

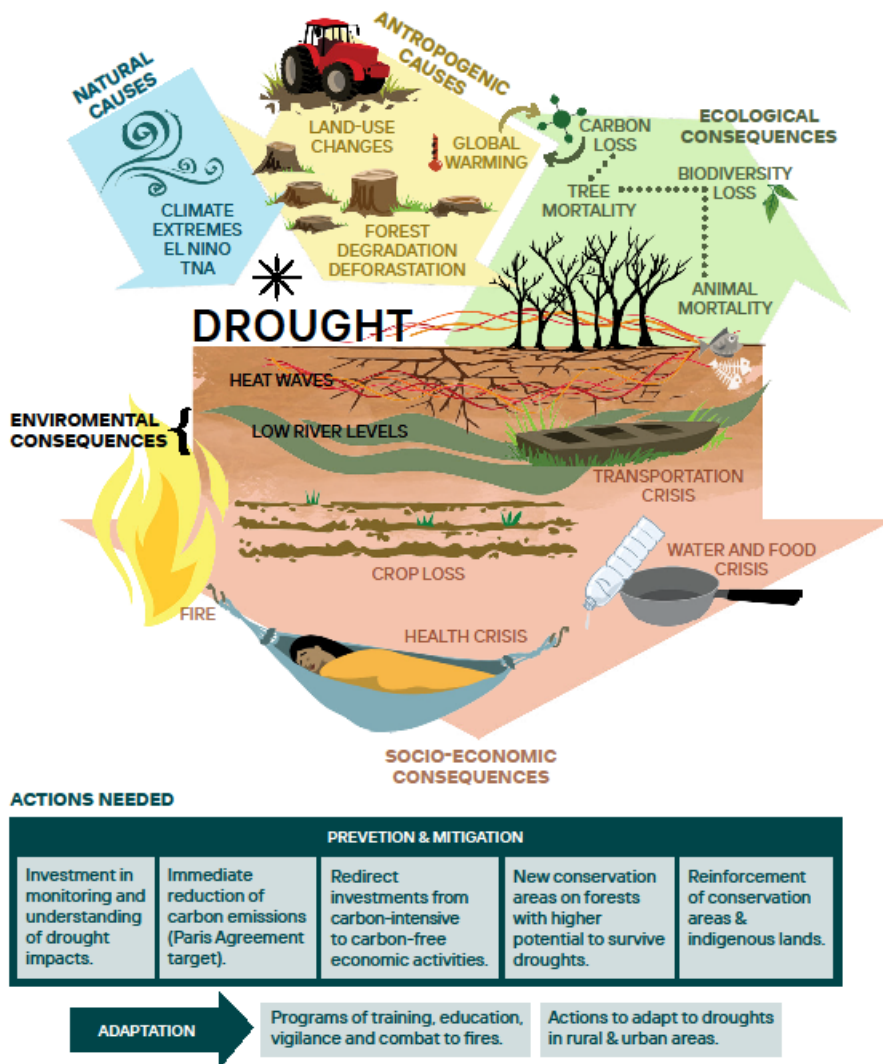
1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9

- 2nd Draft -

**Policy Brief – Secas na Amazonia**

Autores líderes: Flávia Costa & José Marengo

**Resumo gráfico**



10  
11  
12  
13  
14

## 15 Mensagens-chave & Recomendações

16

17 1. Secas intensas na Amazônia têm aumentado em frequência e intensidade, passando de quatro  
18 em um século para quatro em menos de 25 anos, em conjunto com o aumento do  
19 desmatamento e do aquecimento global. A sinergia entre secas, desmatamento, fogo e  
20 degradação tem o potencial de levar a Amazônia a um ponto de não retorno onde esse  
21 ecossistema de importância global pode reduzir significativamente sua capacidade de  
22 fornecer serviços críticos, como reciclagem de água, armazenamento de carbono e provisão  
23 de bens para o bem-estar humano.

24

Ø **A redução imediata das emissões de carbono (conforme as metas do Acordo de Paris), a redução do desmatamento e da degradação florestal são fundamentais para desacelerar ou interromper a crescente frequência de secas.**

25

26

27

Ø **Redirecionar subsídios e investimentos públicos de atividades intensivas em carbono para a conservação de reservas naturais e restauração florestal é fundamental para promover a criação de novos empregos no setor de conservação e gerar fluxos de receita alternativos. Isso também aumentaria as alocações orçamentárias para adaptação e gestão de catástrofes.**

28

29

30

31

32

33

2. As secas aumentam a mortalidade das árvores em muitas florestas e, portanto, a perda de biomassa, colocando em risco o funcionamento do reservatório de carbono fornecido 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 pelo fogo e pela degradação florestal, com consequências para a diversidade do ecossistema e recursos para as comunidades locais.

34

35

36

37

38

39

Ø **Iniciar um programa de identificação de áreas prioritárias que devem ser imediatamente conservadas para manter os serviços ecossistêmicos, e reforçar a proteção de áreas já conservadas e Terras Indígenas para evitar sinergias potencialmente negativas de perturbação.**

40

41

42

43

Ø **Programas de monitoramento para detectar sinais precoces de estresse animal e tomar medidas para desenvolver planos de mitigação.**

44

45

46

3. As secas aumentam o risco de incêndios com impactos diretos, como emissões de carbono, perda de biodiversidade e serviços ecossistêmicos, além de ameaçar a saúde humana e a segurança alimentar, causando vulnerabilidade social, cultural e econômica.

47

48

49

Ø **Continuar o financiamento para programas de treinamento, educação, vigilância e combate a incêndios, especialmente em anos de seca extrema. Ações para garantir que as zonas de amortecimento ao redor das Áreas Protegidas sejam mantidas.**

50

51

52

53

54

4. Os impactos socioeconômicos das secas incluem ameaças à segurança hídrica, soberania alimentar, saúde pública, direitos humanos, economias locais, mobilidade, produção de energia, estabilidade das margens dos rios e migrações humanas.

55

56

57

Ø **Implementar os mandatos estabelecidos em 2022 pela UNFCCC (Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima) em relação à abordagem baseada em direitos humanos e justiça climática.**

58

59

60

Ø **Implementar o fundo de perdas e danos e melhorar o financiamento por meio de fundos internacionais e nacionais.**

61

- 62            **Ø Fortalecer a capacitação das comunidades locais e dos governos para acessar**  
63            **diversos mecanismos financeiros para adaptação.**  
64            **Ø Promover a adoção de sistemas agroflorestais e agroecológicos diversificados em**  
65            **iniciativas de restauração e reflorestamento para melhorar a soberania**  
66            **alimentar.**  
67            **Ø Investir em ciência, tecnologia e inovação para melhorar as estratégias de**  
68            **tratamento de água e a capacidade de estoque de água, como cisternas de água de**  
69            **chuva, mais poços e poços mais profundos, filtro de água baseado em**  
70            **nanotecnologia e distribuição de conjuntos emergenciais de tratamento de água**  
71            **para comunidades remotas.**

72            5. Os impactos socioeconômicos das secas variam em natureza e intensidade entre diferentes  
73            grupos sociais (Povos Indígenas, camponeses, pescadores, pecuaristas até populações urbanas),  
74            gênero, idade, e também entre países e regiões amazônicas (Arco do Desmatamento, terras  
75            baixas, Amazônia Andina e áreas de transição).

- 76            **Ø Avaliar a vulnerabilidade das populações por meio de uma abordagem**  
77            **interseccional para o planejamento de políticas; as ações devem estar**  
78            **fundamentadas em uma compreensão abrangente das realidades locais.**  
79

80            6. Existem lacunas críticas de conhecimento, essenciais para o planejamento de respostas às  
81            crises climáticas. Estas incluem a falta de monitoramento abrangente das florestas amazônicas,  
82            clima e hidrologia para informar programas de adaptação; falta de dados sociais, econômicos,  
83            culturais e demográficos em escalas local e regional, especialmente em relação às populações  
84            vulneráveis.

- 85            **Ø Priorizar esforços de pesquisa e monitoramento para preencher lacunas de**  
86            **dados ambientais, ecológicos e socioeconômicos.**

- 87            **Ø Implementar programas de monitoramento e sistemas de alerta precoce de**  
88            **secas, incluindo modelagem da circulação atmosférica global e regional e**  
89            **hidrologia continental desde os Andes até o Oceano Atlântico.**

- 90            **Ø Investir na capacitação e na coprodução de soluções com as populações locais -**  
91            **rurais e urbanas - para gerenciar desastres.**  
92

93            **Recomendação Final:** A mitigação das secas requer um esforço sério para controlar o  
94            aquecimento global, o desmatamento e a degradação florestal. A adaptação às secas exige  
95            abordagens multissetoriais, incluindo intervenções em infraestrutura, agricultura, saneamento,  
96            acesso à água potável e saúde. Isso requer financiamento climático por meio de orçamentos de  
97            adaptação, perdas e danos, orçamentos nacionais e locais, iniciativas verdes, capacitação das  
98            populações locais e iniciativas baseadas na bioeconomia para enfrentar os desafios atuais e  
99            futuros impostos pelas secas na Amazônia. É necessário fomentar a colaboração entre os  
100           sistemas de conhecimento científico e tradicional para maximizar a eficácia. Essa abordagem  
101           holística ajudará a abordar as questões identificadas e fortalecer nossa capacidade de mitigar os  
102           impactos das secas na Amazônia.

