



Medindo os custos de inação e as capacidades estatais na Bacia Amazônica

Sumário Executivo

Introdução

A Bacia Amazônica, uma região de floresta tropical que se estende por mais de 6,7 milhões de km² em oito países, é particularmente vulnerável às mudanças climáticas. Uma avaliação recente conduzida pelo PNUD, considerando múltiplos cenários de mudança do clima, sugere que os estados, departamentos e municípios amazônicos do Brasil, Bolívia, Colômbia, Equador, Guiana, Peru, Suriname e Venezuela enfrentam amplos riscos ambientais e socioeconômicos. A revisão conclui que os impactos do aumento das temperaturas, das alterações nos regimes de chuva e dos eventos climáticos extremos afetarão severamente os setores de agricultura, pecuária, energia, mineração e turismo, bem como a disponibilidade hídrica, a saúde da população e os serviços ecossistêmicos. Até 2070, os custos da

inação podem variar entre 14% e 33% do PIB combinado atual da região, aproximadamente US\$ 2,8 trilhões.

Uma questão central para as autoridades públicas, atores privados e sociedades civis da região é o grau de preparo para enfrentar os impactos projetados das mudanças climáticas. Qual é o nível de capacidade estatal nacional e subnacional — nos planos político, institucional e financeiro — para lidar com esses cenários futuros? Embora muitos países tenham avançado na elaboração de Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) e Planos Nacionais de Adaptação (NAPs), grande parte dessas iniciativas ainda não foi plenamente implementada, muito menos monitorada, e permanece distante da meta “segura” de 1,5°C. Apesar do aumento dos investimentos em mitigação e planejamento de adaptação em partes da América Latina e do Caribe, há menos evidências de ações concretas nos estados, municípios e comunidades vulneráveis da Bacia Amazônica.

Um achado central do estudo do PNUD é que as autoridades nacionais e subnacionais em toda a Amazônia precisam investir em antecipar, preparar e construir resiliência diante das ameaças climáticas aceleradas e dos amplos impactos econômicos resultantes das mudanças climáticas. Isso é crucial para evitar pontos de inflexão catastróficos, recuperar e restaurar florestas e ecossistemas, e garantir meios de vida resilientes para os 50 milhões de habitantes da região. Com base em uma revisão sistemática da literatura, o PNUD desenvolveu um marco analítico para quantificar a capacidade estatal institucional e política, operacional, fiscal e comunitária. Embora essa revisão e o marco estejam passando por um processo de validação em nível nacional, espera-se que eles contribuam para estabelecer linhas de base e caminhos para medir avanços em toda a região.

Dividido em quatro seções, o documento primeiro sintetiza os impactos da inação climática sobre a Bacia Amazônica. A segunda seção examina uma variedade de custos econômicos segundo diferentes cenários climáticos. A terceira seção apresenta o marco de capacidade estatal, oferecendo uma visão geral das categorias e métricas relevantes. A seção final será desenvolvida durante o workshop regional de especialistas e apresentará recomendações para implementar o marco nos oito países da Bacia Amazônica. A intenção é promover uma reflexão sobre as condições essenciais para aprimorar a preparação e a resiliência — envolvendo toda a máquina pública e toda a sociedade — diante das ameaças climáticas que afetam uma das regiões mais ricas em biodiversidade e, simultaneamente, mais marginalizadas socioeconomicamente da América Latina e do Caribe.

Seção 1. Impactos climáticos na Bacia Amazônica

Em 2024, o PNUD elaborou uma revisão sistemática da literatura sobre as ameaças impostas pelas mudanças climáticas na Amazônia. Intitulado *Costs of Inaction on Climate Change in the Amazon River Basin*, o relatório utilizou inteligência artificial (IA) para sintetizar mais de duas décadas de pesquisa acadêmica sobre os riscos que afetam a Bacia Amazônica e seus páramos andinos. Com base na análise de mais de 1,23 bilhão de artigos científicos publicados entre 2000 e 2024, o estudo identificou um risco crescente de eventos climáticos extremos que ameaçam a biodiversidade e os meios de vida de milhões de habitantes. Para detalhes metodológicos, ver o Anexo 1. O relatório apresenta evidências e análises robustas, enfatizando a necessidade urgente de estratégias concretas de adaptação, intervenções de políticas públicas ajustadas à realidade regional e uma ampliação significativa do financiamento climático para mitigar os impactos ambientais e socioeconômicos em rápida intensificação.

A revisão do PNUD aplica cenários climáticos desenvolvidos pelo IPCC para modelar possíveis futuros climáticos para a Bacia Amazônica em 2050 e 2070. Esses cenários combinam trajetórias de desenvolvimento socioeconômico (SSP) e trajetórias de concentração de gases de efeito estufa (RCP), projetando mudanças climáticas e hidrológicas significativas. Sob esses cenários, espera-se que as temperaturas médias na Amazônia aumentem entre 1,3°C e 6,5°C até o final do século XXI. Elevações de temperatura superiores a 3,5°C podem desencadear pontos de inflexão irreversíveis, afetando gravemente a biodiversidade e perturbando ciclos hidrológicos essenciais. Uma lista detalhada desses pontos de inflexão e outros elementos-chave identificados na revisão da literatura encontra-se no Anexo 2.

