dos Andes.

No entanto, os fortes déficits hídricos nos sistemas terrestres e aquáticos foram quase que inteiramente explicados pelo aumento da temperatura global¹¹. A intensidade da seca de 2015-16 também tem sido associada a causas antropogênicas¹⁴.

Impactos nos níveis dos rios e temperatura do ar.

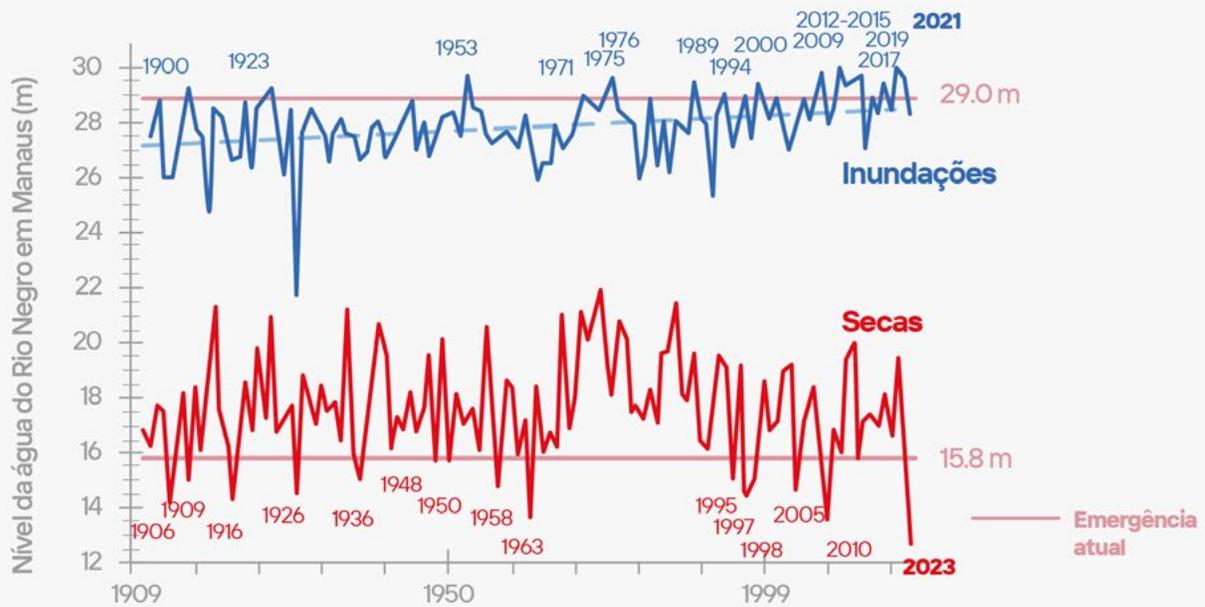
Nos últimos 120 anos, foram registradas 18 enchentes severas e 12 secas hidrológicas extremas no porto de Manaus, a única série disponível de níveis de água amazônicos que abrange mais de 100 anos¹⁻³. A análise deste conjunto de dados indica uma tendência significativa de aumento na frequência e magnitude de enchentes extremas nos últimos 120 anos, incluindo o maior nível de água já registrado em Manaus em 2021³. Por outro lado, não foi identificada uma tendência de longo prazo de aumento das secas hidrológicas, embora o número de secas extremas tenha aumentado desde 1995: ocorreram seis secas extremas entre 1995 e 2023, em comparação com sete durante todo o período de 1903 a 1994². Considerando o nível crítico de emergência no porto de Manaus para enchentes (>29 m) e secas hidrológicas (<15,8 m), houve um aumento significativo da amplitude anual de cerca de 150 cm nos últimos 30 anos, em comparação com o período anterior (**Figura 2a**). Quanto à duração da emergência de ambos os extremos, até a década de 1990, as secas hidrológicas tinham mais impactos sobre as populações ribeirinhas do que as enchentes, enquanto as enchentes têm sido mais intensas no século XXI. A duração média das emergências ligadas às enchentes é geralmente mais longa (53 ± 24 dias) em comparação com as secas (36 ± 19 dias).

Este cenário foi alterado pela seca de 2023-24. A maioria dos principais rios da Amazônia, incluindo os rios Solimões, Purus, Acre e Branco, sofreu quedas extremas em seus níveis, ou simplesmente secaram. Em outubro de 2023, o nível do Rio

Negro em Manaus registrou seu nível mais baixo desde o início das medições em setembro de 1902, atingindo 12,70 metros (o nível médio anual mínimo de água era de 17,64 metros para o período de 1902 a 2022). Na Amazônia peruana, o rio Huallaga em Tingo María mostrou uma anomalia de -45% no seu volume de água em outubro de 2023. Os rios Mamoré-Guaporé e Madeira, no território boliviano, permaneceram muito baixos devido à precipitação deficiente de julho de 2022 a junho de 2023. Geralmente, as secas relacionadas a eventos El Niño têm um maior efeito sobre rios com nascentes no hemisfério norte, pois o período de chuvas reduzidas coincide com o período natural de baixa do nível de água. No entanto, a seca de 2023 começou muito mais cedo devido aos muitos efeitos sinérgicos elencados acima, afetando assim uma ampla gama de rios em toda a Amazônia.

Todas as regiões de estudo na Amazônia têm evidências de tendências de aquecimento estatisticamente significativas nas últimas quatro décadas (**Figura 2b**). As tendências de aquecimento são mais altas para a estação de setembro-outubro-novembro do que para a estação de junho-julho-agosto, e mais altas para o sul e leste do que para o norte e oeste da Amazônia. Embora a série temporal mostre picos de temperaturas elevadas relacionadas a diferentes episódios de seca, foi em 2023 que os valores mais altos de anomalias positivas de temperatura do ar foram observados². Seis ondas de calor durante o período de seis meses entre junho e novembro de 2023 nas regiões oeste e norte exacerbaram os efeitos da falta de precipitação. O sudoeste da Amazônia apresentou um inverno e primavera austral mais quentes devido a domos de calor de ar quente e seco. As temperaturas máximas estavam entre +2°C e +5°C acima da média nos estados brasileiros afetados de Amazonas, Rondônia, Roraima e Acre no trimestre de setembro-outubro-novembro

a. Níveis anuais máximo e mínimo da água no Rio Negro



b. Séries temporais de anomalias médias da temperatura da superfície do ar medidas sobre as estações.

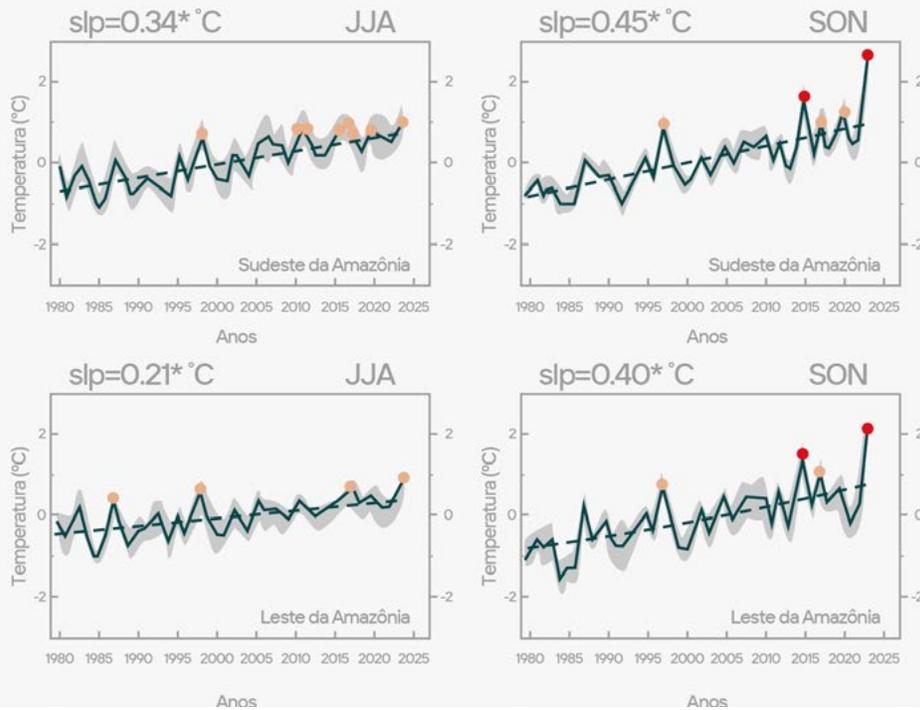


FIGURA 2. a) Máximos anuais (cheias, linhas azuis) e mínimos (secas hidrológicas, vermelhas) dos níveis de água do Rio Negro monitorados no porto de Manaus de 1902 a 2023 (região central da Amazônia). Os anos do calendário indicam eventos extremos de cheia (≥ 29 m) e seca ($< 15,8$ m) (Fonte: J. Schöngart, INPA). b) Série temporal de anomalias mensais de temperatura do ar na superfície, média ao longo das estações JJA (Junho, Julho e Agosto) e SON (Setembro, Outubro e Novembro), de 1980 a 2023. A linha tracejada refere-se à tendência linear, com o valor do declive (slp) em $^{\circ}\text{C}$ por década. Os valores do declive estatisticamente significativos ($p < 0,05$) são marcados com um asterisco. Os pontos de dados das anomalias são estatisticamente diferentes de zero nos níveis de 1y e 2y e são coloridos em amarelo e vermelho, respectivamente. Os valores das anomalias de temperatura foram extraídos da reanálise ERA5-Land.

de 2023. Níveis extremamente baixos de água e alta radiação solar incidente fizeram com que a temperatura da água em lagos (como o Lago Tefé, no centro da Amazônia) atingisse mais de 40°C.