#### 103            **Texto principal**

#### 104            **1. Dinâmicas climática e hidrológica**

105            *Causas naturais das secas.* Desde o início do século XXI, ocorreram quatro "mega  
106            secas" na Amazônia. Essas secas foram classificadas como eventos de "um a cada cem  
107            anos" no momento de sua ocorrência e, no entanto, cada uma foi superada pela seguinte  
108            <sup>1-4</sup>. A maioria das secas severas na região amazônica está associada a anomalias nas  
109

110 temperaturas da superfície do mar (SST) no Pacífico Equatorial, conhecido como o  
111 evento El Niño. No entanto, as secas em 2005 e 2010 foram amplamente induzidas por  
112 altas anomalias nas SST no Atlântico Norte Tropical (TNA). Tanto o El Niño quanto o  
113 TNA quente aumentam a subsidência atmosférica sobre a Amazônia, ou seja, os  
114 movimentos descendentes do ar, que trazem ar seco e inibem a formação de nuvens<sup>5,6</sup>.  
115 Outro contribuinte para as secas é a fase quente da Oscilação Multidecadal do Atlântico  
116 (AMO)<sup>6,7</sup>, caracterizada por uma variação cíclica das condições oceânicas e  
117 atmosféricas em larga-escala no Atlântico Norte Tropical (TNA). A maioria (80%) das  
118 secas hidrológicas severas históricas na bacia amazônica coincide com as fases quentes  
119 da AMO (1925-1970 e desde 1995).

120  
121 *Variabilidade climática natural vs secas induzidas pelas atividades humanas.* Embora  
122 as secas tenham um componente climatológico natural e tenham ocorrido ciclicamente  
123 na Amazônia<sup>8</sup>, a frequência e intensidade das secas estão aumentando, principalmente  
124 devido ao aquecimento global induzido pelo homem, ao desmatamento e à degradação  
125 florestal. Estudos de modelagem sugerem que as secas na Amazônia ocorrem devido a  
126 uma redução na precipitação durante os anos de El Niño. Por outro lado, o aumento da  
127 temperatura média da superfície global (ou seja, o aquecimento global) reduz a  
128 precipitação, mas também eleva fortemente as temperaturas locais, aumentando assim a  
129 perda de água por meio da evapotranspiração, levando aos grandes déficits hídricos nos  
130 sistemas terrestres e aquáticos<sup>9</sup>. As mudanças climáticas aumentaram a probabilidade de  
131 secas hidrológicas (que impactam o fluxo dos rios) em um fator de 10, enquanto as  
132 secas agrícolas (que impactam as atividades agrícolas) se tornaram cerca de 30 vezes  
133 mais prováveis<sup>9</sup>. Além disso, vários anos de desmatamento na Amazônia têm  
134 produzido extensas áreas de terra seca, onde pastagens e áreas de cultivo extensivo  
135 reduzem significativamente o retorno de água para a atmosfera quando a vegetação  
136 envelhece na estação seca. Isso contribui aproximadamente com 4% para a tendência de  
137 aridez atmosférica, com retroalimentações entre desmatamento e seca aumentando à  
138 medida que o desmatamento se acumula<sup>10,11</sup>.

139 Em 2023, a Amazônia experimentou uma situação extrema de seca e calor. Um  
140 estudo recente mostra que a transição de La Niña em 2022 para o El Niño em 2023 está  
141 relacionada a esse evento histórico<sup>2</sup>. Além disso, um TNA excepcionalmente quente<sup>2</sup> e  
142 o sinal de aquecimento global de fundo<sup>10</sup> exacerbaram os impactos do El Niño sobre a  
143 região durante o inverno e a primavera austral de 2023, de modo que o El Niño e as  
144 mudanças climáticas foram responsáveis por 50% da redução na precipitação. No  
145 entanto, os fortes déficits hídricos em sistemas terrestres e aquáticos foram quase  
146 inteiramente devido ao aumento das temperaturas globais<sup>9</sup>. A intensidade da seca de  
147 2015-2016 também foi relacionada a causas antropogênicas<sup>12</sup>.

148  
149 *Impactos sobre os níveis dos rios e temperatura do ar.* Nos últimos 120 anos, foram  
150 registradas 18 inundações graves e 12 secas hidrológicas extremas no Porto de Manaus,  
151 a única série disponível de níveis de água fluvial que abrange mais de 100 anos<sup>1-3</sup>. A  
152 análise desse conjunto de dados indica uma tendência significativa de aumento na  
153 frequência e magnitude de inundações extremas nos últimos 120 anos, incluindo o  
154 maior nível de água já medido em Manaus em 2021<sup>3</sup>. Por outro lado, não foi  
155 identificada nenhuma tendência de longo prazo no aumento de secas hidrológicas,  
156 embora o número de secas extremas tenha aumentado desde 1995: seis secas extremas  
157 ocorreram entre 1995 e 2023, em comparação com sete em todo o período de 1903-  
158 1994<sup>2</sup>. Considerando o nível crítico de emergência no porto de Manaus para  
159 inundações (>29 m) e secas hidrológicas (<15,8 m), houve um aumento significativo da

160 amplitude anual de cerca de 150 cm nos últimos 30 anos, em comparação com o período  
161 anterior. (Figura 2a). A duração média das emergências de inundação é geralmente mais  
162 longa ( $53 \pm 24$  dias) em comparação com as secas ( $36 \pm 19$  dias). Em relação à duração  
163 da emergência de ambos os extremos, até a década de 1990, as secas hidrológicas  
164 tinham mais impacto do que as inundações, enquanto as inundações têm sido mais  
165 intensas no século XXI.

166 Esse cenário foi alterado pela seca de 2023-2024. A maioria dos principais rios  
167 da Amazônia, incluindo os rios Solimões, Purus, Acre e Branco, sofreu quedas extremas  
168 em seus níveis, ou simplesmente secaram. Em outubro de 2023, o nível do Rio Negro  
169 em Manaus registrou seu nível mais baixo desde o início das medições em setembro de  
170 1902, com 12,70 m (o nível mínimo médio anual da água foi de 17,64 m para o período  
171 de 1902-2022). Na Amazônia peruana, O Rio Huallaga em Tingo María apresentou uma  
172 anomalia de -45% na descarga em outubro de 2023. Na Bolívia, os rios Mamoré-  
173 Guaporé e Madeira no território boliviano permaneceram muito baixos devido ao déficit  
174 de chuva de julho de 2022 a junho de 2023. A seca hidrológica de 2023 foi classificada  
175 como severa-extrema na região oeste da Amazônia brasileira e sobre as regiões  
176 amazônicas boliviana e peruana, estendendo-se à maior parte da Amazônia ao sul de  
177  $5^{\circ}\text{S}$  (Figura 1b)<sup>2,13</sup>. Geralmente, as secas relacionadas aos eventos de El Niño têm um  
178 maior efeito sobre os rios com nascentes no hemisfério norte, pois o período de redução  
179 das chuvas coincide com o período natural de baixa do nível da água. No entanto, a seca  
180 de 2023 começou muito antes devido aos muitos efeitos sinérgicos revisados acima e,  
181 portanto, afetou uma gama mais ampla de rios em toda a Amazônia.

182 Todas as regiões de estudo na Amazônia apresentam evidências de tendências de  
183 aquecimento estatisticamente significativas nas últimas quatro décadas (Figura 1b). As  
184 tendências de aquecimento são mais altas para a estação de set-out-nov do que para a  
185 estação de jun-jul-ago e mais altas para o sul e leste do que para o norte e oeste da  
186 Amazônia. Embora a série temporal mostre picos de aumento de temperaturas  
187 relacionados a diferentes episódios de seca, foi em 2023 que os valores mais altos de  
188 anomalias positivas de temperatura do ar foram observados<sup>2</sup>. Seis ondas de calor  
189 durante o período de seis meses entre junho e novembro de 2023 nas regiões oeste e  
190 norte exacerbaram os efeitos da falta de precipitação. O sudoeste da Amazônia teve  
191 inverno e primavera mais quentes devido a domos de calor de ar quente e seco. As  
192 temperaturas máximas estavam entre  $+2^{\circ}\text{C}$  e  $+5^{\circ}\text{C}$  acima da média sobre os estados  
193 afetados do Amazonas, Rondônia, Roraima e Acre no trimestre de set-out-nov de 2023.  
194 Os níveis extremamente baixos de água e a alta radiação incidente fizeram com que a  
195 temperatura da água em lagos (por exemplo, o Lago Tefé, no centro da Amazônia)  
196 atingisse mais de  $40^{\circ}\text{C}$ .

197 O aquecimento global, combinado com a fase quente da AMO e o aumento das  
198 temperaturas da superfície do mar do TNA, está diretamente relacionado ao aumento da  
199 temperatura do ar e à duração e intensidade da estação seca (da ordem de 1-2 semanas),  
200 especialmente sobre as regiões amazônicas que passam por desmatamento em grande  
201 escala e incêndios<sup>14</sup>. Combinados, esses processos provavelmente reduzirão o período  
202 de retorno de eventos de seca severa nos próximos anos.

203

## 204 **2. Impactos Ecológicos das Secas**

205

206 *Impactos sobre os ecossistemas de terra-firme.* Monitoramento contínuo de longo prazo  
207 (cerca de 50 anos) de florestas amazônicas não inundadas<sup>15</sup> e secas artificialmente  
208 impostas<sup>16-18</sup> mostraram a sensibilidade das árvores das florestas amazônicas à baixa

209 oferta de água, com o aumento da mortalidade das árvores sendo a resposta mais  
210 consistente em diversos estudos. Estudos de sensoriamento remoto também sugerem  
211 que as secas diminuem a capacidade fotossintética das árvores, e a magnitude desse  
212 efeito tem aumentado ao longo do tempo <sup>19</sup>. As plantas mais sensíveis são aquelas com  
213 baixa resistência à falha hidráulica, as árvores maiores mais expostas a atmosferas mais  
214 secas e as árvores de vida curta (pois tendem a ter menor resistência hidráulica), e as  
215 árvores menores situadas em florestas nas regiões mais secas da Amazônia, devido às  
216 raízes rasas <sup>18-23</sup>. Esses padrões de mortalidade diferencial têm aumentado o número de  
217 espécies tolerantes à seca, enquanto reduzem o número de espécies intolerantes à seca  
218 <sup>15</sup>, que enfrentam o risco de desaparecer. Secas repetidas provavelmente levarão as  
219 florestas amazônicas a serem dominadas por um menor número de espécies de árvores,  
220 de estatura mais baixa e com resistência hidráulica mais alta.

