

Alana  
APIB (Articulação dos Povos Indígenas do Brasil)

Artigo 19

Conectas Direitos Humanos

Engajamundo

Greenpeace

Instituto Socioambiental

Instituto de Energia e Ambiente

Programa de Pós Graduação em Ciência Ambiental Universidade de São Paulo  
Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) para Mudanças Climáticas Fase 2

# – Mudanças Climáticas: impactos e cenários para a Amazônia

**José A. Marengo**

Coordenador Geral de Pesquisa e  
Desenvolvimento no Cemaden

**Carlos Souza Jr.**

Pesquisador sênior do Imazon

SÃO PAULO, DEZEMBRO DE 2018

# 1

## – Introdução

Com a criação do Painel Intergovernamental de mudanças climáticas (IPCC), em 1988, a ciência climática progrediu geometricamente e confirmou a hipótese de que as alterações climáticas estão de fato acontecendo com forte influência de ações antrópicas, conforme descrito no quadro abaixo:

No Quinto relatório IPCC AR5<sup>12</sup>, publicado em 2013<sup>1</sup>, a principal conclusão foi que o aquecimento global é inequívoco desde meados de 1950s e que não tem precedentes nos últimos milênios. A atmosfera, oceano e continentes têm aquecido, o nível do mar se elevou e a concentração de gases de efeito estufa (GEE) tem aumentado. A influência humana no aquecimento é clara e, de fato, é “altamente provável” que as ações humanas, como queima de combustível fóssil e desmatamento, sejam a causa principal do aquecimento global observado desde meados do século XX. No Segundo Relatório do IPCC publicado em 1996, com modelos menos complexos e base de dados menos abrangentes, a influência humana no clima global era apenas “discernível”. O Quinto Relatório (IPCC AR5) mostra a evolução da compreensão do IPCC e da comunidade científica sobre as mudanças climáticas e as suas causas.

A mudança climática já está acontecendo e já está produzindo impactos, e quanto maior for o aquecimento, maiores serão os impactos futuros e riscos que a humanidade vai enfrentar, incluindo a possibilidade de danos irreversíveis em ecossistemas, na biodiversidade, na produção agrícola e na economia e sociedade em geral. A inclusão efetiva de adaptação às mudanças de clima pode ajudar a construir uma sociedade mais resiliente no médio prazo.

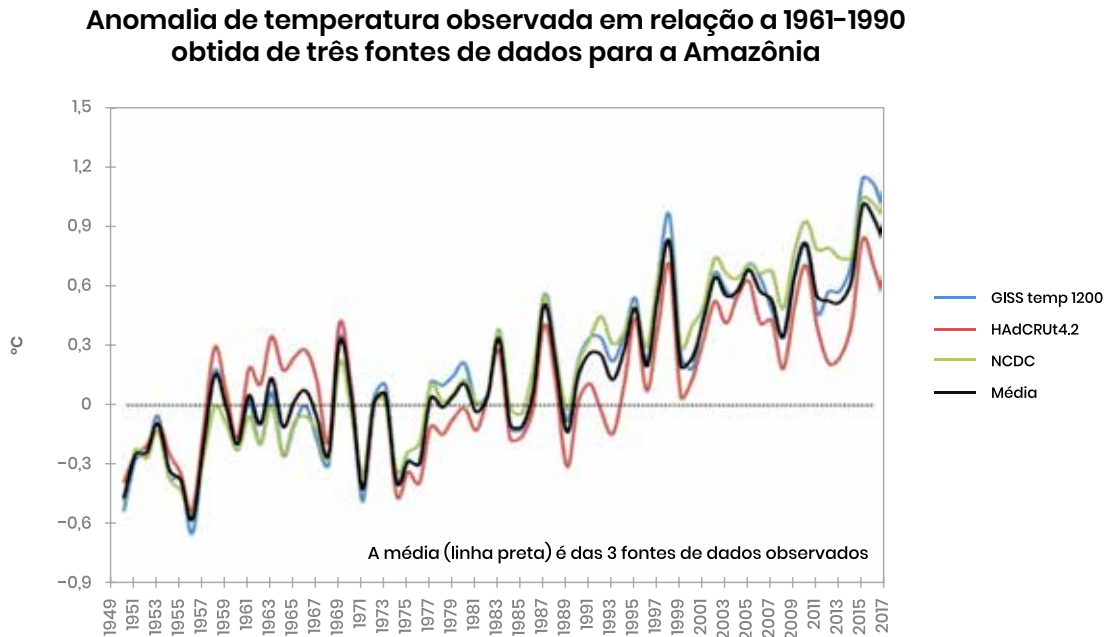
Na Amazônia, o aquecimento observado desde 1949 até 2017 varia de 0,6 a 0,7°C, segundo várias fontes de dados de temperatura. Ainda que existam algumas diferenças sistemáticas, todas as fontes apontam para aquecimento maior nas últimas décadas, sendo o ano 2017 o mais quente desde meados do Século 20. (Figura 1)





**FIGURA 1**

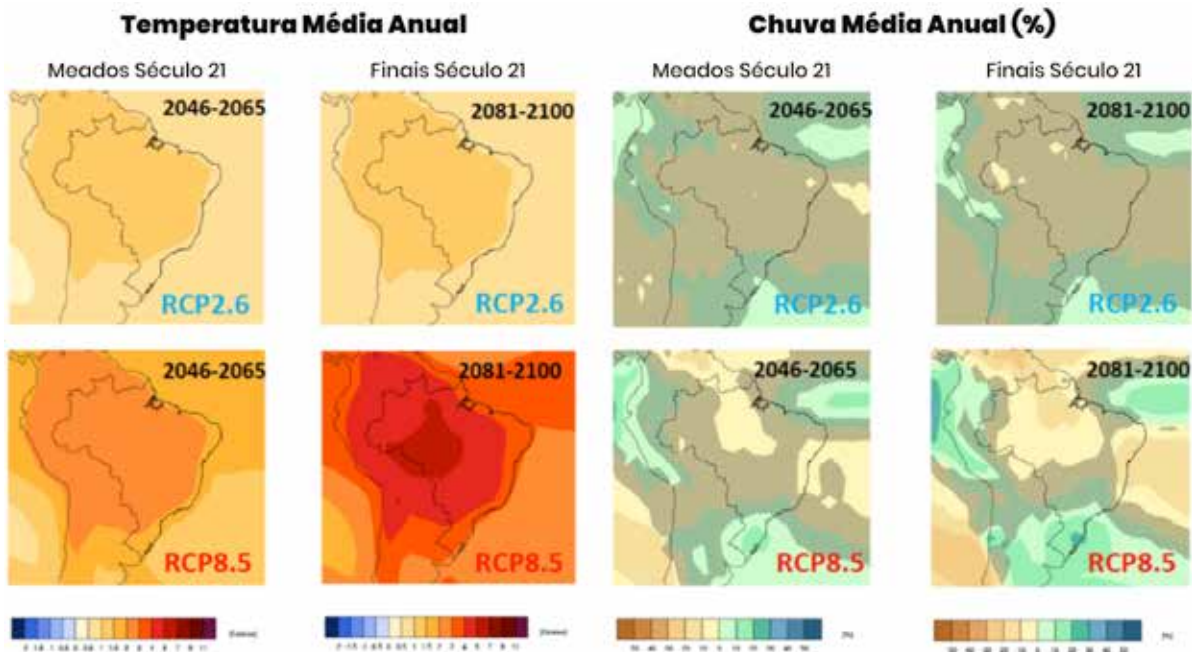
Mudança de temperatura observada em relação a 1961-1990 obtida de três fontes de dados para a Amazônia no período de 1949 a 2017.



Fontes de dados: GISS-NADA Goddard Institute for Space Studies, EUA, NCDC-National Climatic Data Center, EUA, HAdCRU-Hadley Centre-Climatê Research United, Reino Unido.

Os cenários de mudanças climáticas para a Amazônia, projetados por modelos climáticos complexos e apresentados pelo IPCC<sup>12</sup>, apontam para um aumento na temperatura média do ar projetado até o final do século XXI bem acima de 4°C e redução nas chuvas de até 40% na Amazônia (Figura 2). Essa mudança na temperatura do ar tem potencial para gerar grandes desequilíbrios em ecossistemas vitais

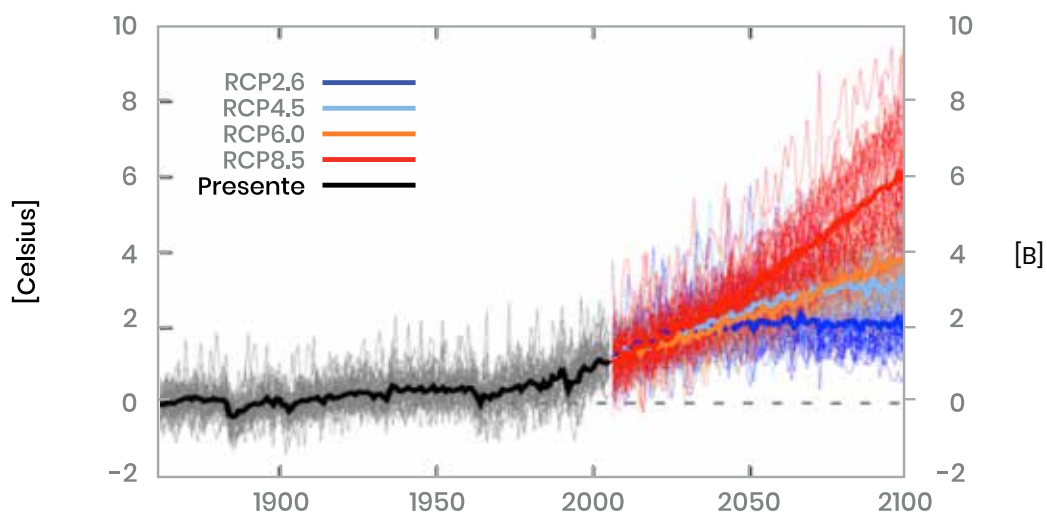
para a sobrevivência da humanidade. Segundo o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima<sup>3</sup>, a América do Sul é o continente com maior risco de extinção de espécies (23%). A atribuição de causas sugere que a influência humana pode ser mais importante em comparação às causas naturais, segundo os relatórios anteriores do IPCC<sup>12</sup> e a síntese recente sobre o aquecimento global acima de 1.5°C<sup>4</sup>.



## FIGURA 2

- A) Projeções de mudanças de temperatura e chuvas na região tropical da América do Sul produzidas pelo conjunto de modelos do IPCC AR5 para 2046–2065 e 2081–2100 com cenários de baixas emissões (RCP2.6) e altas e emissões (RCP8.5), relativos ao período de 1981–20105.
- B) Projeções de mudanças de temperatura até 2100 para os vários cenários de emissão do IPCC A5 para Amazônia.

Projeções de mudanças na temperatura do ar na Amazônia projetada até 2100 pelos modelos do IPCC AR5, relativo 1960–90



Os cenários de emissão de GEE usados pelo IPCC AR5<sup>1</sup> são os chamados RCPs (Representative Concentration Pathways). O RCP2.6 representa um cenário onde a emissão de gases de efeito estufa fica estabilizada a partir de 2050 e o cenário RCP8.5 considera emissões em aumento o final do século XXI. Na Figura 2, o aquecimento na Amazônia pode chegar até 6° C no final do século XXI no RCP8.5 e as chuvas podem se reduzir em até 15-20% na Amazônia central e do leste. Cabe destacar que os cenários RCP não incluem taxas de desmatamento ou urbanização na sua configuração.



Mudanças no clima da Amazônia: aquecimento global e desmatamento podem afetar o equilíbrio dos ecossistemas e os serviços que eles oferecem. Novas evidências mostram, sem sombra de dúvida, que a Amazônia funciona como o coração da América do Sul em relação a um dos recursos do qual a vida é diretamente dependente, a água. A destruição da floresta amazônica pode já ter passado do limite que permitiria a sua recuperação. Isto implica que, por falta de água, a economia de vários países da região pode ser drasticamente afetada num prazo provavelmente curto.

