



(Foto: Marcelo Camargo/Agência Brasil. Reprodução)

O desmatamento da Amazônia, seus impactos em praticamente todo o território brasileiro e sua ligação com a expansão da agropecuária são questões centrais para o Brasil lidar com as mudanças climáticas.

## Biomassas brasileiras e as mudanças climáticas

Políticas de adaptação ao novo clima, consequentes e baseadas em ciência, são necessárias e urgentes

\* Paulo Artaxo

### Resumo

As mudanças climáticas estão afetando significantemente todos os biomas brasileiros. De maneira diferenciada, todos os nossos biomas, como Amazônia, Cerrado, Pantanal, Pampas e Caatinga, estão sendo impactados, tanto pela ação humana de mudança do uso do solo, quanto pela mudança climática. A resiliência de cada um de nossos biomas está sendo afetada, pois eles evoluíram ao longo de milhares de anos com um clima razoavelmente estável ao longo do Holoceno. O Homem mudou isso. O desmatamento no Cerrado e na Amazônia alteraram porções significativas da área desses biomas. O aumento de temperatura e mudanças no regime de precipitação, com o aumento dos eventos climáticos extremos, estão alterando as funções metabólicas que sustentam o funcionamento

de nossos ecossistemas. No caso da Amazônia, que teve 19% de sua área desmatada, a degradação florestal associada ao aumento de temperatura (que em algumas regiões já atingem 2.2 °C) e a redução da precipitação (em algumas regiões de 10 a 15%) trazem stress hídrico à vegetação e alteram a evapotranspiração e alocação de carbono no ecossistema. Nosso Cerrado, conta com alta taxa de conversão à agricultura, e com fortes alterações no regime hidrológico. O Pantanal tem sofrido, nos últimos cinco anos, com queimadas intensas que impactam a fauna e a flora de modo significativo. Por outro lado, o Pampa está sofrendo inundações recorrentes e nossa caatinga está mais seca e mais quente. Essas alterações climáticas estão acentuando a perda de biodiversidade, significativa em todos os biomas, embora difícil de quantificar precisamente. Temos tarefas urgentes, como implementar os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, bem como cumprir com nossos compromissos associados ao Acordo de Paris. Precisamos zerar o desmatamento da Amazônia até 2030 e implementar planos de proteção ao Cerrado e demais biomas. Em paralelo, temos também de reduzir nossas imensas desigualdades sociais e edificar um desenvolvimento que seja realmente sustentável.

**Palavras-chave:** Biomas brasileiros; Mudanças climáticas; Amazônia; Cerrado; Pantanal; Caatinga.

## As mudanças climáticas

As mudanças climáticas certamente são uma das maiores ameaças à nossa sociedade e ao planeta [1], com importantes impactos em todos os ecossistemas brasileiros. As atividades econômicas (principalmente produção de combustíveis fósseis e desmatamento de florestas tropicais) são responsáveis pela emissão anual de 62 bilhões de toneladas de gases de efeito estufa anualmente. Essas emissões têm crescido, nas últimas décadas, a taxas anuais da ordem de 2% a 4% [2]. Esse aumento da concentração de gases de efeito estufa é o responsável pela maior retenção de energia na atmosfera, o que eleva a temperatura planetária. Até o momento, já temos um aumento médio de temperatura de 1.2 °C ao longo dos últimos 100 anos. Esse aumento de temperatura não é homogêneo, com algumas regiões, como o vale do Rio São Francisco e a região Leste da Amazônia, já se aquecendo em cerca de 2.3 °C.

Também estamos observando fortes alterações no regime de chuvas, com redução na precipitação média da ordem de 20% no Nordeste brasileiro, e de cerca de 15% na região Leste da Amazônia.