221 As florestas que já têm estações secas mais longas (predominantes na metade sul  
222 da Amazônia) têm sido as mais afetadas por secas intensas (Figura 3), com aumento da  
223 mortalidade das árvores e consequente perda de biomassa <sup>24,25</sup>. Ao mesmo tempo, as  
224 florestas com acesso constante ao suprimento de água subterrânea (em vales e terras  
225 baixas) ou capazes de explorar reservas de água no solo mais profundas têm mostrado  
226 mais resiliência às secas, sem perda significativa de biomassa <sup>26,27</sup>. O sumidouro de  
227 carbono fornecido pelo crescimento das árvores em toda a Amazônia (estimado entre  
228 0,42 e 0,65 toneladas de C por hectare/ano entre 1990-2007, cerca de 25% do  
229 sumidouro terrestre) tem diminuído nas últimas duas décadas <sup>28</sup>, mas foi especialmente  
230 afetado por secas, caindo para quase zero logo após as secas de 2009-2010 e 2015-2016,  
231 devido ao menor crescimento das árvores e à maior mortalidade das árvores <sup>15,24</sup>. Isso  
232 significa que as secas podem compensar o sumidouro de carbono e, assim, acelerar o  
233 aquecimento global. Além disso, os impactos negativos da baixa oferta de água  
234 interagem com os da temperatura aumentada <sup>29</sup>, de forma que secas com múltiplas  
235 ondas de calor, como em 2023, têm o potencial de acelerar a perda de biomassa  
236 florestal. Estima-se que cerca de 21% da Amazônia tenha sido degradada pelas secas  
237 extremas deste século <sup>30</sup>, ainda não considerando os impactos do evento de 2023-2024.

238 As mudanças na estrutura das florestas causadas por secas - como a diminuição  
239 da cobertura do dossel, interrupção da regeneração do sub-bosque - levam a uma  
240 diminuição da fauna terrestre e aquática que depende de florestas intactas, o que, por  
241 sua vez, pode levar a florestas vazias <sup>31-33</sup>. As mudanças na fenologia das árvores  
242 induzidas pela seca podem diminuir a disponibilidade de frutos, levando a taxas de  
243 mortalidade mais altas de animais frugívoros. As secas também levam ao estresse  
244 fisiológico da fauna arbórea, diminuindo o tempo dedicado à alimentação, com o efeito  
245 final de aumentar as taxas de mortalidade <sup>33</sup>. Eventos extremos sequenciais frequentes  
246 (secas e inundações) aumentam as taxas de mortalidade de vários mamíferos terrestres  
247 <sup>32</sup> (porcos-do-mato de lábios brancos, catetos, veado-catingueiro, cutias, pacas,  
248 tamanduás-bandeira e tatus-de-nove-bandas) que são essenciais para a regulação da  
249 diversidade florestal <sup>34,35</sup>. Espécies terrestres e aquáticas são afetadas de maneira  
250 diferente, pois longos períodos de inundação têm impactos mais graves sobre as  
251 espécies terrestres, diminuindo suas populações em 95%, enquanto longos períodos de  
252 seca diminuem as populações de animais aquáticos em 61% <sup>26</sup>.

253  
254 *Impactos sobre ecossistemas sazonalmente inundados.* As condições de seca  
255 hidrológica nas planícies de inundação amazônicas variam consideravelmente, pois  
256 essas áreas experimentam níveis baixos de água em diferentes períodos do ano,

257 dependendo de sua localização geográfica, o que têm fortes implicações para a  
258 disponibilidade de água para as plantas e a vulnerabilidade ao fogo. As secas induzidas  
259 por eventos severos de El Niño (dezembro a março) coincidem com os períodos de  
260 baixa água no meio-alto rio Negro, rio Branco e outros afluentes do Escudo das Guianas  
261 dominados por igapós<sup>36</sup>. Em contraste, as planícies de inundação de várzea estão  
262 principalmente localizadas no hemisfério sul e tendem a ser menos vulneráveis à seca  
263 induzida pelo El Niño e ao risco de incêndios devido aos níveis de água já elevados  
264 durante este período<sup>37</sup>. Nas regiões onde os estágios de baixa água coincidem com a  
265 estação seca, a seca pode aumentar a mortalidade de árvores de planície de inundação,  
266 especialmente de plântulas e árvores jovens de raízes rasas dos igapós. Os igapós  
267 também são mais vulneráveis às secas devido aos solos principalmente arenosos ou  
268 argilosos<sup>38</sup> que drenam mais rapidamente do que os solos argilosos das várzeas - e  
269 geralmente são sistemas de raízes muito rasos ( $\leq 40$  cm)<sup>39</sup>.

270 O dossel florestal no igapó geralmente é menos estratificado e mais baixo,  
271 resultando em uma umidade relativa do ar mais baixa no solo da floresta<sup>40,41</sup>. Isso pode  
272 fazer com que esses ecossistemas sejam altamente vulneráveis a incêndios<sup>42,43</sup>, como  
273 documentado nas secas severas de 1925-1926, 1982-1983, 1997-1998 e 2015-2016  
274<sup>42,44,45</sup>. As condições hidrometeorológicas secas geradas pelo El Niño favorecem a  
275 propagação de incêndios no sub-bosque ao longo da superfície do solo, levando a uma  
276 mortalidade maciça de árvores<sup>41</sup>. Outras informações sobre a vulnerabilidade das  
277 árvores de igapó a secas severas são fornecidas por barragens, como a de Balbina, que  
278 induziram uma seca artificial prolongada na planície de inundação de igapó a jusante,  
279 causando uma mortalidade generalizada de árvores<sup>46</sup>. As florestas secundárias se  
280 estendendo por várias dezenas de quilômetros ao longo do rio Uatumã a jusante da  
281 barragem de Balbina provavelmente se estabeleceram e se desenvolveram após a  
282 mortalidade em massa das antigas florestas de igapó<sup>47,48</sup>. Em contraste, observou-se um  
283 aumento no crescimento das árvores na várzea central da Amazônia durante os eventos  
284 de El Niño, pois a temporada de crescimento das espécies arbóreas durante o período  
285 não inundado é estendida<sup>49,50</sup>. Com base nessas observações, podemos supor que os  
286 impactos ecológicos para a vegetação de planície de inundação causados pela seca de  
287 2023 podem ser mais intensos nas florestas de igapó em comparação com as florestas de  
288 várzea.

289 Embora ocupando uma fração menor da Amazônia (6-10%<sup>51,52</sup>), as planícies de  
290 inundação são capazes de sustentar uma alta abundância de animais e são essenciais  
291 para algumas etapas de seus ciclos de vida, já que muitas espécies aquáticas amazônicas  
292 (por exemplo, peixes-boi e muitos peixes, incluindo o pirarucu) migram para corpos  
293 d'água mais permanentes na estação seca<sup>53-56</sup>. No entanto, secas extremas causam o  
294 isolamento rápido de corpos d'água de ambientes previamente conectados, e esses  
295 animais migratórios podem ficar presos em corpos d'água isolados e rasos<sup>51</sup>, o que  
296 poderia levar à superexploração de animais presos em lagos rasos. Durante a seca de  
297 2023, no entanto, centenas de mamíferos (por exemplo, golfinhos)<sup>57</sup> foram mortos  
298 devido ao aumento da temperatura da água e à diminuição da concentração de oxigênio.  
299 As secas também têm efeitos de longa duração sobre a fauna aquática, como as  
300 mudanças na composição de espécies de peixes e tipos funcionais causadas pelo evento  
301 de 2005, que ainda estavam presentes quase 10 anos depois. Além disso, a redução do  
302 volume de água dos rios pode aumentar o risco de incêndios nas áreas circundantes. Há  
303 evidências de que a cobertura florestal é essencial para manter a diversidade e  
304 produtividade dos peixes<sup>56,58</sup>. Portanto, a perda de vegetação pode aumentar a taxa de  
305 assoreamento, tornando os corpos d'água mais rasos e interrompendo as conexões entre  
306 eles.

307

308 *Secas e fogo.* As secas aumentam consideravelmente a incidência de incêndios na  
309 Amazônia, como relatado em 2005, 2010, 2015<sup>53</sup> e 2023<sup>59</sup>. Os altos déficits de água, a  
310 mortalidade generalizada de árvores e a queda de folhas gerada por secas aumentam a  
311 disponibilidade de material combustível, transformando florestas antes úmidas em  
312 sistemas mais inflamáveis. Durante 2005 (14.584 km<sup>2</sup>) e 2010 (32.815 km<sup>2</sup>), a área total  
313 de floresta queimada foi de duas a quatro vezes maior em comparação à média do  
314 período de 2001 a 2018<sup>30</sup>. Na extrema seca de 2015, o fogo se estendeu além do Arco  
315 do Desmatamento, atingindo áreas no centro da Amazônia que não haviam sido  
316 impactadas anteriormente<sup>60</sup>. A região do baixo Tapajós, no leste da Amazônia - o  
317 epicentro dessa seca - experimentou megaincêndios sem precedentes, que queimaram  
318 cerca de 10.000 km<sup>2</sup> de florestas<sup>61</sup>.