O aquecimento global pode ter as mais diversas consequências, muitas espécies terrestres, aquáticas e marinhas já mudaram sua distribuição geográfica, atividades sazonais, padrões de migração, abundância e interações intraespecíficas em resposta às mudanças climáticas em curso (alta confiança)<sup>2</sup>. Segundo IPCC AR5, impactos oriundos de eventos climáticos extremos, como secas e incêndios florestais, revelam a significativa vulnerabilidade e a exposição de alguns ecossistemas – e de muitos sistemas humanos – à variabilidade climática atual. Impactos de tais extremos relacionados ao clima incluem a alteração dos ecossistemas, como é no caso da Amazônia.<sup>2</sup>

O desmatamento representa um dos vetores da mudança de clima regional e global. Entre as atividades humanas que mais contribuem para as emissões de GEE estão a queima de combustível fóssil e de biomassa e as mudanças no uso da terra<sup>6</sup>, principalmente o desmatamento<sup>7</sup>. Neste último, a urbanização



© Rogério Assis / Greenpeace

e o desmatamento de áreas de vegetação florestal natural na Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica e Caatinga podem mudar os processos físicos entre a atmosfera e os ecossistemas terrestres e oceânicos, levando a alteração nos regimes de chuvas (i.e., precipitação) e na temperatura e na umidade do ar, em escalas local, regional e global<sup>8</sup>.

Reduzir o desmatamento de florestas tropicais é uma questão urgente nas agendas ambientais, principalmente no que se refere ao seu importante papel na regulação do clima global e ao seu impacto na diversidade cultural e biológica.

Na Amazônia brasileira uma série de políticas e medidas para reduzir o desmatamento na região foi estabelecida pelo governo brasileiro desde 2004, conhecida como Plano de Proteção e Controle do Desmatamento na Amazônia (PPCDAm). Uma maior compreensão dos fatores por trás do sucesso inicial e das falhas atuais nas políticas destinadas a conter o desmatamento na Amazônia brasileira pode apoiar a formulação de políticas de conservação, bem como orientar os esforços de outros países na redução de suas taxas de desmatamento.

O desmatamento é um fenômeno que pode se deslocar no espaço e no tempo, i.e., quando uma medida para desencorajar o crime ambiental é aplicada em uma região, os atores passam a praticá-lo em novas áreas. Existe, porém, uma recorrência de crimes ambientais em determinados locais, como no caso da Flona Jamanxim. Este passa a ser um processo característico da expansão da fronteira de terras. No entanto, o oposto também acontece; em vez de se deslocar, o efeito dissuasor também é observado nas regiões vizinhas. Isso é conhecido como 'difusão dos benefícios'. Encontrar evidências sobre em que medida a fiscalização desloca o desmatamento e/ou seu efeito de dissuasão é difundido no espaço e no tempo continua sendo uma questão com implicações significativas para as políticas de redução do desmatamento.



## 2

# – A importância da Amazônia no clima regional e global

A floresta amazônica também desempenha um papel crucial no clima da América do Sul por seu efeito no ciclo hidrológico regional. A floresta interage com a atmosfera para regular a umidade no interior da bacia. A umidade é transportada para a região amazônica

pelos ventos alísios provenientes do Atlântico tropical. Depois da chuva, a floresta tropical produz evaporação intensa e reciclagem da umidade e, em seguida, grande parte dessa evaporação retorna à região amazônica na forma de chuva (Figura 3).

**FIGURA 3**  
Ciclo hidrológico regional na Região Amazônica



Fonte: J. Marengo-CEMADEN

Estudos científicos realizados no Brasil (INPE, INPA, USP), com colaboração internacional desde a década de 1980, mostram que a floresta amazônica desempenha um papel crucial no sistema climático, contribuindo para direcionar a circulação atmosférica nos trópicos ao absorver energia e reciclar aproximadamente metade das chuvas que caem na região<sup>10</sup>. Há vários estudos que caracterizaram alterações na disponibilidade dos recursos hídricos na Amazônia, bem como sua dinâmica no tempo e a sua distribuição na

região<sup>11-13</sup>, analisando as variações climáticas naturais já observadas, e também projeções de modelos climáticos para as próximas décadas até 2100<sup>14</sup>. Estes estudos sugerem que a variabilidade das chuvas na Amazônia depende de fatores locais (floresta) e de fatores remotos (temperatura das águas superficiais nos oceanos Pacífico e Atlântico tropical), em escalas de tempo interanuais e decadais, o que determina períodos de secas e enchentes na Amazônia. Mesmo que ainda não tenha sido detectada uma redução



Análises baseadas em estudos observacionais e em simulações de modelos climáticos sugerem que já existem evidências indiscutíveis sobre o papel da floresta amazônica como provedora e reguladora de água. Ademais, a esta situação se soma o que se sabe sobre o papel da Amazônia como uma reserva de estoques de carbono colossais em solos, subsolos e biomassa, cuja liberação, por desmatamento e degradação, pode elevar significativamente a temperatura global. A combinação dos dois processos, ambos causados pela ocupação desordenada e abusiva da Bacia Amazônica, multiplica a gravidade da situação e a torna mais iminente.



gradativa das chuvas da Amazônia, está claro que existe uma base sólida científica sobre a relação da floresta com o clima e dos seus impactos na segurança hídrica, alimentar, energética e socioambiental na região.

A floresta tem um papel importante na chuva local e regional contribuindo para o ciclo hidrológico e transporte de umidade dentro e fora da região, afetando o ciclo hidrológico e os níveis dos rios amazônicos. Estudos de modelagem climática simulando desmatamento parcial e total da Amazônia mostram reduções significativas na chuva em uma Amazônia sem floresta, afetando a hidrologia regional e com consequências para populações vulneráveis na região amazônica.

Estima-se que entre 30% e 50% das precipitações pluviométricas na Bacia Amazônica consistem em evaporação reciclada. Além disso, a umidade originada na Bacia Amazônica é transportada pelos ventos para outras

Reciclagem de umidade: Nas escalas local e regional, a floresta amazônica controla a precipitação e a temperatura por meio da evapotranspiração (soma da transpiração das plantas e da evaporação da água depositada na planta), em um processo conhecido como “reciclagem de umidade”. Uma medida da reciclagem seria definida pela relação entre precipitação/evapotranspiração. Uma série de estudos tentou quantificar o balanço hídrico na Bacia Amazônica. O conceito de reciclagem da chuva da Amazônia foi desenvolvido pelo professor Enéas Salati na década de 1980 e numerosos estudos foram desenvolvidos usando esse conceito nas décadas posteriores considerando observações, resultados de modelos e medidas de satélites.

As estimativas de taxa de reciclagem variam entre cerca de 35% e mais de 80%<sup>5,69</sup>. Na região, a evapotranspiração na estação seca tende a ser igual ou superior a evapotranspiração da estação úmida<sup>70</sup>. Assim, o alto fluxo de vapor d'água gerado pela evapotranspiração da floresta durante a estação seca desempenharia um papel importante no início da estação chuvosa<sup>36</sup>.

partes do continente e é considerada importante na formação de precipitações em regiões distantes da própria Amazônia.

A redução da floresta afeta transporte de umidade atmosférica para outras regiões por meio dos chamados “rios voadores”, importante mecanismo da circulação atmosférica que transporta a umidade que vai gerar depois chuvas em regiões como a bacia do Prata<sup>18-20</sup>. Isso comprova uma conexão floresta-chuvas da Amazônia com o bem-estar da população. Devido ao desmatamento atual que já cobre quase 20% da Amazônia brasileira e a degradação florestal que pode estar afetando uma área muito maior, a Amazônia já perdeu de 40% a 50% da sua capacidade de bombear e reciclar a água<sup>20</sup>. É como se o coração de uma pessoa tivesse a metade de suas células mortas ou doentes e, portanto, não conseguisse mais impulsar o sangue pelo corpo todo. As partes do corpo que não recebem sangue ou que recebem menos ou mais lentamente morrem. Isso é o que aguarda os pampas úmidos argentinos e as terras atualmente mais produtivas do sudeste e centro-oeste do Brasil e da Bacia do Prata<sup>20</sup>.

**Rios voadores:** O fluxo de umidade transportado pelos ventos alísios a partir do oceano Atlântico tropical se junta com a umidade reciclada e bombeada pela floresta amazônica por meio de correntes de umidade atmosférica que funcionam como artérias, circulando pela própria Amazônia, canalizada pelos Andes e levando esse fluxo de umidade para o sudeste da América do Sul, onde descarrega seu líquido vivificante.





# 3

## – A Amazônia já sofre com as mudanças climáticas: extremos mais “extremos” no clima presente da Amazônia e os seus impactos

Até algumas décadas atrás, na Amazônia existiam apenas duas estações, o período chuvoso e o menos chuvoso. Hoje, a Amazônia passa de inundações catastróficas a secas tão radicais que até falta água. Há outros fenômenos novos que agravam e complicam o problema, como os incêndios florestais que agora são rotineiros e o aumento da temperatura devido à mudança climática resultante da liberação de carbono para a atmosfera <sup>35,51</sup>.

Atividades econômicas humanas como a urbanização, a criação de gado e a expansão agrícola afetam a cobertura florestal da Amazônia<sup>51,6</sup>, derivadas do desmatamento e de processos de degradação da biomassa florestal por meio de queimadas e da extração madeireira e de recursos florestais não madeireiros<sup>17</sup> (quando não praticados de forma sustentável). A extensão e intensidade das alterações antrópicas da floresta ama-

zônica geram impactos no clima nas escalas local, regional e global<sup>8</sup>.

Embora seja importante conhecer as características futuras do total de chuvas na região é importante também detectar e prever o início e o fim da estação chuvosa, bem como a variabilidade das estações úmidas e secas, não apenas por meio das experiências com modelos, mas também por intermédio de análises observacionais. A ciência já possui um bom entendimento de como as mudanças no uso da terra impactam o balanço de energia na interface floresta-não-floresta-atmosfera e sobre as interações dessas atividades com o clima e os potenciais impactos nos diferentes ecossistemas da Amazônia. Esse entendimento vem dos resultados de modelos e observações empíricas em campo e de dados de satélites.

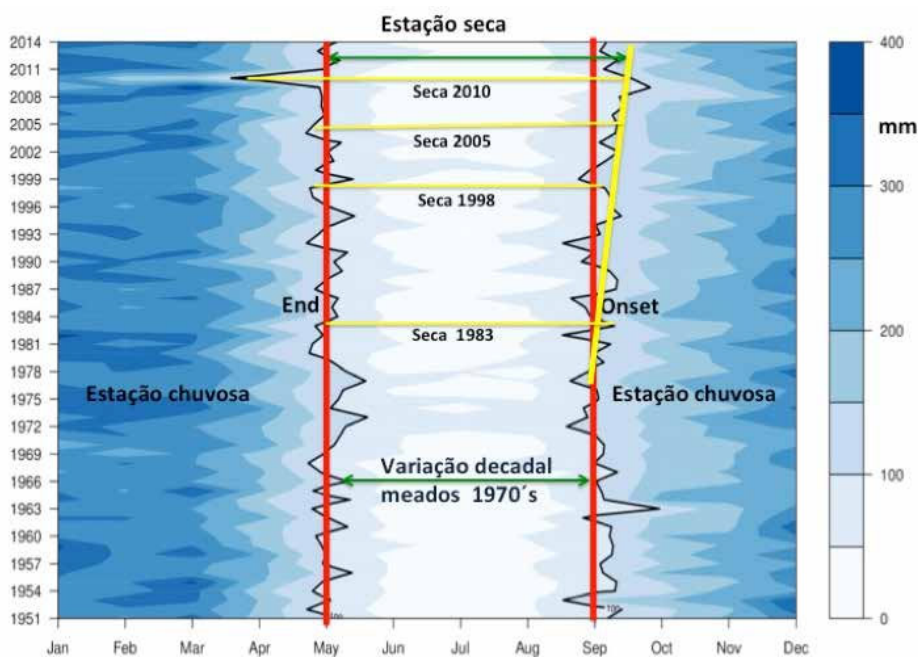
Eventos de mega-secas mais frequentes: As evidências de que a Amazônia já está vulnerável aos impactos das mudanças climáticas não podem ser relacionadas apenas aos efeitos do aumento na concentração de gases de efeito estufa na atmosfera, mas também a mudanças no uso da terra e da conversão de florestas pelo desmatamento. Como exemplo de causas externas de origem natural, temos a variabilidade climática causada por anomalias da temperatura da superfície dos oceanos tropicais do Pacífico Tropical (El Niño/La Niña) e do Atlântico Tropical, que tem como consequências graves ocorrências de seca e inundação na Bacia Amazônica<sup>59</sup>  
<sup>60 56 61 62</sup>. Assim como algumas secas históricas foram associadas ao El Niño (e.g., 1912, 1925, 1983, 1987, 1998), as secas mais recentes de 2005, 2010 e 2016 foram associadas a um oceano Atlântico Tropical Norte, e somente a seca de 2016 aconteceu num ano sob influência do El Niño. Isso é um exemplo de adicionalidade dos fatores externos ao clima local e regional. Atividades antrópicas, como o desmatamento da Amazônia, podem potencializar o impacto das causas naturais alongando a duração da estação seca e aumentando o risco de incêndio<sup>53</sup>.