Globalmente, o nível do mar já subiu 24 cm nos últimos 100 anos, mas com variabilidades regionais importantes, com o Nordeste brasileiro sendo uma região muito vulnerável ao aumento do nível do mar. Uma das faces mais visíveis das mudanças climáticas é o aumento da frequência e da intensidade dos chamados eventos climáticos extremos, como chuvas muito fortes, ondas de calor e secas prolongadas. No início de 2023, observamos chuvas intensas atingirem o litoral do estado de São Paulo, causando destruição e mortes, particularmente para

a população mais vulnerável. Em 2022, vimos também fortes cheias na Bahia e em Minas Gerais. E uma seca muito forte e prolongada no Brasil Central afetou a produção agrícola e a geração de hidroeletricidade, em 2021 e 2022. Uma estiagem forte no Rio Grande do Sul, em 2022, também prejudicou a produção de alimentos no estado, seguida de alagamentos importantes, em 2023.

A queima de combustíveis fósseis (gasolina, diesel, carvão, gás natural etc.) é responsável por 80% das emissões globais de gases de efeito estufa, enquanto o desmatamento de florestas tropicais, como a Amazônia, é responsável por cerca de 20% das emissões globais. Se continuarem as atuais emissões, a temperatura média do planeta pode aumentar em cerca de 3 °C ao longo deste século. Nas regiões continentais, como o Brasil, esse aumento médio de 3 °C se converte em aumento regional de 4 a 4.5 °C. A Organização Meteorológica Mundial (OMM), o Sistema Copernicus da Comunidade Europeia e a agência atmosférica dos Estados Unidos (NOAA)

**“Já temos um aumento médio de temperatura de 1.2 °C ao longo dos últimos 100 anos.”**

**"Uma das faces mais visíveis das mudanças climáticas é o aumento da frequência e da intensidade dos chamados eventos climáticos extremos, como chuvas muito fortes, ondas de calor e secas prolongadas."**

declararam que 2023 é o ano mais quente dos últimos 125.000 anos. Tal aumento intenso e rápido de temperatura tem forte impacto no funcionamento de todos os ecossistemas terrestres e marinhos.

De acordo com cenários diferentes de emissões ao longo das próximas décadas, o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) do ONU faz previsões de aumento médio de temperatura do planeta de 2.8 a 4.3 °C (Figura 1) [2]. O cenário mais favorável (SSP2-4.5) implica no atingimento das metas do Acordo de Paris por todos os países. O cenário de altas emissões (SSP5-8.5) implica a continuidade das emissões atuais, sem fortes políticas de reduções de emissões.

A Figura 2 apresenta a distribuição geográfica do aumento de temperatura desde 1750, para um aquecimento médio de 4 °C no planeta como um todo [2]. Observamos uma forte variabilidade espacial, com os continentes se aquecendo 1 a 1.5 °C a mais que a média

global. O Brasil, em particular, pode se aquecer de 5 a 5.5 °C, dependendo da região, o que trará enorme impacto no funcionamento dos ecossistemas.