O aquecimento global, combinado com a fase quente da AMO e o aumento das temperaturas da superfície do mar no Atlântico Norte Tropical (TNA), está diretamente relacionado ao aumento da temperatura do ar e ao aumento no comprimento e intensidade da estação seca (em torno de 1-2 semanas), especialmente sobre as regiões amazônicas que estão passando por desmatamento em grande escala e incêndios. Combinados, esses processos provavelmente reduzirão o período de retorno de eventos severos de seca nos próximos anos.

2. IMPACTOS ECOLÓGICOS DAS SECAS

Impactos sobre ecossistemas de terra-firme. O monitoramento contínuo de longo prazo (~50 anos) em florestas amazônicas não inundadas e florestas com secas artificiais mostrou a sensibilidade das árvores das florestas amazônicas à baixa oferta de água, sendo o aumento da mortalidade das árvores a resposta mais consistente observada em diversos estudos¹⁶⁻¹⁸. Estudos de sensoriamento remoto também sugerem que as secas diminuem a capacidade fotossintética das árvores, e a magnitude desse efeito tem aumentado ao longo do tempo¹⁹. As plantas mais sensíveis são aquelas com baixa resistência à falha hidráulica, as árvores maiores mais expostas a atmosferas mais secas, árvores de vida curta (já que ambas tendem a ter menor resistência hidráulica) e as árvores menores situadas em florestas nas regiões mais secas da Amazônia, devido às raízes rasas¹⁸⁻²³. Esses padrões de mortalidade diferencial têm aumentado o número de espécies tolerantes à seca, ao mesmo tempo em que diminuem o número de espécies intolerantes à seca²⁴, as quais enfrentam o risco de desaparecer.

Secas repetidas provavelmente levarão as florestas amazônicas a serem dominadas por um número menor de espécies de árvores, de menor estatura e com maior resistência hidráulica.

As florestas que naturalmente têm estações secas mais longas (predominantes na metade sul da Amazônia) têm sido as mais afetadas por secas intensas (**Figura 3**), com aumento da mortalidade das árvores e, conseqüentemente, perda de biomassa^{25,26}. Os efeitos negativos das secas são exacerbados pelo desmatamento nas regiões leste e central da Amazônia^{12,27,28}. Ao mesmo tempo, as florestas com acesso constante ao suprimento de água subterrânea (em vales e terras baixas) ou florestas capazes de explorar reservas de água no solo mais profundas têm mostrado maior resiliência às secas, sem perda significativa de biomassa^{29,30}. O sumidouro de carbono proporcionado pelo crescimento das árvores na Amazônia (estimado em 0,42 a 0,65 toneladas de C por hectare por ano entre 1990-2007, cerca de 25% do sumidouro terrestre) tem diminuído nas últimas duas décadas³⁰, mas foi especialmente afetado por secas, caindo para quase zero logo após as secas de 2009-2010 e 2015-2016, devido ao menor crescimento e à maior mortalidade das árvores^{24,25}. Isso significa que as secas podem neutralizar o sumidouro de carbono das florestas, acelerando o aquecimento global. Além disso, os impactos negativos da baixa oferta de água interagem com os impactos do aumento da temperatura³¹, de modo que secas com múltiplas ondas de calor, como em 2023, têm o potencial de acelerar a perda de biomassa florestal. Estima-se que cerca de 21% da Amazônia tenha sido degradada pelas secas extremas deste século³², sem considerar os impactos do evento de 2023-24.

As mudanças na estrutura da floresta causadas pelas secas – por exemplo, diminuição da cobertura do dossel e interrupção da regeneração do sub-bosque – levam à queda da fauna terrestre e aquática que dependem de florestas intactas,

o que pode, por sua vez, levar a “florestas vazias”³³⁻³⁵. As mudanças na fenologia das árvores induzidas pela seca podem diminuir a disponibilidade de frutos, levando a taxas mais altas de mortalidade de animais frugívoros. As secas também causam estresse fisiológico na fauna arbórea, diminuindo o tempo dedicado à alimentação, com o efeito final de aumentar as taxas de mortalidade³⁵. Eventos extremos

sequenciais e frequentes (secas e enchentes) aumentam as taxas de mortalidade de vários mamíferos terrestres³⁵(queixada, cateto, veado-vermelho, cutia, paca, tamanduá-bandeira e tatu-galinha) que são essenciais para a regulação da diversidade florestal^{36,37}. Espécies terrestres e aquáticas são afetadas de maneira diferente, pois longos períodos de inundação têm impactos maiores nas espécies terrestres, diminuindo

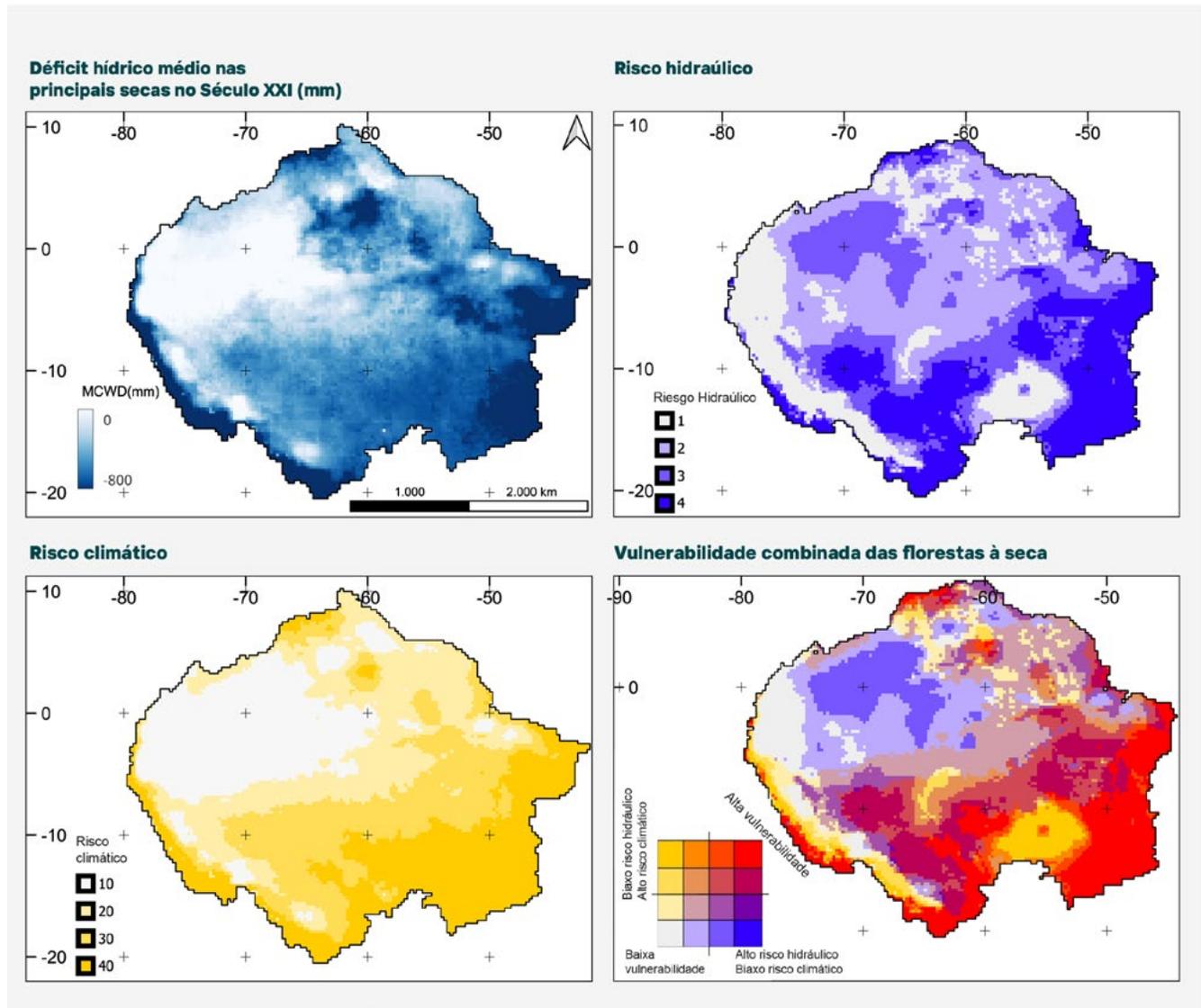


FIGURA 3. Vulnerabilidade ecológica das regiões amazônicas com base nos impactos da seca de 2015-16 e na vulnerabilidade intrínseca das árvores. **Os mapas mostram que o déficit hídrico mais alto durante as secas, os riscos climáticos e hidráulicos, e o risco combinado de morte de árvores aumentam em direção às regiões sul e leste da Amazônia, com algumas áreas de alto risco na região centro-leste.** O déficit hídrico foi calculado como o Déficit Máximo Cumulativo de Água (MCWD) para as secas principais: 2005, 2009 e 2015. O risco climático foi projetado com base na perda de carbono devido à mortalidade de árvores na seca de 2015-16, como função do histórico de déficit hídrico anual²⁶. O risco hidráulico representa o risco de que as árvores percam a capacidade de conduzir água¹⁰⁰. A vulnerabilidade florestal combinada à seca é a sobreposição dos riscos climáticos e hidráulicos, sendo que cores mais quentes indicam uma maior vulnerabilidade combinada a ambos os fatores.

a população de espécies terrestres como queixada e cateto, enquanto longos períodos de seca podem diminuir as populações de animais aquáticos de espécies como peixes-boi, botos e vários peixes^{35,38}.