A estação chuvosa durante a recente seca de 2015–2016 teve um início mais tardio que o normal<sup>51</sup> e causou o maior número de focos de queimadas no século XXI, com 5 meses com mais de 10 mil focos de incêndio e o maior número de ocorrências de fogo ativo por quilômetro quadrado de terra desmatada<sup>53</sup>. Segundo o IMAZON, somente no estado do Pará, uma área de 7.350 km<sup>2</sup> de florestas foi queimada, levando a um aumento nas emissões de carbono para atmosfera, adicionalmente ao desmatamento. Esta combinação de uma estação seca mais longa, uma maior frequência de secas extremas e um maior risco de incêndio devido a acumulação de material seco no solo produto de desmatamentos anteriores pode desempenhar um papel crítico em um cenário futuro de degradação da floresta amazônica comprometendo ainda mais a resiliência da floresta tropical em um ambiente de CO<sub>2</sub> atmosférico elevado<sup>63</sup>.

Desde 2002, a tendência no aumento do número de queimadas na Amazônia (Figura 5) não é significativa, porém nos anos de seca (2005, 2010 e 2016) o número de queimadas foi maior<sup>47</sup>. Nesses anos, o aumento das queimadas se deveu à seca de grande escala que foi associado à variabilidade natural do clima (El Niño, Atlântico tropical Norte mais quente) e que se agravou como consequência do desmatamento, permitindo a acumulação de material combustível da biomassa que queimou na seca seguinte.

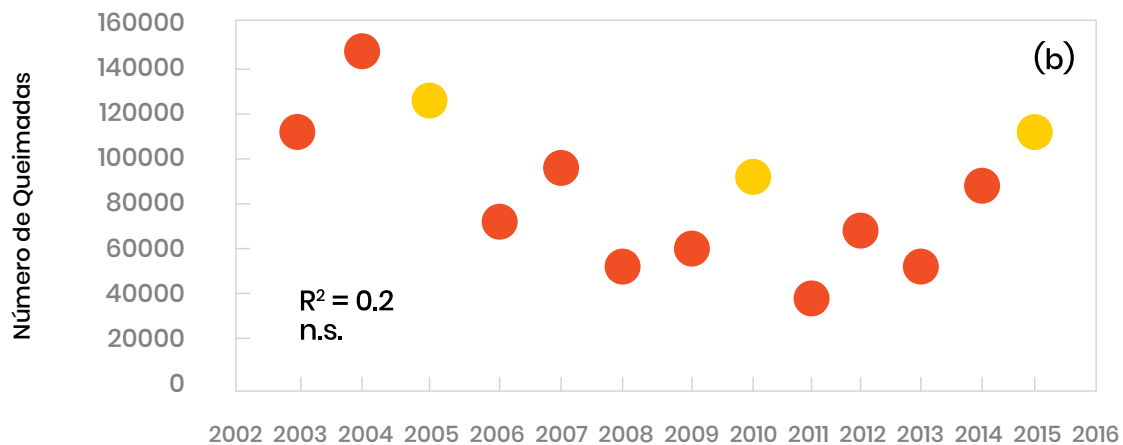
Maior duração da estação seca: Na seca de 2015–16 na Amazônia, durante a transição da estação seca para a estação úmida (entre agosto de 2015 e outubro de 2016), as observações mostraram o declínio proporcional mais acentuado na precipitação, o que implica num prolongamento progressivo da estação seca, resultando em uma redução no tempo da estação chuvosa (Figura 4)<sup>51</sup>. De fato, um alongamento da estação seca e as mudanças na frequência e intensidade de episódios de seca extrema são provavelmente os fatores mais críticos para a Amazônia considerando cenários de não mitigação de mudanças climáticas. Em 2016, uma estação seca mais prolongada determinou condições que tornaram as florestas mais vulneráveis às queimadas<sup>52</sup>, com um aumento do número de incêndios na Amazônia. Isso levou a uma maior liberação de carbono e de aerossóis na fumaça resultante da queimada de material acumulado devido a desmatamentos anteriores e afetando também os sistemas humanos<sup>47 53</sup>.

**FIGURA 4**  
 Diagrama de Hovmoller mostrando chuva mensal de 1951 a 2014 para o sul da Amazônia (mm/mês). A isolinha de 100 mm/mês é um indicador de meses secos<sup>37</sup>. Anos de secas aparecem indicados na figura. Linhas em vermelho mostram o início e fim da estação seca e linha amarela mostra o desvio na duração da estação seca (adaptado de Marengo e colaboradores<sup>35</sup> e atualizado até 2014).



### FIGURA 5

Distribuição do número de queimadas na Amazônia – pontos em vermelho mostram os anos de seca na Amazônia<sup>47</sup>.



Se as condições facilitarem a ignição e o alastramento de incêndios nas regiões onde há projeção de desmatamento, então o fogo terá o potencial de exercer um papel importante no desmatamento e na degradação adicionais. Em condições de seca, as queimadas associadas ao desmatamento atingem áreas maiores. As queimadas, a seca e a derrubada de árvores aumentam

a susceptibilidade a futuros incêndios, além de que o desmatamento, a fumaça e a liberação de aerossóis pelas queimadas podem inibir a precipitação pluviométrica<sup>57</sup>, exacerbando o já elevado risco de incêndio, bem como prejudicar a saúde humana e interromper o transporte fluvial (como aconteceu na Amazônia durante as secas de 1925, 1983, 1998, 2005 e 2010)<sup>47</sup>.

Em relação à atribuição das causas das secas ao desmatamento, estima-se que ainda que secas e queimadas possam ter causas naturais, como em 2005, 2010, e 2016, as atividades humanas, entretanto, como desmatamento potencializam e se sobrepõem às causas naturais, aumentando o aumento de número de queimadas, como em 2003 e 2004. O ano de 2004 apresentou um pico de desmatamento causado pela expansão da pecuária<sup>47</sup>. Isso destaca a urgência de compreender as causas subjacentes do início tardio ou desaparecimento da estação chuvosa e do alongamento da estação seca, bem como de ampliar nossa capacidade de prevê-los. As evidências do possível papel humano (desmatamento, aumento de gases de efeito estufa e aerossóis liberados devido à queima de biomassa ou poluição urbana) sobre a precipitação e a variabilidade das vazões e dos níveis dos rios da região começaram a aparecer na literatura recentemente<sup>59,54-56</sup>.

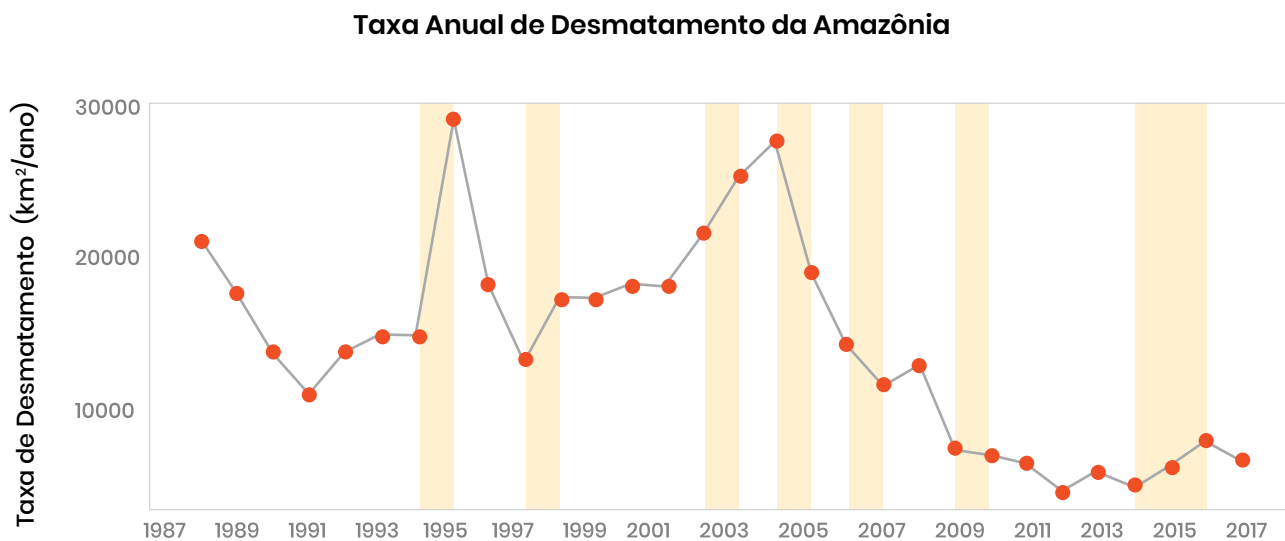
Estudos apontam que o aumento na concentração de aerossóis como consequência da queima da biomassa morta devido ao desmatamento pode alterar substancialmente os padrões de precipitação espacial e temporal na Amazônia. O trabalho inicial de pesquisadores da Universidade de São Paulo,

INPE e o Instituto Max Planck da Alemanha<sup>57, 58</sup> sugere que os aerossóis contidos na fumaça da queima de biomassa na Amazônia podem atrasar o início da estação chuvosa no sul da Amazônia, mas pouco se sabe do impacto dos aerossóis na precipitação e no ciclo da água em toda a região Amazônica.



## FIGURA 6

Taxa anual de desmatamento da Amazônia no período de 1988 a 2017 com base nos dados do Prodes (INPE)<sup>45</sup>. Os anos de *El Niño* são indicados pelas barras em rosa



Fonte: <http://ggweather.com/enso/oni.htm>

Prodes: <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>

O gado é a única variável de uso da terra correlacionada com o desmatamento na Amazônia brasileira e o pico de o desmatamento, em 2004, (Figura 6) foi principalmente o resultado do aumento da pecuária. Por meio de um melhor monitoramento, rigorosas ações legais e práticas de mercado responsáveis, o desmatamento na Amazônia diminuiu de 27.000 km<sup>2</sup> em 2004 para 6.500 km<sup>2</sup> em 2010.

As projeções de modelos climáticos sugerem uma intensificação da frequência e intensidade desses eventos extremos na região e as observações de campo também corroboram com os resultados de modelagem do clima. Como consequência, eventos climáticos de secas extremas aumentam a vulnerabilidade dos sistemas naturais e humanos e aumentam as contribuições de emissões de CO<sub>2</sub> para atmosfera por causa das queimadas em florestas<sup>64,65</sup>.

Ao reduzir o desmatamento na Amazônia, o Brasil tem evitado uma ameaça imediata. Como mostrado pelos resultados do PRODES, se o ritmo do desmatamento tivesse se mantido no ritmo dos anos 2000, um colapso da floresta em médio prazo poderia ter ocorrido. O Brasil, segundo o governo federal, já atingiu suas metas de redução de emissões de gases de efeito estufa, com a diminuição do desmatamento. Mas, nos últimos três anos (2015 a 2017) o desmatamento voltou a crescer o que pode comprometer as conquistas de redução já alcançadas.

No entanto, a Amazônia enfrenta uma ameaça que o Brasil sozinho não pode evitar. Se as nações desenvolvidas não assumirem suas responsabilidades históricas e reduzirem suas emissões per - capita de gases de efeito estufa, os ecossistemas amazônicos podem colapsar.

O Brasil também deve rever suas metas e propor metas mais ambiciosas de redução do desmatamento ilegal na Amazônia e em outros biomas.