319 As emissões de carbono estão entre os principais impactos dos incêndios  
320 florestais durante secas extremas na Amazônia, com contribuições crescentes em  
321 comparação com o desmatamento. Estima-se que os incêndios florestais sejam  
322 responsáveis por cerca de um terço das emissões de carbono atribuídas ao  
323 desmatamento durante o período de 2003 a 2015 (emissão bruta anual média de 454 ±  
324 496 Tg CO<sub>2</sub> por ano)<sup>60</sup>. Um único incêndio na floresta do sub-bosque pode reduzir os  
325 estoques de carbono acima do solo em até 50%<sup>62</sup>. Na região do baixo Tapajós, o El  
326 Niño de 2015–2016 e os incêndios associados resultaram na estimativa de morte de  
327 >2,5 bilhões de caules lenhosos, levando à emissão de 495 ± 94 Tg CO<sub>2</sub>, com impactos  
328 globalmente relevantes<sup>63</sup>. Uma área tão pequena corresponde a apenas 1,2% da  
329 Amazônia brasileira, mas as emissões foram maiores do que as emissões médias anuais  
330 de CO<sub>2</sub> provenientes do desmatamento em toda a Amazônia brasileira entre 2009 e  
331 2018<sup>63</sup>. Os incêndios florestais podem transformar uma floresta em uma fonte líquida  
332 de carbono por muitos anos após o incêndio<sup>63</sup>, resultando em cerca de 25% menos  
333 carbono mesmo após 30 anos. Incêndios recorrentes, que se tornam mais prováveis com  
334 o passar do tempo à medida que mais áreas da região são afetadas por secas e incêndios,  
335 podem levar a perdas de carbono de mais de 80%<sup>62</sup>.

336 Os incêndios florestais têm efeitos significativos sobre a biodiversidade, levando  
337 a altos níveis de renovação de comunidades biológicas, com a perda de espécies  
338 sensíveis de alto valor de conservação e importância funcional, como aves com  
339 tamanhos de alcance menores e plantas com densidades de madeira mais altas<sup>63,64</sup>. Os  
340 incêndios recorrentes mudam profundamente a estrutura da floresta e a composição de  
341 espécies, com mudanças maiores para aves, besouros, árvores e mamíferos frugívoros e  
342 granívoros<sup>65–67</sup>, potencialmente levando à perda de serviços ecossistêmicos e menor  
343 segurança alimentar para as populações tradicionais que se alimentam de vários desses  
344 animais<sup>32</sup>. A alta frequência de secas extremas pode transformar as florestas  
345 amazônicas em ecossistemas propensos a incêndios, tornando os incêndios um fator  
346 relevante de um possível ponto de não retorno e colapso da Amazônia<sup>68</sup>.

347

### 348 **3. Impactos Socioeconômicos das Secas**

349 As secas representam grandes desafios para as populações amazônicas e podem  
350 levar a impactos socioeconômicos de curto e longo prazo, especialmente para os Povos  
351 Indígenas e Comunidades Locais (PICLs) mais vulneráveis. As secas afetam os meios  
352 de subsistência dos cerca de 47 milhões de pessoas que vivem na região Pan-amazônica  
353 de várias maneiras: ameaças à segurança hídrica (especialmente o acesso à água  
354 potável) em áreas rurais e urbanas, insegurança alimentar, produção incerta de recursos  
355 extrativistas, impactos nas economias locais, problemas de saúde pública, interrupção  
356 da mobilidade e transporte, queda na produção de energia, conturbação dos direitos



357 humanos e mudanças nos hábitos culturais. Dentro da Amazônia brasileira,  
358 Aproximadamente 8,5 milhões de pessoas, incluindo os PICLs, habitam áreas com  
359 infraestrutura limitada e serviços insuficientes para lidar com os impactos de extremos  
360 climáticos <sup>65</sup>.

361 Com os rios sendo a principal via de transporte na região, milhares de pessoas  
362 tanto em áreas urbanas quanto rurais são diretamente afetadas pelo isolamento quando  
363 as secas diminuem o nível dos rios <sup>68</sup>, como ocorrido em 2005 <sup>69</sup>, especialmente aqueles  
364 que vivem em afluentes mais remotos. Em 2023, cerca de 150.000 famílias e mais de  
365 600.000 pessoas <sup>70</sup>, incluindo Povos Indígenas e moradores rurais e ribeirinhos, que  
366 dependem do transporte fluvial para acessar alimentos, água, assistência médica e  
367 mercados para vender produtos, foram impactadas pela seca, ficando isoladas por vários  
368 meses. De fato, no estado do Amazonas, Brasil, todos os 62 municípios permaneceram  
369 em estado de emergência por muitos meses. Esse fenômeno não é novo, na Amazônia  
370 brasileira em 2010, por exemplo, 62.000 famílias sentiram o impacto da seca, exigindo  
371 investimento governamental da ordem de US \$13,5 milhões em ajuda de emergência <sup>71</sup>.  
372 Outra externalidade relacionada ao transporte é o aumento nos preços dos bens,  
373 incluindo alimentos - quanto maior a distância dos locais de venda dos centros de  
374 distribuição, geralmente localizados em grandes cidades como Manaus e Iquitos, maior  
375 será o preço dos bens durante as secas. Baixos níveis dos rios também estão ligados a  
376 deslizamentos de terra das margens dos rios, destruindo casas e causando mortes <sup>72</sup>.

377 Os impactos da escassez de água no transporte também afetam a disponibilidade  
378 de energia doméstica, que geralmente depende de combustível entregue por barco. Por  
379 exemplo, a escassez de energia durante a seca de 2023 em São Gabriel da Cachoeira, no  
380 alto Rio Negro - a terceira cidade com mais Indígena do Brasil - teve um efeito cascata  
381 sobre o funcionamento de outros serviços básicos, como assistência médica e operações  
382 escolares<sup>1</sup>.

383 A operação das hidrelétricas é afetada pelos baixos níveis dos rios. No Equador,  
384 foram introduzidos cortes de energia de várias horas por dia durante dois meses<sup>ii</sup>,  
385 devido à seca de 2023-2024 que afetou a produção de algumas usinas hidrelétricas.  
386 Manaus também experimentou cortes de energia de 6 horas por dia devido ao baixo  
387 nível da represa de Balbina durante a seca de 1997 <sup>73</sup>.

388 Das terras altas às terras baixas, a produção e soberania alimentar da Amazônia  
389 são amplamente impactadas por secas e ondas de calor acompanhantes. As altas  
390 temperaturas do ar prejudicam culturas básicas como cacau, mandioca e produtos  
391 extrativos como açaí <sup>74,75</sup>, mas também as grandes monoculturas de soja em regiões  
392 desmatadas <sup>76</sup>. A pesca é afetada devido aos desafios de acesso aos lagos de pesca,  
393 transporte para os principais mercados e alta mortalidade de peixes durante esses  
394 eventos <sup>71,77-79</sup>. Em geral, a falta de acesso aos mercados dificulta a comercialização da  
395 produção das comunidades<sup>74</sup>.

396 Os impactos na saúde causados pela falta de acesso a serviços médicos, aumento  
397 de vetores de doenças, desnutrição e fumaça de incêndios são uma preocupação  
398 principal durante secas extremas. Além disso, as altas temperaturas do ar têm um  
399 impacto significativo na saúde das pessoas da Amazônia. Comunidades rurais têm  
400 alterado os horários de trabalho para evitar as horas mais quentes da tarde, enquanto as

---

i <https://radaramazonico.com.br/sao-gabriel-da-cachoeira-enfrenta-falta-de-energia-e-encarecimento-da-cesta-basica-por-conta-da-seca-historica/#:~:text=A%20seca%20hist%C3%B3rica%20que%20atinge,de%20itens%20da%20cesta%20b%C3%A1sica>

ii <https://www.reuters.com/world/americas/ecuador-impose-power-cuts-el-nino-hits-hydroelectric-plants-2023-10-26/>

401 aulas têm sido canceladas nas escolas devido ao calor excessivo. A hospitalização de  
402 crianças devido a doenças respiratórias causadas pela alta incidência de incêndios  
403 atingiu o pico de municípios afetados pela seca em 2005<sup>80</sup>. A ampliação das ocorrências  
404 de incêndios durante secas severas traz repercussões econômicas significativas, por  
405 exemplo, o estado brasileiro do Acre teve uma perda econômica total estimada de  
406 aproximadamente US\$ 243,36 ± 85,05 milhões (7,03 ± 2,45% do PIB do Acre) durante  
407 a seca de 2010<sup>81</sup>. Doenças transmitidas pela água, como a diarreia, são comuns durante  
408 secas extremas devido à má qualidade da água. De fato, a insegurança hídrica é alta  
409 durante esses períodos secos devido à infraestrutura inadequada para acessar água  
410 potável e à falta de políticas públicas para resolver esse problema. Comunidades muitas  
411 vezes têm apenas pequenas instalações de armazenamento de água da chuva<sup>82</sup>,  
412 dependendo dos corpos d'água adjacentes - geralmente poluídos - durante as secas<sup>83</sup>.  
413 Em 2023, mesmo comunidades com poços de água subterrânea permaneceram sem  
414 acesso à água e dependentes do fornecimento pelas defesas civis locais<sup>iii</sup>. Várias áreas  
415 urbanas da Amazônia também apresentam altos níveis de insegurança hídrica<sup>iv</sup>.

416 À medida que secas e inundações extremas se tornam cada vez mais frequentes,  
417 tem sido relatada migração relacionada ao clima de áreas de planície de inundação para  
418 áreas montanhosas e de áreas rurais para urbanas<sup>69,84</sup>. Movimentos migratórios sazonais  
419 e permanentes, desde sub-regionais (por exemplo, de comunidades para áreas urbanas)  
420 até escalas regionais (por exemplo, de áreas menores para áreas urbanas maiores),  
421 ocorrem na Amazônia devido a diferentes fatores, incluindo busca por melhor acesso à  
422 educação e outros serviços básicos<sup>85</sup>, dificultando a capacidade dos indivíduos de se  
423 adaptarem a eventos climáticos extremos e ameaçando o funcionamento adequado das  
424 já lotadas capitais amazônicas<sup>69</sup>.

