

Poluição do ar e mudanças climáticas: caminhos para uma abordagem integrada

Air pollution and climate change: pathways towards an integrated approach

Paulo Artaxo



resumo

A poluição do ar e as mudanças climáticas estão entre os maiores desafios ambientais e de saúde pública do século XXI. Embora muitas vezes tratadas de forma separada, ambas compartilham aspectos comuns, sobretudo na queima de combustíveis fósseis, na mudança do uso da terra e em processos industriais intensivos em energia. Do ponto de vista institucional, um dos maiores desafios é superar a fragmentação entre os setores de meio ambiente, energia, saúde, transporte e planejamento urbano. A construção de agendas alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) é fundamental para que a integração se concretize.

Palavras-chave: COP30; mudanças climáticas; poluição do ar; saúde humana.

abstract

Air pollution and climate change are among the greatest environmental and public health challenges of the 21st century. Although often treated separately, both share common aspects, particularly the burning of fossil fuels, land-use change, and energy-intensive industrial processes. From an institutional perspective, one of the greatest challenges is overcoming the fragmentation between the environment, energy, health, transportation, and urban planning sectors. Building agendas aligned with the Sustainable Development Goals (SDG) is essential for this integration to be achieved.

Keywords: COP30; climate change; air pollution; human health.

A

s mudanças climáticas e a COP30 são tópicos comuns hoje na imprensa e nos debates. Há 30 ou 40 anos, falávamos das mudanças climáticas como algo para o futuro, para o fim deste século. Mas a mudança climática já chegou com toda a sua força, e em sua face mais visível, que é o aumento da frequência e intensidade dos eventos climáticos extremos. E os impactos socioeconômicos são significativos em muitas áreas.

A 30^a Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (COP30), que ocorrerá em Belém do Pará, representa um momento crucial para o enfrentamento da crise climática. Neste contexto, a convergência entre a ciência climática e a transformação das organizações ganha destaque como eixo estratégico para

avançar nas soluções que o planeta urgentemente demanda. Já aquecemos o planeta em 1,55 grau Celsius, ao longo dos últimos 150 anos. O aumento da frequência e intensidade dos eventos climáticos extremos é facilmente observado em todo o planeta.

O Brasil, com sua vasta biodiversidade e uma economia que depende fortemente do clima, enfrenta desafios significativos à medida que os padrões climáticos continuam a mudar. Os impactos climáticos afetam a produtividade da agropecuária e a produção de hidroeletricidade de maneira intensa, aumentando o preço de alimentos e energia, penalizando especialmente a população mais pobre de nosso país. A infraestrutura brasileira, incluindo cidades e

PAULO ARTAXO é professor titular do Instituto de Física da USP, coordenador do Centro de Estudos Amazônia Sustentável (Ceas) da USP e membro do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) da ONU.

sistemas de transporte, é bastante vulnerável a eventos climáticos extremos. Inundações e deslizamentos de terra, que têm se tornado mais frequentes, causam danos econômicos e sociais significativos e geram custos elevados para reparação e adaptação.

A poluição do ar e as mudanças climáticas estão entre os maiores desafios ambientais e de saúde pública deste século. Embora muitas vezes tratadas de forma separada, ambas compartilham origens comuns, sobretudo na queima de combustíveis fósseis, no uso insustentável da terra e em processos industriais intensivos em energia. Reconhecer e explorar essas interconexões é essencial para construir políticas públicas eficazes e ações coletivas que promovam benefícios climáticos e sanitários ao mesmo tempo. Temos dois tipos de gases e partículas que influenciam o aquecimento global: as componentes de meia-vida longa, da ordem de centenas a milhares de anos, como o dióxido de carbono (CO_2) e o óxido nitroso (N_2O), e os gases que têm meia-vida muito mais curta, como o metano (CH_4), ozônio (O_3) e um tipo especial de partículas chamado de carbono negro, fuligem ou *black carbon*. Esses poluentes de meia-vida curta na atmosfera têm forte impacto no aquecimento global e no agravamento da poluição do ar em nossas áreas urbanas e rurais.