Clima-desmatamento-variações naturais do clima na Amazônia: As variações que ocorrem naturalmente no clima da Amazônia se sobrepõem aos efeitos do desmatamento e as mudanças climáticas causadas pelas atividades humanas. Não há razão para esperar que as variações naturais ocorram independentemente das mudanças climáticas causadas por atividades antrópicas. É possível que as variações naturais se sobreponham a uma tendência do clima ou que as mudanças climáticas possam afetar as características dos ciclos de variabilidade do clima. Por exemplo, é provável que as mudanças climáticas afetem os processos que controlam o comportamento do El Niño/La Niña, o que pode modificar aspectos tais como a magnitude, a frequência ou o período dos episódios de El Niño/La Niña (isso já está sendo observado), mas o desmatamento pode aumentar as consequências dos impactos de secas associadas ao El Niño.

Ainda que não esteja claro como o El Niño/La Niña se comportará no futuro, a relação entre mudanças climáticas e sistemas de variabilidade do clima, assim como seus impactos no comportamento das secas na Amazônia<sup>59,60,64,66</sup>, podem ser agravados devido ao desmatamento<sup>68</sup>.

As mudanças na distribuição sazonal, a magnitude da precipitação e a duração da estação chuvosa podem ter importância na hidrologia da Amazônia e em outros setores (produção de energia e de alimentos, e acesso à água), uma vez que as reduções de pre-

cipitação, predominantemente em estações secas e de transição, de julho a novembro, aumentam a temperatura do ar, conforme observado durante as secas extremas de 2005, 2010 e 2016. A redução das chuvas determina uma diminuição dos níveis de água dos rios para níveis extremamente baixos e o estresse hídrico causa uma elevada mortalidade de árvores induzida pelo fogo, particularmente em áreas desmatadas<sup>34,67</sup>. Nesse cenário, a possibilidade de ter mais queimadas frequentes nessas regiões aumenta e se torna um fator crítico para conservação da floresta<sup>68</sup>.



## 4

## – Mudanças climáticas e desmatamento: impactos na floresta

Medições por satélites, observações de campo e modelos climáticos demonstram que o impacto do desmatamento sobre o clima pode depender de um limiar de área convertida de floresta pelo desmatamento, do arranjo espacial do desmatamento em relação a uma matriz de florestas, das diferentes práticas de usos do solo e dos fatores externos causados pelas mudanças climáticas em escala global<sup>8</sup>. Para pequenos enclaves de desmatamentos em extensas áreas de florestas, estudos apontam para um aumento da precipitação nas áreas desmatadas e ‘pequenas’ mudanças nas condições climáticas locais (i.e., evapotranspiração, temperatura média, frequência de chuvas). Contudo, o desmatamento em pequena escala não predomina na região<sup>22,23</sup>, era praticado para fins de subsistência de populações tradicionais e indígenas, antes da escala de ocupação intensiva da região. Atualmente, predomina a conversão da floresta para pastagens e agricultura<sup>24</sup>. Isso leva a mudanças climáticas com impactos negativos, nos ecossistemas, biodiversidade e na socioeconômica, desde a escala local até global<sup>28,29</sup>.

Brienen *et al* (2015) demonstram que na última década, houve uma redução no aumento líquido de biomassa acima do solo, sugerindo um declínio da capacidade de absorção de carbono da atmosfera pelas florestas da Amazônia. Essa importantíssima função ecológica da floresta amazônica está enfraquecida pelos efeitos de mega-secas na região, e do desmatamento e da degradação florestal associada a queimadas. Considerando o alto grau de severidade dos eventos de mega-secas de 2000, 2010 e de 2015–2016, as queimadas mais extensas e frequentes passaram a ser uma importante fonte de emissão de carbono<sup>47 71</sup>.



©Rodrigo Balleia / Greenpeace



Seca-fogo na Amazônia: Apesar de uma redução de 76% nas taxas de desmatamento nos últimos 13 anos, a incidência de fogo aumentou em 36% durante a seca de 2015 quando comparada à média dos 12 anos precedentes ao evento. Aragão et al (2018) estimaram que incêndios florestais durante anos de seca, sozinhos, contribuem com emissões anuais equivalentes a um bilhão de toneladas de CO<sub>2</sub> para atmosfera, que correspondem a mais da metade das emissões associadas ao desmatamento. Além das causas naturais da seca (El Nino e/o oceano Atlântico Tropical Norte mais quente), as queimadas derivadas da queima de material combustível seco no solo devido ao desmatamento podem também ser causadas por processos regionais que podem afetar a dinâmica do fogo. De fato, o desmatamento regional pode acelerar e potencializar os impactos da variabilidade natural do clima. Isso porque incêndios florestais podem se espalhar extensivamente durante as secas e esse processo pode influenciar as emissões de carbono na Amazônia na escala de décadas.



A Amazônia pode ser classificada como uma região sob grande risco em virtude das variações e mudanças do clima. O risco não é somente por causa das mudanças climáticas projetadas, mas também pelas interações sinérgicas com outras ameaças existentes, tais como o desmatamento, a fragmentação da floresta e as queimadas.

Redução da capacidade da floresta de sequestrar carbono: No caso de 2010, como consequência da seca intensa e das queimadas, a Amazônia passou a ser uma fonte de carbono, deixando de se comportar como sumidouro, ou seja, neste ano seco em particular o cenário do Die Back (termo usado para se referir a um possível colapso da floresta amazônica) pareceu ser comprovado<sup>52</sup>.

A perda da floresta amazônica no curto prazo pelo desmatamento direto ou no longo prazo pelas mudanças climáticas poderia ter impactos generalizados, como o aumento do risco de secas e de queimadas, os quais têm o potencial de exacerbar as mudanças do clima ou da cobertura florestal em um círculo vicioso. Ademais, esses dois fatores desencadeadores de mudanças na cobertura florestal provavelmente não atuam de forma independente um do outro.

Redução da resiliência da Floresta Amazônica: Um fator ambiental desencadeador de mudanças na Amazônia associado ao desmatamento é o aumento da vulnerabilidade de uma floresta fragmentada aos “efeitos de borda”, tais como ventos fortes e, principalmente, os incêndios florestais. Pode-se presumir que as mudanças climáticas atuando em uma região já fragmentada pelo desmatamento produzam efeitos maiores que numa região adjacente com floresta contínua (por exemplo, uma área de conservação). A fragmentação expõe a floresta a pontos de ignição, que são gerados principalmente pela ação humana, deliberada ou não. Por certo, incêndios naturais também ocorrem e influenciam a transição de floresta para área desmatada. Um modelo simplificado de clima-vegetação-incêndio natural estimou que, sob as condições climáticas atuais, a floresta tropical penetraria 200 km para dentro da savana na ausência de incêndios provocados por raios<sup>65</sup>. A expansão agrícola, em algumas regiões associadas ao aumento da precipitação, tem afetado ecossistemas frágeis, como as bordas da floresta amazônica e os Andes tropicais <sup>2</sup>

Os eventos extremos de secas e o aumento da incidência de incêndios<sup>73</sup> são mais pronunciados nas bordas entre áreas desmatadas e áreas com floresta protegida, indicando uma relação entre desmatamento e incêndio ou queimadas<sup>47</sup>. As principais opções de mitigação ligadas ao setor Agricultura, Florestas e Outros Usos da Terra que apresentam efeito positivo sobre a biodiversidade são: redução do desmatamento, manejo florestal, reflorestamento e restauração florestal<sup>86</sup>. Com relação à redução do desmatamento, é possível trabalhar com foco tanto na redução dos fatores de pressão sobre a floresta, como no aumento da sua proteção.

Formas de reduzir o desmatamento e, portanto, as emissões de CO<sub>2</sub>, são o aumento da proteção da floresta em pé. Áreas protegidas (APs) constituem uma ferramenta chave para evitar o desmatamento. Soares Filho<sup>87</sup> e colaboradores analisaram o efeito das áreas protegidas na Amazônia brasileira sobre a redução de emissões advindas do desmatamento e encontraram, para o período entre 1997 e 2008, um efeito inibidor pelos três tipos distintos de APs: Terras Indígenas, unidades de conservação de proteção integral, e unidades de conservação de uso sustentável. Além disso, de acordo com os autores, a expansão em áreas protegidas ocorrida no início dos anos

2000 foi responsável por 37% da redução do desmatamento observada entre 2004 e 2006, sem ter provocado aumento do desmatamento em outras áreas. Posteriormente, Kere e colaboradores<sup>88</sup>, com o mesmo objetivo de avaliar o efeito das áreas protegidas sobre o desmatamento na Amazônia, encontraram um efeito positivo das APs sobre redução no desmatamento entre 2005 e 2009, chamando a atenção para a importância da categoria das APs (Terras Indígenas tendem a ser mais eficientes que unidades de conservação de uso sustentável e de proteção integral) e para o fator temporal (APs criadas mais recentemente apresentam um efeito maior).

## 5

## – O Que Aprendemos com a Ciência da Modelagem do Clima?

Enquanto as mudanças climáticas são uma ameaça para a floresta amazônica a longo prazo devido ao aquecimento e às possíveis reduções da precipitação pluviométrica, o desmatamento é uma ameaça mais imediata. A Amazônia é importante para o mundo inteiro porque captura e armazena o carbono da atmosfera e também porque exerce um papel fundamental no clima da América do Sul por seu efeito sobre o ciclo hidrológico local. A floresta interage com a atmosfera para regular a umidade dentro da Bacia Amazônica, mas acredita-se que sua influência se estenda muito além de suas fronteiras, atingindo outras partes do continente. O desmatamento, a degradação florestal e as queimadas afetam o sistema climático nos níveis local, regional e global<sup>8</sup>.

A conversão de florestas pelo desmatamento muda as interações entre a atmosfera e a floresta, e entre a atmosfera e as áreas agrícolas, que, por sua vez, afetam o ciclo hidrológico e a precipitação<sup>8,30</sup>. Estas interações não podem ser estudadas *in situ* devido à falta de observações, assim se recorre ao uso dos modelos climáticos. Estes modelos numéricos representam os vários processos do sistema terrestre e as suas interações, tentando simular o que acontece na natureza de modo mais próximo a realidade. Porém as limitações sobre conhecimento de processos naturais na representação matemática desses processos podem levar a incertezas, que são inerentes a qualquer processo de modelagem.

No caso de desmatamento, procura-se estimar a diferença no balanço de energia de áreas de florestas que são convertidas pelo desmatamento, em diversas escalas (i.e., local, regional, meso e global). Esses modelos têm sido também usados para simular cenários de mudanças climáticas, considerando

**Modelo climático:** Os modelos climáticos utilizam métodos quantitativos para simular as interações da atmosfera, oceanos, superfícies continentais e gelo. São utilizados com vários propósitos que vão desde o estudo da dinâmica do sistema climático até projeções do clima futuro.

**Incerteza:** A incerteza é inerente a todas as projeções do futuro e não apenas para a modelação climática. As alterações climáticas e os impactos associados às incertezas estão relacionados com a trajetória futura das emissões, resultado do desenvolvimento global da tecnologia, do consumo de energia da população mundial e muitos outros fatores socioeconômicos, bem como a limitação nos modelos climáticos, devido ao conhecimento limitado do sistema climático e às simplificações necessárias em tais modelos.

conversão baixa e até extrema de florestas por desmatamento e um aumento na concentração de gases de efeito estufa. Por exemplo, estudos com modelos indicam que a conversão completa de florestas tropicais (i.e., na escala global) pelo desmatamento levaria a um aumento da temperatura média da atmosfera de 0.1 a 0.7 C<sup>31,32</sup>, sem nenhum impacto na precipitação média global. Contudo, os modelos climáticos apontam que impactos do desmatamento nas outras escalas (i.e., local, regional e meso) seriam significativos.



O cenário de perda completa de floresta pelo desmatamento é pouco provável, mas serve de alerta para sociedade e tomadores de decisão sobre os riscos potenciais do desmatamento sobre a mudança do clima. Existe um efeito local do desmatamento próximo às florestas. A umidade das florestas é deslocada para as áreas desmatadas contribuindo para um aumento da formação de nuvens e consequente aumento de chuvas nas áreas desmatadas.

Quando se considera apenas os resultados dos modelos climáticos em escala regional,

ou seja, na escala da Amazônia, o impacto do desmatamento sobre o clima é mais severo. Os estudos apontam para um aumento na temperatura média anual variando de 0,1 a 3,8 °C, e para uma redução de 10-30%, na precipitação anual, o que levaria a mudanças nas estações climáticas da região e também em âmbito local<sup>8</sup>. Além dos resultados de modelos, medições empíricas apontam que a variabilidade das estações úmidas e secas já está ocorrendo, afetando o início e o fim dessas estações e, portanto, alterando a sua duração<sup>33,34</sup>. No sul da Amazônia, esses estudos demonstram que a estação seca aumentou em cerca de um mês desde o início década de 1970<sup>35,36</sup>. Adicionalmente, a duração da estação seca também apresenta variações nas escalas interanual e na decadal, associadas a variabilidade natural do clima, e também devido a influência das mudanças no uso da terra na região, particularmente na forma de desmatamento<sup>39</sup>.