425 A grande diversidade social e cultural em toda a Amazônia resulta em um  
426 padrão muito heterogêneo de impactos socioeconômicos relacionados à seca, incluindo  
427 a transferência de conhecimento tradicional. As diferenças entre grupos sociais (Povos  
428 Indígenas, agricultores, pescadores, pecuaristas, urbanos, caboclos de planície aluvial e  
429 de terras altas, etc.), gênero e idade, e as diferenças regionais entre países e regiões da  
430 Amazônia (por exemplo, Arco do Desmatamento, planícies aluviais, Andes  
431 Amazônicos e encostas) exigem uma compreensão e estratégias de adaptação  
432 específicas do local para reduzir os impactos dos desastres socioambientais. Por  
433 exemplo, enquanto os extremos climáticos aumentam as chuvas e inundações na costa e  
434 nos Andes Ocidentais do Equador, as secas atingem as partes norte e leste do país<sup>v</sup>. As  
435 populações em áreas urbanas são impactadas de maneira diferente das comunidades  
436 rurais.

437 As comunidades remotas frequentemente são ignoradas pelas políticas  
438 climáticas e também têm acesso limitado à informação e participação no debate  
439 climático<sup>84</sup>, bem como seu direito de consentimento sobre as estratégias adotadas<sup>86</sup>.  
440 Isso chama a atenção para a necessidade de melhorar nossa compreensão da  
441 vulnerabilidade dessas pessoas em escalas regionais<sup>83,87</sup>, e coproduzindo medidas de  
442 adaptação<sup>83,87</sup>. Embora as pessoas da Amazônia geralmente concordem com a  
443 percepção das mudanças ambientais e climáticas em curso, como o aumento das  
444 temperaturas do ar no verão, a percepção sobre extremos climáticos difere entre as

iii <https://reporterbrasil.org.br/2023/11/indigenas-cavam-poco-em-rio-seco-para-achar-agua-no-amazonas/>

iv <https://g1.globo.com/ac/acre/noticia/2023/10/22/devido-a-seca-de-igarape-saneacre-inicia-acionamento-de-agua-em-cidade-do-interior.ghtml>

v

445 culturas <sup>84</sup>. Muitas comunidades relatam uma maior imprevisibilidade do clima e dos  
446 regimes dos rios <sup>74</sup> o que dificulta uma adaptação adequada às mudanças em curso.

447 As respostas dos governos nacional e local aos eventos de seca historicamente  
448 priorizaram a assistência de socorro de emergência <sup>69,88</sup>. Entre 1997 e 2023, o estado do  
449 Acre, no Brasil, enfrentou cinco casos em que municípios ou o estado declararam estado  
450 de emergência devido a crises hídricas induzidas pela seca <sup>89</sup>. Os planos de mitigação  
451 climática que existem em alguns países amazônicos ainda não estão totalmente  
452 implementados. Portanto, há necessidade de estabelecer estratégias de prevenção de  
453 riscos e adaptação de longo prazo <sup>85</sup>.

454 Os impactos socioeconômicos das secas na região amazônica exigem  
455 investimentos amplos e variados. Em nível nacional, há uma disparidade notável na  
456 alocação de orçamento para lidar com desastres relacionados ao clima. Em 2022, países  
457 amazônicos como Bolívia, Brasil, Colômbia, Equador e Peru investiram coletivamente  
458 apenas USD \$287,829,541 em gestão de desastres, significativamente menor do que o  
459 USD \$14,188,053,010 investidos em atividades intensivas em carbono, como a  
460 produção de combustíveis fósseis <sup>90</sup>. A Colômbia alocou a maior proporção de seu  
461 orçamento, com US\$142 milhões (0.19% do seu orçamento total), seguido pelo  
462 Equador com US\$14 milhões (0.03%), Peru com US\$10 milhões (0.02%), Brasil com  
463 US\$121 milhões (0.01%) e Bolívia com US\$28,000 (0.0001%). Essa discrepância  
464 mostra que, enquanto a alocação de recursos é limitada, de acordo com o Índice de  
465 Finanças Sustentáveis, o custo por perdas e danos será maior com o tempo.

466 Todos os impactos socioeconômicos explicados, e outros não detalhados, não  
467 abordados na literatura, ou até desconhecidos, podem ser tratados e compreendidos sob  
468 um amplo guarda-chuva de uma abordagem de direitos humanos. É importante, por  
469 exemplo, considerar os mandatos estabelecidos em 2022 pela UNFCCC em relação à  
470 abordagem de justiça climática, incluindo "perdas e danos", e os direitos das crianças e  
471 das gerações futuras ao desenvolvimento.

472

### 473 **Caixa 1. Definições**

474 **Seca.** Um período de tempo anormalmente seco suficientemente longo para causar um  
475 desequilíbrio hidrológico sério.

476 Do ponto de vista climático, uma seca resulta de uma insuficiência de precipitação por um  
477 período prolongado de tempo, da inadequação do momento da precipitação em relação às  
478 necessidades da cobertura vegetal, ou de um balanço hídrico negativo devido a uma  
479 evapotranspiração potencial aumentada causada por altas temperaturas.

480 [https://drm.kc.jrc.ec.europa.eu/portals/0/Knowledge/ScienceforDRM/ch03\\_s03/ch03\\_s03\\_subch0309.pdf](https://drm.kc.jrc.ec.europa.eu/portals/0/Knowledge/ScienceforDRM/ch03_s03/ch03_s03_subch0309.pdf)

481  
482 **Seca agrícola.** Condições que resultam em respostas adversas das culturas, geralmente devido à  
483 umidade limitada do solo e à alta demanda de transpiração das plantas.

484 **Seca hidrológica.** Período prolongado de precipitação abaixo do normal, causando deficiências  
485 no fornecimento de água, como medida pela baixa vazão dos rios, níveis de lagos e  
486 reservatórios abaixo do normal, níveis de água subterrânea e conteúdo de umidade do solo  
487 esgotados.

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

490 **Várzea.** Vegetação que é sazonalmente inundada pelas águas dos rios ricas em sedimentos e  
491 nutrientes, provenientes dos Andes.

492 **Igapó.** Vegetação que é sazonalmente inundada pelas águas dos rios pobres em sedimentos e  
493 nutrientes, descendentes das Guianas e do Escudo Brasileiro.

494 **Megaincêndios**<sup>91</sup>. Incêndios que se espalham por mais de 10.000 hectares, surgindo de eventos  
495 de ignição únicos ou múltiplos relacionados.

496

497 **Referências**

1. Barichivich, J. et al. Recent intensification of Amazon flooding extremes driven by strengthened Walker circulation. *Sci Adv* 4, eaat8785–eaat8785 (2018).
2. Espinoza J. et al. The new record of drought and warmth in the Amazon in 2023: Regional and global climatic features. Preprint at (2024).
3. Espinoza, J.-C., Marengo, J. A., Schongart, J. & Jimenez, J. C. 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* 35, 100406 (2022).
4. Papastefanou, P. et al. Recent extreme drought events in the Amazon rainforest: assessment of different precipitation and evapotranspiration datasets and drought indicators. *Biogeosciences* 19, 3843–3861 (2022).
- 5...Cai, W. et al. Climate impacts of the El Niño–Southern Oscillation on South America. *Nature Reviews Earth & Environment* 1, 215–231 (2020).
6. Yoon, J.-H. & Zeng, N. An Atlantic influence on Amazon rainfall. *Clim Dyn* 34, 249–264 (2010).
7. Espinoza, J. C., Ronchail, J., Marengo, J. A. & Segura, H. Contrasting North–South changes in Amazon wet-day and dry-day frequency and related atmospheric features (1981–2017). *Clim Dyn* 52, 5413–5430 (2019).
8. Coelho, C. A. S. et al. Climate diagnostics of three major drought events in the Amazon and illustrations of their seasonal precipitation predictions. *Meteorological Applications* 19, 237–255 (2012).
9. Clarke, B. et al. Climate Change, Not El Niño, Main Driver of Exceptional Drought in Highly Vulnerable Amazon River Basin. <https://www.worldweatherattribution.org/climate-change-not-el-nino-main-driver-of-exceptional-drought-in-highly-vulnerable-amazon-river-basin/> (2024).
10. Staal, A. et al. Feedback between drought and deforestation in the Amazon. *Environ. Res. Lett.* 15, 044024 (2020).
11. Leite-Filho, A. T., Soares-Filho, B. S., Davis, J. L., Abrahão, G. M. & Börner, J. Deforestation reduces rainfall and agricultural revenues in the Brazilian Amazon. *Nat Commun* 12, 2591 (2021).
12. Ribeiro Neto, G. G. et al. Attributing the 2015/2016 Amazon basin drought to anthropogenic influence. *Climate Resilience and Sustainability* 1, e25 (2022).
13. Marengo J A, Cunha AP, & Espinoza JC. Extremes of hydrometeorology and dry season length in Amazonia associated with the drought of 2023,. (2024).
14. Marengo, J. A., Jimenez, J. C., Espinoza, J.-C., Cunha, A. P. & Aragão, L. E. O. Increased climate pressure on the agricultural frontier in the Eastern Amazonia–Cerrado transition zone. *Sci Rep* 12, 457 (2022).
- 15...Feldpausch, T. R. et al. Amazon forest response to repeated droughts. *Global Biogeochemical Cycles* 30, 964–982 (2016).
16. da Costa, A. C. L. et al. Stand dynamics modulate water cycling and mortality risk in droughted tropical forest. *Global Change Biology* 24, 249–258 (2018).
17. Nepstad, D. C., Tohver, I. M., Ray, D., Moutinho, P. & Cardinot, G. MORTALITY OF LARGE TREES AND LIANAS FOLLOWING EXPERIMENTAL DROUGHT IN AN AMAZON FOREST. *Ecology* 88, 2259–2269 (2007).
18. Rowland, L. et al. Death from drought in tropical forests is triggered by hydraulics not carbon starvation. *Nature* 528, 119–122 (2015).
19. Aleixo, I. et al. Amazonian rainforest tree mortality driven by climate and functional traits. *Nature Climate Change* 9, 384–388 (2019).
20. Barros, M. I. A. D. Caracterização da visitação, dos visitantes e avaliação dos impactos ecológicos e recreativos do planalto do Parque Nacional do Itatiaia. Piracicaba, SP 121 (2003).
21. Brum, M. et al. Hydrological niche segregation defines forest structure and drought tolerance strategies in a seasonal Amazon forest. *Journal of Ecology* 107, 318–333 (2019).
22. Esquivel-Muelbert, A. et al. Compositional response of Amazon forests to climate change. *Global Change Biology* 25, 39–56 (2019).
- 23.....Powers, J. S. et al. A catastrophic tropical drought kills hydraulically vulnerable tree species. *Global Change Biology* 26, 3122–3133 (2020).
24. Bennett, A. C. et al. Sensitivity of South American tropical forests to an extreme climate anomaly. *Nat. Clim. Chang.* 13, 967–974 (2023).
25. Phillips, O. L. et al. Drought–mortality relationships for tropical forests. *New Phytologist* 187, 631–646 (2010).
26. Esteban, E. J. L., Castilho, C. V., Melgaço, K. L. & Costa, F. R. C. The other side of droughts: wet extremes and topography as buffers of negative drought effects in an Amazonian forest. *New Phytologist* 229, 1995–2006 (2021).