A avaliação do PNUD enfatiza o elevado risco de ultrapassar limiares ecológicos críticos — ou “pontos de inflexão” — destacando, de modo particular, a possibilidade de degradação florestal em larga escala caso as temperaturas globais ultrapassem 1,5°C–2°C e o desmatamento regional exceda 20%–25%. Como discutido em detalhe mais adiante, alguns desses pontos de inflexão podem já ter sido alcançados em determinadas áreas da Amazônia, sobretudo no que se refere às alterações nos ciclos de umidade atmosférica. Tais perturbações induzidas pelo clima ameaçam ecossistemas, reduzem a biodiversidade, fragmentam habitats e afetam severamente espécies aquáticas por meio de secas e deterioração da qualidade da água. Esses impactos ecológicos se traduzem em consequências socioeconômicas graves, reduzindo a produtividade nos setores agrícola, pesqueiro e hidrelétrico, e afetando desproporcionalmente comunidades indígenas e rurais, que enfrentam maior vulnerabilidade, insegurança alimentar e deslocamento.

A revisão do PNUD também identificou fortes evidências de uma relação direta entre desmatamento, degradação florestal e perda de biodiversidade causada por incêndios e exploração madeireira comercial. Essas pressões têm levado a uma redução da evapotranspiração durante a estação seca, variando entre 2% e 34%, enfraquecendo de forma significativa as funções hidrológicas da floresta. Os quatro principais vetores de degradação florestal até 2050 incluem secas extremas, incêndios florestais, exploração madeireira e efeitos de borda. Essas ameaças também devem constituir importantes fontes de emissões de carbono. Alarmantemente, mesmo que o desmatamento diminua, a degradação da terra continuará a ser uma fonte dominante de emissões de carbono na região. E, embora a restauração florestal em toda a bacia possa não ser suficiente para reverter as mudanças climáticas regionais, ela pode reduzir o ritmo das perturbações climáticas globais. A maior parte da conversão florestal é impulsionada pela transformação de pastagens em áreas agrícolas.

As implicações das mudanças climáticas para o ciclo do carbono são profundas. A Amazônia armazena entre 229 e 280 petagramas (Pg) de carbono em sua biomassa viva e em matéria orgânica do solo. Aproximadamente 108 Pg C estão estocados apenas nas árvores vivas. Isso faz da floresta amazônica um elemento central do ciclo global do carbono: qualquer perturbação, por menor que seja, pode produzir repercuções globais, tanto sobre o clima quanto sobre o sistema hidrológico da América do Sul. Estudos recentes identificados na revisão também mostram que a função de sumidouro de carbono das florestas primárias amazônicas está em persistente declínio. Essa tendência é amplamente impulsionada pelo aumento da mortalidade de árvores associado às mudanças ambientais. Como resultado, o papel da Amazônia na mitigação das mudanças climáticas está diminuindo, e sua capacidade de absorver carbono atmosférico pode enfraquecer ainda mais no futuro.

As tendências climáticas identificadas na revisão do PNUD ressaltam a importância de quantificar os custos da inação. Esses custos incluem perdas econômicas, sociais e ambientais que podem ocorrer se os esforços de adaptação e mitigação forem insuficientes ou tardios. Diversos estudos globais estimam que, até 2070, tais custos possam representar entre 14% e 33% do PIB combinado atual da região, aproximadamente USD 2,8 trilhões. Avaliações de custos da inação são ferramentas essenciais de tomada de decisão, destinadas a orientar e priorizar investimentos em resiliência climática e prevenção. No entanto, a aplicação dessas ferramentas na Amazônia permanece limitada e inconsistente.

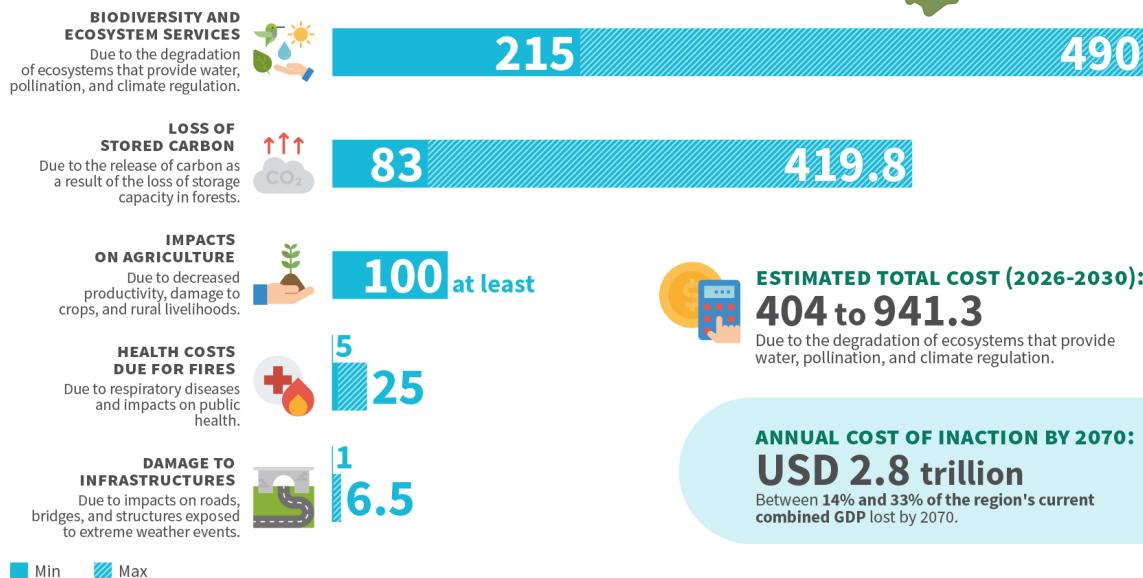
Figura 1. Resumo dos custos de inação das atividades climáticas na Bacia Amazônica (2026 – 2030)

An overview of the costs of climate inaction in the Amazon basin (2026-2030)

The Amazon basin covers more than 6.7 million km² of tropical forest in eight countries. Home to immense biodiversity, it is particularly vulnerable to climate change.