Como o clima da Amazônia está mudando no presente e como vai mudar até o final do século XXI: As observações de campo apontam para um aumento de temperatura média do ar na Amazônia de 0,6°C no período de 1973 a 2013<sup>38</sup>. Infelizmente não há estimativas de aquecimento para as diferentes regiões da Amazônia devido à falta de informação meteorológica. Segundo os relatórios do IPCC AR5<sup>12</sup> e do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas<sup>39</sup>, a temperatura na Amazônia deverá aumentar progressivamente de 1°C a 1,5°C até 2040 – com diminuição de 25% a 30% no volume de chuvas – entre 3°C e 3,5°C no período de 2041 a 2070 – com redução de 40% a 45% na ocorrência de chuvas – e entre 5°C a 6°C entre 2071 a 2100, para os cenários de maiores emissões de gases de efeito estufa. Os cenários que geram estas mudanças incluem mudanças na concentração de gases de efeito estufa, mas não incluem mudança no uso da terra, devido ao desmatamento ou urbanização.

Enquanto as modificações do clima associadas às mudanças globais podem comprometer o bioma em longo prazo, a questão atual do desmatamento decorrente das intensas atividades de uso

da terra representa uma ameaça mais imediata para a Amazônia, com a perda da sua biodiversidade, e para sociedade, com a redução dos seus serviços ecossistêmicos.

## 6

## – *Tipping points* na Amazônia, hipótese ou realidade?

As taxas locais de desmatamento ou o aumento dos gases de efeito estufa impulsionam globalmente as mudanças na região e podem levar a floresta amazônica a cruzar um limiar crítico (ou *tipping point*) em que uma perturbação relativamente pequena pode alterar qualitativamente o estado ou o desenvolvimento de um sistema<sup>40, 61, 84, 21</sup>.

Vários modelos projetam um risco de chuva reduzida, temperaturas mais elevadas e estresse hídrico, que podem levar a uma substituição abrupta e irreversível da floresta pela savana, sob um cenário de alta emissão de gases de efeito estufa a partir de 2050–2060 a 2100<sup>61, 84</sup>. A possível “savanização” ou “die-back” da região amazônica potencialmente teria impactos em larga escala sobre o clima, a biodiversidade e as pessoas na região. A possibilidade deste cenário de morte, no entanto, ainda é uma questão em aberto e as incertezas ainda são muito altas.<sup>82</sup>

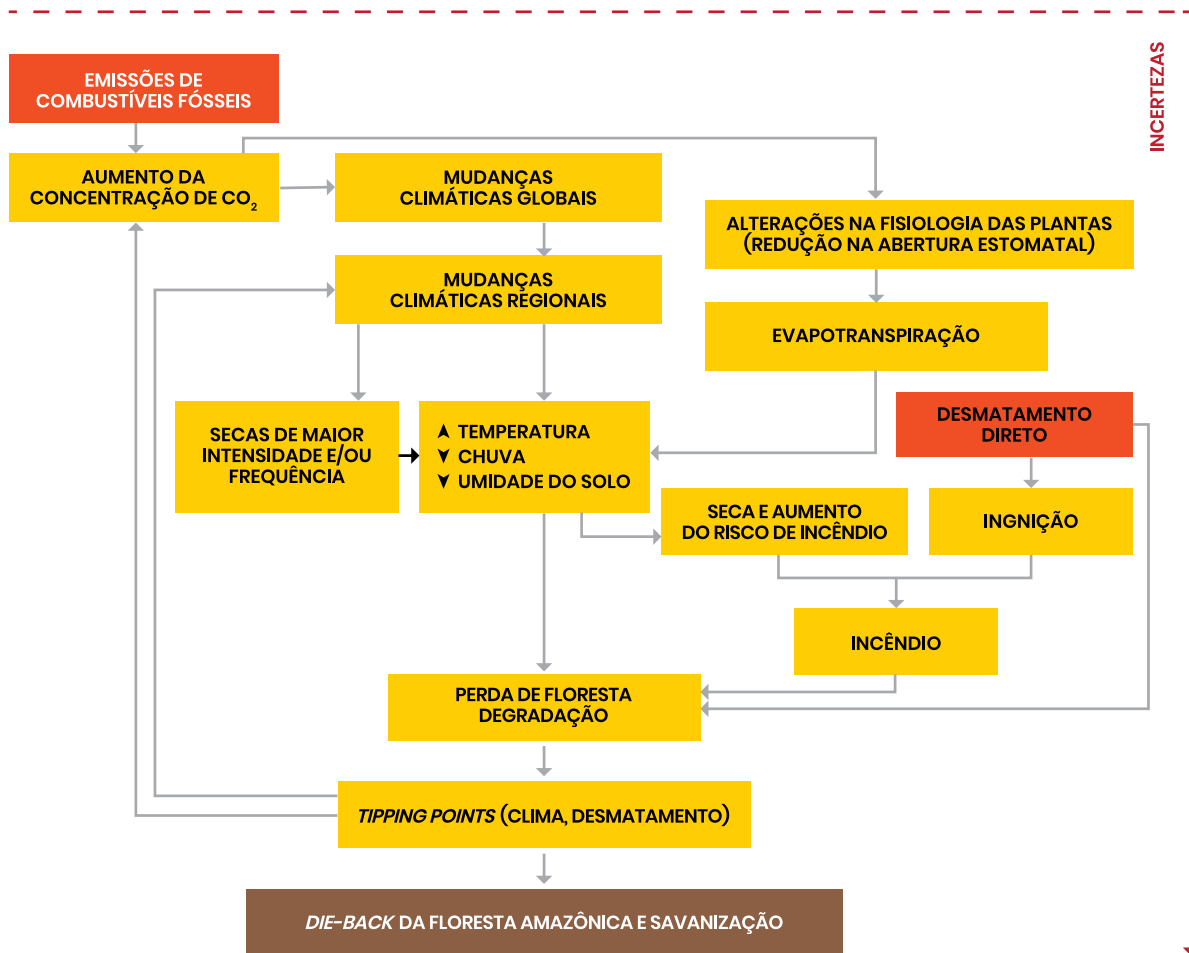
Os modelos climáticos estão ficando mais aperfeiçoados e já consideram efeitos graduais, cumulativos do desmatamento, em vez de considerar a completa remoção das florestas tropicais de forma instantânea. Os modelos também melhoraram incorporando características locais da cobertura florestal, seu arranjo na paisagem e a interação das florestas com outros ecossistemas. Isso implica em diferenças nas previsões de mudanças climáticas quando os modelos são aplicados em diferentes escalas. O conceito de *tipping point* pode ser considerado como um conceito em desenvolvimento, com um certo grau de incerteza sobre a sua ocorrência. Isso demanda mais estudos para sua validação, e um aspecto importante é que o processo de modelagem climática está ajudando a entender cientificamente o que *tipping point* representa.

*Tipping point*: Ponto de viragem, inflexão ou não retorno em que os danos são irreversíveis e, pior ainda, são cada vez mais rápidos. No caso da modelagem climática, o *tipping point* seria aquele valor limiar de aumento na temperatura do ar, na concentração de CO<sub>2</sub> ou na área desmatada que se ultrapassado pode levar a um novo estado de equilíbrio, onde extremos de clima podem afetar irreversivelmente a floresta amazônica até colapsar e mudar para um tipo de vegetação mais do tipo savana (o chamado processo de “die back” da Amazônia-Figura 7).



## FIGURA 7

Resumo dos possíveis mecanismos de die-back (colapso) da Floresta Amazônica. O CO<sub>2</sub> não é o único gás de efeito estufa emitido, mas está destacado aqui por causa de sua importância nas mudanças climáticas, seu papel no balanço de carbono na Terra e seus efeitos sobre a fisiologia das plantas na floresta amazônica. Por meio de efeitos sobre os climas regionais e global, a perda de floresta amazônica também pode ter implicações para o clima, os ecossistemas e as populações fora da Bacia Amazônica<sup>35</sup>.



A conceito de *tipping point* foi discutido por Tim Lenton<sup>40</sup> da Universidade de East Anglia, UK, para descrever limiares teóricos acima dos quais o estado de equilíbrio de um sistema pode ser afetado, levando a um novo estado de equilíbrio. No contexto climático na Amazônia, esse conceito foi introduzido por Peter Cox<sup>64</sup> do UK Met Office e por Carlos Nobre e colaboradores do INPE<sup>61, 74, 83, 84</sup> para descrever possíveis mudanças na floresta amazônica devido a aumentos na temperatura, na concentração de gases de efeito estufa ou na área desmatada. Outros estudos sugerem que a floresta poderia ser mais resiliente e que se houver uma mudança seria para uma flo-

resta secundária e não para vegetação tipo savana, como discutido por Yadvinder Mahli<sup>75, 82, 36</sup> da Universidade de Oxford e Chris Huntingford do Centro de Ecologia e Hidrologia de Wallingford-UK<sup>63</sup>.

Os primeiros modelos elaborados para responder a possibilidade de um *tipping point* e de *die back* da Amazônia em termos da extensão de áreas de desmatamento mostraram que esse *tipping point* ou ponto de inflexão poderia ser atingido se o desmatamento da floresta atingisse 40%. Nesse cenário, as regiões Central, Sul e Leste da Amazônia passariam a registrar menos chuvas e a ter uma estação seca mais longa. Além disso, a ve-



getação das regiões Sul e Leste poderia se tornar semelhantes à das savanas<sup>74</sup>. Dessa forma, as mudanças regionais decorrentes do efeito do desmatamento se somariam às provenientes das mudanças globais e constituíram condições propícias para a savanização da Amazônia – problema que tende a ser mais crítico na região oriental.

O clima futuro com um realidade de *tipping point* seria caracterizado por uma prolongação na duração da estação seca e provocaria o aquecimento superficial na região em até 4°C<sup>21,39</sup> com impactos no clima de

outras regiões e na escala global, mais difíceis de prever<sup>32,41</sup>. Há modelos também que apontam para uma maior resiliência dos ecossistemas amazônicos, com *tipping points* maiores que 50%. Caso o desmatamento alcance 40% na região no futuro, haverá uma mudança drástica no padrão do ciclo hidrológico, com redução de 40% na chuva durante os meses de julho a novembro. De qualquer forma, a floresta tropical poderia ser afetada e isso determina mudanças no ciclo hidrológico e de carbono na região e regiões próximas.

Nas últimas décadas, outros fatores além do desmatamento começaram a impactar o ciclo hidrológico amazônico, como as mudanças climáticas e o uso indiscriminado do fogo por agropecuaristas durante períodos secos – com o objetivo de eliminar árvores derrubadas e limpar áreas para transformá-las em lavouras ou pastagens. A combinação desses três fatores indica que o novo ponto de inflexão a partir do qual ecossistemas na Amazônia oriental, Sul e Central podem deixar de ser floresta seria atingido se o desmatamento alcançar entre 20% e 25% da floresta original. Estima-se que a Amazônia está muito próxima de atingir esse limite irreversível. A Amazônia já tem 20% de área desmatada, equivalente a um milhão de quilômetros quadrados, ainda que 15% dessa área [150 mil km<sup>2</sup>] esteja em recuperação<sup>85</sup>.

Os modelos também avaliam o efeito da estrutura e do tamanho da área desmatada nas mudanças climáticas, em escala local e regional e as interações nas bordas entre áreas com floresta e desmatadas. Sem desmatamento, os fluxos de vapor de água geram altos índices de precipitação. O desmatamento local pode afetar as chuvas, e o escoamento aumenta e a evapotranspiração diminui. O desmatamento regional pode influenciar a circulação, fortalecendo a convecção e aumentando chuvas intensas nas bordas das áreas desmatadas, o que pode gerar enchentes e enxurradas e aumentar a erosão do solo. Um cenário de desmatamento em toda a bacia determinaria um declínio severo na evapotranspiração e depois na reciclagem de precipitação, e ainda que pouco provável, pode enfraquecer o ciclo hidrológico e a reciclagem da umidade na Amazônia como um todo<sup>90</sup>.