O ESTADO ATUAL DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E QUAL FUTURO NOS ESPERA

A temperatura média de nosso planeta já aumentou cerca de $1,55^\circ\text{C}$ acima dos níveis pré-industriais. Em áreas continentais, esse aumento médio da temperatura já atingiu

cerca de $2,1^\circ\text{C}$, e algumas regiões brasileiras aumentaram $2,4^\circ\text{C}$, como o Vale do Rio São Francisco e a região leste da Amazônia. A região ártica de nosso planeta já aumentou $3,5^\circ\text{C}$ em sua temperatura em vastas áreas, que cobrem Canadá, Escandinávia e Rússia. Portanto, a meta do Acordo de Paris de limitar o aquecimento médio global em $1,5^\circ\text{C}$ está certamente sob risco (Unep, 2024).

E quanto aos cenários futuros? Se as emissões de gases de efeito estufa (GEE) continuarem a crescer no ritmo atual, a temperatura média global pode aumentar em cerca de $2,5$ a $3,1^\circ\text{C}$ em relação aos valores pré-industriais ao longo deste século, de acordo com as simulações climáticas do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC (2023). Isso ocorrerá mesmo no caso em que a maior parte dos países cumpra seus atuais compromissos de redução. É importante salientar que um aumento de temperatura médio de $3,1^\circ\text{C}$ em todo o planeta implica aquecimento muito maior em áreas continentais. No caso do Brasil, teremos aumento de temperaturas de 4 a $4,5^\circ\text{C}$ ao longo das próximas décadas. Esse aquecimento exacerbado terá efeitos profundos sobre o clima, o meio ambiente, as economias e a população. Podemos imaginar a vida em cidades como Palmas, Cuiabá, Teresina ou Brasília, com temperaturas médias 4 a $4,5$ graus mais altas. O aumento das temperaturas médias está associado a uma maior frequência e intensidade de eventos climáticos extremos, como ondas de calor, secas, tempestades e inundações. Esses eventos são esperados para se tornarem cerca de 39 vezes mais frequentes e aumentar sua intensidade por um fator de 5. Certamente esses cenários terão impactos significativos sobre a agricultura, a infraestrutura, a saúde

das populações e a vida cotidiana no Brasil e em todo o planeta.

METANO – O POLUENTE COM MUITOS PAPÉIS

O metano (CH_4) é um dos gases mais importantes quando falamos de mudanças climáticas e poluição do ar. Embora menos conhecido do que o dióxido de carbono (CO_2), o metano tem um impacto muito mais forte no curto prazo: ele aquece a atmosfera cerca de 80 vezes mais do que o CO_2 nos primeiros 20 anos após ser emitido. Isso faz dele um dos principais responsáveis pelo rápido aumento das temperaturas globais (Nasem, 2024).

De onde vem o metano?

As principais fontes de metano estão ligadas às atividades humanas:

- Agropecuária: a digestão dos ruminantes, como bois e vacas, libera grandes quantidades do gás;
- Aterros e resíduos: a decomposição de lixo orgânico em condições sem oxigênio gera metano;
- Fósseis: extração e transporte de petróleo, gás natural e carvão liberam o gás na atmosfera;
- Queimadas: incêndios florestais e agrícolas também contribuem para o aumento das emissões.

Metano e o clima

Por ser um gás de vida relativamente curta – permanece cerca de 12 anos na

atmosfera, contra séculos do CO_2 –, o metano é considerado um poluente climático de vida curta. Isso significa que, se reduzirmos suas emissões agora, poderemos observar resultados positivos para o clima em apenas algumas décadas. A diminuição do metano é, portanto, uma das formas mais rápidas de desacelerar o aquecimento global e ganhar tempo para a transição para uma economia de baixo carbono (Zhao et al., 2025).

O metano não causa apenas mudanças climáticas. Na baixa atmosfera, ele participa de reações químicas que formam o ozônio troposférico, um poluente danoso para a saúde humana e para as florestas e plantações. A presença elevada de ozônio está associada a doenças respiratórias, redução da produtividade agrícola e danos a ecossistemas.

Enfrentar as emissões de metano é um desafio urgente, mas também uma oportunidade única. Reduzir suas emissões pode salvar milhões de vidas, proteger lavouras e frear o aquecimento global em curto prazo. É um passo fundamental para garantir um futuro mais saudável, equilibrado e justo para todos.