ESTIMATED IMPACTS IN BILLIONS OF USD



■ Min ■ Max

ESTIMATED TOTAL COST (2026-2030): 404 to 941.3

Due to the degradation of ecosystems that provide water, pollination, and climate regulation.

ANNUAL COST OF INACTION BY 2070: USD 2.8 trillion

Between 14% and 33% of the region's current combined GDP lost by 2070.

Seção 2. Os impactos econômicos das ameaças climáticas

Espera-se que as mudanças climáticas imponham danos econômicos substanciais aos países da Bacia Amazônica até 2050 e 2070. Em escala global, estima-se que as consequências econômicas das mudanças climáticas possam atingir cerca de 20% do PIB até 2050, caso não sejam adotadas medidas de mitigação ou adaptação (Buroz et al., 2024). Especificamente para a América Latina e o Caribe — incluindo os países amazônicos — as perdas econômicas anuais esperadas podem variar entre 2% e 10% do PIB até meados do século. Essas estimativas evidenciam as vulnerabilidades particulares da região, decorrentes de sua forte dependência de recursos naturais e de serviços ecossistêmicos.

Como destaca a revisão do PNUD, a magnitude dos custos econômicos varia entre setores (ver Tabela 1). A biodiversidade e os serviços ecossistêmicos — tais como a captura de carbono, a polinização e a regulação hídrica — provavelmente enfrentarão degradação significativa devido ao aumento das temperaturas e à perturbação dos ciclos hidrológicos, com importantes repercussões financeiras subsequentes. A agricultura e a pecuária, já fortemente afetadas pelas mudanças climáticas (por exemplo, o Brasil sofreu aproximadamente US\$ 30 bilhões em perdas devido às secas associadas ao El Niño entre 2012 e 2016), enfrentarão

quedas de produtividade, aumento de custos e instabilidade socioeconômica, agravando a pobreza rural e a insegurança alimentar.

Tabela 1. Categorizando os custos das mudanças climáticas

Biodiversidade e estrutura florestal	Modelos CMIP6 projetam impactos nos regimes de precipitação e temperatura que afetam a diversidade alfa, a densidade da madeira e a composição de espécies, com riscos de extinção para endemismos nos páramos andinos.
Eventos climáticos extremos	Entre 2020 e 2024 ocorreram secas extremas, e entre 2000 e 2018 as inundações aumentaram em 25%, atribuídas à intensificação da Circulação de Walker.
Desmatamento e incêndios	A interação entre seca e desmatamento cria ciclos de retroalimentação, resultando na perda de 773.360 km ² de Floresta Amazônica no Brasil entre 2001 e 2019, com emissões de CO ₂ 2,66 vezes superiores à absorção natural.
Processos geodinâmicos	O desmatamento aumentou a erosão do solo em até 312% na bacia do Xingu. Durante as estações de chuvas intensas, o escoamento superficial aumentou em até 60% em áreas desmatadas. Combinado à mineração de ouro, isso elevou a concentração de sedimentos em 73,3%. O aumento do depósito de sedimentos afeta inclusive a delimitação de fronteiras onde rios funcionam como limites naturais.
Processos hidrológicos	A extração de madeira e a conversão de florestas em pastagens aumentam o escoamento superficial e reduzem a infiltração, perturbando o equilíbrio hidrológico e a umidade do solo. Isso é fundamental para compreender enxurradas (menor infiltração) e secas subsequentes (menor retenção de água subterrânea), além da erosão já mencionada.
Impactos socioeconômicos	Secas e inundações afetam a agricultura de sequeiro, reduzem a produtividade, ameaçam a segurança alimentar e aumentam a vulnerabilidade das comunidades ao interromper o transporte fluvial, o abastecimento de alimentos e as pescarias locais. O transporte fluvial é crucial para os meios de vida, circulação de suprimentos e escoamento de produtos agrícolas e minerários.
Produção de energia	A variabilidade climática altera os regimes de produção hidrelétrica.

Fonte: Buroz et al (2024)

Os efeitos econômicos em cascata das mudanças climáticas na Bacia Amazônica são alarmantes. Os gastos relacionados à saúde da população aumentarão acentuadamente à medida que condições mais quentes e secas resultarem em incêndios florestais mais frequentes e intensos. Esses incêndios elevarão os custos médicos devido a doenças respiratórias e outras condições, além de reduzirem a produtividade da força de trabalho em razão do aumento da morbidade e mortalidade. A infraestrutura também sofrerá danos substanciais, uma vez que enchentes e secas mais severas afetarão redes de transporte, moradias e usinas hidrelétricas. Os custos de reparos, manutenção e reconstrução imporão pressão adicional sobre os orçamentos nacionais, desviando recursos de investimentos produtivos.

Como mencionado acima, a degradação florestal reduzirá a capacidade de armazenamento de carbono da Amazônia, comprometendo significativamente o papel da região como um sumidouro vital de carbono. O declínio amazônico não apenas acelerará as emissões globais de gases de efeito estufa, como também gerará perdas econômicas substanciais. Por exemplo, a redução da capacidade das florestas amazônicas de sequestrar carbono pode traduzir-se em bilhões de dólares em perdas anuais, dependendo dos preços de mercado de carbono e dos cenários futuros de emissões (ver Box 1). Isso evidencia as múltiplas dimensões — ambientais e financeiras — em jogo diante da continuidade da degradação ecológica na região.