Os modelos também avaliaram a estrutura espacial do desmatamento em relação a uma matriz de floresta<sup>90</sup>. Se a área desmatada apresentar um padrão espacial do tipo “tabuleiro de xadrez”, com áreas desmatadas e maciços florestais intercalados e regularmente distribuídos na paisagem, os efeitos no clima serão maiores e podem afetar estabilidade do sistema clima-solo-atmosfera. Assim, considerando as áreas protegidas como as áreas intercaladas com áreas desmatadas, a preservação de estas áreas de floresta depende também da preservação das áreas no seu entorno.

Mesmo com a ciência da modelagem climática tendo avançado nos últimos dez anos, aumentando a escala de detalhe dos modelos e sua complexidade (incluindo, por exemplo, informações sobre a composição e estrutura da paisagem), ainda há incertezas sobre o limiar do *tipping point* relativo ao percentual de perda de área de florestas que poderá levar a mudanças significativas nos ecossistemas da Amazônia no futuro. Contudo, observações de campo (empíricas) e dados de satélites têm permitido identificar, medir e monitorar os efeitos das mudanças climáticas e do desmatamento, que já estão em curso, na Amazônia e, também, o impacto do desmatamento nas escalas local e regional no presente<sup>72, 73</sup>.

Em geral, podemos dizer que os modelos climáticos estão ficando mais complexos e agora representam melhor processos antes pouco conhecidos de interação entre clima-oceanos-vegetação. Porém, podemos também dizer que os modelos representam de forma “simplificada” processos naturais, que são complexos, para que sejam processados nos computadores. Contudo, os modelos são a única forma de

representar interações de processos naturais na Amazônia, por exemplo, mudanças na vegetação ou na concentração de gases de efeito estufa que podem ser “representadas matematicamente” e os seus resultados no clima para o futuro podem ser estimados, com alguma margem de incerteza. Diante deste cenário, é necessária precaução em relação à interpretação das projeções dos modelos.



©Rodrigo Batleira / Greenpeace

## 7

## – *Tipping points* e maior risco de colapso do ecossistema florestal (die back)

Uma análise recente de Lovejoy e Nobre<sup>85</sup> sugere que fatores como a mudança climática, o desmatamento e o uso generalizado do fogo tem influência no ciclo natural da água nesta região. Interações negativas entre esses fatores significam que a Amazônia se tornará um sistema não florestal no leste, no sul e no centro da região se o desmatamento atingir algo entre 20% e 25% da extensão da região. A gravidade das secas

de 2005, 2010 e 2015 pode representar os primeiros reflexos deste ponto de inflexão ecológica. Esses eventos, junto com as fortes inundações de 2009, 2012 e 2014, sugerem que todo o sistema está oscilando. Além disso, os fatores de grande escala, como as temperaturas mais quentes da superfície do mar sobre o Atlântico Norte Tropical, também parecem interagir com as mudanças no uso da Terra.

Existe um consenso na comunidade científica que o ecossistema florestal pode ser afetado pelo clima mais seco e quente projetado até o final do Século XXI<sup>5</sup>, como mostra a Figura 7. Ainda existem incertezas em relação à ocorrência de um cenário que leve a desertificação ou savanização da Amazônia (i.e., cenário de die-back), com vegetação similar à do Cerrado. Entretanto é possível afirmar que com temperaturas mais altas e estresse hídrico maior, a floresta fica vulnerável a secas e a um maior risco de queimadas. Este cenário de die-back que acontece quando o *tipping point* é ultrapassado colocaria a floresta amazônica como emissora de carbono (e não mais com sumidouro)<sup>81,84,65,74,75</sup>. Porém, alguns estudos apontam que a floresta pode ser mais resiliente do que se pensa e poderia não ser afetada pelo die-back<sup>63</sup>.

A capacidade da vegetação para acessar a água das camadas mais profundas do solo<sup>76</sup> e o chamado efeito de fertilização por CO<sub>2</sub> foram levantados como aspectos potenciais relacionados à resiliência da floresta à seca<sup>61</sup>. O efeito da adubação com CO<sub>2</sub> é devido ao aumento da concentração desse gás na atmosfera, o que poderia potencialmente aumentar a produtividade da floresta, compensando as emissões<sup>77-79</sup>.

Apesar de uma série de incertezas sobre a continuidade deste processo a longo prazo<sup>80, 81, 82</sup>

algumas projeções dos modelos consideram o efeito favorável do enriquecimento com CO<sub>2</sub> nos estudos sobre a estabilidade do clima biológico<sup>81</sup>. Porém, como já foi apontado anteriormente, a combinação de secas extremas, com temperaturas mais altas e redução da precipitação, aliados ao aumento de queimadas, reduz a resiliência da floresta. Nessas condições, as projeções dos modelos apontaram para o risco de substituição da cobertura florestal perene por uma mais sazonal<sup>81,83,84</sup> (Figura 7).



## 8

## – Desmatamento na Amazônia em geral e em áreas protegidas

O desmatamento continua a gerar ameaças e pressões sobre as áreas protegidas (APs) da Amazônia. A taxa anual média de desmatamento entre 2015 e 2017 foi de 7015 km<sup>2</sup>/ano, ficando 35% acima da taxa mais baixa registrada, em 2012, desde quando o programa oficial de monitoramento por satélite se iniciou, em 1988 (Inpe, 2018). Um dos fatores que contribuíram para o aumento do desmatamento foram as mudanças no novo Código Florestal em 2012, com uma série de concessões e fragilização das leis ambientais (Araújo *et al.*, 2017), a redução nas operações de comando e controle e o baixo cumprimento dos acordos de desmatamento zero dos setores da pecuária e da soja. A redução do controle do desmatamento impacta direta e indiretamente as APs, contribuindo também para a redução dos seus limites e/ou recategorização de APs, para a implementação de projetos de infraestrutura, como a pavimentação de estradas e a construção de usinas hidrelétricas, e com a tentativa de legalização de ocupações ilegais dentro de unidades de conservação (Martins *et al.*, 2017). Esses fatores geram ameaças e pressões que não podem ser medidas e monitoradas por satélites.

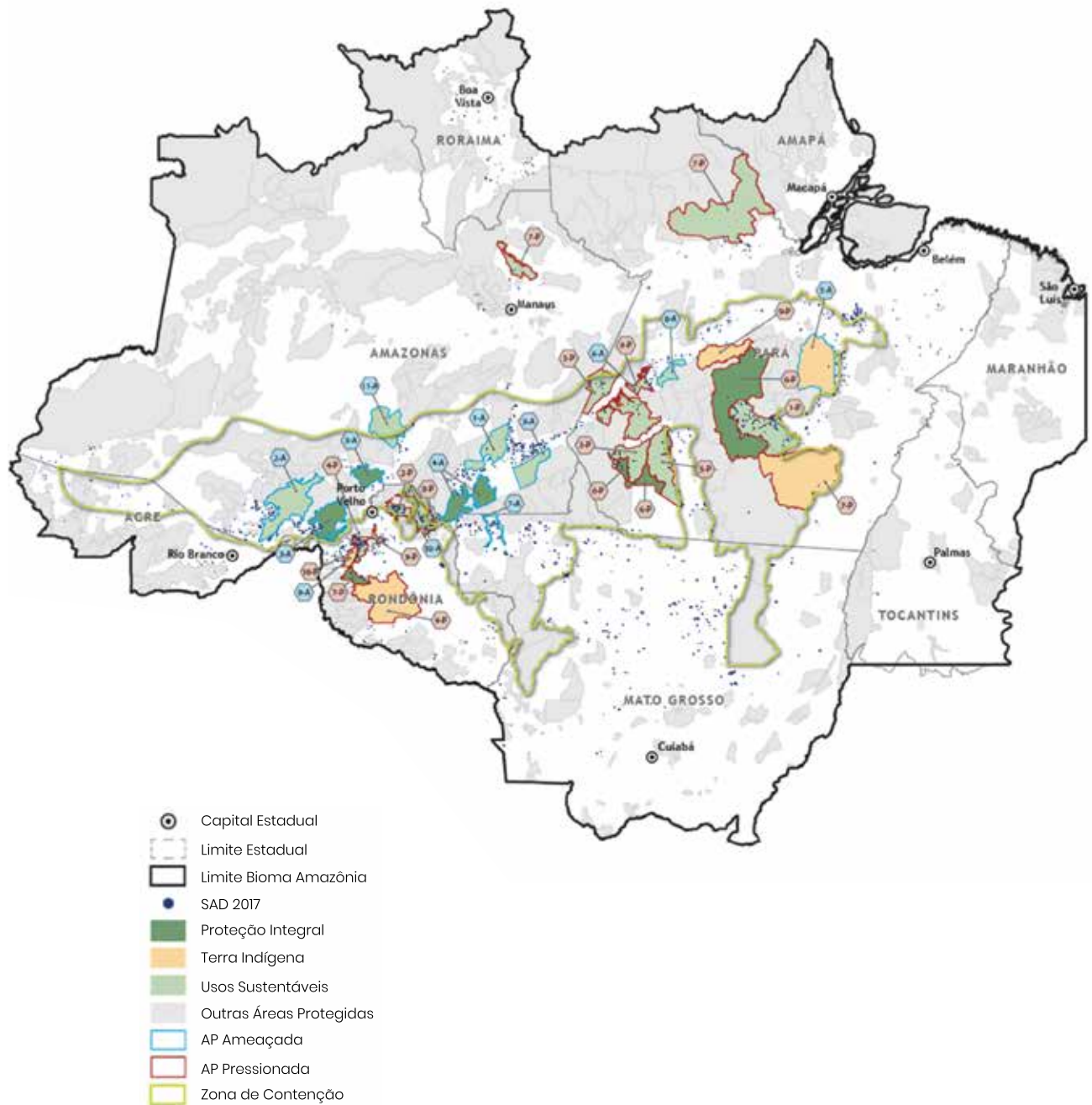
O desmatamento total em APs em 2016 foi de 1.225 km<sup>2</sup>, o que contribuiu com 15,5% do total de desmatamento na Amazônia neste ano.

Em 2017, a área total desmatada em APs na Amazônia foi de 929 km<sup>2</sup>. Isso aponta para uma redução de 13% do desmatamento em APs em relação a 2016. Apesar da redução da pressão de desmatamento neste ano, as APs continuam sob alta pressão de desmatamento. Essa pressão se distribui, nas categorias de APs, da seguinte forma: 12% nas Terras Indígenas (116 km<sup>2</sup>), 82% nas unidades de conservação de uso sustentável (759 km<sup>2</sup>), e 6% nas unidades de conservação de Proteção Integral (54 km<sup>2</sup>). As áreas protegidas mais pressionadas pelo desmatamento, ou seja, com conversão de florestas em seu interior, foram identificadas com base em alertas mensais de desmatamento do Imazon para o ano de 2017. Essas áreas protegidas estão na Zona de Contenção das frentes de expansão agrícola do Macrozoneamento Ecológico-Econômico da Amazônia Legal – MacroZEE (DECRETO Nº 7.378, DE 1º DE DEZEMBRO DE 2010) (Figura 8). O objetivo da Zona de Contenção foi alcançado, parcialmente, com a criação de várias unidades de conservação, a partir do início dos anos 2000. Contudo, essa zona está recentemente sendo alvo de desmatamentos para expansão de frentes produtivas, o que vai de encontro ao seu propósito estabelecido no MacroZEE da Amazônia Legal.

Com já foi discutido acima, a região central da Amazônia é uma das mais suscetíveis ao aumento da temperatura derivado das mudanças climáticas. Isso significa que o desmatamento deve também ser combatido fora dos limites das áreas protegidas. Com a continuidade de altas taxas de desmatamentos na Amazônia, o enorme patrimônio ambiental conquistado pela sociedade brasileira, com a criação de áreas protegidas na Amazônia, ficará sob enorme risco de climas mais secos e dos processos de *tipping point*.

### FIGURA 8

Distribuição das áreas protegidas mais ameaçadas e pressionadas em 2017 pelo desmatamento.