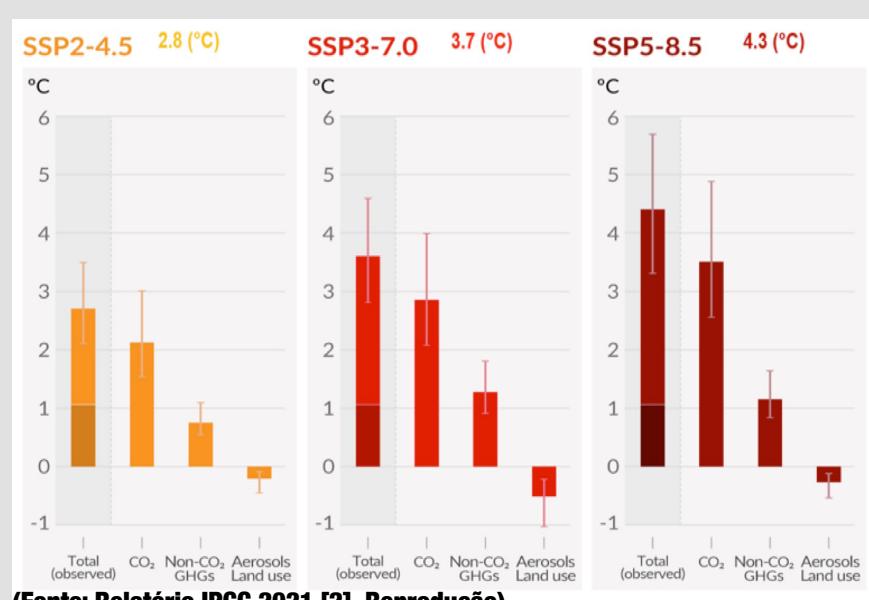
Outra mudança importante no clima refere-se à precipitação, em que o Brasil Central, a Amazônia e o Nordeste poderão ter redução importante de chuva, enquanto o sul do Brasil e o norte da Argentina podem ter aumento de precipitação. Precipitação é a chave para o funcionamento dos ecossistemas.

### Integrando a proteção da biodiversidade à mitigação das mudanças climáticas

Estamos em plena era do Antropoceno, na qual o homem é um dos principais agentes transformadores [3]. O crescimento da população humana mundial, que poderá

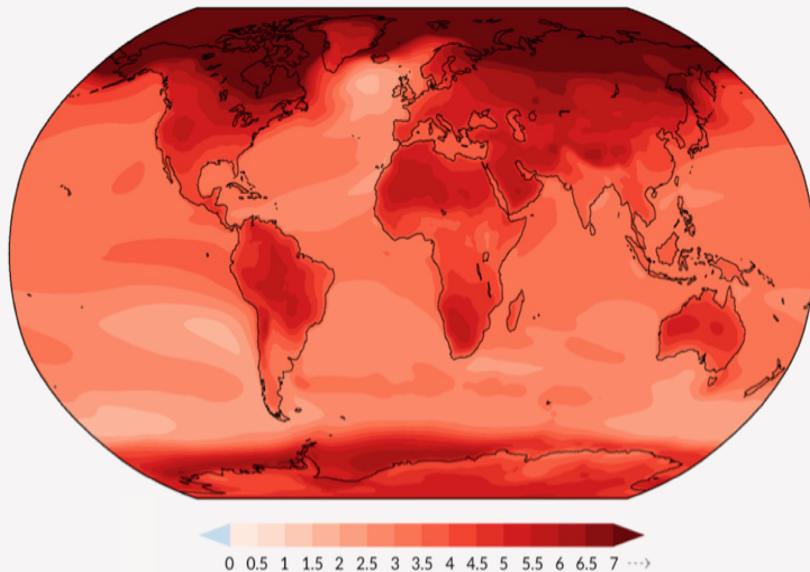
alcançar cerca de 10 bilhões de habitantes em 2050, nos coloca frente a um dos maiores desafios do século XXI: manter a provisão da qualidade ambiental e possibilitar acesso justo a recursos básicos, como água, alimentos e energia, garantindo a segurança e a equidade em um cenário de mudanças climáticas e desigualdades sociais. Essa questão é bem trabalhada no último relatório do *Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services* (IPBES) [4] que coloca o colapso dos serviços ecossistêmicos na agenda ambiental.

Os serviços ecossistêmicos englobam todos os materiais que consumimos providos pelos ecossistemas, sejam alimentos (frutos, raízes, animais, mel, vegetais), matérias-primas para construção e combustível (madeira, biomassa, óleos de plantas), água potável (qualidade e quantidade) e recursos genéticos, entre outros. A resiliência dos ecossistemas e sua capacidade de reagir



(Fonte: Relatório IPCC 2021 [2]. Reprodução)

**Figura 1.** Aumento médio previsto na temperatura do nosso planeta, de acordo com três cenários de emissões de gases de efeito estufa.