Estimar com precisão o custo econômico total da inação na Amazônia é uma tarefa complexa. Como mostra a Tabela 1, uma contabilização completa depende dos elementos incluídos no cálculo. Buroz et al. (2024) enfatizam que a quantificação desses custos também é dificultada pela escassez de dados regionais detalhados, o que frequentemente leva à subestimação de impactos indiretos ou intangíveis. As projeções econômicas de longo prazo também são dificultadas por incertezas associadas a padrões climáticos futuros e condições socioeconômicas. Adicionalmente, impactos não mercantis — como perdas culturais e reduções na resiliência dos ecossistemas — são com frequência negligenciados. Para enfrentar essas limitações, o relatório recomenda o estabelecimento de marcos fiscais climáticos padronizados entre os países amazônicos, a integração de custos intangíveis e indiretos nos modelos econômicos e o fortalecimento da cooperação regional por meio de entidades como a OTCA, com vistas a aprimorar o compartilhamento de dados e o alinhamento metodológico para melhorar a precisão das previsões e a modelagem de cenários.

Box 1. Nota metodológica: Valoração do custo da inação sobre a resiliência dos ecossistemas e os impactos climáticos

O custo da inação — definido como as consequências econômicas, sociais e ambientais decorrentes da ausência de medidas de resiliência e de proteção dos ecossistemas — foi avaliado por meio da quantificação das emissões resultantes de CO₂ e sua conversão em valores monetários. Essa conversão foi realizada com base no conceito de Custo Social do Carbono (CSC), que estima os danos econômicos causados pela emissão de uma tonelada adicional de dióxido de carbono ou seu equivalente. Segundo Buroz et al. (2024), o CSC foi estimado em US\$ 31 por tonelada métrica de CO₂ (valores de 2010) em 2015. Além disso, a revisão sistemática da literatura indica que o CSC cresce a uma taxa média anual de 3% até 2050, refletindo o aumento dos danos ao longo do tempo.

O CSC incorpora uma ampla gama de impactos globais de longo prazo provocados pelas emissões de CO₂, incluindo: perdas na produtividade agrícola; deterioração dos indicadores de saúde pública; danos decorrentes de eventos climáticos extremos; elevação do nível do mar e destruição de áreas costeiras; e reduções mais amplas na produção econômica e no bem-estar. Esses danos são agregados ao longo do tempo e descontados ao valor presente, oferecendo uma medida do custo social global associado à falta de prevenção das emissões. Embora o valor exato do CSC permaneça incerto — pois depende de pressupostos como taxas de desconto, sensibilidade climática e cenários de risco catastrófico — Buroz et al. (2024) confirmam um amplo consenso de que o CSC é substancial e provavelmente subestimado em muitos modelos atuais.

Por exemplo, modelos regulatórios utilizados nos Estados Unidos adotavam anteriormente um CSC de US\$ 50 por tonelada em 2030 (valores de 2007), embora esse valor tenha sido criticado por subestimar a verdadeira magnitude dos danos potenciais. Estimativas mais abrangentes, que incorporam riscos extremos e considerações de equidade intergeracional, sugerem que um valor mais acurado de CSC ultrapassaria US\$ 100 por tonelada na próxima década. Para avaliar impactos até 2030, seria justificável aplicar valores de CSC entre US\$ 80 e US\$ 100 por tonelada, refletindo de maneira mais realista o custo efetivo dos danos climáticos por tonelada de CO₂ emitida. No entanto, para os propósitos da avaliação do PNUD, adotou-se uma faixa mais conservadora, utilizando US\$ 5 como limite inferior e US\$ 25 como limite superior. Esses valores derivam de estimativas de CSC reportadas em diversos estudos internacionais. Ao aplicar a taxa de crescimento estimada do CSC, o custo projetado da emissão de uma tonelada de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) em 2050 seria de aproximadamente US\$ 21,92, valor que serve de referência para definir a faixa de valoração adotada no estudo.

Seção 3. Conceitualizando capacidade estatal na Bacia Amazônica

Os governos nacionais e subnacionais, bem como as comunidades da Bacia Amazônica, não estão adequadamente preparados para enfrentar as ameaças climáticas e seus impactos econômicos associados. Para apoiar a melhoria desse nível de preparo, o PNUD desenvolveu um marco de capacidade estatal estruturado em quatro pilares centrais: (i) capacidade institucional e política, que avalia a solidez e a coerência das estruturas de governança climática, a integração de políticas e as capacidades institucionais; (ii) capacidade operacional e de gestão de riscos, que analisa a eficácia dos sistemas de alerta precoce, dos mecanismos de resposta a crises e das capacidades de coordenação; (iii) capacidade fiscal e econômica, que examina a disponibilidade de financiamento dedicado ao clima, os mecanismos de mobilização de recursos financeiros externos e as parcerias público-privadas para investimentos em adaptação e resiliência; e (iv) um pilar transversal de resiliência comunitária, destinado a assegurar inclusão e participação local. Em conjunto, esses pilares oferecem uma visão abrangente do grau de preparação dos países da Bacia Amazônica, fornecendo subsídios para o planejamento estratégico, a alocação de recursos e a implementação eficaz de medidas de adaptação e mitigação climática.

