

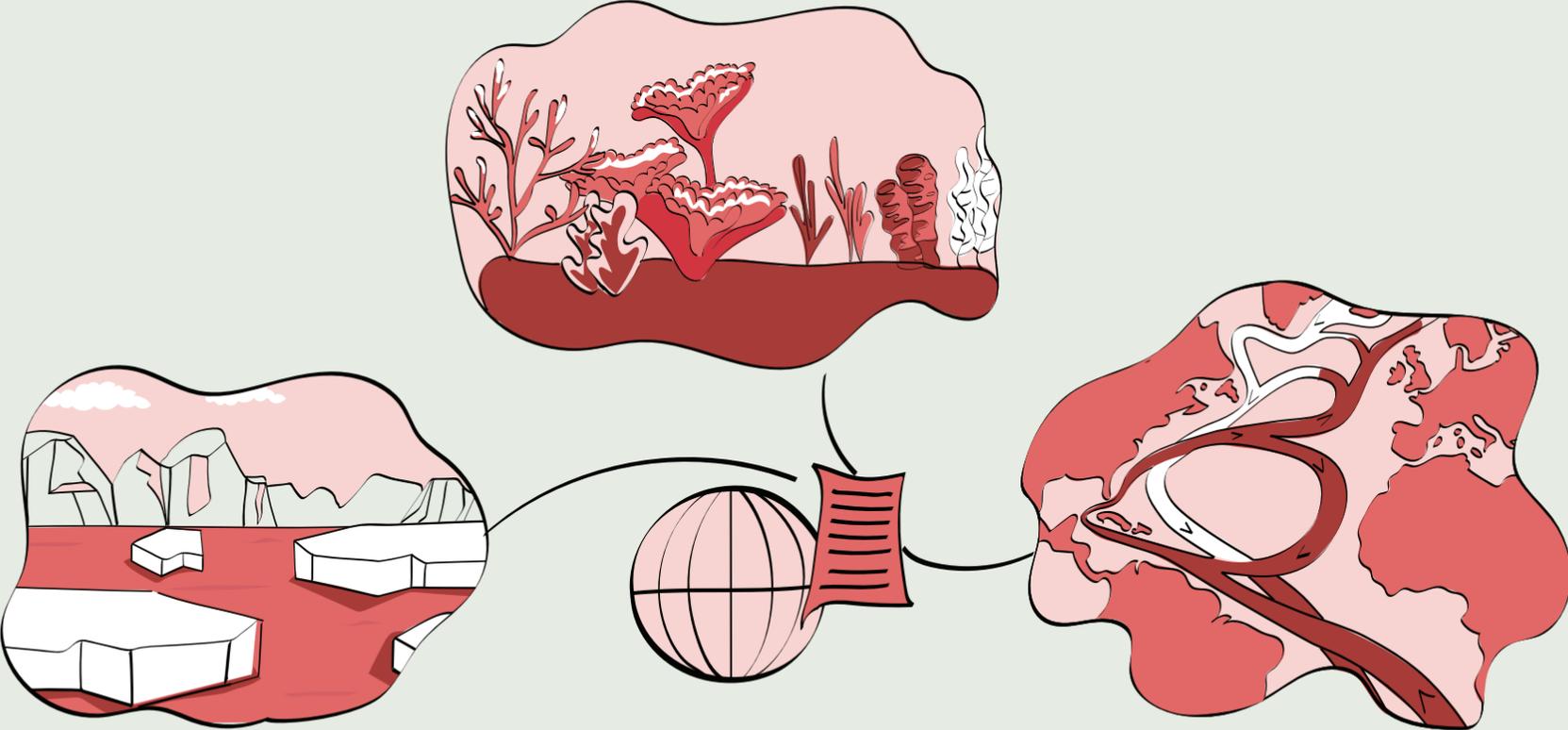


O pior cenário

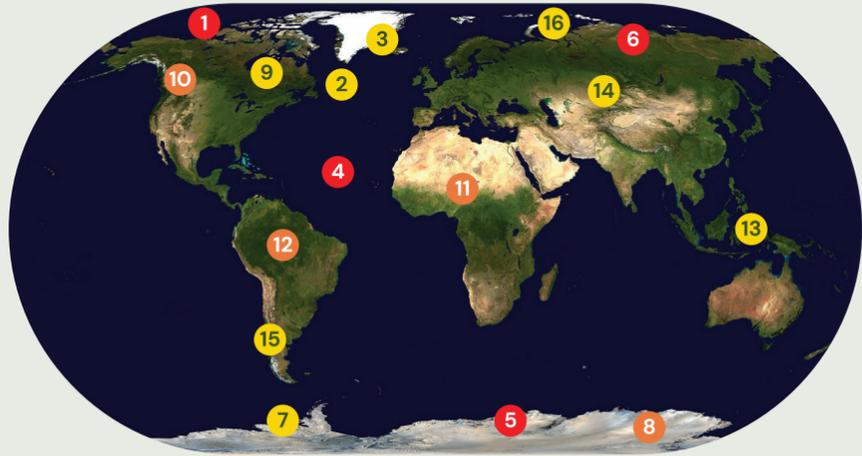
Os pontos de virada do clima

À medida que o aquecimento global se intensifica, aumentam os riscos de os sistemas climáticos atingirem pontos de não-retorno (*tipping points*), alterações que são difíceis ou até impossíveis de reverter. O alerta vem sendo feito por cientistas há anos, e o IPCC, inclusive, aponta com alta confiança que o aquecimento causará mudanças abruptas. Embora algumas consequências ainda sejam incertas, os riscos são alarmantes, pois cada ponto de não-retorno pode desencadear um “efeito dominó” em outros sistemas climáticos.

Um relatório global sobre tipping points, publicado em 2023 com o apoio de 200 pesquisadores de mais de 26 países, identificou mais de 25 pontos de não-retorno. Destes, cinco grandes sistemas já estão em risco de cruzar a inflexão no nível atual de aquecimento global: os mantos de gelo da Groenlândia e da Antártida Ocidental, o permafrost (solo permanentemente congelado no Ártico), os recifes de coral de água quente e a circulação termohalina do Atlântico Norte (que inclui a chamada Corrente do Golfo, que leva calor à Europa).



Principais pontos de não-retorno



Pontos de inflexão que podem ocorrer devido ao aquecimento global