CARBONO NEGRO: AQUECE O PLANETA E POLUI A ATMOSFERA

O carbono negro ou fuligem é um poluente climático de vida curta e um componente importante do material particulado que impacta tanto a qualidade do ar quanto as mudanças climáticas. Trata-se do material preto fuliginoso emitido com outros poluentes atmosféricos em qualquer processo de combustão incompleta. Por exemplo, motores a diesel de ônibus e caminhões, fornos de fabricação de tijolos, incêndios florestais e outras fontes que queimam combustíveis

fósseis, biomassa e resíduos emitem carbono negro. Ele tem um efeito de aquecimento do clima local, regional e global, pois absorve calor de modo muito eficiente. No Brasil, as duas principais fontes de emissão de carbono negro são as emissões urbanas de transporte e as queimadas na Amazônia, no Cerrado, no Pantanal e nos demais biomas brasileiros.

Embora o carbono negro não seja um gás de efeito estufa, ele contribui significativamente para o aquecimento do planeta. Isso acontece porque essas partículas escuradas absorbem a radiação solar e aquecem a atmosfera. Além disso, quando se depositam sobre superfícies claras, como neve e gelo, reduzem a capacidade de refletir a luz solar (o chamado “albedo”), acelerando o derretimento das geleiras e ampliando o desequilíbrio climático. O carbono negro é o segundo maior responsável pelo aquecimento global depois do dióxido de carbono (CO_2), apesar de permanecer pouco tempo na atmosfera – geralmente apenas dias ou semanas. Isso significa que cortar suas emissões pode trazer benefícios climáticos muito rápidos.

O carbono negro tem impactos importantes na saúde humana. O chamado material particulado fino inalável (PM2.5) contém de 10% a 20% de carbono negro. É o principal poluente causador de mutagenicidade em nossos pulmões, o que pode causar câncer, e suas emissões e concentrações são reguladas pelos padrões de qualidade do ar. Sendo um poluente atmosférico nocivo, o carbono negro contribui significativamente para os cerca de 4 milhões de mortes precoces causadas pela poluição do ar externo e 3 milhões de mortes decorrentes da poluição do ar doméstico a cada ano, representando um custo econômico anual da ordem de trilhões de dólares – cerca de 6% do PIB global (World Bank,

2022). A exposição prolongada ao carbono negro está associada a doenças respiratórias crônicas, câncer de pulmão, infartos e mortes prematuras.

Reducir as emissões de carbono negro traz benefícios duplos: ajuda a combater as mudanças climáticas e melhora a qualidade do ar, salvando vidas. Algumas ações eficazes incluem:

- Substituição de veículos a diesel por transporte limpo e eletrificado;
- Eliminação do uso de fogões a lenha em residências, substituindo-os por alternativas modernas e acessíveis;
- Combate às queimadas agrícolas e ao desmatamento;
- Adoção de tecnologias mais limpas em processos industriais.

Como o carbono negro permanece pouco tempo na atmosfera, reduzi-lo gera impactos imediatos: o ar fica mais limpo e o aquecimento global é freado em curto prazo. É um dos exemplos mais claros de como políticas integradas de clima e qualidade do ar podem trazer ganhos rápidos e significativos para a sociedade.

OZÔNIO NA BAIXA ATMOSFERA: IMPACTO GLOBAL

O ozônio é um dos gases mais conhecidos da atmosfera, mas seu papel varia muito dependendo da altitude em que se encontra. Na estratosfera, ele forma a chamada camada de ozônio, essencial para a vida na Terra, pois nos protege da radiação ultravioleta nociva. Já na troposfera – a camada mais próxima da superfície –, o ozônio atua

como um poluente perigoso, que prejudica a saúde humana, os ecossistemas e ainda contribui para o aquecimento global.

Diferente de outros poluentes, o ozônio da baixa atmosfera não é emitido diretamente. Ele é formado a partir de reações químicas entre óxidos de nitrogênio (NO_x), compostos orgânicos voláteis (COVs) e metano, geralmente em presença de luz solar. Por isso, concentrações elevadas são mais comuns em áreas urbanas e em períodos de forte radiação solar.

O ozônio é um gás altamente oxidante. Quando inalado, irrita as vias respiratórias, agrava quadros de asma, bronquite e pode causar inflamações nos pulmões. A exposição frequente está associada a internações hospitalares, queda na expectativa de vida e maior vulnerabilidade de crianças e idosos.