Figura 2. Os quatro pilares das capacidades estatais para a ação climática

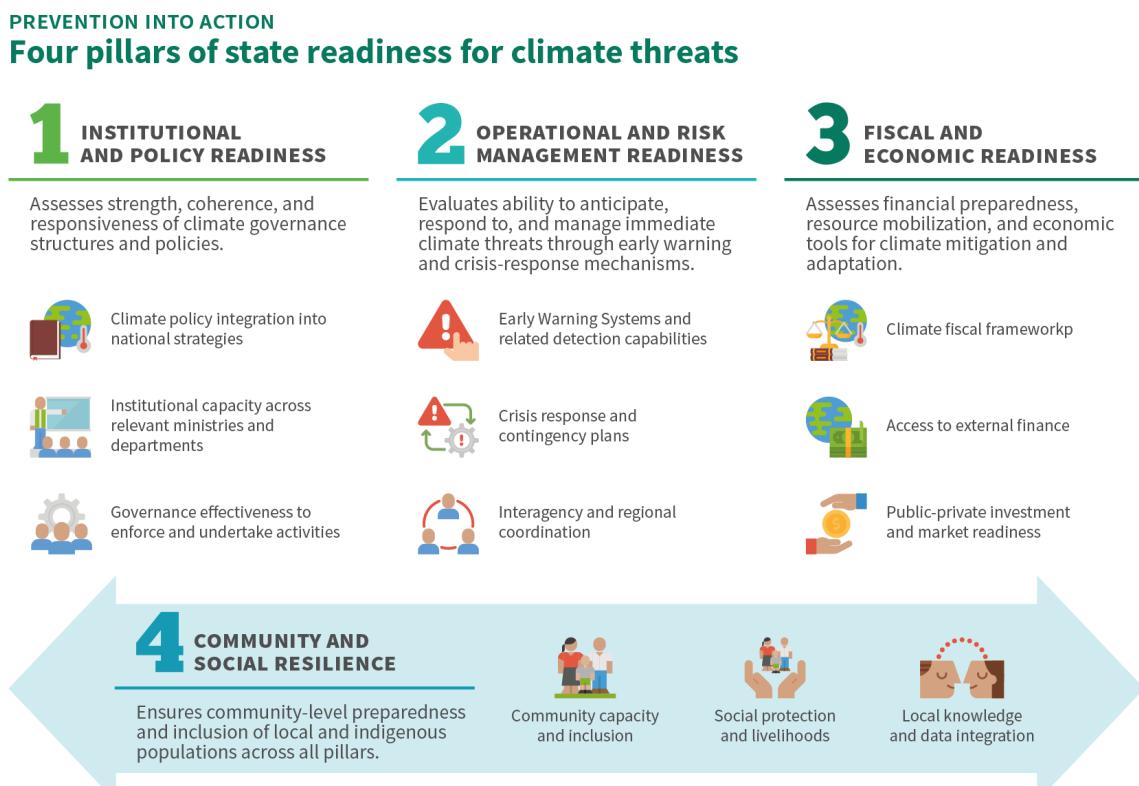


Tabela 2. Institutional and policy readiness framework

Sub categoria	Métricas para mensuração
Integração da política climática nas estratégias nacionais	Existência e qualidade das Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) e dos Planos Nacionais de Adaptação (NAPs); Alinhamento com o Acordo de Paris (classificação quantitativa); e Percentual de políticas setoriais (agricultura, energia, florestas) que integram objetivos climáticos explícitos.
Capacidade institucional entre ministérios e departamentos relevantes	Existência e qualidade das Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) e dos Planos Nacionais de Adaptação (NAPs); Alinhamento com o Acordo de Paris (classificação quantitativa); e Percentual de políticas setoriais (agricultura, energia, florestas) que integram objetivos climáticos explícitos.
Efetividade da governança para fazer cumprir normas e executar atividades	Taxa de execução das regulamentações ambientais (casos iniciados versus concluídos); Índices de transparência em governança ambiental (dados abertos, sistemas de monitoramento); e Grau de descentralização e autonomia nos processos decisórios.

3.2 Capacidade operacional e de gestão de riscos

O pilar de capacidade operacional e de gestão de riscos avalia a aptidão de entidades nacionais e subnacionais na Bacia Amazônica para antecipar, responder e gerir ameaças climáticas imediatas por meio de mecanismos eficazes de detecção precoce, preparação e resposta a crises. Ele mede, especificamente, a abrangência e a confiabilidade dos sistemas de alerta precoce, incluindo a cobertura das redes de monitoramento hidroclimático e a qualidade das campanhas públicas de comunicação. Além disso, examina a disponibilidade e a atualização tempestiva de planos de contingência para secas, inundações e incêndios florestais, bem como a eficiência das respostas em tempo real a eventos climáticos extremos. O pilar também avalia o grau de coordenação interagencial por meio de exercícios regulares, a solidez dos vínculos operacionais com plataformas regionais como a OTCA e a integração entre agências nacionais e locais.

Tabela 3. Marco de capacidade operacional e de gestão de riscos

Sub categoria	Métricas para mensuração
Sistemas de Alerta Precoce (SAP) e capacidades correlatas de detecção	Cobertura das redes de monitoramento hidroclimático (% da área/população coberta); Confiabilidade e precisão das previsões dos SAP (escores de validação); e Frequência e qualidade das campanhas públicas de comunicação e sensibilização.
Resposta a crises e planos de contingência	Disponibilidade e frequência de atualização dos planos de contingência para secas, inundações e incêndios florestais; Tempo médio de resposta entre a detecção e a intervenção durante eventos climáticos extremos (dias/semanas); e Número de ações preventivas bem-sucedidas implementadas anualmente.
Coordenação interagencial e regional	Número de exercícios e simulações interagenciais realizados anualmente; Vínculos operacionais estabelecidos com plataformas regionais (por exemplo, OTCA); e Grau de integração entre agências nacionais e locais (classificações qualitativas derivadas de entrevistas).