Impactos em ecossistemas sazonalmente inundados. As condições de seca hidrológica nas planícies de inundação amazônicas variam consideravelmente, pois essas áreas experimentam baixos níveis de água em diferentes períodos do ano, dependendo de sua localização geográfica, o que tem fortes implicações para a disponibilidade de água para as plantas e a vulnerabilidade ao fogo. As secas induzidas por eventos severos de El Niño (Dezembro - Março) coincidem com períodos de baixo nível de água no médio-alto Rio Negro, Rio Branco e outros afluentes do Escudo das Guianas dominados por igapós²⁷. Em contraste, as planícies de inundação de várzea estão principalmente localizadas no hemisfério sul e tendem a ser menos vulneráveis às secas e aos riscos de incêndios induzidos pelo El Niño devido ao aumento dos níveis de água durante esse período³⁹. Em regiões onde os estágios de baixo nível de água coincidem com a estação seca, a seca pode aumentar a mortalidade de árvores nas planícies de inundação, especialmente de mudas de raízes rasas e árvores jovens de igapós. Os igapós também são mais vulneráveis às secas devido aos solos predominantemente arenosos ou siltosos⁴⁰ que drenam mais rápido do que os solos argilosos das várzeas – e os sistemas de raízes geralmente muito rasas (≤ 40 cm)⁴¹.

O dossel da floresta no igapó é geralmente menos estratificado e mais baixo, resultando em uma umidade relativa do ar mais baixa no chão da floresta^{42,43}. Isso pode tornar esses ecossistemas altamente vulneráveis a incêndios^{44,45}, como documentado nas secas severas de

1925-1926, 1982-1983, 1997-1998 e 2015-2016^{44,46,47}. As condições de secas hidrometeorológicas geradas pelo El Niño favorecem a propagação de incêndios no sub-bosque ao longo da superfície do solo, resultando em mortalidade massiva de árvores⁴³. Mais percepções sobre a vulnerabilidade das árvores de igapó a secas severas são fornecidas por barragens, como a de Balbina, que induziram uma prolongada seca artificial severa na planície de inundação de igapó a jusante, causando mortalidade generalizada de árvores⁴⁸. Florestas secundárias se estendendo por dezenas de quilômetros ao longo do rio Uatumã a jusante da barragem de Balbina provavelmente se estabeleceram e se desenvolveram após a mortalidade em massa das antigas florestas de igapó^{49,50}. Por outro lado, observou-se um aumento no crescimento das árvores na várzea central amazônica durante os eventos de El Niño, pois a temporada de crescimento das espécies de árvores durante o período não inundado é estendida^{51,52}. Com base nessas observações, podemos supor que os impactos ecológicos para a vegetação de planície de inundação causados pelo evento histórico da seca de 2023 podem ser mais intensos nas florestas de igapó em comparação com as florestas de várzea.

Embora ocupem uma fração menor da Amazônia (cerca de 6-10%^{53,54}), as planícies de inundação são capazes de sustentar uma alta abundância de animais e são essenciais para algumas etapas de seus ciclos de vida, pois muitas espécies aquáticas amazônicas (como peixes-boi e muitos peixes, incluindo o pirarucu) migram para corpos d'água mais permanentes na estação seca⁵⁵⁻⁵⁸. No entanto, secas extremas causam o isolamento rápido de corpos d'água de ambientes previamente conectados, e esses animais migratórios podem ficar presos em corpos d'água isolados e rasos⁵³, o que poderia levar à superexploração dos

animais presos em lagos rasos. Durante a seca de 2023, no entanto, centenas de mamíferos (por exemplo, botos)⁵⁹ foram mortos devido ao aumento da temperatura da água e à diminuição da concentração de oxigênio. As secas também têm efeitos duradouros na fauna aquática, como as mudanças na composição das espécies de peixes e nos tipos funcionais causados pelo evento de 2005, que ainda estavam presentes quase 10 anos depois⁶⁰. Além disso, a redução do volume de água dos rios pode aumentar o risco de incêndios nas áreas circundantes. Há evidências de que a cobertura florestal é essencial para manter a diversidade e a produtividade dos peixes^{58,60}, assim, a perda de vegetação pode aumentar a taxa de assoreamento, tornando os corpos d'água mais rasos e interrompendo as conexões entre eles.

Secas e fogo. As secas aumentam significativamente a incidência de incêndios na Amazônia, como registrado em 2005, 2010, 2015⁶¹, e 2023⁶², isso cria um ciclo de retroalimentação positivo entre incêndios e secas. Altos déficits hídricos, mortalidade generalizada de árvores e queda de folhas causada por secas aumentam a disponibilidade de material combustível, transformando florestas antes úmidas em sistemas mais inflamáveis. Durante 2005 (14.584 km²) e 2010 (32.815 km²), a área total de floresta queimada foi duas a quatro vezes maior do que a média do período de 2001 a 2018³². Na seca extrema de 2015, os incêndios se estenderam além do Arco do Desmatamento, atingindo áreas no centro da Amazônia que não tinham sido afetadas anteriormente⁶². A região do baixo Tapajós no leste da Amazônia - epicentro dessa seca - vivenciou mega-incêndios sem precedentes, que queimaram cerca de 10.000 km² de florestas⁶¹.

As emissões de carbono estão entre os principais impactos dos incêndios florestais

durante secas extremas na Amazônia. Estima-se que os incêndios florestais sejam responsáveis por cerca de um terço das emissões de carbono atribuídas ao desmatamento durante o período de 2003 a 2015 e sejam mais da metade das emissões provenientes do desmatamento de florestas virgens durante anos de seca⁶². Um único incêndio florestal no sub-bosque pode reduzir as reservas de carbono acima do solo em até 50%⁶³. Na região do baixo Tapajós, o El Niño de 2015-16 e os incêndios associados resultaram na estimativa de morte de mais de 2,5 bilhões de troncos lenhosos, levando à emissão de 495 ± 94 Tg de CO₂, com impactos globalmente relevantes⁶⁴. Essa área corresponde a apenas 1,2% da Amazônia brasileira, mas as emissões foram maiores do que as emissões médias anuais de CO₂ provenientes do desmatamento em toda a Amazônia brasileira entre 2009 e 2018⁶⁴. Além disso, os incêndios florestais podem transformar uma floresta em uma fonte líquida de carbono por muitos anos após o incêndio⁶⁴, resultando em cerca de 25% menos carbono armazenado mesmo após 30 anos. Incêndios recorrentes, que se tornam mais prováveis ao longo do tempo à medida que mais da região é afetada por secas e incêndios, podem levar a perdas de carbono superiores a 80% do carbono acima do solo⁶³.

Os incêndios florestais têm efeitos significativos sobre a biodiversidade, levando a altos níveis de substituição da comunidade biológica, com a perda de espécies sensíveis de alto valor de conservação e importância funcional, como aves com menores tamanhos de área de distribuição e plantas com maior densidade de madeira^{64,65}. Incêndios recorrentes alteram profundamente a estrutura florestal e a composição de espécies, com mudanças mais significativas para aves, besouros, árvores e mamíferos frugívoros e granívoros⁶⁶⁻⁶⁸,

potencialmente levando à perda de serviços ecossistêmicos e menor segurança alimentar para as populações tradicionais que dependem dos produtos da floresta ³⁴. A alta frequência de secas extremas pode transformar as florestas amazônicas em ecossistemas propensos a incêndios, tornando os incêndios um fator relevante para um possível “ponto de não retorno” na Amazônia ⁶⁹.

3. IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS DAS SECAS

As secas representam grandes desafios para os povos amazônicos e podem causar impactos socioeconômicos tanto a curto quanto a longo prazo, especialmente para os Povos Indígenas mais vulneráveis e comunidades locais (**Figura 4**). As secas afetam os meios de subsistência dos cerca de 47 milhões de pessoas que vivem na região amazônica de várias maneiras: ameaças à segurança hídrica e qualidade da água (especialmente acesso à água potável) em áreas rurais e urbanas, insegurança alimentar, incertezas em relação à colheita de alguns produtos naturais, impactos nas economias locais e regionais, questões de saúde pública, interrupção do transporte, queda na produção de energia, acesso aos direitos humanos, mudanças nos hábitos culturais e até efeitos agravados por outros riscos, como o colapso das margens dos rios. Dentro da Amazônia brasileira, aproximadamente 8,5 milhões de pessoas, incluindo Povos Indígenas e comunidades locais, habitam áreas com infraestrutura limitada e serviços insuficientes para lidar com os impactos de extremos climáticos ⁶⁶.