O ozônio troposférico também é prejudicial para as plantas. Ele reduz a fotossíntese, diminui a produtividade agrícola e afeta florestas e ecossistemas naturais. Estima-se que milhões de toneladas de alimentos sejam perdidas anualmente devido à presença desse poluente.

Além de prejudicar a saúde e a agricultura, o ozônio é um poluente climático de vida curta. Ele permanece poucas semanas na atmosfera, mas tem um potencial de aquecimento significativo, contribuindo para intensificar as mudanças climáticas. Isso o coloca no centro de estratégias de mitigação que visam obter benefícios rápidos tanto para o clima quanto para a qualidade do ar.

As medidas para controlar o ozônio passam pela redução de suas substâncias precursoras:

- Diminuir emissões veiculares, substituindo combustíveis fósseis por transporte de baixas emissões ou eletrificado;
- Controlar emissões industriais e agrícolas de compostos orgânicos voláteis e metano;

- Incentivar fontes renováveis de energia e eficiência energética.

Apesar de invisível, o ozônio troposférico tem impactos locais e globais. Ao mesmo tempo em que prejudica a saúde das pessoas e dos ecossistemas, ele acelera o aquecimento do planeta. Combatê-lo significa não apenas melhorar a qualidade do ar que respiramos, mas também contribuir para um futuro climático mais estável e seguro.

COP30, ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO E OS POLUENTES DE VIDA CURTA

Precisamos traçar uma rota para que o mundo se livre dos combustíveis fósseis, que são a raiz dos problemas climáticos que enfrentamos. Precisamos também estruturar políticas de adaptação ao novo clima, particularmente nos países mais vulneráveis. Nessa tarefa é fundamental a implementação de mecanismos de financiamento para que países menos desenvolvidos possam realizar sua transição energética e se adaptar ao novo clima.

As questões econômicas são fundamentais na construção de uma nova sociedade mais sustentável. Importante salientar que os 10% mais ricos emitem 50% dos gases de efeito estufa, enquanto os 50% mais pobres são responsáveis por somente 8% das emissões (Chancel; Piketty, 2015). As desigualdades econômicas dentro de cada país e entre os países são realmente uma marca do nosso atual sistema socioeconômico. Uma sociedade com essa gigantesca desigualdade econômica não é sustentável nem em curto prazo.

Consideraremos seis os principais pontos que devemos enfrentar na COP-30:

- 1) Realizar a transição justa de combustíveis fósseis para energias sustentáveis;
- 2) Eliminar totalmente o desmatamento de florestas tropicais;
- 3) Enfatizar o multilateralismo, que é a única estratégia que pode unir os 196 países signatários da convenção climática;
- 4) Efetivar mecanismos de financiamento climático para países em desenvolvimento;
- 5) Implementar políticas de adaptação ao novo clima que melhorem a resiliência de nossas populações;
- 6) Estruturar políticas que reduzam as emissões de poluentes atmosféricos em conjunto com as estratégias de mitigação climática.

As soluções para enfrentar conjuntamente poluição do ar e redução de emissões de gases de efeito estufa já existem e podem trazer resultados rápidos. Entre elas, podemos citar:

- Energia limpa e renovável: substituir carvão e petróleo por geração de energia solar, eólica e outras fontes sustentáveis;
- Transporte público sustentável: implementar transporte urbano utilizando ônibus elétricos, ciclovias e incentivando a mobilidade ativa;
- Eficiência energética: construções inteligentes e indústrias menos poluentes;
- Redução de resíduos e desperdício, através da economia circular: reciclagem em grande escala, menos lixo e menos emissão de gases nocivos.

Essas medidas tornam as cidades mais saudáveis, reduzem custos de saúde e ainda ajudam a combater a crise climática. A transição para energias renováveis e um trans-

porte sustentável são os dois pilares mais importantes para uma abordagem integrada, pois atacam a fonte primária de poluição do ar e de gases de efeito estufa: a queima de combustíveis fósseis.

As mudanças climáticas já não são uma previsão distante – elas estão acontecendo agora. Tempestades mais intensas, ondas de calor prolongadas, secas severas e enchentes frequentes afetam cidades, comunidades rurais, ecossistemas e economias ao redor do mundo. Diante desses desafios, a adaptação climática surge como uma estratégia essencial para reduzir riscos, proteger vidas e preservar recursos naturais. A adaptação climática consiste em ajustar sistemas naturais, sociais e econômicos para lidar com os impactos das mudanças do clima. Diferente da mitigação, que busca reduzir a emissão de gases de efeito estufa, a adaptação concentra-se em aumentar a resiliência das pessoas e do planeta frente às alterações já em curso (Adapta Brasil, 2025). É fundamental que, na implementação de estratégias de adaptação climática, a questão da redução da poluição do ar seja levada em conta, salvando muitas vidas em nossas áreas urbanas.