 ● <math>< 2^{\circ}\text{C}</math> ● $2-4^{\circ}\text{C}$ ● $\geq 4^{\circ}\text{C}$

1	Gelo marinho do Ártico no inverno	Colapso
2	Giro subpolar do Mar de Labrador	Colapso
3	Calota de gelo da Groenlândia	Colapso
4	Circulação Meridional do Atlântico	Colapso
5	Calota de gelo da Antártica Oriental	Colapso
6	Permafrost boreal	Colapso
7	Calota de gelo da Antártica Ocidental	Colapso
8	Bacias subglaciais da Antártica Oriental	Colapso
9	Permafrost boreal	Degelo abrupto
10	Floresta boreal	Avanço para o norte
11	Reverdecimento do Sahel / monção da África Ocidental	Intensificação
12	Floresta Amazônica	Morte
13	Recifes de corais em baixas latitudes	Morte em massa
14	Floresta boreal	Morte ao sul
15	Geleiras de montanha	Perda
16	Gelo do Mar de Barents no inverno	Perda abrupta

Fonte: Relatório Global Tipping Points e Agência Espacial Europeia

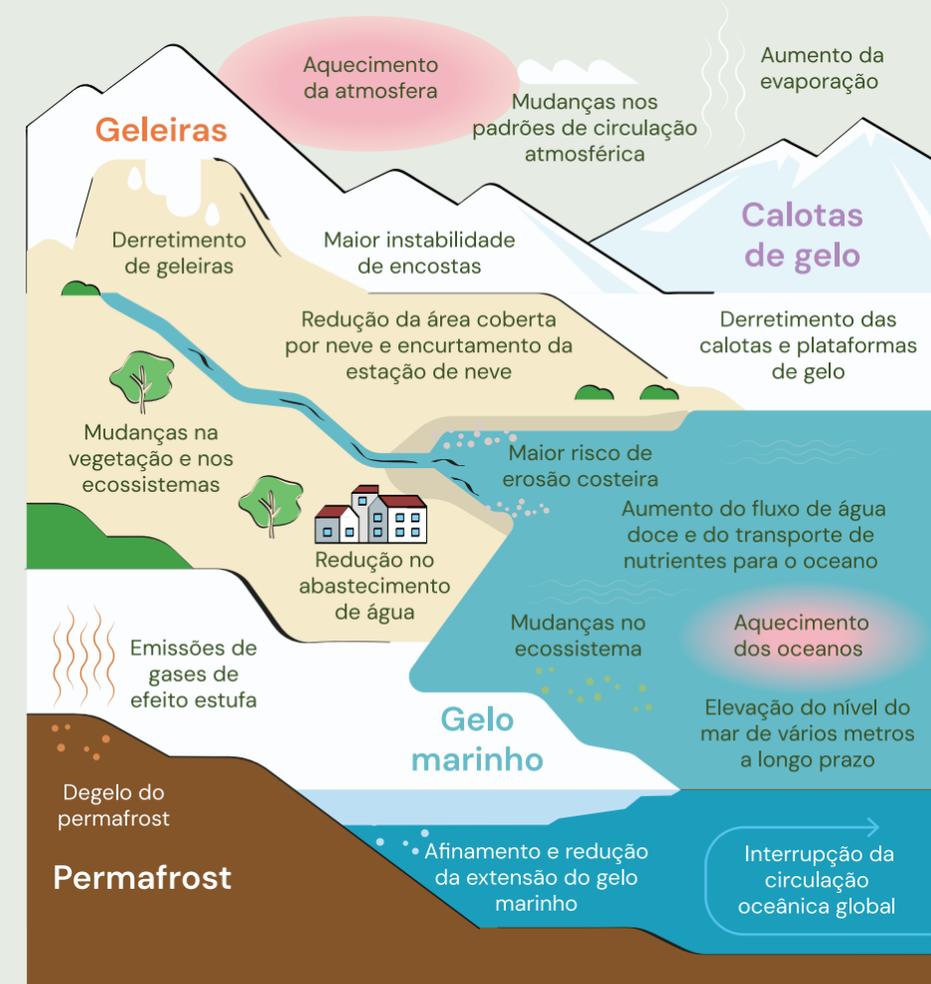
Para explicar o “efeito dominó” de um ponto de não-retorno, tomemos como exemplo o derretimento dos mantos de gelo da Groenlândia e da Antártida Ocidental, que armazenam a maior parte da água doce do planeta. Esse degelo pode elevar o nível global do mar em pelo menos 10 metros. A diminuição de áreas congeladas gera um feedback positivo, ou seja, uma amplificação da mudança inicial — neste caso, mais derretimento — que, por sua vez, retroalimenta o aquecimento global.