Com os rios sendo a principal rota de transporte na região, milhares de pessoas em áreas urbanas e rurais são diretamente afetadas pelo isolamento quando as secas diminuem os níveis dos rios ⁶⁹,

como ocorreu em 2005 ⁷⁰, especialmente aquelas que vivem em afluentes mais remotos. Em 2023, cerca de 150.000 famílias e mais de 600.000 pessoas ⁷¹, incluindo Povos Indígenas e moradores rurais e ribeirinhos que dependem do transporte fluvial para acessar alimentos, água, assistência médica e mercados para vender produtos, foram impactados pela seca, ficando isolados por vários meses. Por exemplo, no estado do Amazonas, Brasil, todos os 62 municípios permaneceram em estado de emergência por muitos meses. Outra externalidade relacionada ao transporte é o aumento nos preços de bens, incluindo alimentos - quanto maior a distância dos locais de venda dos centros de distribuição, geralmente localizados em grandes cidades como Manaus e Iquitos, maior será o preço dos produtos durante as secas. Este fenômeno não é novo: na Amazônia brasileira, por exemplo, em 2010, 62.000 famílias sentiram o impacto da seca, demandando um investimento governamental da ordem de US\$13,5 milhões em ajuda de emergência ⁷². Entre 1997 e 2023, o estado do Acre, Brasil, vivenciou cinco ocasiões em que municípios ou o estado declararam estado de emergência devido a crises hídricas induzidas pela seca ⁷³. Além disso, os baixos níveis dos rios também estão ligados a deslizamentos desastrosos das margens dos rios, destruindo casas e causando mortes ⁷⁴.

Os impactos da escassez de água no transporte também afetam a disponibilidade de energia domiciliar, que geralmente depende do combustível entregue por barco. Por exemplo, a escassez de energia durante a seca de 2023 em São Gabriel da Cachoeira, no alto Rio Negro - a cidade com a terceira maior população Indígena do Brasil - teve um efeito cascata sobre o funcionamento de outros serviços básicos como saúde e educação. A operação de usinas hidrelétricas também é afetada pelos baixos níveis dos rios. No Equador, foram introduzidos cortes de energia de várias horas por dia durante

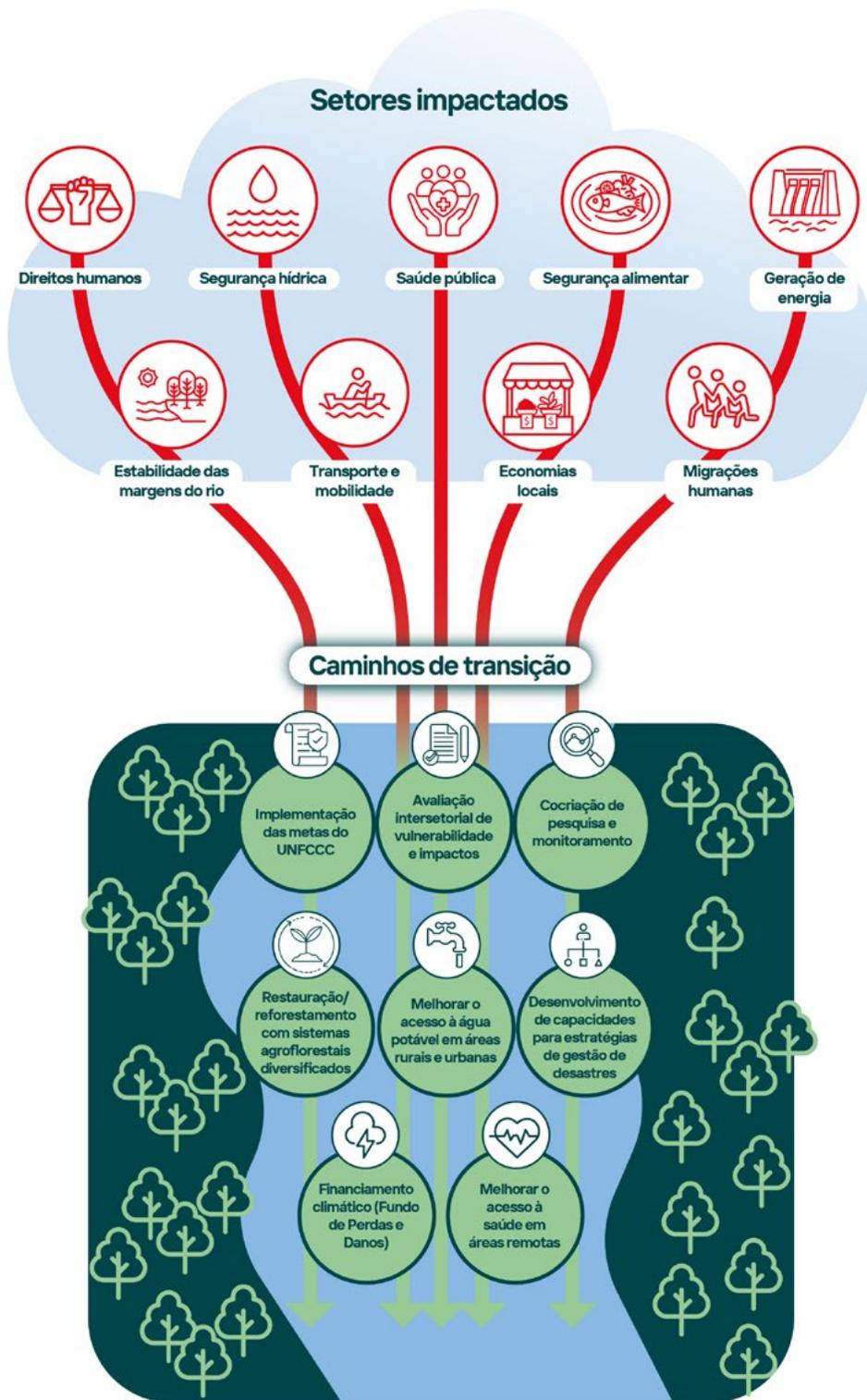


FIGURA 4. Setores impactados e caminhos de transição para reduzir os impactos socioeconômicos e encontrar melhores soluções para futuras secas na Amazônia.

dois meses devido à seca severa de 2023-2024, que impactou a produção de algumas usinas hidrelétricas. Manaus também enfrentou cortes de energia de 6 horas diárias devido ao baixo nível da represa de Balbina durante a seca de 1997 ⁷⁵.

Das terras altas às baixas, a produção de alimentos e a segurança alimentar na Amazônia são amplamente impactadas por secas e ondas de calor associadas. As altas temperaturas do ar prejudicam culturas básicas como cacau, mandioca e produtos extrativos como o açaí ^{76,77}, mas também as grandes monoculturas de soja em regiões desmatadas ⁷⁸. A pesca é afetada devido aos desafios no acesso aos lagos de pesca, transporte para os principais mercados e à alta mortalidade de peixes durante esses eventos ^{72,79-82}. A falta de acesso aos mercados dificulta a comercialização da produção das comunidades ⁷⁶.

Os impactos na saúde causados pela falta de acesso a serviços médicos, aumento de vetores de doenças,

desnutrição e fumaça de incêndios são uma grande preocupação durante secas extremas. Além disso, as altas temperaturas do ar têm um impacto significativo na saúde das pessoas na Amazônia. Comunidades rurais têm alterado seus horários de trabalho para evitar as horas mais quentes da tarde, enquanto aulas têm sido canceladas nas escolas devido ao calor excessivo. Hospitalizações infantis devido a doenças respiratórias causadas pela alta incidência de incêndios atingiram o pico nos municípios afetados pela seca em 2005 ⁸³. A amplificação das ocorrências de incêndios durante secas severas acarreta repercussões econômicas significativas; por exemplo, somente o estado brasileiro do Acre teve uma perda econômica total estimada em aproximadamente US\$ 243,36 ± 85,05 milhões (7,03 ± 2,45% do PIB do Acre) durante a seca de 2010 ⁸⁴. Doenças transmitidas pela água, como diarreia, são comuns durante secas extremas devido à baixa qualidade da água. Eventos combinados de seca e ondas de calor também podem aumentar a incidência de doenças transmitidas por vetores, como dengue ⁸⁵. De fato, a insegurança hídrica é alta durante esses períodos secos devido à infraestrutura inadequada para acessar água potável e à falta de políticas públicas para resolver esse problema. Muitas vezes, as comunidades contam apenas com pequenas instalações para armazenamento de água da chuva ⁸⁶, dependendo dos corpos d'água adjacentes - geralmente poluídos - durante as secas ⁸⁷. Em 2023, mesmo comunidades com poços de água subterrânea permaneceram sem acesso à água e dependentes do fornecimento pelas defesas civis locais. Além disso, de maneira geral, várias áreas urbanas da Amazônia também apresentam altos níveis de insegurança hídrica.

As secas e inundações extremas se tornam cada vez mais frequentes, tem sido relatada migração

relacionada ao clima das áreas alagadiças para regiões mais elevadas, e das áreas rurais para as urbanas ^{70,88}. Movimentos migratórios sazonais e permanentes, desde sub-regionais (por exemplo, de comunidades para áreas urbanas) até escalas regionais (por exemplo, de áreas menores para áreas urbanas maiores), ocorrem na Amazônia devido a diferentes fatores, incluindo a busca por melhor acesso à educação e outros serviços básicos ⁸⁹, impondo desafios adicionais para a capacidade das pessoas de se adaptarem a eventos climáticos extremos.