O ENFRENTAMENTO CONJUNTO DA POLUIÇÃO DO AR E DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Apesar dos benefícios evidentes, ainda é comum que políticas de clima e de poluição do ar sejam planejadas de forma isolada. O grande desafio é integrar agendas e setores, garantindo ações coordenadas e efetivas. Para isso, são fundamentais mecanismos de governança que envolvam ciência, poder público, setor privado e sociedade civil. Enfrentar

poluição do ar e mudanças climáticas de forma integrada não é apenas uma questão ambiental. É também um compromisso com a saúde, a justiça social e a qualidade de vida. Ao limpar o ar que respiramos, também estamos garantindo um clima mais estável para as próximas gerações. Combater a poluição do ar e as mudanças climáticas em conjunto não é apenas uma estratégia inteligente: é uma necessidade urgente.

Nas estratégias para lidarmos com os chamados *tipping points* (pontos de inflexão), a redução das emissões dos poluentes de meia-vida curta é um dos pontos centrais para aumentar a resiliência climática de nosso planeta (Global Tipping Points, 2025). No caso brasileiro, reduzir o desmatamento da Amazônia e a degradação do Cerrado pode evitar um dos pontos de inflexão críticos, que é a sustentabilidade climática da Amazônia (SPA, 2021).

Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) são o caminho que as Nações Unidas estruturaram para reduzir desigualdades sociais e construir um futuro sustentável. O ODS 13, Ação Contra a Mudança Global do Clima, é fundamental para que vários outros ODS sejam atingidos. Sem um clima estável será impossível termos água, comida e saúde para a maioria da população. O impacto das mudanças climáticas no Brasil é vasto e multifacetado, afetando o meio ambiente, a economia e a qualidade de vida de nossa população. A adaptação e a mitigação desses impactos exigem um esforço conjunto e contínuo para proteger o futuro do país e garantir um futuro mais resiliente e sustentável.

A COP30 será crítica para construir uma capacidade global de responder à crise climática com base em evidências científicas

e na transformação profunda das estruturas organizacionais. O multilateralismo é a chave para o sucesso da luta contra a mudança climática. O sucesso dependerá do compromisso real dos atores em abandonar modelos predatórios e caminhar rumo a uma economia regenerativa e resiliente, que coloque a vida no planeta – e não o lucro – no centro das decisões. O atual modelo econômico, em geral, não leva em conta os limites planetários e a sustentabilidade ambiental. Os recursos naturais de nosso planeta são limitados, e sua exploração sem limites está levando a um esgotamento dos recursos que sustentam nossas economias e sociedades.

É fundamental que os países possam traçar uma rota para que o mundo se livre dos combustíveis fósseis, que são a raiz dos problemas climáticos que enfrentamos. Precisamos também estruturar políticas de adaptação ao novo clima, particularmente nos países mais vulneráveis. A plataforma brasileira Adapta Brasil é um excelente exemplo de como essas políticas de adaptação podem ser implementadas e monitoradas (Adapta Brasil, 2025). Nessa tarefa é fundamental a implementação de mecanismos de financiamento para que países menos desenvolvidos possam efetivar sua transição energética e se adaptar ao novo clima.

A adaptação climática é um desafio coletivo. Governos, empresas, organizações sociais e cidadãos precisam trabalhar juntos, planejando ações baseadas em ciência, tecnologia e conhecimento local (Adapta Brasil, 2025). Quanto mais rápida e abrangente for a adaptação, maiores serão os ganhos em segurança, saúde e sustentabilidade. O futuro será moldado não apenas pelo clima, mas pela forma como nos preparamos para ele. A adap-

tação climática é uma ferramenta crucial para transformar riscos em oportunidades, proteger os mais vulneráveis e construir sociedades mais resilientes e justas.