## Science Panel for the Amazon - SPA

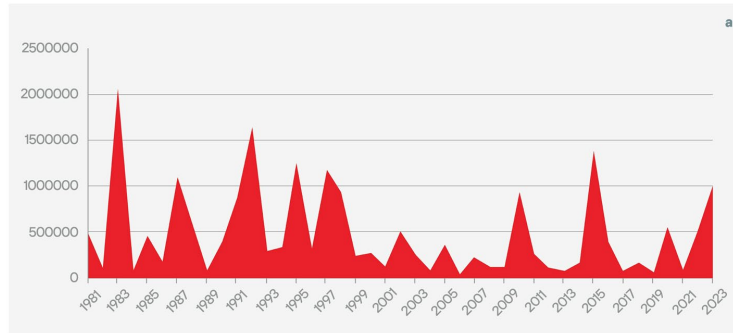
27. Costa, F. R. C., Schiatti, J., Stark, S. C. & Smith, M. N. The other side of tropical forest drought: do shallow water table regions of Amazonia act as large-scale hydrological refugia from drought? *New Phytologist* 237, 714–733 (2023).
- 28.... Brienen, R. J. W. et al. Long-term decline of the Amazon carbon sink. *Nature* 519, 344–348 (2015).
29. Sullivan, M. J. P. et al. Long-term thermal sensitivity of Earth’s tropical forests. *Science* 368, 869–874 (2020).
30. Lapola, D. M. et al. The drivers and impacts of Amazon forest degradation. *Science* 379, (2023).
- 31.... Wilkie, D. S., Bennett, E. L., Peres, C. a. & Cunningham, A. a. The empty forest revisited. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1223, 120–128 (2011).
32. Bodmer, R. et al. Major shifts in Amazon wildlife populations from recent intensification of floods and drought. *Conservation Biology* 32, 333–344 (2018).
- 33.... Young, C. et al. Climate induced stress and mortality in vervet monkeys. *R. Soc. open sci.* 6, 191078 (2019).
- 34.. Lacher, T. E. et al. The functional roles of mammals in ecosystems. *Journal of Mammalogy* 100, 942–964 (2019).
35. Bogoni, J. A., Peres, C. A. & Ferraz, K. M. P. M. B. Effects of mammal defaunation on natural ecosystem services and human well being throughout the entire Neotropical realm. *Ecosystem Services* 45, 101173 (2020).
36. Fassoni-Andrade, A. C. et al. Amazon hydrology from space: scientific advances and future challenges. (2021) doi:10.1002/essoar.10506527.1.
- 37... Schöngart, J., Wittmann, F., Junk, W. J. & Piedade, M. T. F. Vulnerability of Amazonian floodplains to wildfires differs according to their typologies impeding generalizations. *Proc Natl Acad Sci U S A* 114, E8550–E8551 (2017).
38. Wittmann, F. et al. A Review of the Ecological and Biogeographic Differences of Amazonian Floodplain Forests. *Water* 14, 3360 (2022).
- 39.... dos Santos, A. R. & Nelson, B. W. Leaf decomposition and fine fuels in floodplain forests of the Rio Negro in the Brazilian Amazon. *Journal of Tropical Ecology* 29, 455–458 (2013).
- 40.. Almeida, D. R. A. de et al. 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* 184, 153–160 (2016).
41. de Resende, A. F., Nelson, B. W., Flores, B. M. & de Almeida, D. R. Fire Damage in Seasonally Flooded and Upland Forests of the Central Amazon. *Biotropica* 46, 643–646 (2014).
- 42.. Carvalho, T. C. et al. Fires in Amazonian Blackwater Floodplain Forests: Causes, Human Dimension, and Implications for Conservation. *Frontiers in Forests and Global Change* 4, (2021).
- 43... Flores, B. M. & Holmgren, M. White-Sand Savannas Expand at the Core of the Amazon After Forest Wildfires. *Ecosystems* 24, 1624–1637 (2021).
44. Flores, B. M., Piedade, M.-T. F. & Nelson, B. W. Fire disturbance in Amazonian blackwater floodplain forests. *Plant Ecology & Diversity* 7, 319–327 (2014).
45. Williams, E. et al. The drought of the century in the Amazon Basin: an analysis of the regional variation of rainfall in South America in 1926. *Acta Amazonica* 35, 231–238 (2005).
46. Resende, A. F. et al. Flood-pulse disturbances as a threat for long-living Amazonian trees. *New Phytologist* 227, 1790–1803 (2020).
47. Neves, J. R. D., Piedade, M. T. F., Resende, A. F. de, Feitosa, Y. O. & Schöngart, J. Impact of climatic and hydrological disturbances on blackwater floodplain forests in Central Amazonia. *Biotropica* 51, 484–489 (2019).
48. Salerno, L. et al. Satellite Analyses Unravel the Multi-Decadal Impact of Dam Management on Tropical Floodplain Vegetation. *Frontiers in Environmental Science* 10, (2022).
49. Schöngart, J. et al. Teleconnection between tree growth in the Amazonian floodplains and the El Niño–Southern Oscillation effect. *Global Change Biology* 10, 683–692 (2004).
50. Schöngart, J., Piedade, M. T. F., Wittmann, F., Junk, W. J. & Worbes, M. Wood growth patterns of *Macrolobium acaciifolium* (Benth.) Benth. (Fabaceae) in Amazonian black-water and white-water floodplain forests. *Oecologia* 145, 454–461 (2005).
51. Melack, J. M. & Hess, L. L. Remote Sensing of the Distribution and Extent of Wetlands in the Amazon Basin. in *Amazonian Floodplain Forests* (eds. Junk, W. J., Piedade, M. T. F., Wittmann, F., Schöngart, J. & Parolin, P.) vol. 210 43–59 (Springer Netherlands, Dordrecht, 2010).
52. Junk, W. J., Piedade, M.T.F., Wittmann, F., & Schöngart, J. *Várzeas Amazônicas: desafios para um manejo sustentável*. (Editora INPA, Manaus, 2020).
53. Arraut, E. M., Arraut, J. L., Marmontel, M., Mantovani, J. E. & Novo, E. M. L. D. M. Bottlenecks in the migration routes of Amazonian manatees and the threat of hydroelectric dams. *Acta Amaz.* 47, 7–18 (2017).