3.3 Capacidade fiscal e econômica

O pilar de capacidade fiscal e econômica avalia o grau de preparação financeira e a capacidade das autoridades da Bacia Amazônica para mobilizar recursos e implementar instrumentos econômicos voltados à mitigação e adaptação climática. Examina os marcos fiscais climáticos nacionais e subnacionais, incluindo a existência de orçamentos específicos para ações climáticas, a proporção do PIB destinada à adaptação e resiliência e o uso de instrumentos fiscais, como incentivos tributários e subsídios. Além disso, o pilar analisa a habilidade dos países de captar e utilizar de forma eficiente o financiamento climático externo, avaliando a dependência de recursos internacionais e a capacidade de absorção. Também mensura a robustez e a eficácia das parcerias público-privadas e dos mecanismos de mercado, como mercados de carbono, títulos verdes (*green bonds*) e Pagamentos por Serviços Ecossistêmicos.

Table 4. Marco de capacidade fiscal e econômica

Sub categoria	Métricas para mensuração
Marco fiscal climático	<p>Existência de linhas orçamentárias específicas para ações climáticas (% dos orçamentos nacionais/subnacionais);</p> <p>Montante alocado e desembolsado anualmente para adaptação e resiliência climática (% do PIB); e</p> <p>Uso de instrumentos fiscais (por exemplo, incentivos tributários, subsídios) para promover práticas sustentáveis.</p>
Acesso a financiamento externo	<p>Volume e diversidade do financiamento climático internacional obtido (por exemplo, Fundo Verde para o Clima, Banco Mundial, fundos bilaterais);</p> <p>Grau de dependência de ajuda externa (% dos investimentos climáticos financiados externamente); e</p> <p>Capacidade de absorção (taxa de utilização dos fundos climáticos internacionais).</p>
Investimento público-privado e prontidão de mercado	<p>Número de parcerias público-privadas ativas para projetos de resiliência climática;</p> <p>Volume de investimentos mobilizados por meio da participação do setor privado em adaptação e resiliência (% do total de investimentos climáticos); e</p> <p>Existência e aplicação de mecanismos de mercado (mercados de carbono, Pagamentos por Serviços Ecossistêmicos, títulos verdes).</p>

3.4 Dimensão transversal: resiliência comunitária e social

A dimensão transversal do marco de capacidade estatal assegura que o nível de preparo comunitário e a inclusão de populações locais e indígenas sejam incorporados a todos os pilares da avaliação. Essa dimensão enfatiza a capacidade e a inclusão comunitária ao monitorar o envolvimento de comunidades indígenas e locais em projetos de adaptação, a disponibilidade de programas de fortalecimento de capacidades e o reconhecimento de direitos territoriais. Ela também mensura a proteção social e a resiliência dos meios de vida por meio da cobertura de redes de proteção, de mecanismos de seguros climáticos e do acesso a recursos de adaptação para subsistências sensíveis ao clima. Adicionalmente, o marco avalia a

integração de conhecimentos locais e indígenas nos planos climáticos oficiais, bem como a disponibilidade e o uso de dados localizados de vulnerabilidade climática.

Table 5. Marco para resiliência comunitária e social

Sub categoria	Métricas para mensuração
Capacidade e inclusão comunitária	Proporção de projetos de adaptação climática que envolvem diretamente comunidades locais e indígenas; Disponibilidade de programas locais de fortalecimento de capacidades e de formação; e Percentual de comunidades com direitos territoriais reconhecidos ou segurança de posse.
Proteção social e meios de subsistência	Cobertura de redes de proteção social e de mecanismos de seguro relacionados ao clima (% da população vulnerável coberta); e Percentual da população dependente de meios de subsistência sensíveis ao clima (agricultura, pesca, silvicultura) com acesso a apoio à adaptação.
Conhecimento local e integração de dados	Nível de integração de conhecimentos indígenas e práticas tradicionais nos planos oficiais de adaptação climática (pontuação qualitativa); e Disponibilidade e uso de dados localizados sobre vulnerabilidade e risco climático.

Aplicação da metodologia de avaliação de capacidades estatais

A avaliação de capacidade estatal apresentada deverá auxiliar governos nacionais e subnacionais, bem como organizações regionais, a identificar pontos fortes e fragilidades em seu nível de preparação para enfrentar ameaças climáticas. A intenção é permitir que responsáveis pela formulação de políticas antecipem riscos e proponham melhorias, incluindo a elaboração de “roteiros de capacidade” (*readiness roadmaps*). Um marco padronizado de avaliação de capacidade pode ajudar autoridades públicas e sociedades civis a monitorar, medir e comparar regularmente as capacidades de adaptação e mitigação climática nos níveis estatal, departamental e municipal dos oito países amazônicos. Isso pode facilitar a cooperação e a integração de respostas entre países, dentro deles e com parceiros internacionais.

Cada métrica do marco pode receber uma pontuação quantitativa clara (0–5), possibilitando que as autoridades estabeleçam linhas de base confiáveis, acompanhem o progresso e identifiquem áreas prioritárias para investimentos e ações. Complementando essa avaliação quantitativa, a participação de atores locais

por meio de entrevistas e levantamentos pode captar perspectivas comunitárias, validar empiricamente as conclusões e assegurar que as avaliações refletem as diversas realidades da região. Para garantir sua relevância contínua, essas avaliações podem ser atualizadas anualmente ou bienalmente, permitindo ajustes oportunos em políticas e estratégias diante de ameaças climáticas e condições socioeconômicas em evolução.