O sucesso da COP30 dependerá da capacidade dos atores globais de superar discursos vazios e avançar em compromissos firmes, monitoráveis e baseados em cooperação científica e financeira internacional (Artaxo, 2012). O atual complexo cenário de disputas

geopolíticas e econômicas não ajuda nessa tarefa criticamente importante. O planeta já não pode postergar ações concretas. A janela de oportunidade está se fechando. Que Belém seja não apenas palco de negociações, mas símbolo de um novo começo – em que ciência, coragem política e ação coletiva se unam para construir um futuro possível para todas as formas de vida na Terra. A humanidade não pode falhar nessa tarefa.

REFERÊNCIAS

- ADAPTA BRASIL. 2025. Disponível em: <https://adaptabrasil.mcti.gov.br/>.
- ARTAXO, P. "Break down boundaries in climate research". *Nature*, v. 481, 2012, p. 239. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/481239a>.
- CHANCEL, L.; PIKETTY, T. "Carbon and inequality: from Kyoto to Paris. Trends in the global inequality of carbon emissions (1998-2013) & prospects for an equitable adaptation fund". Paris, Paris School of Economics, 2015.
- CLIMATE CHANGE 2023. "Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change". Ed. Core Writing Team; H. Lee; J. Romero. Genebra, IPCC, 2023, pp. 35-115.
- GLOBAL TIPPING POINTS. 2025. Disponível em: <https://global-tipping-points.org/>.
- NASEM – National Academies of Sciences, Engineering and Medicine. "A research agenda toward atmospheric methane removal". 2024. Disponível em: <https://nap.nationalacademies.org/catalog/27157/a-research-agenda-toward-atmospheric-methane-removal>.
- SPA – The Science Panel for the Amazon. "Amazon Assessment Report 2021". Disponível em: https://www.theamazonwewant.org/spa_publication/amazon-assessment-report-2021.
- UNEP. "Emissions Gap Report 2024". 2024. Disponível em: <https://unepccc.org/emissions-gap-reports/>.
- WORLD BANK. "The global health cost of PM2.5 air pollution: a case for action beyond 2021". 2022. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/550b7a9b-4d1f-5d2f-a439-40692d4eedf3/content>.
- ZHAO, Y. et al. "Air pollution modulates trends and variability of the global methane budget". *Nature*, v. 642, 2025, pp. 369-75. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41586-025-09004-z>.

Climate change and COP30 are common topics in the press and debates today. Thirty or 40 years ago, we talked about climate change as something for the future, for the end of this century. But climate change has already arrived with all its force, and in its most visible form, which is the increase in the frequency and intensity of extreme weather events. And the socioeconomic impacts are significant in many areas.

The 30th Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change (COP30), which will take place in Belém, Pará, represents a crucial moment in confronting the climate crisis. In this context, the convergence between climate science and organizational transformation is highlighted as a strategic axis for advancing the solutions that the planet urgently demands. We have already warmed the planet by 1.55 degrees Celsius over the last 150 years. The increase in the frequency and intensity of extreme weather events is readily observed across the globe.

Brazil, with its vast biodiversity and a climate-dependent economy, faces significant challenges as weather patterns continue to shift. Climate impacts severely affect agricultural productivity and hydroelectricity production, increasing food and energy prices, particularly penalizing the country's poorest population. Brazilian infrastructure, including cities and transportation systems, is highly vulnerable to extreme weather events. Floods and landslides, which have become more frequent, cause significant economic and social damage and generate high costs for repair and adaptation.

PAULO ARTAXO is a full professor at the Institute of Physics at USP, coordinator of the Center for Sustainable Amazon Studies (Ceas) at USP and a member of the UN Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

Air pollution and climate change are among the greatest environmental and public health challenges of this century. Although often treated separately, both share common origins, primarily in the burning of fossil fuels, unsustainable land use, and energy-intensive industrial processes. Recognizing and exploring these interconnections is essential to building effective public policies and collective actions that simultaneously promote climate and health benefits. Two types of gases and particles influence global warming: those with long half-lives, lasting hundreds to thousands of years, such as carbon dioxide (CO_2) and nitrous oxide (N_2O), and gases with much shorter half-lives, such as methane (CH_4), ozone (O_3), and a special type of particle called black carbon, or soot. These short-lived pollutants in the atmosphere have a strong impact on global warming and worsening air pollution in our urban and rural areas.