A grande diversidade social e cultural na Amazônia resulta em um padrão muito heterogêneo de impactos socioeconômicos relacionados à seca, incluindo a transferência de conhecimento tradicional. As diferenças entre grupos sociais (como Indígenas, afrodescendentes, ribeirinhos, caboclos, etc.), atividades econômicas predominantes (como pesca, agricultura, extrativismo, serviços urbanos), gênero e idade, e as disparidades regionais entre países e regiões amazônicas (como terras baixas, Amazônia andina e suas encostas), exigem uma compreensão e estratégias de adaptação específicas para reduzir os impactos de desastres socio-climáticos. Por exemplo, enquanto extremos climáticos têm aumentado chuvas e inundações na costa e nos Andes do Equador, secas têm afetado as partes norte e leste do país. Populações em áreas urbanas são impactadas de maneira diferente das comunidades rurais.

Comunidades remotas frequentemente são ignoradas pelas políticas climáticas e têm acesso limitado à informação e participação no debate climático ^{88,90}, bem como seu direito de consentimento nas estratégias adotadas ⁹¹. Isso chama atenção para a necessidade de melhorar nossa compreensão da vulnerabilidade dessas pessoas em escalas regionais e locais ^{87,92}, e coproduzindo medidas de adaptação ^{87,92}. Embora as pessoas da Amazônia geralmente concordem com

a percepção das mudanças ambientais e climáticas em curso, como o aumento das temperaturas do ar no verão, a percepção sobre os extremos climáticos difere entre as culturas ⁸⁸. Muitas comunidades relatam uma maior imprevisibilidade do clima e dos regimes dos rios ⁷⁷, o que dificulta uma adaptação adequada às mudanças em curso.

Os impactos socioeconômicos das secas na região Amazônica demandam investimentos amplos e variados. Em nível nacional, há uma disparidade notável na alocação de orçamento para lidar com desastres relacionados ao clima. Em 2022, países amazônicos como Bolívia, Brasil, Colômbia, Equador e Peru coletivamente gastaram apenas US\$ 287.829.541 em gestão de desastres, valor significativamente inferior aos US\$ 14.188.053.010 investidos em atividades intensivas em carbono, como a produção de combustíveis fósseis. É importante notar, no entanto, que esses gastos estão relacionados aos países como um todo, indo além da região Amazônica em si ⁹⁴. Colômbia alocou a maior proporção de seu orçamento, com US\$ 142 milhões (0,19% de seu orçamento total), seguida pelo Equador com US\$ 14 milhões (0,03%), Peru com US\$ 10 milhões (0,02%), Brasil com US\$ 121 milhões (0,01%) e Bolívia com US\$ 28.000 (0,0001%). Essa discrepância mostra que, embora a alocação de recursos seja limitada, de acordo com o Índice de Finanças Sustentáveis, o custo por perdas e danos pode aumentar com o tempo. Ao mesmo tempo, à medida que a Amazônia se aproxima de um ponto de não retorno, estima-se que o custo associado à maior frequência e intensidade das secas resultará em uma perda de US\$ 45 bilhões no Produto Interno Bruto até 2050 nos maiores países da bacia (Brasil, Peru, Colômbia, Bolívia e Equador), principalmente devido à perda de safras e às consequências dos incêndios ⁹³.

Todos os impactos socioeconômicos explicados, e outros não detalhados, não abordados na literatura, ou mesmo desconhecidos, podem ser tratados e compreendidos sob uma ampla abordagem de direitos humanos. É importante, por exemplo, considerar os mandatos estabelecidos em 2022 pela UNFCCC em relação à abordagem de justiça climática, incluindo “perdas e danos”, e os direitos das crianças e das gerações futuras ao desenvolvimento. Até o momento, as respostas dos governos nacionais e locais aos eventos de seca têm priorizado historicamente a assistência emergencial ^{71,94}. No entanto, a situação atual exige que sejam desenvolvidos e plenamente implementados planos de mitigação e adaptação climática, os quais devem incorporar estratégias de enfrentamento antecipadas, considerando eventos futuros, e estabelecer estratégias de adaptação de longo prazo por meio de abordagens de coprodução com as populações locais ⁸⁹.

CONCLUSÕES

A mitigação das secas requer esforços sérios para controlar o aquecimento global, o desmatamento e a degradação florestal, bem como amplos esforços na restauração florestal. A adaptação às secas exige abordagens multissetoriais e governança robusta, incluindo intervenções em infraestrutura, agricultura, saneamento, acesso à água potável (como cisternas de água da chuva, poços mais profundos, filtros baseados em nanotecnologia e distribuição de kits de tratamento de água de emergência para comunidades remotas), saúde e o estabelecimento de sistemas de alerta precoce de secas para minimizar impactos socioeconômicos e ambientais. Isso requer financiamento climático através de orçamentos de adaptação, perdas e danos, orçamentos nacionais e locais,

iniciativas verdes, bem como capacitação das populações locais e o desenvolvimento de iniciativas socioeconômicas baseadas na bioeconomia e na restauração florestal para enfrentar os desafios atuais e futuros impostos pelas secas na Amazônia. É necessário fomentar a colaboração entre sistemas de conhecimento científico e tradicional, governo, sociedade civil e setor privado para maximizar a eficácia. Esta abordagem holística ajudará a enfrentar os problemas identificados e fortalecer nossa capacidade de mitigar os impactos das secas na região amazônica.

AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos aos que contribuíram para este documento político. Isso inclui as opiniões especializadas de Carlos Nobre, Marielos Peña Claros, Germán Poveda, Susan Trumbore, Paulo Nobre e Emilio Villanova, bem como os colaboradores da Consulta Pública, James Albert (Universidade de Louisiana em Lafayette), Bernardo Flores (Universidade Federal de Santa Catarina), Miriam Marmontel (Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia), Mónica Moraes R. (Herbário Nacional da Bolívia), Hans ter Steege (Naturalis Biodiversity Center), Ana Maria Gonzalez Velosa, Sandra Berman, Arthur Augusto de Freitas Catraio, Gabriela Sofia Flores e Amy Juelsgaard do Banco Mundial. Também somos gratos à Secretaria Técnico-Científica do SPA, especialmente a Julia Arieira, Federico Viscarra e Daniel Bernstein. Este documento político foi traduzido do Inglês para o Português por Diego Oliveira Brandão e para o Espanhol por Gabriela Arnal.

REFERÊNCIAS

1. Barichivich J, Gloor E, Peylin P, Brienen RJW, Schöngart J, Espinoza JC, Pattayak KC. Recent intensification of Amazon flooding extremes driven by strengthened Walker circulation. *Science advances*. 2018;4(9):eaat8785–eaat8785. doi:10.1126/sciadv.aat8785
2. Espinoza JC, Jimenez JC, Marengo JA, Schongart J, Ronchail J, Lavado-Casimiro W, Ribeiro JVM. The new record of drought and warmth in the Amazon in 2023 related to regional and global climatic features. *Scientific Reports*. 2024;14(1):8107. doi:10.1038/s41598-024-58782-5
3. Espinoza JC, Marengo JA, Schongart J, Jimenez JC. The new historical flood of 2021 in the Amazon River compared to major floods of the 21st century: Atmospheric features in the context of the intensification of floods. *Weather and Climate Extremes*. 2022;35:100406. doi:10.1016/j.wace.2021.100406
4. Papastefanou P, Zang CS, Angelov Z, de Castro AA, Jimenez JC, De Rezende LFC, Ruscica RC, Sakschewski B, Sörensson AA, Thonicke K, Vera C, Viovy N, Von Randow C, Rammig A. Recent extreme drought events in the Amazon rainforest: assessment of different precipitation and evapotranspiration datasets and drought indicators. *Biogeosciences*. 2022;19(16):3843–3861. doi:10.5194/bg-19-3843-2022
5. Cai W, McPhaden MJ, Grimm AM, et al. Climate impacts of the El Niño–southern oscillation on South America. *Nature Reviews Earth & Environment*. 2020;1(4):215–231. doi:10.1038/s43017-020-0040-3
6. Yoon JH, Zeng N. An Atlantic influence on Amazon rainfall. *Climate Dynamics*. 2010;34(2-3):249–264. doi:10.1007/s00382-009-0551-6
7. Espinoza JC, Ronchail J, Marengo JA, Segura H. Contrasting North–South changes in Amazon wet-

day and dry-day frequency and related atmospheric features (1981–2017). *Climate Dynamics*. 2019;52(9–10):5413–5430. doi:10.1007/s00382-018-4462-2

8. Liu T, Chen D, Yang L, Meng J, Wang Z, Ludescher J, Fan J, Yang S, Chen D, Kurths J, Chen X, Havlin S, Schellnhuber HJ. Teleconnections among tipping elements in the Earth system. *Nature Climate Change*. 2023;13(1):67–74. doi:10.1038/s41558-022-01558-4

9. Galaz V, Meacham M. Redirecting Flows - Navigating the Future of the Amazon. Published online April 19, 2024. doi:10.48550/ARXIV.2403.18521

10. Coelho CAS, Cavalcanti IAF, Costa SMS, Freitas SR, Ito ER, Luz G, Santos AF, Nobre CA, Marengo JA, Pezza AB. Climate diagnostics of three major drought events in the Amazon and illustrations of their seasonal precipitation predictions. *Meteorological Applications*. 2012;19(2):237–255. doi:10.1002/met.1324

11. Clarke B, Barnes C, Rodrigues R, Zachariah M, Stewart S, Raju E, Kimutai J, Philip S, Kew S, Bazo J. *Climate Change, Not El Niño, Main Driver of Exceptional Drought in Highly Vulnerable Amazon River Basin*. World Weather Attribution; 2024. <https://www.worldweatherattribution.org/climate-change-not-el-nino-main-driver-of-exceptional-drought-in-highly-vulnerable-amazon-river-basin/>

12. Staal A, Flores BM, Aguiar APD, Bosmans JHC, Fetzer I, Tuinenburg OA. Feedback between drought and deforestation in the Amazon. *Environmental Research Letters*. 2020;15(4):044024. doi:10.1088/1748-9326/ab738e

13. Leite-Filho AT, Soares-Filho BS, Davis JL, Abrahão GM, Börner J. Deforestation reduces rainfall and agricultural revenues in the Brazilian Amazon. *Nature Communications*. 2021;12(1):2591. doi:10.1038/s41467-021-22840-7

14. Marengo J A, Cunha AP, Espinoza JC. Extremes of hydrometeorology and dry season length in Amazonia associated with the drought of 2023, *Environmental Research Letters*. Preprint published online, 2024.