(Fonte: Relatório IPCC 2021 [2]. Reprodução)

**Figura 2.** Distribuição geográfica do aumento de temperatura ao longo deste século, para um aquecimento médio de 4 °C no planeta como um todo. Observamos que o Brasil pode ter um aumento de temperatura de 5.0 a 5.5 °C.

a mudanças estão sujeitos, em grande parte, à sua biodiversidade.

As alterações observadas na temperatura e na chuva já estão impactando o funcionamento dos ecossistemas em praticamente todas as regiões do nosso planeta. Mudanças climáticas podem, por exemplo, levar a desencontros entre a época da floração e a atividade dos polinizadores, afetando a produtividade de culturas e de ecossistemas naturais, com consequências ainda imprevistas para a manutenção da biodiversidade e da produção de alimentos. Também perturbam os padrões ecossistêmicos da fotossíntese e da produtividade, podendo modificar os ciclos hidrológicos e a dinâmica do ciclo do carbono.

Os efeitos sinérgicos da mudança do uso da terra, incluindo a fragmentação e a redução de vegetação nativa e mudanças do clima podem

aumentar a ação de pragas, reduzindo os polinizadores e exigindo medidas de mitigação ou adaptação para garantir a produtividade de muitas culturas alimentares no Brasil e ao redor do mundo. A vulnerabilidade da nossa biota e ecossistemas aumenta significativamente e, consequentemente, reduz a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos associados, vitais para nosso país.

Na Amazônia, o aumento da produção de biomassa, a aceleração do ciclo de vida das árvores, as alterações na distribuição e a abundância de espécies estão entre as mudanças relacionadas ao efeito fisiológico da elevação de CO<sub>2</sub> atmosférico, que são também influenciadas pela disponibilidade de nutrientes nos solos, em particular, o fósforo. Em nossa vasta plataforma continental oceânica, nosso conhecimento é ainda mais restrito em decorrência da falta de

programas de monitoramento e das especificidades dos estudos nesse ambiente. No ambiente marinho, o aquecimento dos oceanos (que atingiu em média 1 °C) tem promovido a migração de espécies e estoques pesqueiros para maiores latitudes.

Para melhorar a detecção e atribuição dos efeitos das mudanças climáticas na biodiversidade e ecossistemas brasileiros, é fundamental melhorar nosso entendimento dos serviços ecossistêmicos relacionados e analisar possíveis respostas a cenários futuros de aquecimento, prevendo e sugerindo medidas de mitigação e adaptação e procedimentos de remediação.

## Mudanças de uso do solo e impactos nos ecossistemas

Por uma série de razões, a Amazônia é uma região estratégica para o planeta e para o Brasil [3, 5]. Contempla a maior floresta tropical do mundo, com uma área aproximada de 6,7 milhões de km<sup>2</sup>, dos quais 5,5 milhões de km<sup>2</sup> estão em território brasileiro; sua bacia hidrográfica é o maior sistema fluvial do planeta, e a floresta está distribuída entre nove países (Brasil, Bolívia, Colômbia, Equador, Guiana Francesa, Guiana, Peru, Suriname e Venezuela). A Amazônia também hospeda uma gigantesca e complexa biodiversidade. Desempenha papel fundamental na provisão de produtos e serviços ambientais, no ciclo do carbono e na regulação do clima. É o maior reservatório de carbono em regiões continentais, contendo cerca de 120 bilhões

de toneladas de carbono, ou o equivalente a 10 anos de toda a queima de combustíveis fósseis. Presta serviços ecossistêmicos essenciais para a sociedade e para a economia brasileira. Tem uma vasta população tradicional e indígena, detentora de ativos de valores inestimáveis, como conhecimento, línguas e cultura [6].