Fonte: Imazon - Ameaça e Pressão do Desmatamento em Áreas Protegidas.  
[https://imazon.org.br/PDFimazon/Portugues/outras/AmeacaPressao\\_APs\\_fevereiro-maio-2018.pdf](https://imazon.org.br/PDFimazon/Portugues/outras/AmeacaPressao_APs_fevereiro-maio-2018.pdf)

## – Outros Riscos das Mudanças Climáticas na Amazônia

Há também impactos das mudanças climáticas na Amazônia na área social e econômica, e na biodiversidade. Como consequência do estresse hídrico maior durante as secas, a produtividade agrícola e de pastagens podem ser drasticamente afetadas pela redução das chuvas. Por exemplo, a produtividade das pastagens pode diminuir entre 28 e 33% e a da soja em 25%, podendo chegar em alguns locais em 60% de redução<sup>3,39</sup>.

O relatório do Painel Brasileiro de Mudança do Clima<sup>39</sup> e o Plano Nacional de Adaptação às Mudanças Climáticas<sup>3</sup> revelam que o território brasileiro sofrerá um aumento incremental, ao longo do tempo, da temperatura média em todo o país, mas com intensidade variada, afetando principalmente a floresta amazônica. Pode-se apontar que os principais impactos da mudança do clima sobre as espécies e populações serão transformações: 1) na fenologia, 2) nas interações bióticas, 3) nas taxas de extinção e 4) nas distribuições das espécies. Além dos impactos associados à exposição direta dos ecossistemas e suas espécies às variáveis climatológicas, a sensibilidade dos ecossistemas é afetada por variáveis “não climáticas” que incluem: conversão desmatamento e fragmentação de ecossistemas, a ocorrência de incêndios, as lacunas de monitoramento da cobertura vegetal e fragilidades e lacunas de governança.

As mudanças no clima devido ao desmatamento das florestas tropicais globais (entre elas Amazônia) afetam áreas além da Amazônia e do continente Sul-Americano, causando mudanças no ciclo hidrológico,

precipitação e na temperatura, por meio de um processo denominado de teleconexões pelas correntes de circulação atmosféricas. Essas mudanças podem afetar outros continentes, o que significa que as emissões de carbono causadas pelo desmatamento na Amazônia gera impactos no clima que vão além dos seus limites, podendo gerar impactos na escala global. Se a Amazônia fosse desmatada total ou parcialmente, os problemas climáticos que a ausência da floresta causaria para a agricultura seriam sentidos nos Estados Unidos ou até mesmo a China<sup>8</sup>. Essas teleconexões fariam o desmatamento da Indonésia, por exemplo, afetar a Turquia, ou o desmatamento do Congo afetar a França. Além de causar problemas como secas prolongadas ou tempestades, um planeta desmatado teria uma cota extra de aquecimento global. Por causa do desequilíbrio no ciclo hidrológico global, o planeta ficaria 0,7°C mais quente em média – sem contar o aquecimento que seria causado por todo o CO<sub>2</sub> emitido pelas áreas desmatadas. A Figura 9 mostra os impactos esperados de um desmatamento geral nas regiões tropicais.



## FIGURA 9

Consequências generalizadas no clima e na agricultura de um desmatamento na região tropical (adaptado de Lawrence e Vandecar, 20158).

# O MUNDO SEM FLORESTAS

O que aconteceria se as três maiores matas do mundo fossem desmatadas

## MUDANÇAS RELACIONADAS AO DESMATAMENTO DE:



Amazônica



África Central

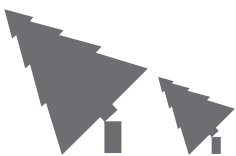


Sudeste Asiático

- ▲ Aumento das chuvas
- ▼ Redução das chuvas



Modelos indicam que secas se tornariam mais frequentes no Sudeste a partir de **40%** de desmatamento da Amazônia (hoje, esse valor é de 20%)



# 15%

do aquecimento global verificado de 1850 até hoje, aproximadamente, vem do carbono lançado na atmosfera pelo desmate



# +0,7° C

seria o aumento médio na temperatura do planeta causado pela perda dos serviços de regulação climática das florestas

# 10

## – Conclusões e Recomendações para políticas públicas

Nosso planeta possui uma série de sistemas complexos e dinâmicos, que governam sua evolução no passado, seu estado atual e suas condições futuras para todos os seus habitantes. A ação humana está alterando profundamente vários aspectos do funcionamento fundamental de nosso planeta, incluindo o balanço de radiação, e de carbono, disponibilidade hídrica, biodiversidade e o transporte de umidade para outras regiões do continente, assim como a composição da atmosfera. O entendimento do complexo sistema climático terrestre em todas suas componentes inclusive a socioeconômica é um enorme desafio científico para o país.

Temos necessidade urgente de formular políticas públicas baseadas em ciência, em questões como a disponibilidade de água, para garantir a segurança energética, hídrica, alimentar e de saúde, a necessidade premente de adaptação às mudanças climáticas e de mitigação de emissões de gases de efeito estufa.

A ciência do clima já avançou significativamente e, mesmo com incertezas que ainda precisam ser superadas (e.g., qual o *tipping point* de colapso da floresta?), as observações das últimas décadas corroboram as previsões dos modelos climatológicos de cenários de uma Amazônia mais quente, com secas extremas e prolongadas, resultando em uma floresta mais vulnerável à degradação florestal e com perda de suas funções ecológicas para sequestrar carbono, para

manter seus estoques de carbono e sua biodiversidade, e para regular o ciclo hidrológico e biogeoquímicos.

O controle do desmatamento e da degradação florestal é a forma mais rápida e eficaz para mitigar os efeitos das mudanças climáticas, que já estão em curso, e para evitar cenários catastróficos de perda de resiliência do ecossistema florestal, levando a sua conversão para outro tipo de ecossistema. Se for zerado o desmatamento na Amazônia e o Brasil cumprir seu compromisso de reflorestamento, em 2030 as áreas totalmente desmatadas na Amazônia estariam em torno de 16% a 17% <sup>85</sup>.



©Daniel Beltra / Greenpeace



©Rodrigo Baleia / Greenpeace

### Mensagem final:

O desmatamento na Amazônia segue avançando nos últimos anos (Figura ?), com um aumento em relação às metas de controle para reduzir as emissões de gases de efeito estufa do Brasil. O nosso país precisa rever as suas metas e propor metas mais ambiciosas que apontem para o desmatamento ilegal zero, e metas de restauração florestal em larga escala para implementar efetivamente o Código Florestal, considerando todos os biomas. Outro passo importante é garantir a integridade e conservação das áreas protegidas, hoje ameaçadas por grillagem de terras, desmatamentos, extração ilegal de madeira e por garimpos. Essa estratégia, além de reduzir drasticamente as emissões de gases de efeito estufa, pode contribuir com o sequestro de carbono, manter os serviços ambientais das florestas e adicionar valor aos produtos agrícolas brasileiros, além de reduzir os riscos de mudanças climáticas.





# Referências Bibliográficas

1. IPCC. *IPCC Fifth Assessment Report (AR5) – The physical science basis*. IPCC (2013). doi:10.1017/CBO9781107415324.004
2. IPCC. *IPCC Fifth Assessment Synthesis Report–Climat  Change 2014 Synthesis Report. IPCC Fifth Assess. Synth. Report–Climat  Chang. 2014 Synth. Rep.* pages: 167 (2014).
3. Ministério do Meio Ambiente, B. Plano Nacional de Adapta o Volumell   Mudança do Clima. *Plano Nac. Adapt.   Mudança do Clima Vol. II II*, 394 (2015).
4. Peters, G. P. The 'best available science' to inform 1.5  c policy choices. *Nature Climat  Change* 6, 646–649 (2016).
5. Magrin GO, Marengo JA, Boulanger JP, Buckeridge MS, Castellanos E, Poveda G, Scarano FR, Vicuna S. 2014. Central and South America. In *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press: Cambridge, UK.
6. Wolff, E. *et al.* Climat  Change Evidence & Causes. *Natl. Acedemy Sci.* 36 (2014). doi:10.17226/18730
7. Fearnside, P. M. & Laurance, W. F. Tropical deforestation and greenhouse-gas emissions. *Ecol. Appl.* 14, 982–986 (2004).
8. Lawrence, D. & VandeCar, K. Effects of tropical deforestation on climat  and agriculture. *Nature Climat  Change* 5, 27–36 (2015).
9. Spracklen, D. V. & Garcia-Carreras, L. The impact of Amazonian deforestation on Amazon basin rainfall. *Geophys. Res. Lett.* 42, 9546–9552 (2015).
10. Weng, W., Luedeke, M. K. B., Zemp, D. C., Lakes, T. & Kropp, J. P. Aerial and surface rivers: downwind impacts on wat r availability from land use changes in Amazonia. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.* 1–36 (2017). doi:10.5194/hess-2017-526
11. Kiang, J. E. & Eltahir, E. A. B. Role of ecosystem dynamics in biosphere-atmosphere interaction over the coastal region of West Africa. *J. Geophys. Res.* 104, 31173–31189 (1999).
12. Marengo, J. A. Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin. *Theor. Appl. Climatol.* 78, 79–96 (2004).
13. Bookhagen, B. & Strecker, M. R. in *Amazonia, Landscape and Species Evolution: A Look into the Past* 224–241 (2010). doi:10.1002/9781444306408.ch14
14. Sorribas, M. V. *et al.* Projections of climat  change effects on discharge and inundation in the Amazon basin. *Clim. Change* 136, 555–570 (2016).
15. Ometto, J. P., Aguiar, A. P. D. & Martinelli, L. A. Amazon deforestation in Brazil: effects, drivers and challenges. *Carbon Manag.* 2, 575–585 (2011).
16. Mertens, B., Pocard-Chapuis, R., Piketty, M. G., Lacques, A. E. & Venturieri, A. Crossing spatial analyses and livestock economics to understand deforestation processes in the Brazilian Amazon: the case of Sao Felix do Xingu in South Para. *Agric. Econ.* 27, 269–294 (2002).
17. Cochrane, M. A. & Barber, C. P. Climat  change, human land use and future fires in the Amazon. *Glob. Chang. Biol.* 15, 601–612 (2009).
18. Arraut, J. M., Nobre, C., Barbosa, H. M. J., Obregon, G. & Marengo, J. Aerial rivers and lakes: Looking at large-scale moisture transport and its relation to Amazonia and to subtropical rainfall in South America. *J. Clim.* 25, 543–556 (2012).
19. Marengo, J. A., Soares, W. R., Saulo, C. & Nicolini, M. Climatology of the low-level jet east of the Andes as derived from the NCEP–NCAR reanalyses: Characteristics and temporal variability. *J. Clim.* 17, 2261–2280 (2004).
20. Nobre, A. D. *O futuro climático da Amazônia: relatório de avalia o científica. ARA (Articulaci n Regional Amazônica)* (2014).
21. Sampaio, G. *et al.* Regional climat  change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. *Geophys. Res. Lett.* 34, (2007).
22. ROSA, I. M. D., SOUZA, C. & EWERS, R. M. Changes in Size of Deforested Patches in the Brazilian Amazon. *Conserv. Biol.* 26, 932–937 (2012).
23. Ewers, R. M. & Laurance, W. F. Scale-dependent patterns of deforestation in the Brazilian Amazon. *Environ. Conserv.* 33, 203–211 (2006).
24. Barona, E., Ramankutty, N., Hyman, G. & Coomes, O. T. The role of pasture and soybean in deforestation of the Brazilian Amazon. *Environ. Res. Lett.* 5, (2010).
25. López-Carr, D. & Burgdorfer, J. Deforestation drivers: Population, migration, and tropical land use. *Environment* 55, 3–11 (2013).
26. Geist, H. J. & Lambin, E. F. *What Drives Tropical Deforestation? A meta-analysis of proximat  and underlying causes of deforestation based on subnational case study evidence. LUCC International Project Office* 4, (2001).
27. Austin, K. G., González-Roglich, M., Schaffer-Smith, D., Schwantes, A. M. & Swenson, J. J. Trends in size of tropical deforestation events signal increasing dominance of industrial-scale drivers. *Environ. Res. Lett.* 12, (2017).
28. Malhi, Y. *et al.* Climat  change, deforestation, and the fat  of the Amazon. *Science* 319, 169–172 (2008).
29. Lawrence, D. & VandeCar, K. The impact of tropical deforestation on climat  and links to agricultural productivity. *Nat. Publ. Gr.* 5, 174 (2015).
30. Chambers, J. Q. & Artaxo, P. Biosphere–atmosphere interactions: Deforestation size influences rainfall. *Nature Climat  Change* 7, 175–176 (2017).
31. Feddema, J. J. *et al.* The importance of land-cover change in simulating future climat s. *Science* 310, 1674–8 (2005).
32. Badger, A. M. & Dirmeyer, P. A. Remote tropical and sub-tropical responses to Amazon deforestation. *Clim. Dyn.* 46, 3057–3066 (2016).
33. Espinoza, J. C. *et al.* The extreme 2014 flood in south-western Amazon basin: The role of tropical-subtropical South Atlantic SST gradient. *Environ. Res. Lett.* 9, (2014).
34. Marengo, J. A., Tomasella, J., Soares, W. R., Alves, L. M. & Nobre, C. A. Extreme climatic events in the Amazon basin. *Theor. Appl. Climatol.* 107, 73–85 (2012).
35. Marengo, J. A., Tomasella, J., Alves, L. M., Soares, W. R. & Rodriguez, D. A. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. *Geophys. Res. Lett.* 38, (2011).
36. Fu, R. & Li, W. The influence of the land surface on the transition from dry to wet season in Amazonia. *Theor. Appl. Climatol.* 78, (2004).
37. Sombroek, W. Spatial and temporal patterns of Amazon rainfall. Consequences for the planning of agricultural occupation and the protection of primary forests. *Ambio* 30, 388–96 (2001).
38. Almeida, C. T., Oliveira-J nior, J. F., Delgado, R. C., Cubo, P. & Ramos, M. C. Spatiotemporal rainfall and temperature trends throughout the Brazilian Legal Amazon, 1973–2013. *Int. J. Climatol.* 37, 2013–2026 (2017).
39. PBMC, P. B. de M. C. in *Mitiga o das mudanças climáticas. Contribui o do Grupo de Trabalho 3 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avalia o Nacional sobre Mudanças Climáticas* 463 (2014).
40. Lenton, T. M. *et al.* Tipping elements in the Earth's climat  system. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 105, 1786–1793 (2008).
41. Duffy, P. B., Brando, P., Asner, G. P. & Field, C. B. Projections of future meteorological drought and wet periods in the Amazon. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 112, 13172–13177 (2015).
42. D'Almeida, C. *et al.* The effects of deforestation on the hydrological cycle in Amazonia: A review on scale and resolution. *International Journal of Climatology* 27, 633–647 (2007).