A aplicação deste marco de capacidade estatal contribuirá para ampliar as capacidades governamentais e de partes interessadas em toda a Bacia Amazônica, permitindo uma avaliação sistemática das forças e fragilidades institucionais, operacionais e econômicas na resposta a cenários climáticos futuros. O marco identificará com clareza áreas prioritárias para investimentos direcionados e intervenções estratégicas, ao mesmo tempo em que destacará oportunidades para o fortalecimento da cooperação regional, especialmente por meio de plataformas como a OTCA. Com efeito, a OTCA poderá apoiar a organização tanto de roteiros nacionais quanto regionais. Ademais, o marco pode estabelecer linhas de base robustas — mediante validação da linha de base da avaliação do PNUD de 2024 durante o workshop — permitindo que os países monitorem de forma consistente seu progresso, acompanhem a eficácia das políticas de adaptação e mitigação e assegurem melhoria contínua em toda a região.

O marco de capacidade estatal pode servir como ferramenta prática — ou mesmo como lista de verificação — para que governos avaliem em que medida autoridades nacionais, departamentais, estaduais e municipais, juntamente com comunidades locais, estão preparadas para antecipar, responder e se adaptar às ameaças climáticas, bem como para reforçar a cooperação e a coordenação. Não se trata de uma avaliação binária, mas de um instrumento que capta diferentes graus de capacidade em múltiplas categorias, destacando áreas de robustez e de vulnerabilidade. O marco é flexível e pode ser ajustado a contextos nacionais e subnacionais específicos, e sua abordagem de pontuação (0–5 por métrica) permite acompanhar a evolução ao longo do tempo, incluindo avanços ou retrocessos, de modo a fundamentar políticas mais eficazes e intervenções direcionadas.

Anexo 1. Passos para realizar uma revisão da literatura científica com IA

Steps for reviewing scientific literature with AI

As part of the study “Costs of Inaction of the Effects of Climate Change in the Amazon Basin,” artificial intelligence was used to review **more than 2.3 million scientific publications on the Amazon Basin** (2000-2024) and to project various climate scenarios for 2050 and 2070.



PROCESS STEPS



- A. AI search in global databases.
- 12 academic databases
 - 5 preprint platforms
 - 4 government repositories
 - 3 book and thesis platforms
 - 4 specialized platforms by field
 - 4 additional search tools

Result: access to
1.23 billion publications.



- D. Thematic analysis:
423,000 additional publications on climate change in the basin.



- E. Complementary selection with refined prompts.



- B. Filtering:
906,000 publications on the Amazon.



- F. Review of final works:
2.3 million publications.



- C. Integration and second review of citations with additional searches.



- G. Preparation of the final report:
270 citations selected for the report.

PROMPTS

- Climate change + Water
- Climate change + Energy
- Climate change + Agriculture
- Climate change + River transport
- Climate change + Peasant communities
- Climate change + Health
- Climate change + Moorland
- Climate change + Models
- Climate change + Scenarios
- Economic impacts on climate change + Amazon Basin

Anexo 2. Resumo dos resultados obtidos

Esta seção oferece orientações adicionais para formuladores de políticas, autoridades públicas e acadêmicos dos países amazônicos. Ela apresenta um resumo que os auxilia a explorar, com maior profundidade, detalhes específicos de resultados de interesse. As referências de páginas e seções correspondem ao relatório completo, disponível em: https://drive.google.com/file/d/120o6EBBuag5NzpsUsP0YDsBOX29q-xBE/view?usp=drive_link

<p>Pontos Críticos de Inflexão Climática na Bacia Amazônica</p> <p>(Ver Introdução e Cap. 2)</p>	<p>A estação seca é o principal motor dos pontos de inflexão locais ($64\% \pm 5\%$), mais que as variações anuais de precipitação.</p> <p>Esses eventos ocorrem com maior frequência no sudeste da Amazônia.</p> <p>A Amazônia pode atingir um ponto de inflexão irreversível se o desmatamento enfraquecer o ciclo hidrológico a ponto de a floresta não conseguir mais se sustentar.</p> <p>Um aumento de temperatura acima de $+3,5^{\circ}\text{C}$ — e/ou desmatamento superior a 40% — aumenta significativamente o risco de cruzar esse ponto de inflexão.</p>
<p>Mudança no Uso da Terra e Degradação do Bioma</p> <p>(Ver Cap. 2)</p>	<p>Até o momento, 18% da Amazônia foi convertida para outros usos da terra, e pelo menos 17% do bioma foi degradado.</p>
<p>Intervenção Humana</p> <p>(Ver Introdução e Cap. 2)</p>	<p>Alteração do papel natural da floresta amazônica no balanço de carbono (armazenamento e sequestro), redução da produtividade e resiliência da bacia e diminuição da capacidade de fornecer serviços ecossistêmicos regionais e globais.</p> <p>Risco elevado de extinção para muitas espécies devido à redução de áreas de ocorrência e à interrupção das interações interespecíficas.</p>
<p>Atividades Econômicas da Bacia Amazônica</p> <p>(Ver Cap. 2)</p>	<p>As atividades econômicas da Bacia Amazônica são diversas: mineração, petróleo e gás, exploração florestal, agricultura, pecuária, pesca e hidreletricidade — majoritariamente apoiadas por redes rodoviárias.</p> <p>A maior parte da atividade econômica se concentra no sudeste e oeste amazônico (Arco Andino próximo de Colômbia, Equador e Peru), mas está se expandindo para áreas centrais menos perturbadas.</p> <p>Setores de menor escala incluem comércio, construção, manufatura, agrofloresta (ex.: plantações indígenas), pesca, caça e turismo limitado.</p>
<p>Páramos Andinos</p> <p>(Ver Cap. 2)</p>	<p>Os campos de páramo podem encolher 75% devido ao aumento das temperaturas e à expansão da agricultura e silvicultura.</p> <p>A regulação hídrica pode cair 20%, perturbando os fluxos dos rios amazônicos — aumentando riscos de inundação e reduzindo a oferta de água na estação seca.</p> <p>As geleiras andinas perderam 42% de sua cobertura tropical de gelo nas últimas décadas, afetando a disponibilidade de água e as opções de adaptação.</p>