15. Ribeiro Neto GG, Anderson LO, Barretos NJC, Abreu R, Alves L, Dong B, Lott FC, Tett SFB. Attributing the 2015/2016 Amazon basin drought to anthropogenic influence. *Climate Resilience and Sustainability*. 2022;1(1):e25. doi:10.1002/cli.2.25

16. Marengo JA, Jimenez JC, Espinoza JC, Cunha AP, Aragão LEO. Increased climate pressure on the agricultural frontier in the Eastern Amazonia–Cerrado transition zone. *Scientific Reports*. 2022;12(1):457. doi:10.1038/s41598-021-04241-4

17. da Costa ACL, Rowland L, Oliveira RS, Oliveira AAR, Binks OJ, Salmon Y, Vasconcelos SS, Junior JAS, Ferreira LV, Poyatos R, Mencuccini M, Meir P. Stand dynamics modulate water cycling and mortality risk in droughted tropical forest. *Global Change Biology*. 2018;24(1):249–258. doi:10.1111/gcb.13851

18. Nepstad DC, Tohver IM, Ray D, Moutinho P, Cardinot G. Mortality of large trees and lianas following experimental drought in an Amazon forest. *Ecology*. 2007;88(9):2259–2269. doi:10.1890/06-1046.1

19. Rowland L, da Costa ACL, Galbraith DR, Oliveira RS, Binks OJ, Oliveira A a. R, Pullen AM, Doughty CE, Metcalfe DB, Vasconcelos SS, Ferreira LV, Malhi Y, Grace J, Mencuccini M, Meir P. Death from drought in tropical forests is triggered by hydraulics not carbon starvation. *Nature*. 2015;528(7580):119–122. doi:10.1038/nature15539

20. Aleixo I, Norris D, Hemerik L, Barbosa A, Prata E, Costa F, Poorter L. Amazonian rainforest tree mortality driven by climate and functional traits. *Nature Climate Change*. 2019;9(5):384–388. doi:10.1038/s41558-019-0458-0

21. Brum M, Vadeboncoeur MA, Ivanov V, Asbjornsen H, Saleska S, Alves LF, Penha D, Dias JD, Aragão LEOC, Barros F, Bittencourt P, Pereira L, Oliveira RS. Hydrological niche segregation defines forest structure and drought tolerance strategies in a seasonal Amazon forest. *Journal of Ecology*. 2019;107(1):318-333. doi:10.1111/1365-2745.13022
22. Esquivel-Muelbert A, Baker TR, Dexter KG, et al. Compositional response of Amazon forests to climate change. *Global Change Biology*. 2019;25(1):39-56. doi:10.1111/gcb.14413
23. Barros FDV, Bittencourt PRL, Brum M, et al. Hydraulic traits explain differential responses of Amazonian forests to the 2015 El Niño-induced drought. *New Phytologist*. 2019;223(3):1253-1266. doi:10.1111/nph.15909
24. Powers JS, Vargas G. G, Brodribb TJ, et al. A catastrophic tropical drought kills hydraulically vulnerable tree species. *Global Change Biology*. 2020;26(5):3122-3133. doi:10.1111/gcb.15037
25. Feldpausch TR, Phillips OL, Brien R, et al. Amazon forest response to repeated droughts. *Global Biogeochemical Cycles*. 2016;30(7):964-982. doi:10.1002/2015gb005133
26. Bennett AC, Rodrigues De Sousa T, Monteagudo-Mendoza A, et al. Sensitivity of South American tropical forests to an extreme climate anomaly. *Nature Climate Change*. 2023;13(9):967-974. doi:10.1038/s41558-023-01776-4
27. Laurance WF, Williamson GB. Positive feedbacks among forest fragmentation, drought, and climate change in the Amazon. *Conservation Biology*. 2001;15(6):1529-1535. doi:10.1046/j.1523-1739.2001.01093.x
28. Nobre CA, Sellers PJ, Shukla J. Amazonian deforestation and regional climate change. *Journal of Climate*. 1991;4(10):957-988. doi:10.1175/1520-0442(1991)004<0957:ADARCC>2.0.CO;2
29. Phillips OL, van der Heijden G, Lewis SL, et al. Drought–mortality relationships for tropical forests. *New Phytologist*. 2010;187(3):631-646. doi:10.1111/j.1469-8137.2010.03359.x
30. Costa FRC, Schiatti J, Stark SC, Smith MN. The other side of tropical forest drought: do shallow water table regions of Amazonia act as large-scale hydrological refugia from drought? *New Phytologist*. 2023;237(3):714-733. doi:10.1111/nph.17914
31. Brien R, Phillips OL, Feldpausch TR, et al. Long-term decline of the Amazon carbon sink. *Nature*. 2015;519(7543):344-348. doi:10.1038/nature14283
32. Sullivan MJP, Lewis SL, Affum-Baffoe K, et al. Long-term thermal sensitivity of Earth's tropical forests. *Science*. 2020;368(6493):869-874. doi:10.1126/science.aaw7578
33. Lapola DM, Pinho P, Barlow J, et al. The drivers and impacts of Amazon forest degradation. *Science*. 2023;379(6630). doi:10.1126/science.abp8622
34. Wilkie DS, Bennett EL, Peres C a., Cunningham A a. The empty forest revisited. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2011;1223(1):120-128. doi:10.1111/j.1749-6632.2010.05908.x
35. Bodmer R, Mayor P, Antunez M, Chota K, Fang T, Puertas P, Pittet M, Kirkland M, Walkey M, Rios C, Perez-Peña P, Henderson P, Bodmer W, Biccerra A, Zagarra J, Docherty E. Major shifts in Amazon wildlife populations from recent intensification of floods and drought. *Conservation Biology*. 2018;32(2):333-344. doi:10.1111/cobi.12993
36. Young C, Bonnell TR, Brown LR, Dostie MJ, Ganswindt A, Kienzle S, McFarland R, Henzi SP, Barrett L. Climate induced stress and mortality in vervet monkeys. *Royal Society open science*. 2019;6(11):191078-191078. doi:10.1098/rsos.191078

37. Lacher TE, Davidson AD, Fleming TH, Gómez-Ruiz EP, McCracken GF, Owen-Smith N, Peres CA, Vander Wall SB. The functional roles of mammals in ecosystems. *Journal of Mammalogy*. 2019;100(3):942-964. doi:10.1093/jmammal/gyy183
38. Bogoni JA, Peres CA, Ferraz KMPMB. Effects of mammal defaunation on natural ecosystem services and human well being throughout the entire Neotropical realm. *Ecosystem Services*. 2020;45:101173. doi:10.1016/j.ecoser.2020.101173
39. Fassoni-Andrade AC, Fleischmann AS, Papa F, et al. Amazon hydrology from space: scientific advances and future challenges. Published online March 25, 2021. doi:10.1002/essoar.10506527.1
40. Schöngart J, Wittmann F, Junk WJ, Piedade MTF. Vulnerability of Amazonian floodplains to wildfires differs according to their typologies impeding generalizations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2017;114(41):E8550-E8551. doi:10.1073/pnas.1713734114
41. Wittmann F, Householder JE, Piedade MTF, Schöngart J, Demarchi LO, Quaresma AC, Junk WJ. A Review of the ecological and biogeographic differences of amazonian floodplain forests. *Water*. 2022;14(21):3360. doi:10.3390/w14213360
42. Santos AR dos, Nelson BW. Leaf decomposition and fine fuels in floodplain forests of the Rio Negro in the Brazilian Amazon. *Journal of Tropical Ecology*. 2013;29(5):455-458. doi:10.1017/S0266467413000485
43. Almeida DRA de, Nelson BW, Schiatti J, Gorgens EB, Resende AF, Stark SC, Valbuena R. Contrasting fire damage and fire susceptibility between seasonally flooded forest and upland forest in the Central Amazon using portable profiling LiDAR. *Remote Sensing of Environment*. 2016;184:153-160. doi:10.1016/j.rse.2016.06.017
44. Resende AF de, Nelson BW, Flores BM, de Almeida DR. Fire damage in seasonally flooded and upland forests of the central Amazon. *Biotropica*. 2014;46(6):643-646. doi:10.1111/btp.12153
45. Carvalho TC, Wittmann F, Piedade MTF, Resende AF de, Silva TSF, Schöngart J. Fires in amazonian blackwater floodplain forests: causes, human dimension, and implications for conservation. *Frontiers in Forests and Global Change*. 2021;4. doi:10.3389/ffgc.2021.755441
46. Flores BM, Piedade MTF, Nelson BW. Fire disturbance in Amazonian blackwater floodplain forests. *Plant Ecology & Diversity*. 2014;7(1-2):319-327. doi:10.1080/17550874.2012.716086
47. Flores BM, Holmgren M. White-sand savannas expand at the core of the Amazon after forest wildfires. *Ecosystems*. 2021;24(7):1624-1637. doi:10.1007/s10021-021-00607-x
48. Williams E, Dall' Antonia A, Dall' Antonia V, Almeida JM de, Suarez F, Liebmann B, Malhado ACM. The drought of the century in the Amazon Basin: an analysis of the regional variation of rainfall in South America in 1926. *Acta Amazonica*. 2005;35(2):231-238. doi:10.1590/S0044-59672005000200013
49. Resende AF, Piedade MTF, Feitosa YO, Andrade VHF, Trumbore SE, Durgante FM, Macedo MO, Schöngart J. Flood-pulse disturbances as a threat for long-living Amazonian trees. *New Phytologist*. 2020;227(6):1790-1803. doi:10.1111/nph.16665
50. Neves JRD, Piedade MTF, Resende AF de, Feitosa YO, Schöngart J. Impact of climatic and hydrological disturbances on blackwater floodplain forests in Central Amazonia. *Biotropica*. 2019;51(4):484-489. doi:10.1111/btp.12667
51. Salerno L, Moreno-Martínez Á, Izquierdo-Verdiguier E, Clinton N, Siviglia A, Camporeale C. Satellite analyses unravel the multi-decadal impact of dam management on tropical floodplain