A questão do desmatamento da Amazônia, seus impactos em praticamente todo o território brasileiro e sua ligação com a expansão da agropecuária são questões centrais para o Brasil. A Figura 3 apresenta as taxas anuais de desmatamento da floresta amazônica, produzidas pelo sistema de monitoramento PRODES (Programa de Desmatamento) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), no período de 1977 a 2023. Observamos a forte redução na taxa de desmatamento de 2003 a 2011, na época de grande expansão da atividade agropecuária, mostrando que as duas questões não estão diretamente interligadas.

É consenso, para a ciência, que a preservação da floresta é fundamental para a sustentabilidade do planeta [7]. O bioma amazônico é rico em diversidade cultural, linguística, biológica e geológica, e investimentos em ciência, tecnologia e inovação, em pesquisas básicas e aplicadas, são estratégicos para a sua compreensão e sustentabilidade. No entanto, apesar de ser caracterizada como a região que hospeda a maior biodiversidade natural do país, o seu desenvolvimento socioeconômico em torno

de atividades relacionadas à floresta ainda não alcançou escala de projeção em todo o seu potencial. Há um gigantesco desafio no âmbito da regularização fundiária, e faltam planos concretos de crescimento econômico inclusivo e sustentável. O sistema *MapBiomas* de mapeamento da cobertura do solo de nosso país é um excelente exemplo de esforços em tornar transparente e com fácil acesso à sociedade o impacto das mudanças do uso do solo para todo o território nacional.

## A adaptação do Brasil ao novo clima

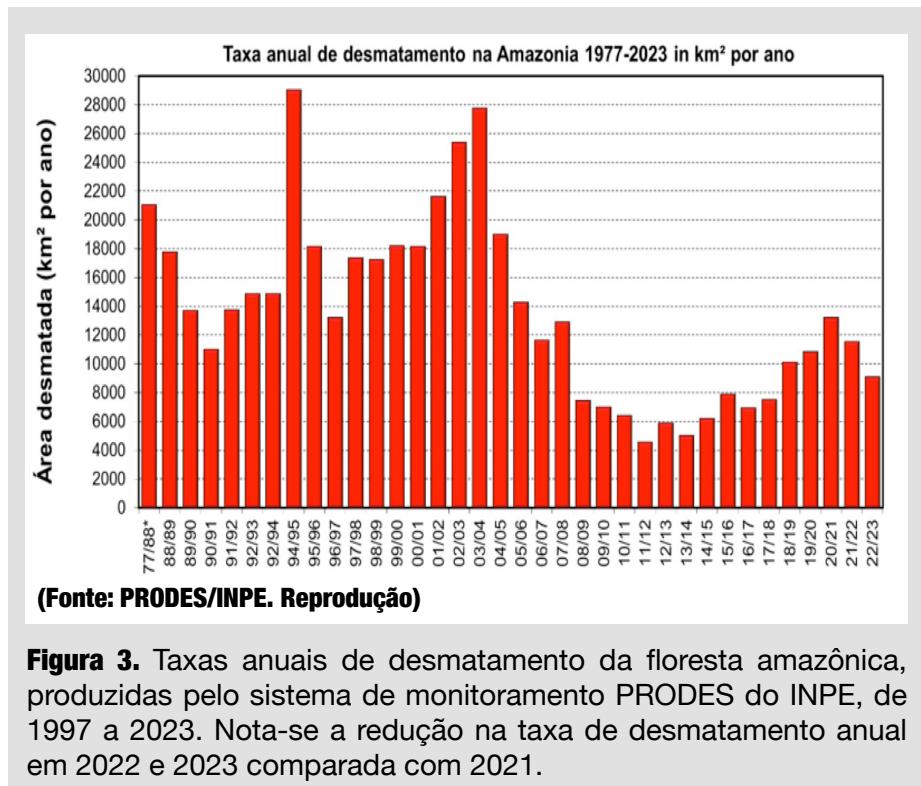
A localização tropical, a estrutura socioeconómica fortemente dependente do regime de chuvas, as inadequações urbanísticas

e enormes desigualdades sociais fazem do Brasil um país singular, ambientalmente falando. No contexto das mudanças climáticas, esforços de adaptação podem gerar vários benefícios adicionais, como melhoria da produtividade agrícola, inovação, saúde e bem-estar, segurança alimentar, conservação da biodiversidade, bem como redução de riscos e danos.