THE CURRENT STATE OF CLIMATE CHANGE AND WHAT FUTURE AWAITS US

Our planet's average temperature has already risen by about 1.55°C above pre-industrial levels. In continental areas, this average temperature increase has already reached about 2.1°C , and some Brazilian regions, such as the São Francisco River Valley and the eastern Amazon, have risen by 2.4°C . The Arctic region of our planet has already risen by 3.5°C over vast areas, covering Canada, Scandinavia, and Russia. Therefore, the Paris Agreement's goal of limiting global warming to 1.5°C is certainly at risk (UNEP, 2024).

What about future scenarios? If greenhouse gas (GHG) emissions continue to grow at their current rate, the global average temperature could rise by an average of about 2.5 to 3.1°C compared to pre-industrial values over the course of this century, according to IPCC climate simulations (2023). This will occur even if most countries meet their current reduction commitments. It is important to note that an average temperature increase of 3.1°C across the planet implies much greater warming in continental areas. In the case of Brazil, we will see a temperature increase of 4 to 4.5°C over the coming decades. This exacerbated warming will have profound effects on the climate, the environment, economies, and population. We can imagine life in cities like Palmas, Cuiabá, Teresina, or Brasília with average temperatures 4 to 4.5 degrees higher. Rising average temperatures are associated with a greater frequency and intensity of extreme weather events, such as heat waves, droughts, storms, and floods. These events are expected to become approximately 39 times more frequent and increase in intensity by a factor of 5. These scenarios will certainly have significant impacts on agriculture, infrastructure, population health, and daily life in Brazil and across the globe.

METHANE – THE POLLUTANT WITH MANY ROLES

Methane (CH_4) is one of the most important gases when it comes to climate change and air pollution. Although less well-known than carbon dioxide (CO_2), methane has a much stronger impact in the short term: it warms the atmosphere about 80 times more than

CO₂ in the first 20 years after being emitted. This makes it one of the main contributors to the rapid rise in global temperatures (National Academies, 2024).

Where does methane come from?

The main sources of methane are linked to human activities:

- Agriculture: the digestion of ruminants, such as oxen and cows, releases large amounts of gas.
- Landfills and waste: decomposition of organic waste in oxygen-free conditions generates methane.
- Fossils: Extraction and transportation of oil, natural gas, and coal releases gas into the atmosphere.
- Wildfires: Forest and agricultural fires also contribute to increased emissions.

Methane and the climate

Because it's a relatively short-lived gas—it remains in the atmosphere for about 12 years, compared to centuries for CO₂—methane is considered a short-lived climate pollutant. This means that if we reduce its emissions now, we could see positive climate outcomes in just a few decades. Reducing methane is therefore one of the fastest ways to slow global warming and buy time for the transition to a low-carbon economy (Zhao et al., 2025).

Methane doesn't just cause climate change. In the lower atmosphere, it participates in chemical reactions that form tropospheric ozone, a pollutant that is harmful to human health and to forests and crops. Elevated ozone levels are associated with respiratory diseases, reduced agricultural productivity, and damage to ecosystems.

Tackling methane emissions is an urgent challenge, but also a unique opportunity. Reducing emissions can save millions of lives, protect crops, and curb global warming in the short term. It's a fundamental step toward ensuring a healthier, more balanced, and fairer future for all.

BLACK CARBON: HEATS THE PLANET AND POLLUTES THE ATMOSPHERE

Black carbon, or soot, is a short-lived climate pollutant and a major component of particulate matter that impacts both air quality and climate change. It is the black, sooty material emitted along with other atmospheric pollutants in any incomplete combustion process. For example, diesel engines in buses and trucks, brick kilns, forest fires, and other sources that burn fossil fuels, biomass, and waste emit black carbon. It has a warming effect on the local, regional, and global climate because

it absorbs heat very efficiently. In Brazil, the two main sources of black carbon emissions are urban transportation emissions and forest fires in the Amazon, Cerrado, Pantanal, and other Brazilian biomes.

Although black carbon is not a greenhouse gas, it contributes significantly to global warming. This is because these dark particles absorb solar radiation and warm the atmosphere. Furthermore, when deposited on light surfaces, such as snow and ice, they reduce their ability to reflect sunlight (known as “albedo”), accelerating the melting of glaciers and worsening climate change. Black carbon is the second-largest contributor to global warming after carbon dioxide (CO_2), despite remaining in the atmosphere for a short time—usually just days or weeks. This means that reducing its emissions can bring very rapid climate benefits.