vegetation. *Frontiers in Environmental Science*. 2022;10. doi:10.3389/fenvs.2022.871530

52. Schöngart J, Junk WJ, Piedade MTF, Ayres JM, Hüttermann A, Worbes M. Teleconnection between tree growth in the Amazonian floodplains and the El Niño–Southern Oscillation effect. *Global Change Biology*. 2004;10(5):683–692. doi:10.1111/j.1529-8817.2003.00754.x

53. Schöngart J, Piedade MTF, Wittmann F, Junk WJ, Worbes M. Wood growth patterns of *Macaranga acaciifolia* (Benth.) Benth. (Fabaceae) in Amazonian black-water and white-water floodplain forests. *Oecologia*. 2005;145(3):454–461. doi:10.1007/s00442-005-0147-8

54. Melack JM, Hess LL. Remote sensing of the distribution and extent of wetlands in the Amazon basin. *Ecological Studies*. Published online 2010:43-59. doi:10.1007/978-90-481-8725-6_3

55. Junk WJ, Piedade, M.T.F., Wittmann, F., Schöngart, J. *Várzeas Amazônicas: desafios para um manejo sustentável*. Editora INPA; 2020.

56. Arraut EM, Arraut JL, Marmontel M, Mantovani JE, Novo EMLDM. Bottlenecks in the migration routes of Amazonian manatees and the threat of hydroelectric dams. *Acta Amazonica*. 2017;47(1):7-18. doi:10.1590/1809-4392201600862

57. Ribeiro MCL de B, Petrere MJ. Fisheries ecology and management of the Jaraqui (*Semaprochilodus Taeniurus*, S. Insignis) in central Amazonia. *Regulated Rivers: Research & Management*. 1990;5(3):195–215. doi:10.1002/rrr.3450050302

58. Fernandes CC. Lateral migration of fishes in Amazon floodplains. *Ecology of Freshwater Fish*. 1997;6(1):36–44. doi:10.1111/j.1600-0633.1997.tb00140.x

59. Castello L, Hess LL, Thapa R, McGrath DG, Arantes CC, Renó VF, Isaac VJ. Fishery yields vary

with land cover on the Amazon River floodplain. *Fish and Fisheries*. 2017;19(3):431–440. doi:10.1111/faf.12261

60. Arantes CC, Winemiller KO, Petrere M, Castello L, Hess LL, Freitas CEC. Relationships between forest cover and fish diversity in the Amazon River floodplain. *Journal of Applied Ecology*. 2017;55(1):386–395. doi:10.1111/1365-2664.12967

61. Aragão LEOC, Anderson LO, Fonseca MG, et al. 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. *Nature communications*. 2018;9(1):536–536. doi:10.1038/s41467-017-02771-y

62. Mataveli G, Jones MW, Carmenta R, Sanchez A, Dutra DJ, Chaves M, de Oliveira G, Anderson LO, Aragão LEOC. Deforestation falls but rise of wildfires continues degrading Brazilian Amazon forests. *Global Change Biology*. 2024;30(2):e17202. doi:10.1111/gcb.17202

63. Withey K, Berenguer E, Palmeira AF, Espírito-Santo FDB, Lennox GD, Silva CVJ, Aragão LEOC, Ferreira J, França F, Malhi Y, Rossi LC, Barlow J. Quantifying immediate carbon emissions from El Niño-mediated wildfires in humid tropical forests. *Philosophical transactions of the Royal Society of London Series B, Biological sciences*. 2018;373(1760):20170312. doi:10.1098/rstb.2017.0312

64. Barlow J, Parry L, Gardner TA, Ferreira J, Aragão LEOC, Carmenta R, Berenguer E, Vieira ICG, Souza C, Cochrane MA. The critical importance of considering fire in REDD+ programs. *Biological Conservation*. 2012;154:1–8. doi:10.1016/j.biocon.2012.03.034

65. Berenguer E, Lennox GD, Ferreira J, et al. Tracking the impacts of El Niño drought and fire in human-modified Amazonian forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2021;118(30):e2019377118. doi:10.1073/pnas.2019377118

66. Barlow J, Lennox GD, Ferreira J, et al. Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation. *Nature*. 2016;535(7610):144-147. doi:10.1038/nature18326
67. França FM, Ferreira J, Vaz-de-Mello FZ, Maia LF, Berenguer E, Ferraz Palmeira A, Fadini R, Louzada J, Braga R, Hugo Oliveira V, Barlow J. El Niño impacts on human-modified tropical forests: Consequences for dung beetle diversity and associated ecological processes. *Biotropica*. 2020;52(2):252-262. doi:10.1111/btp.12756
68. Silveira JM, Louzada J, Barlow J, Andrade R, Mestre L, Solar R, Lacau S, Cochrane MA. A multi-taxa assessment of biodiversity change after single and recurrent wildfires in a Brazilian Amazon forest. *Biotropica*. 2015;48(2):170-180. doi:10.1111/btp.12267
69. Barlow J, Peres CA. Ecological responses to el Niño-induced surface fires in central Brazilian Amazonia: management implications for flammable tropical forests. *Philosophical transactions of the Royal Society of London Series B, Biological sciences*. 2004;359(1443):367-380. doi:10.1098/rstb.2003.1423
70. Flores BM, Montoya E, Sakschewski B, et al. Critical transitions in the Amazon forest system. *Nature*. 2024;626(7999):555-564. doi:10.1038/s41586-023-06970-0
71. Lapola DM, Pinho P, Quesada CA, Strassburg BBN, Rammig A, Kruijt B, Brown F, Ometto JPHB, Premebida A, Marengo JA, Vergara W, Nobre CA. Limiting the high impacts of Amazon forest dieback with no-regrets science and policy action. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2018;115(46):11671-11679. doi:10.1073/pnas.1721770115
72. UNICEF. *Brazil Humanitarian Situation Report No. 2 (Amazon Drought)*; 2023. Accessed February 16, 2024. <https://www.unicef.org/mali/media/1561/file/ParisPrinciples.pdf>
73. Marengo JA, Borma LS, Rodriguez DA, Pinho P, Soares WR, Alves LM. Recent extremes of drought and flooding in Amazonia: vulnerabilities and human adaptation. *American Journal of Climate Change*. 2013;02(02):87-96. doi:10.4236/ajcc.2013.22009
74. Silva SS da, Brown F, Sampaio A de O, Silva ALC, Santos NCRS dos, Lima AC, Aquino AM de S, Silva PH da C, Moreira JG do V, Oliveira I, Costa AA, Fearnside PM. Amazon climate extremes: Increasing droughts and floods in Brazil's state of Acre. *Perspectives in Ecology and Conservation*. 2023;21(4):311-317. doi:10.1016/j.pecon.2023.10.006
75. Bandeira ICN, Adamy A, Andretta ER, Costa da Conceição RA, de Andrade MMN. Terras caídas: Fluvial erosion or distinct phenomenon in the Amazon? *Environmental Earth Sciences*. 2018;77(6). doi:10.1007/s12665-018-7405-7
76. Parry L, Davies G, Almeida O, Frausin G, de Moraes A, Rivero S, Filizola N, Torres P. Social vulnerability to climatic shocks Is shaped by urban accessibility. *Annals of the American Association of Geographers*. 2018;108(1):125-143. doi:10.1080/24694452.2017.1325726
77. Ávila JV da C, Clement CR, Junqueira AB, Ticktin T, Steward AM. Adaptive management strategies of local communities in two Amazonian floodplain ecosystems in the face of extreme climate events. *Journal of ethnobiology*. 2021;41(3):409-426. doi:10.2993/0278-0771-41.3.409
78. Tregidgo D, Campbell AJ, Rivero S, Freitas MAB, Almeida O. Vulnerability of the Açaí palm to climate change. *Human Ecology*. 2020;48(4):505-514. doi:10.1007/s10745-020-00172-2
79. Gusso A, Ducati JR, Veronez MR, Arvor D, Da Silveira LG. Monitoring the vulnerability of soybean to heat waves and their impacts in Mato Grosso state, Brazil. In: *2014 IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium*. IEEE; 2014:859-862. doi:10.1109/IGARSS.2014.6946560