As ações de adaptação climática – compreendida como processos de ajustamentos para antecipar impactos adversos das mudanças climáticas que resultam na redução da vulnerabilidade – tendem a ser mais facilmente implementadas e organizadas quando buscam sinergias com políticas, recursos e outras medidas já existentes, incluindo ações visando à sustentabilidade, qualidade de vida e melhoria de infraestrutura.

O Brasil tem um plano de adaptação climática (PNA), lançado em 2016, que visa orientar iniciativas para gestão e redução dos riscos provenientes dos efeitos adversos das mudanças climáticas, no médio e no longo prazo e nas dimensões social, econômica e ambiental. Todavia, até o momento, um planejamento de longo prazo voltado à adaptação climática ainda não ganhou projeção no país como um todo. Entre as razões para esse atraso estão a própria complexidade envolvida na adaptação, as limitações econômicas, institucionais e políticas e, em particular, nas cidades, as relações de interdependência entre mudanças do clima, dinâmicas do planejamento urbano e questões políticas. Recentemente, o Ministério da

**“No contexto das mudanças climáticas, esforços de adaptação podem gerar vários benefícios adicionais, como melhoria da produtividade agrícola, inovação, saúde e bem-estar, segurança alimentar, conservação da biodiversidade, bem como redução de riscos e danos.”**



**Figura 3.** Taxas anuais de desmatamento da floresta amazônica, produzidas pelo sistema de monitoramento PRODES do INPE, de 1997 a 2023. Nota-se a redução na taxa de desmatamento anual em 2022 e 2023 comparada com 2021.

Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) e o INPE lançaram a plataforma Adapta Brasil, que sugere uma série de políticas públicas a serem implementadas.

Embora melhorias nos níveis de renda, educação, saúde e outros indicadores socioeconômicos sejam importantes para reduzir a vulnerabilidade às mudanças do clima em geral, considerando o conjunto de riscos específicos que as alterações climáticas representam para as cidades (por exemplo, inundações, secas, aumento do nível do mar, ilhas de calor), há também uma necessidade urgente de considerar as capacidades específicas necessárias para superar e se recuperar desses estressores, incluindo, por exemplo, mapeamentos de áreas de risco, sistemas de alerta precoce e planejamento de enfrentamento a desastres naturais.

A falta de dados e de informações úteis e utilizáveis,

que possam ser mobilizadas para subsidiar gestão, planejamento e governança, é frequentemente identificada como uma das principais barreiras para o avanço da adaptação às mudanças climáticas, traduzindo-se em paralisa e inação por parte dos tomadores de decisão. Nesse contexto, tão importante quanto a capacidade de produzir informação técnico-científica que seja facilmente convertida em estratégias, políticas e ações de adaptação, é promover maior envolvimento dos usuários da informação (os atores institucionais, por exemplo) na produção e na circulação do conhecimento. A produção e disponibilização desses dados, que incluem métricas robustas e possam ser atualizados periodicamente e que estejam conectados às especificidades da realidade brasileira, considerando um conjunto de variáveis que refletem na capacidade adaptativa, podem

impulsionar ações e políticas públicas de adaptação.

Nesse cenário, as pesquisas também devem buscar compreender melhor as respostas sociais e individuais às mudanças climáticas, levando em conta que os governos, embora cumpram papel importante no planejamento efetivo de adaptação, não são capazes, sozinhos, de resolver a crise climática dada sua complexidade e multidimensionalidade [8, 9]. Ademais, é preciso entender que adaptação requer parcerias, alianças estratégicas e outras formas de colaboração entre diferentes setores e organizações. Pesquisas sobre as melhores estratégias de adaptação são essenciais, pois essas, em geral, envolvem soluções locais ou regionais.