Um dos principais feedbacks é o efeito de albedo: quando a camada de gelo (área branca) diminui, a capacidade de refletir a energia solar (albedo) também diminui. Isso faz com que mais energia solar seja absorvida, aumentando a temperatura do planeta e acelerando ainda mais o derretimento.

Além disso, há evidências de que o aquecimento global antropogênico vem enfraquecendo a Circulação/Célula de Revolvimento Meridional do Atlântico (AMOC, na sigla em inglês), que leva calor para o Atlântico Norte, sendo importante na redistribuição de energia, no transporte de nutrientes e influenciando o clima global. E isso vem acontecendo provavelmente devido ao maior aporte de água doce proveniente da precipitação, do derretimento do gelo marinho e da camada de gelo da Groenlândia, bem como por mudanças na circulação oceânica, promovendo alterações na salinidade e prejudicando a circulação termohalina. Diversas linhas de evidência mostram um enfraquecimento da AMOC desde o início ou meados do século 20 e vários estudos analisam quão próximos estamos de uma possível total parada ou colapso, ou seja, de seu ponto de inflexão.

Algumas pesquisas também sugerem que o enfraquecimento e colapso da AMOC podem induzir mudanças na variabilidade do El Niño Oscilação Sul (ENOS), um fenômeno natural e cíclico com grande influência no clima, que contribui para redução ou aumento das chuvas em diversas regiões do mundo. Tanto a AMOC quanto o ENOS têm impacto no clima da floresta amazônica, que também tem seu ponto de inflexão. Contudo, ainda há incertezas sobre o papel do enfraquecimento da AMOC no processo de morte da floresta.

Impactos biofísicos dos pontos de não-retorno na criosfera



O diagrama mostra os tempos aproximados das mudanças nos respectivos sistemas/áreas



Fonte: Relatório Global Tipping Points / AMAP



A floresta amazônica desempenha um papel essencial na regulação do clima, não apenas no Brasil, mas globalmente. O ecossistema equilibra o ciclo de chuvas, estabiliza temperaturas, absorve grandes quantidades de carbono e armazena cerca de 150 a 200 bilhões de toneladas de gás carbônico equivalente em forma de carbono na biomassa. Pesquisas indicam que o desmatamento e as queimadas causadas por atividades humanas, somados aos impactos das mudanças climáticas, podem levar a Amazônia ao ponto de não-retorno. Esse processo, chamado de “dieback” (morte), transformaria a floresta em uma savana empobrecida.

Há diversas projeções sobre a Amazônia. Uma projeção de 2016 indica que a morte generalizada da floresta pode ocorrer com um aquecimento de 3 a 4 °C ou com cerca de 40% de desmatamento, mas interações sinérgicas incertas podem reduzir esse limite de desmatamento para 20% a 25%. Outros modelos projetam um colapso com aquecimento de 2,5 °C a 6,2 °C. Um estudo publicado em 2022 apontou o ponto de não-retorno em um limiar de aproximadamente 3,5 °C, independentemente do desmatamento, mas provavelmente com um aumento de temperatura menor quando há desmatamento.

Embora ainda existam incertezas sobre qual aumento de temperatura pode causar a morte da floresta, já há evidências de que a Amazônia está sob crescente pressão. Um exemplo disso são as intensas queimadas, favorecidas pela seca intensificada pelas mudanças climáticas. Um estudo liderado por pesquisadores brasileiros e publicado em 2024 sugere que, até 2050, entre 10% e 47% da floresta estarão expostas a perturbações que podem rapidamente desencadear o seu colapso. A morte da Amazônia causará impactos locais, regionais e globais.