80. Anderson LO, Pinheiro RLG. Impacto das cheias na estrutura física das escolas da várzea de Santarém. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*. 2022;13(3):294-313. doi:10.6008/cbpc2179-6858.2022.003.0024
81. Marengo JA, Espinoza JC. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. *International Journal of Climatology*. 2016;36(3):1033-1050. doi:10.1002/joc.4420
82. Pinheiro JAC, Gonçalves VVC, Pereira HS, Fraxe TJP, Oka JM, Siqueira-Souza F, Freitas CEC. Perception of Amazonian fishers regarding environmental changes as causes of drastic events of fish mortality. *Brazilian Journal of Biology*. 2022;82. doi:10.1590/1519-6984.263339
83. Smith LT, Aragão LEOC, Sabel CE, Nakaya T. Drought impacts on children's respiratory health in the Brazilian Amazon. *Scientific reports*. 2014;4:3726-3726. doi:10.1038/srep03726
84. Campanharo W, Lopes A, Anderson L, da Silva T, Aragão L. Translating fire impacts in southwestern Amazonia into economic costs. *Remote Sensing*. 2019;11(7):764. doi:10.3390/rs11070764
85. Barcellos C, Matos V, Lana RM, Lowe R. Climate change, thermal anomalies, and the recent progression of dengue in Brazil. *Scientific Reports*. 2024;14(1):5948. doi:10.1038/s41598-024-56044-y
86. Gomes MCRL, Andrade LC de, Nascimento ACS do, Pedro JPB, Filho CRM. Conditions of use and levels of household access to water in rural communities in the Amazon. *Ambiente & Sociedade*. 2022;25. doi:10.1590/1809-4422asoc20210178r12vu202214oa
87. Sena JA, Beser de Deus LA, Freitas MAV, Costa L. Extreme events of droughts and floods in Amazonia: 2005 and 2009. *Water Resources Management*. 2012;26(6):1665-1676. doi:10.1007/s11269-012-9978-3
88. Funatsu BM, Dubreuil V, Racapé A, Debortoli NS, Nasuti S, Le Tourneau FM. Perceptions of climate and climate change by Amazonian communities. *Global Environmental Change*. 2019;57:101923. doi:10.1016/j.gloenvcha.2019.05.007
89. Pereira HC, Nascimento ACS do, Moura EAF, Corrêa DSS, Chagas HC das. Migração rural-urbana por demanda educacional no Médio Solimões, Amazonas. *Revista Brasileira de Educação*. 2022;27. doi:10.1590/s1413-24782022270029
90. Parry L, Radel C, Adamo SB, Clark N, Counterman M, Flores-Yeffal N, Pons D, Romero-Lankao P, Vargo J. The (in)visible health risks of climate change. *Social science & medicine (1982)*. 2019;241:112448-112448. doi:10.1016/j.socscimed.2019.112448
91. Lago MC do, Rebelo GH, Bruno AC, Henriques LMP. Tikuna perceptions of extreme weather events: a case study on an indigenous lands in the Upper Solimões River, Brazil. *Ethnobiology and Conservation*. 2024;13. doi:10.15451/ec2024-01-13.07-1-19
92. Langill JC, Abizaid C, Takasaki Y, Coomes OT. Integrated multi-scalar analysis of vulnerability to environmental hazards: Assessing extreme flooding in western Amazonia. *Global Environmental Change*. 2022;76:102585. doi:10.1016/j.gloenvcha.2022.102585
93. Banerjee O, Cicowiez M, Macedo MN, Malek Ž, Verburg PH, Goodwin S, Vargas R, Rattis L, Bagstad KJ, Brando PM, Coe MT, Neill C, Marti OD, Murillo JÁ. Can we avert an Amazon tipping point? The economic and environmental costs. *Environmental Research Letters*. 2022;17(12):125005. doi:10.1088/1748-9326/aca3b8
94. Pinho PF, Marengo JA, Smith MS. Complex socio-ecological dynamics driven by extreme events in the Amazon. *Regional Environmental Change*. 2015;15(4):643-655. doi:10.1007/s10113-014-0659-z

95. Barlow J, Anderson L, Berenguer E, Brancalion P, Carvalho N, Ferreira J, Garrett R, Jakovac C, Nascimento N, Peña-Claros M, Rodrigues R, Valentim JF. *Transforming the Amazon through 'Arcs of Restoration.'* 1st ed. Sustainable Development Solutions Network (SDSN); 2022:1-12 p. doi:10.55161/KJCS2175
96. Sist P, Peña-Claros M, Baldiviezo Calles JP, Derroire G, Kanashiro M, Mendoza Ortega K, Piponiot C, Roopsind A, Veríssimo A, Vidal E, Wortel V, Putz FE. *Forest Management for Timber Production and Forest Landscape Restoration in the Amazon: The Way towards Sustainability.* Sustainable Development Solutions Network (SDSN); 2023:1-12p. doi:10.55161/WXNQ3205
97. Henny van Lanen, Jürgen V. Vogt, Joaquín Andreu, et al. Climatological risk: droughts. In: *Science for Disaster Risk Management 2017: Knowing Better and Losing Less.* ; 2017. Accessed June 18, 2024. https://drmkc.jrc.ec.europa.eu/portals/O/Knowledge/ScienceforDRM/ch03_s03/ch03_s03_subch0309.pdf
98. Linley GD, Jolly CJ, Doherty TS, et al. What do you mean, 'megafire'? *Global Ecology and Biogeography.* 2022;31(10):1906-1922. doi:10.1111/geb.13499
99. Cunha APMA, Zeri M, Deusdará Leal K, Costa L, Cuartas LA, Marengo JA, Tomasella J, Vieira RM, Barbosa AA, Cunningham C, Cal Garcia JV, Broedel E, Alvalá R, Ribeiro-Neto G. Extreme drought events over Brazil from 2011 to 2019. *Atmosphere.* 2019;10(11):642. doi:10.3390/atmos10110642
100. Garcia MN, Domingues TF, Oliveira RS, Costa FRC. The biogeography of embolism resistance across resource gradients in the Amazon. *Global Ecology and Biogeography.* 2023;32(12):2199-2211. doi:10.1111/geb.13765

AFILIAÇÕES DOS AUTORES

Flávia R.C. Costa: Coordenação de Pesquisas em Dinâmica Ambiental, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Av André Araújo 2223, Manaus, Amazonas, 69067-375 Brazil.

José Antonio Marengo: Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - CEMADEN, Estrada Doutor Altino Bondesan, 500 - Distrito de Eugênio de Melo, São José dos Campos, São Paulo, 12.247-060, Brazil. jose.marengo@cemaden.gov.br

Ana Luisa M. Albernaz: Coordenação de Ciências da Terra e Ecologia, Museu Paraense Emílio Goeldi, Av. Magalhães Barata, 376, Belém, Pará, 66040-170 Brazil.

Ana Paula Cunha: Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - CEMADEN, Estrada Doutor Altino Bondesan, 500 - Distrito de Eugênio de Melo, São José dos Campos, São Paulo, 12.247-060, Brazil.

Nicolás Cuvi: Departamento de Antropología, Historia y Humanidades, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Sede Ecuador, La Pradera e7 174 y Diego de Almagro, Quito, 170157, Ecuador.

Jhan-Carlo Espinoza: Directeur de Recherche, Institut de Recherche pour le Développement (IRD); IGE Univ. Grenoble Alpes, IRD, CNRS (UMR 5001 / UR 252) – France; Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Peru.

Joice Ferreira: EMBRAPA Amazônia Oriental, Trav. Dr. Enéas Pinheiro s/nº, Bairro Marco, Belém Pará, 66095-903 Brazil.

Ayan Santos Fleischmann: Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, Estrada do Bexiga, 2584, 69553-225, Tefé, Amazonas, Brazil

Juan Carlos Jimenez-Muñoz Global Change Unit (GCU) of the Image Processing Laboratory (IPL), Universitat de València Estudi General (UEVG), C/ Catedrático José Beltrán 2, 46980 Paterna, Valencia, Spain.

María Belén Páez: Fundación Pachamama Mayurah, El Potrero vía Lumbisí, Alfonso Lamiña, Quito, 170157, Ecuador.

Luciano Carramaschi de Alagão Querido: Coordenação de Pesquisas em Biodiversidade, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Av André Araújo 2223, Manaus, Amazonas, 69067-375 Brazil.

Jochen Schöngart: Departamento de Dinâmica Ambiental, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), 2936, Av. André Araújo, Manaus, Amazonas 69067-375, Brazil

MAIS INFORMAÇÕES EM

aamazoniaquequeremos.org

SIGA-NOS

  [theamazonwewant](https://www.instagram.com/theamazonwewant)

CONTATO

Secretaria Técnico-Científica do SPA em NY

475 Riverside Drive | Suite 530

New York NY 10115 USA

+1 (212) 870-3920 | spa@unsdsn.org