## Considerações finais

É possível reverter os impactos das mudanças climáticas nos ecossistemas brasileiros? Infelizmente, a resposta para esta importante pergunta é não. Com as atuais emissões de gases de efeito estufa, o planeta está em uma trajetória de aumento médio de temperatura de 3 °C. Nos últimos 100 anos, já observamos um aumento de 1.2 °C, e devemos atingir 1.5 °C nesta década, segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM). Portanto, nossa sociedade vai viver um aumento importante de temperatura, conjugado com aumento da frequência e intensidade dos eventos climáticos extremos e de alterações fortes no padrão da precipitação na maior parte do país.

Precisamos urgentemente de políticas de adaptação

ao novo clima que sejam consequências e baseadas em Ciência. É importante sempre salientar que a população de mais baixa renda é a que mais sofre os impactos da mudança climática, seja nos eventos climáticos extremos, no aumento dos preços dos alimentos, nas dificuldades de acesso à água, e outros impactos importantes.

Do mesmo modo, é importante enfatizar que o IPCC coloca que temos todas as tecnologias necessárias para reduzir pela metade as emissões de gases de efeito estufa. O custo da produção de energia por meio de energia solar e eólica é menor hoje do que queimar petróleo, gás natural ou carvão. E por que a transição energética não ocorre? Os governos dos 196 países da ONU são essencialmente controlados pela indústria de energia, do petróleo e atividades relacionadas, tais como produção de automóveis, infraestrutura industrial etc.

É essencial que o Brasil aproveite suas vantagens estratégicas na questão das mudanças climáticas. Cerca de 50% de nossas emissões de gases de efeito estufa estão associadas ao desmatamento da Amazônia. Nenhum outro país de nosso planeta pode reduzir suas emissões em 50% muito rapidamente e com pouquíssimo custo, além de receber com isso muitos cobenefícios ambientais e econômicos. O Brasil tem o maior programa de biocombustíveis do mundo. Temos também o maior potencial mundial de geração solar e eólica do planeta.

Porém, o Brasil também tem suas vulnerabilidades. Temos uma economia baseada no agronegócio, que é sensível à chuva e ao clima. Nossa geração de hidroeletricidade depende da

chuva. O Nordeste brasileiro está em processo de desertificação e pode ser uma região onde atividades econômicas sejam difíceis daqui a algumas décadas. Também temos 8.500 km de áreas costeiras que são vulneráveis ao aumento do nível do mar, e muitas cidades na costa que podem sofrer impactos significativos enquanto o mar avança.

As mudanças climáticas que já ocorreram são irreversíveis em escala de tempo de alguns milhares de anos, pois o tempo de permanência na atmosfera dos gases de efeito estufa pode ser medidos em séculos ou milênios. O único processo conhecido de remover dióxido de carbono da atmosfera na escala necessária é a fotossíntese. Mas, plantar árvores na escala necessária para reverter as emissões já feitas não é algo viável ou possível.

Aumentar a resiliência socioambiental é muito importante. Para além do potencial impacto nos ecossistemas e em nossa sociedade, as mudanças climáticas podem ser vistas como uma oportunidade para transformações socioeconômicas significativas e para agilizar o desenvolvimento em diversos setores, incluindo indústria, agronegócio, sistemas de energia, transportes etc., buscando a transição para uma sociedade mais sustentável.

As mudanças do clima já estão causando impactos significativos em todos os cantos do globo, mas são a oportunidade de refazer a estrutura socioeconômica de nosso planeta. É claro que o atual modelo de desenvolvimento socioeconômico que temos é insustentável. As desigualdades socioeconômicas e o modelo

de exploração predatória da natureza associada ao nosso sistema estão levando a destruição de nossa sociedade. Vamos trabalhar para que os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS) (Figura 4) sejam o guia para a construção de uma nova sociedade, com menos desigualdades sociais e mais sustentável.