43. Jiménez-Muñoz, J. C., Sobrino, J. A., Mattar, C. & Malhi, Y. Spatial and temporal patterns of the recent warming of the Amazon forest. *J. Geophys. Res. Atmos.* **118**, 5204–5215 (2013).
44. Erfanian, A., Wang, G. & Fomenko, L. Unprecedented drought over tropical South America in 2016: Significantly under-predicted by tropical SST. *Sci. Rep.* **7**, (2017).
45. INPE. Projeto Prodes: Monitoramento da floresta Amazônica Brasileira por satélite. Instituto de Pesquisa Espacial <http://www.obt.inpe.br/prodes/index.html> (2016).
46. Shimabakuro, Y. E., dos Santos, J. R., Formaggio, A. R., Duarte, V. & Rudorff, B. F. T. In *Global forest monitoring from earth observation* 167–183 (2012). doi:10.1201/b13040-10
47. Aragão, L. E. O. C. *et al.* 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. *Nat. Commun.* **9**, 536 (2018).
48. Jiménez-Muñoz, J. C. *et al.* Record-breaking warming and extreme drought in the Amazon rainforest during the course of El Niño 2015–2016. *Scientific Reports* **6**, (2016).
49. Lewis, S. L., Brando, P. M., Phillips, O. L., van der Heijden, G. M. F. & Nepstad, D. The 2010 Amazon Drought. *Science* (80-. ), **331**, 554–554 (2011).
50. Davidson, E. A. *et al.* The Amazon basin in transition. *Nature* **481**, 321–328 (2012).
51. Alves, L. M., Marengo, J. A., Fu, R. & Bombardi, R. J. Sensitivity of Amazon Regional Climate to Deforestation. *Am. J. Clim. Chang.* **6**, 75–98 (2017).
52. Gatti, L. V. *et al.* Drought sensitivity of Amazonian carbon balance revealed by atmospheric measurements. *Nature* **506**, 76–80 (2014).
53. Aragão, L. E. O. C. *et al.* Environmental change and the carbon balance of Amazonian forests. *Biol. Rev.* **89**, 913–931 (2014).
54. Summers, P. M., Browder, J. O. & Pedlowski, M. A. Tropical forest management and silvicultural practices by small farmers in the Brazilian Amazon: recent farm-level evidence from Rondonia. *For. Ecol. Manage.* **192**, 161–177 (2004).
55. Marengo, J. A. *et al.* Recent Extremes of Drought and Flooding in Amazonia: Vulnerabilities and Human Adaptation. *Am. J. Clim. Chang.* **2**, 87–96 (2013).
56. Marengo, J. A. *et al.* Two contrasting severe seasonal extremes in tropical South America in 2012: Flood in Amazonia and drought in Northeast Brazil. *J. Clim.* **26**, 9137–9154 (2013).
57. Andreae, M. O. *et al.* Smoking rain clouds over the Amazon. *Science* (80-. ), **303**, 1337–1342 (2004).
58. Gonçalves, W. A., Machado, L. A. T. & Kirstetter, P. E. Influence of biomass aerosol on precipitation over the Central Amazon: An observational study. *Atmos. Chem. Phys.* **15**, 6789–6800 (2015).
59. Marengo, J. A. *et al.* The drought of Amazonia in 2005. *J. Clim.* **21**, 495–516 (2008).
60. Tomasella, J. *et al.* The droughts of 1996–1997 and 2004–2005 in Amazonia: Hydrological response in the river main-stem. *Hydrol. Process.* **25**, 1228–1242 (2011).
61. Borma, L. S., Nobre, C. A. & Cardoso, M. F. in *Climate Vulnerability: Understanding and Addressing Threats to Essential Resources* 2, 153–163 (2013).
62. Ovando, A. *et al.* Extreme flood events in the Bolivian Amazon wetlands. *J. Hydrol. Reg. Stud.* **5**, 293–308 (2016).
63. Huntingford, C. *et al.* Simulated resilience of tropical rainforests to CO<sub>2</sub>-induced climate change. *Nat. Geosci.* **6**, 268–273 (2013).
64. Cox, P. M. *et al.* Increasing risk of Amazonian drought due to decreasing aerosol pollution. *Nature* **453**, 212–215 (2008).
65. 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).
66. Trancoso, R. *et al.* Deforestation and conservation in major watersheds of the Brazilian Amazon. *Environ. Conserv.* **36**, 277–288 (2009).
67. Asner, G. P., Nepstad, D., Cardinot, G. & Ray, D. Drought stress and carbon uptake in an Amazon forest measured with spaceborne imaging spectroscopy. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **101**, 6039–6044 (2004).
68. Aragão, L. E. O. C. *et al.* Spatial patterns and fire response of recent Amazonian droughts. *Geophys. Res. Lett.* **34**, L07701 (2007).
69. Shuttleworth, W. J. *et al.* Post-Deforestation Amazonian Climate – Anglo-Brazilian Research to Improve Prediction. *J. Hydrol.* **129**, 71–85 (1991).
70. Shuttleworth, W. J. Evaporation from Amazonian Rainforest. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* **233**, 321–346 (1988).
71. Anderson, L. O. *et al.* Disentangling the contribution of multiple land covers to fire-mediated carbon emissions in Amazonia during the 2010 drought. *Global Biogeochem. Cycles* **29**, 1739–1753 (2015).
72. Nepstad, D. C., Stickler, C. M., Filho, B. S. & Merry, F. Interactions among Amazon land use, forests and climate: prospects for a near-term forest tipping point. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* **363**, 1737–1746 (2008).
73. Nepstad, D. *et al.* Amazon drought and its implications for forest flammability and tree growth: a basin-wide analysis. *Glob. Chang. Biol.* **10**, 704–717 (2004).
74. Nobre, C. A. *et al.* Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **113**, 10759–10768 (2016).
75. Malhi, Y. *et al.* Exploring the likelihood and mechanism of a climate-change-induced dieback of the Amazon rainforest. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **106**, 20610–20615 (2009).
76. Jipp, P. H., Nepstad, D. C., Cassel, D. K. & Reis De Carvalho, C. Deep soil moisture storage and transpiration in forests and pastures of seasonally-dry Amazonia. in 395–412 (1998).
77. Curtis, P. S. & Wang, X. A meta-analysis of elevated CO<sub>2</sub> effects on woody plant mass, form, and physiology. *Oecologia* **113**, 299–313 (1998).
78. Norby, R. J. *et al.* Forest response to elevated CO<sub>2</sub> is conserved across a broad range of productivity. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **102**, 18052–18056 (2005).
79. IPCC. in *Climate Change 2001: The Scientific Basis* 183–237 (2001). doi:10.1256/004316502320517344
80. DeLucia, E. H., Moore, D. J. & Norby, R. J. Contrasting responses of forest ecosystems to rising atmospheric CO<sub>2</sub>: Implications for the global C cycle. *Global Biogeochem. Cycles* **19**, 1–9 (2005).
81. Lapola, D. M., Oyama, M. D. & Nobre, C. A. Exploring the range of climate biome projections for tropical South America: The role of CO<sub>2</sub> fertilization and seasonality. *Global Biogeochem. Cycles* **23**, (2009).
82. Rammig, A. *et al.* Estimating the risk of Amazonian forest dieback. *New Phytol.* **187**, 694–706 (2010).
83. Oyama, M. D. & Nobre, C. A. A new climate-vegetation equilibrium state for Tropical South America. *Geophys. Res. Lett.* **30**, n/a–n/a (2003).
84. Salazar, L. F., Nobre, C. A. & Oyama, M. D. Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. *Geophys. Res. Lett.* **34**, (2007).
85. Lovejoy, T. E. & Nobre, C. Amazon Tipping Point. *Sci. Adv.* **4**, eaat2340 (2018).
86. Serviço Florestal Brasileiro (2010) Florestas do Brasil em resumo - 2010: dados de 2005–2010. Serviço Florestal Brasileiro. – Brasília: SFB, 2010. 152 p., il.;
87. Soares-Filho BS, Nepstad DC, Curran LM, Cerqueira GC, Garcia RA, et al. (2006) Modeling conservation in the Amazon Basin. *Nature* **440**: 520–523. DOI: 10.1038/nature04389.
88. Kere EN, Choumert J, Motel A, Combes JL, Santoni O, Schwartz S (2017) Addressing Contextual and Location Biases in the Assessment of Protected Areas Effectiveness on Deforestation in the Brazilian Amazonia. *Ecological Economics*, **136**, 148–158
89. Wang, G., Sun, S. & Mei, R. Vegetation dynamics contributes to the multi-decadal variability of precipitation in the Amazon region. *Geophysical Research Letters* **38**(19), 1–5 (2011).
90. D’Almeida, C. *et al.* The effects of deforestation on the hydrological cycle in Amazonia: A review on scale and resolution. *International Journal of Climatology* **27**, 633–647 (2007).



## – Autores



### – José A. Marengo

Coordenador Geral de Pesquisa e Desenvolvimento no Cemaden (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais). Graduado em Física e Meteorologia pela Universidad Nacional Agrária de Lima, no Peru, possui doutorado em Meteorologia pela Wisconsin University e pós-doutorado em modelagem climática pela NASA-GISS e Columbia University (EUA).

#### Contato

[jose.marengo@cemaden.gov.br](mailto:jose.marengo@cemaden.gov.br)



### – Carlos Souza Jr.

Pesquisador sênior do Imazon, onde atua monitorando e mapeando as transformações da floresta, contribuindo para o Projeto MabBiomass, no Brasil, e os países da Pan-Amazônia, pela Rede Amazônica de Informação Socioambiental (RAISG). É graduado em Geologia pela Universidade Federal do Pará, com mestrado em Ciência do Solo pela Penn State University e Ph.D. em Geografia pela University of California (EUA).

#### Contato

[souzajr@imazon.org.br](mailto:souzajr@imazon.org.br)



ARTICULAÇÃO DOS POVOS  
INDÍGENAS DO BRASIL



**GREENPEACE**



PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO  
EM CIÊNCIA AMBIENTAL  
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