## Science Panel for the Amazon - SPA

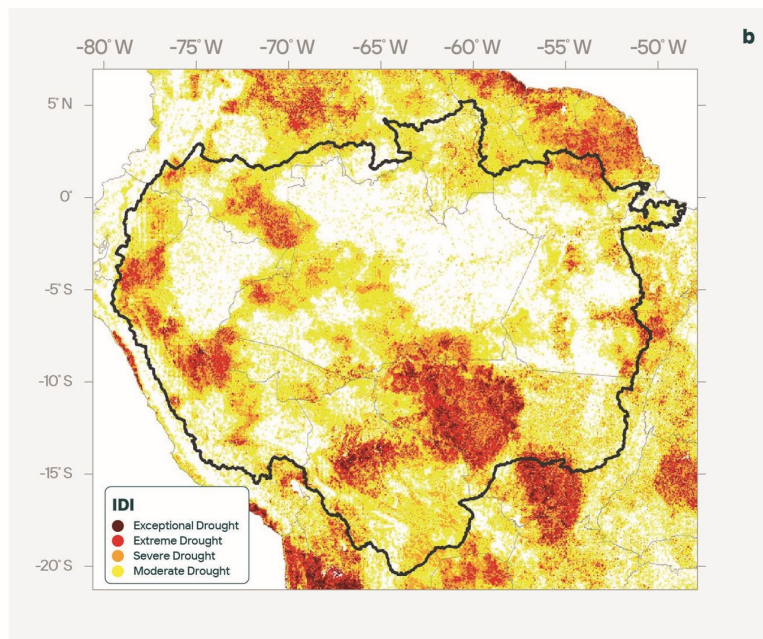
54. Ribeiro, M. C. L. de B. & Junior, M. P. Fisheries ecology and management of the Jaraqui (*Semaprochilodus Taeniurus*, S. Insignis) in central Amazonia. *Regulated Rivers: Research & Management* 5, 195–215 (1990).
55. Fernandes, C. C. Lateral migration of fishes in Amazon floodplains. *Ecology of Freshwater Fish* 6, 36–44 (1997).
56. Castello, L. et al. Fishery yields vary with land cover on the Amazon River floodplain. *Fish and Fisheries* 19, 431–440 (2017).
57. ....Marmontel, M., Fleischmann, A., Val, A. & Forsberg, B. Safeguard Amazon's aquatic fauna against climate change. *Nature* 625, 450–450 (2024).
58. Arantes, C. C. et al. Relationships between forest cover and fish diversity in the Amazon River floodplain. *Journal of Applied Ecology* 55, 386–395 (2018).
59. Mataveli, G. et al. Deforestation falls but rise of wildfires continues degrading Brazilian Amazon forests. *Global Change Biology* 30, e17202 (2024).
60. Aragão, L. E. O. C. et al. 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. *Nat Commun* 9, 536–536 (2018).
61. ... Withey, K. et al. Quantifying immediate carbon emissions from El Niño-mediated wildfires in humid tropical forests. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 373, 20170312 (2018).
62. Barlow, J. et al. The critical importance of considering fire in REDD+ programs. *Biological Conservation* 154, 1–8 (2012).
63. ....Berenguer, E. et al. Tracking the impacts of El Niño drought and fire in human-modified Amazonian forests. *Proc Natl Acad Sci U S A* 118, e2019377118 (2021).
64. Barlow, J. et al. Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation. *Nature* 535, 144–147 (2016).
65. França, F. M. et al. El Niño impacts on human-modified tropical forests: Consequences for dung beetle diversity and associated ecological processes. *Biotropica* 52, 252–262 (2020).
66. Silveira, J. M. et al. A Multi-Taxa Assessment of Biodiversity Change After Single and Recurrent Wildfires in a Brazilian Amazon Forest. *Biotropica* 48, 170–180 (2015).
67. Barlow, J. & Peres, C. A. Ecological responses to El Niño-induced surface fires in central Brazilian Amazonia: management implications for flammable tropical forests. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 359, 367–380 (2004).
68. Flores, B. M. et al. Critical transitions in the Amazon forest system. *Nature* 626, 555–564 (2024).
69. .... Lapola, D. M. et al. Limiting the high impacts of Amazon forest dieback with no-regrets science and policy action. *Proc Natl Acad Sci U S A* 115, 11671–11679 (2018).
70. UNICEF. Brazil Humanitarian Situation Report No. 2 (Amazon Drought). <https://www.unicef.org/mali/media/1561/file/ParisPrinciples.pdf> (2023).
71. Marengo, J. A. et al. Recent Extremes of Drought and Flooding in Amazonia: Vulnerabilities and Human Adaptation. *American Journal of Climate Change* 02, 87–96 (2013).
72. Bandeira, I. C. N., Adamy, A., Andretta, E. R., Costa da Conceição, R. A. & de Andrade, M. M. N. Terras caídas: Fluvial erosion or distinct phenomenon in the Amazon? *Environmental Earth Sciences* 77, (2018).
73. Parry, L. et al. Social Vulnerability to Climatic Shocks Is Shaped by Urban Accessibility. *Annals of the American Association of Geographers* 108, 125–143 (2018).
74. Ávila, J. V. da C., Clement, C. R., Junqueira, A. B., Ticktin, T. & Steward, A. M. Adaptive management strategies of local communities in two Amazonian floodplain ecosystems in the face of extreme climate events. *J Ethnobiol* 41, 409–426 (2021).
75. ....Tregidgo, D., Campbell, A. J., Rivero, S., Freitas, M. A. B. & Almeida, O. Vulnerability of the Açai Palm to Climate Change. *Human Ecology* 48, 505–514 (2020).
76. ...Gusso, A., Ducati, J. R., Veronez, M. R., Arvor, D. & Da Silveira, L. G. Monitoring the vulnerability of soybean to heat waves and their impacts in Mato Grosso state, Brazil. in 2014 IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium 859–862 (IEEE, Quebec City, QC, 2014). doi:10.1109/IGARSS.2014.6946560.
77. Anderson, L. O. & Pinheiro, R. L. G. Impacto das cheias na estrutura física das escolas da várzea de Santarém. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais* 13, 294–313 (2022).
78. Marengo, J. A. & Espinoza, J. C. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. *International Journal of Climatology* 36, 1033–1050 (2016).
79. Pinheiro, J. A. C. et al. Perception of Amazonian fishers regarding environmental changes as causes of drastic events of fish mortality. *Brazilian Journal of Biology* 82, (2022).
80. Smith, L. T., Aragão, L. E. O. C., Sabel, C. E. & Nakaya, T. Drought impacts on children's respiratory health in the Brazilian Amazon. *Sci Rep* 4, 3726–3726 (2014).

81. Campanharo, W., Lopes, A., Anderson, L., da Silva, T. & Aragão, L. Translating Fire Impacts in Southwestern Amazonia into Economic Costs. *Remote Sensing* 11, 764 (2019).
82. Gomes, M. C. R. L., Andrade, L. C. de, Nascimento, A. C. S. do, Pedro, J. P. B. & Filho, C. R. M. Conditions of use and levels of household access to water in rural communities in the Amazon. *Ambiente & Sociedade* 25, (2022).
83. Sena, J. A., Beser de Deus, L. A., Freitas, M. A. V. & Costa, L. Extreme Events of Droughts and Floods in Amazonia: 2005 and 2009. *Water Resources Management* 26, 1665–1676 (2012).
84. ....Funatsu, B. M. et al. Perceptions of climate and climate change by Amazonian communities. *Global Environmental Change* 57, 101923 (2019).
85. Pereira, H. C., Nascimento, A. C. S. do, Moura, E. A. F., Corrêa, D. S. S. & Chagas, H. C. das. Migração rural-urbana por demanda educacional no Médio Solimões, Amazonas. *Revista Brasileira de Educação* 27, (2022).
86. Lago, M. C. do, Rebelo, G. H., Bruno, A. C. & Henriques, L. M. P. Tikuna Perceptions of Extreme Weather Events: A Case Study on an Indigenous Lands in the Upper Solimões River, Brazil. *Ethnobiology and Conservation* 13, (2024).
87. Langill, J. C., Abizaid, C., Takasaki, Y. & Coomes, O. T. Integrated multi-scalar analysis of vulnerability to environmental hazards: Assessing extreme flooding in western Amazonia. *Global Environmental Change* 76, 102585 (2022).
88. Pinho, P. F., Marengo, J. A. & Smith, M. S. Complex socio-ecological dynamics driven by extreme events in the Amazon. *Regional Environmental Change* 15, 643–655 (2015).
89. Silva, S. S. da et al. Amazon climate extremes: Increasing droughts and floods in Brazil's state of Acre. *Perspectives in Ecology and Conservation* 21, 311–317 (2023).
90. GFLAC, Grupo de Financiamento Climático LAC, Índice de Finanzas Sostenibles 2023 (datos de 2022), Panorama de las Finanzas Sostenibles em América Latina y el Caribe. ([https://www.sustainablefinance4future.org/\\_files/ugd/32948d\\_bc5467d51e2e4a83b19ff82875dd452f.pdf](https://www.sustainablefinance4future.org/_files/ugd/32948d_bc5467d51e2e4a83b19ff82875dd452f.pdf)). (2023)
91. Linley, G. D., Jolly, C. J., Doherty, T. S., Geary, W. L., Armenteras, D., Belcher, C. M., ... & Nimmo, D. G. (2022). What do you mean, 'megafire'?. *Global Ecology and Biogeography*, 31(10), 1906-1922.

Drought Affected Areas (km<sup>2</sup>)



IDI12 – 2023



499

500

501 Figura 1. a) Área afetada por secas na região amazônica desde 1981; b) áreas afetadas

502 por seca hidrológica representadas pelo IDI-12 (usando SPI-12).

503

504

505

506

507

508

509

510

511

512

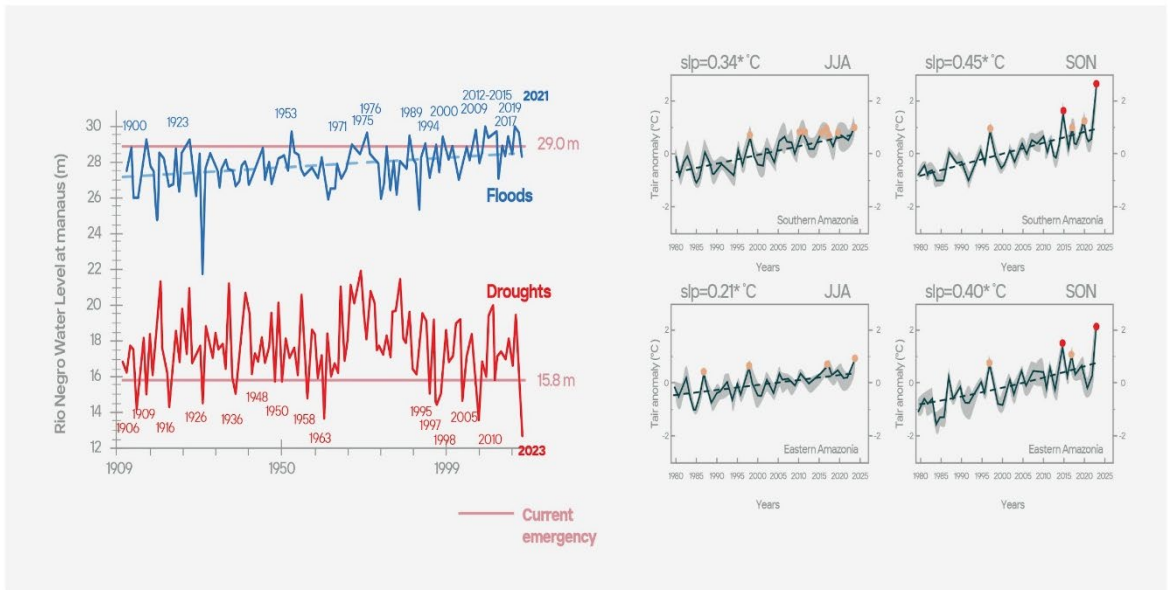
513

514

515



516  
517  
518



519

520 Figura 2. a) Máximas anuais (inundações, linhas azuis) e mínimas (secas hidrológicas,  
 521 vermelhas) do nível da água do Rio Negro monitoradas no Porto de Manaus de 1902 a  
 522 2023 (Amazônia central). Os anos indicam eventos extremos de inundação ( $\geq 29$  m) e  
 523 seca ( $< 15,8$  m) (Fonte: J. Schöngart, INPA). b) Série temporal de anomalias mensais de  
 524 temperatura do ar na superfície média ao longo das estações, JJA) e SON) de 1980 a  
 525 2023. A linha tracejada refere-se à tendência linear, com o valor do declive (slp) em °C  
 526 por década. Os valores de inclinação estatisticamente significativos ( $p < 0,05$ ) são  
 527 marcados com um asterisco. Os pontos de dados de anomalias são estatisticamente  
 528 diferentes de zero nos níveis 1s e 2s e são coloridos em amarelo e vermelho,  
 529 respectivamente. Os valores das anomalias de temperatura foram extraídos da reanálise  
 530 ERA5-Land.