Temos como tarefa auxiliar o país a desenvolver estratégias baseadas em ciência para que o Brasil cumpra suas obrigações internacionais (as *National Determined Contribution - NDC*) associadas ao Acordo de Paris. O auxílio na formulação de políticas públicas baseadas em ciência em todos os níveis (municipal, estadual, nacional e global) é tarefa fundamental. Essas atividades exigirão grande esforço científico da academia em parceria com os vários setores da sociedade. A adaptação às mudanças climáticas nas diversas regiões do nosso país também requererá o desenvolvimento de ciência olhando para as necessidades da sociedade. Os desafios envolvidos na redução do impacto das ações humanas no ambiente, alinhados à necessidade do desenvolvimento sustentável e redução de desigualdades sociais, passam pelo desenvolvimento de sólidos resultados científicos [9].

Levando em conta as questões científicas, de governança, finanças e novas tecnologias, poderemos construir um futuro mais resiliente, sustentável e justo, preservando os serviços ecossistêmicos, por meio de estratégias adequadas de adaptação e mitigação de emissões [8]. Este processo está associado aos ODS, já que temos de atender às necessidades



**Figura 4.** Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estruturados na Agenda 2030, que são um guia para a construção de uma nova sociedade, mais sustentável e com menos desigualdades sociais.

básicas da população (educação, saúde, igualdade de gênero, erradicação da pobreza, fome zero, água limpa e outros) e, ao mesmo tempo, respeitar os limites da disponibilidade dos recursos naturais de nosso planeta. Essas são somente algumas das importantes questões que o Brasil terá de enfrentar, e soluções baseadas em ciência sólida certamente têm mais chances de garantir uma trajetória sustentável ao nosso país.

\* Paulo Artaxo é professor do Departamento de Física Aplicada do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (USP). É membro titular da Academia Mundial de Ciências (TWAS), do INCT Mudanças Climáticas, do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) e vice-presidente da SBPC. É coordenador do Centro de Estudos Amazônia Sustentável da Universidade de São Paulo (CEAS-USP).

## Referências

- [1] ARTAXO, P. As três emergências que nossa sociedade enfrenta: saúde, biodiversidade e mudanças climáticas. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 34, n. 100, 2020.
- [2] MASSON-DELMOTTE, V.; ZHAI, P.; PIRANI, A.; CONNORS, S. L.; PÉAN, C.; CHEN, Y.; GOLDFARB, L.; et al. *IPCC 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.
- [3] ARTAXO, P. Uma nova era geológica em nosso planeta: o Antropoceno? *Revista USP*, São Paulo, v. 103, p. 8-12, 2014.
- [4] IPBES 2019 - Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. *Global assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. Bonn: IPBES, 2019.
- [5] ARTAXO, P.; HANSSON, H. C.; MACHADO, L. A. T.; RIZZO, L. V. Tropical forests are crucial in regulating the climate on Earth. *PLOS Climate*, v. 1, n. 8, 2022.
- [6] ARTAXO, P.; HANSSON, H. C.; ANDREAE, M. O.; BÄCK, J.; ALVES, E. G.; BARBOSA, H. M. J. et al. Tropical and Boreal Forest – Atmosphere Interactions: a review. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, v. 74, p. 24-163, 2022.
- [7] NOBRE, C.; ENCALADA, A.; ANDERSON, E.; NEVES, E. G. *Science panel for the Amazon: Amazon Assessment Report 2021 - executive summary*. New York: Science panel for the Amazon, 2021.
- [8] ARTAXO, P. Break down boundaries in climate research. *World View Section*, v. 481, n. 239, 2012.
- [9] ARTAXO, P. Working together for Amazonia. *Editorial Science Magazine*, v. 363, n. 6425, 2019.