Desmatamento (Ver Cap. 2)	<p>O desmatamento é uma ameaça maior para as florestas tropicais de terra baixa (<i>low altitude tropical ombrophilous forest</i>) — (Brasil, Colômbia, Equador, Peru, Venezuela, Guianas), florestas sazonais sempre-verdes (Bolívia e sudeste do Brasil) e florestas tropicais submontanas (Escudo das Guianas e encostas andinas).</p> <p>Nos Andes tropicais, reduz a energia convectiva em 50–100%, enfraquecendo a intensidade das chuvas e deslocando o pico de precipitação para áreas de planície.</p> <p>Pode atrasar o início da estação chuvosa no sul da Amazônia em 30–40 dias, afetando ecossistemas, agricultura e hidreletricidade.</p> <p>Pode reduzir precipitação anual em 55–70%. A restauração florestal pode ajudar a recuperar a chuva mais do que anteriormente previsto.</p> <p>Desmatamento e seca reforçam-se mutuamente num ciclo de retroalimentação crescente, com o desmatamento contribuindo para 4% da severidade das secas recentes — especialmente no sudoeste da Amazônia.</p> <p>Após 20 anos de desmatamento, a evapotranspiração reduzida secou a atmosfera e perturbou os padrões de umidade na baixa e média troposfera.</p>
Incêndios (Ver Cap. 2)	<p>Entre 2001 e 2019, o Brasil registrou a maior quantidade de incêndios amazônicos: 220.087 focos e 773.360 km² queimados (55% do total da bacia), seguido pela Bolívia com 102.499 focos e 571.250 km² queimados (40%).</p> <p>O maior risco de incêndio está no sudeste da Amazônia, onde as estações secas são mais longas.</p> <p>Os incêndios estão se espalhando para o norte durante a transição úmida-seca, alcançando áreas de transição savana-floresta e florestas sazonais — impulsionados pelo desmatamento no “Arco do Desmatamento”.</p> <p>Os incêndios afetam não apenas áreas agrícolas (76,9%), mas também terras indígenas (17,2%) e áreas protegidas (5,9%).</p> <p>Esta crise de incêndios aumenta o risco de colapso florestal em larga escala, ameaçando a biodiversidade e o clima global.</p> <p>Secas relacionadas ao El Niño estão fortemente associadas ao aumento de áreas queimadas.</p>
Povos Indígenas (Ver Cap. 2)	<p>Cerca de 49,4% da Bacia Amazônica está protegida ou gerida, incluindo 3.000 territórios indígenas que cobrem 35% da área.</p>

Flora e Fauna (Ver Cap. 2)	<p>Secas extremas reduzem níveis de água, fragmentam rios, bloqueiam migrações e aumentam o risco de extinções locais.</p> <p>Mamíferos terrestres no sul e leste da Amazônia são vulneráveis a mudanças de vegetação como savanização. Espécies dependentes de floresta podem perder 50% de seu habitat, enquanto espécies de savana podem expandir sua área.</p>
Aspectos Socioeconômicos (Ver Cap. 2)	<p>O aumento da caça comercial para atender à demanda local por proteína pode agravar danos aos ecossistemas.</p> <p>A expansão da agricultura, mineração, extração madeireira e outras atividades extractivas acelera o desmatamento.</p> <p>Novas oportunidades econômicas podem levar populações urbanas a retornar às áreas rurais, perpetuando o ciclo de degradação.</p>
NDCs e NAPs (Ver Cap. 4)	<p>Apenas Bolívia, Brasil e Colômbia incluem ações específicas para a Amazônia em suas NDCs e NAPs.</p> <p>Brasil e Suriname são os únicos países com adaptação voltada à Amazônia em seus NAPs.</p> <p>A maioria dos países possui marcos legais e institucionais, mas depende fortemente de financiamento externo.</p> <p>Os esforços de adaptação concentram-se em reflorestamento, gestão de bacias hidrográficas e fortalecimento de capacidades — majoritariamente financiados por doadores.</p> <p>Poucos países (20%) estimam custos de adaptação em suas NDCs, e os NAPs carecem de métricas padronizadas, dificultando comparações de vulnerabilidades ou priorização de investimentos.</p>
Modelos de Simulação Climática (Ver Cap. 3)	<p>Modelos mais utilizados: CMIP6 (global) e CORDEX-Amazônia (regional).</p> <p>CMIP6 (resolução ~1°) captura tendências de grande escala, mas não capta climas locais como os dos páramos.</p> <p>CORDEX-Amazônia (resolução ~0,25°) reflete melhor padrões locais, mas requer mais validação.</p> <p>Modelos globais frequentemente subestimam extremos e a variabilidade da precipitação em bacias menores.</p>