531

532

533

534

535

536

537

538

539

540

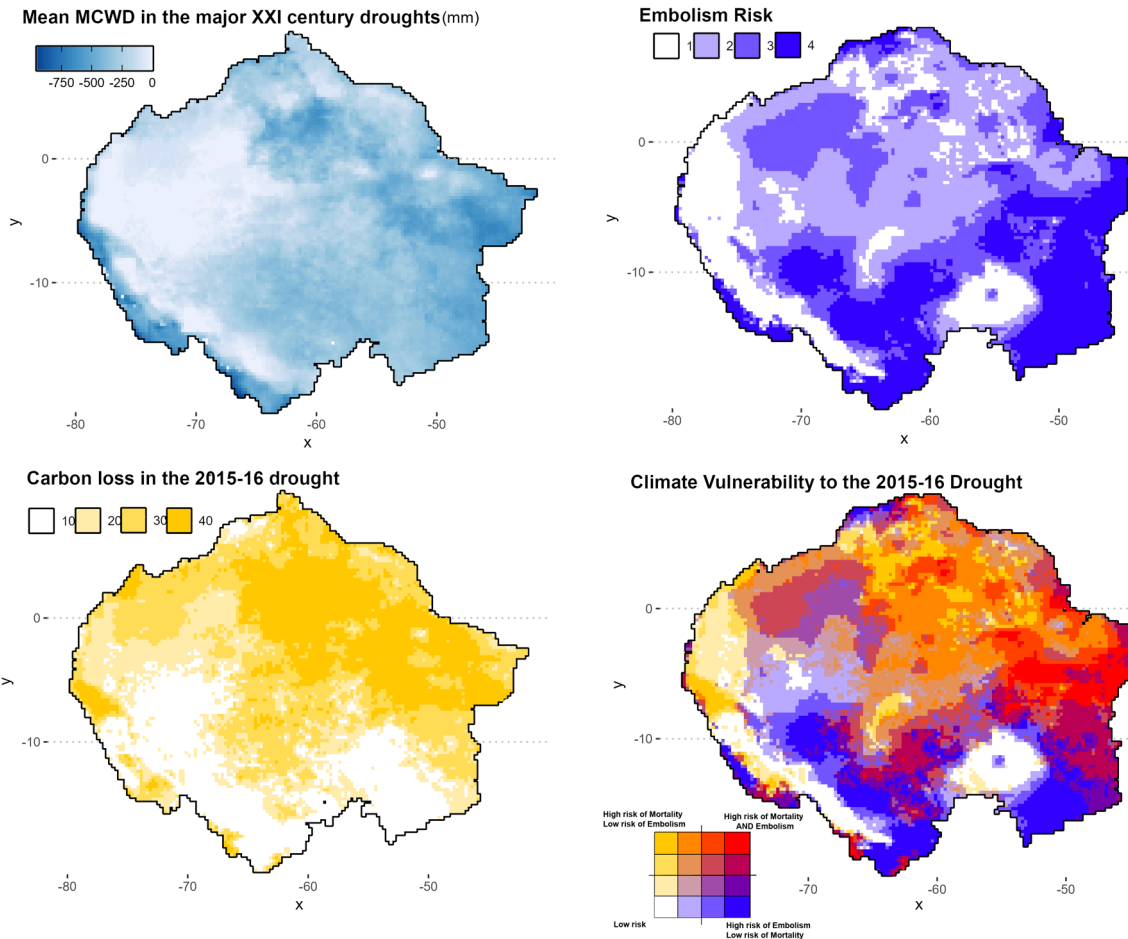
541

542

543

544

545  
546  
547  
548  
549  
550  
551

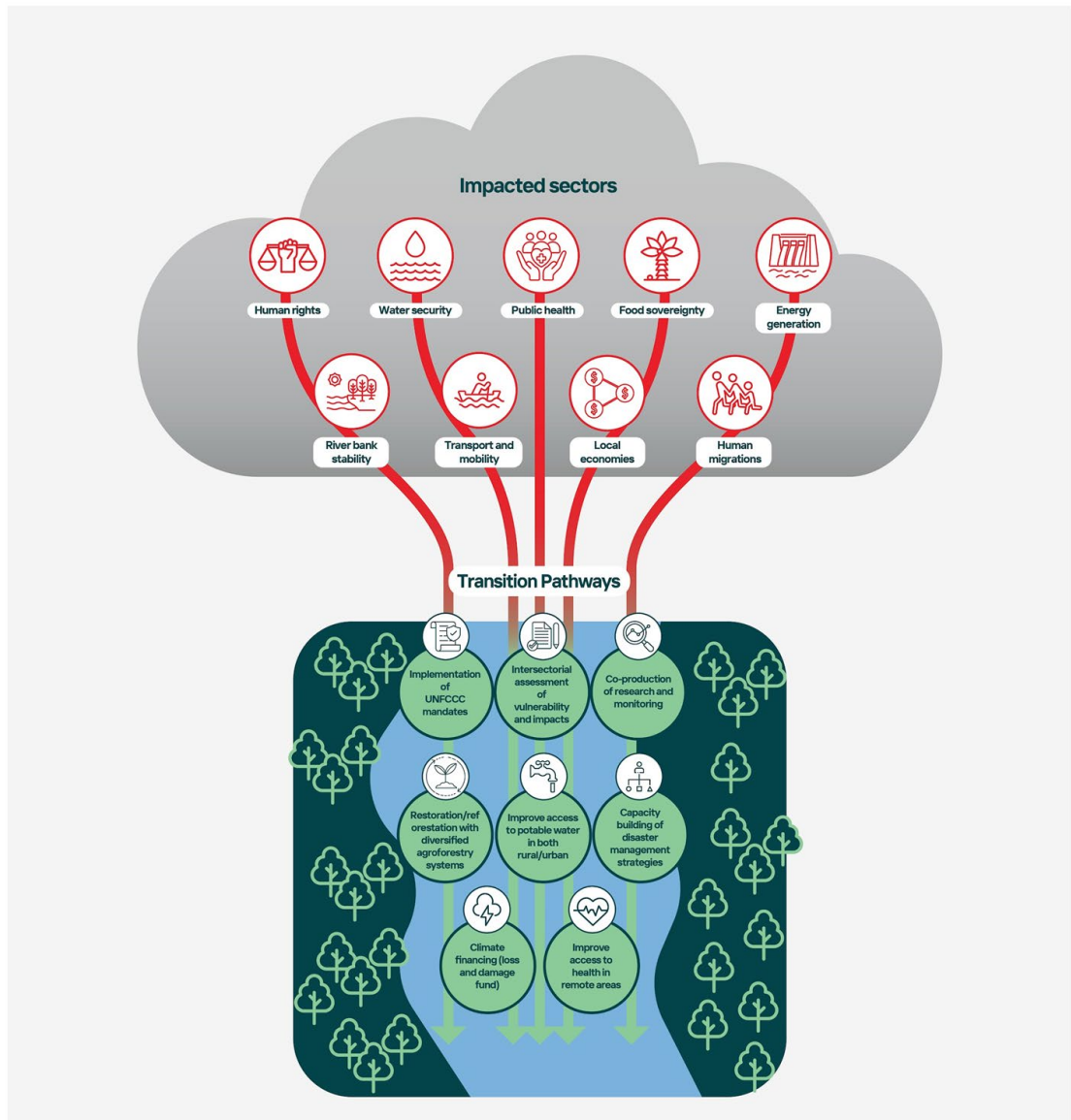


552  
553  
554  
555  
556  
557  
558  
559  
560  
561  
562  
563  
564  
565  
566  
567

Figura 3. Mapa da vulnerabilidade ecológica das regiões amazônicas com base nos impactos dos eventos de seca de 2015-16. O MCWD médio foi calculado como a média do MCWD no ano hidrológico (de maio a abril) para os eventos de seca do século 21: 2005, 2009 e 2015. O Risco de Embolia (de Garcia et al. 2023) é dado por 4 percentis, valores mais altos indicam maiores chances de perda de função hidráulica, ou seja, capacidade de transportar água. A perda de carbono (de Bennet et al. 2023) representa a perda por mortalidade de árvores no evento de seca de 2015-2016, também apresentada em percentis. A Vulnerabilidade Climática da Floresta à seca de 2015-16 é a sobreposição do Risco de Embolia e das Perdas de Carbono: regiões vermelhas indicam onde a alta mortalidade de árvores foi associada a um alto risco de embolia; regiões amarelas indicam onde a perda de carbono foi alta apesar de uma alta resistência à embolia; e regiões azuis indicam onde a vulnerabilidade é alta devido a um alto risco de embolia, mas onde não houve muito impacto em 2015-16 porque o déficit de água foi menor.

568  
569

**Setores impactados (vermelho) e caminhos de transição (verde)**



570  
571  
572

**Figura 4. Impactos e soluções socioeconômicas**