Although black carbon is not a greenhouse gas, it contributes significantly to global warming. This is because these dark particles absorb solar radiation and warm the atmosphere. Furthermore, when deposited on light surfaces, such as snow and ice, they reduce their ability to reflect sunlight (known as “albedo”), accelerating the melting of glaciers and worsening climate change. Black carbon is the second-largest contributor to global warming after carbon dioxide (CO_2), despite remaining in the atmosphere for a short time—usually just days or weeks. This means that reducing its emissions can bring very rapid climate benefits.

Reducing black carbon emissions has dual benefits: it helps combat climate change and improves air quality, saving lives. Some effective actions include:

- Replacing diesel vehicles with clean, electrified transport.
- Eliminating the use of wood-burning stoves in homes, replacing them with modern and affordable alternatives.
- Combating agricultural fires and deforestation.
- Adoption of cleaner technologies in industrial processes.

Because black carbon only remains in the atmosphere for a short time, reducing it has immediate impacts: the air becomes cleaner and global warming is slowed in the short term. It’s one of the clearest examples of how integrated climate and air quality policies can bring rapid and significant gains to society.

OZONE IN THE LOWER ATMOSPHERE: GLOBAL IMPACT

Ozone is one of the best-known gases in the atmosphere, but its role varies greatly depending on its altitude. In the stratosphere, it forms the so-called ozone layer, essential for life on Earth, as it protects us from harmful ultraviolet radiation. In the troposphere—the layer closest to the surface—ozone acts as a dangerous pollutant, harming human health and ecosystems, and contributing to global warming.

Unlike other pollutants, ozone in the lower atmosphere is not emitted directly. It is formed from chemical reactions between nitrogen oxides (NO_x), volatile organic compounds (VOCs), and methane, usually in the presence of sunlight. Therefore, high concentrations are more common in urban areas and during periods of strong solar radiation.

Ozone is a highly oxidizing gas. When inhaled, it irritates the respiratory tract, worsens asthma and bronchitis, and can cause lung inflammation. Frequent exposure is associated with hospitalizations, decreased life expectancy, and increased vulnerability in children and the elderly.

Tropospheric ozone is also harmful to plants. It reduces photosynthesis, decreases agricultural productivity, and affects forests and natural ecosystems. It is estimated that millions of tons of food are lost annually due to the presence of this pollutant.

In addition to harming health and agriculture, ozone is a short-lived climate pollutant. It remains in the atmosphere for only a few weeks but has significant warming potential, contributing to the intensification of climate change. This places it at the center of mitigation strategies aimed at achieving rapid benefits for both the climate and air quality.

Measures to control ozone involve reducing its precursor substances:

- Reduce vehicle emissions by replacing fossil fuels with low-emission or electrified transport.
- Control industrial and agricultural emissions of volatile organic compounds and methane.
- Encourage renewable energy sources and energy efficiency.

Despite being invisible, tropospheric ozone has local and global impacts. While it harms the health of people and ecosystems, it accelerates global warming. Combating it means not only improving the quality of the air we breathe but also contributing to a more stable and secure climate future.

COP30, MITIGATION STRATEGIES AND SHORT-LIVED POLLUTANTS

We need to chart a path for the world to wean itself off fossil fuels, which are the root of the climate problems we face. We also need to structure policies to adapt to the new climate, particularly in the most vulnerable countries. In this task, implementing financing mechanisms is crucial so that less developed countries can undertake their energy transition and adapt to the new climate.

Economic issues are fundamental in building a new, more sustainable society. It's important to note that the richest 10% emit 50% of greenhouse gases, while the poorest 50% are responsible for only 8% of emissions (Chancel; Piketty, 2015). Economic inequalities within and between countries are truly a hallmark of our current socioeconomic system. A society with such enormous economic inequality is not sustainable, even in the short term.

We consider six main points that we must address at COP30:

- 1) Make a just transition from fossil fuels to sustainable energy;
- 2) Completely eliminate deforestation of tropical forests;
- 3) Emphasize multilateralism, which is the only strategy that can unite the 196 signatory countries of the climate convention;
- 4) Implement climate finance mechanisms for developing countries;
- 5) Implement new climate adaptation policies that improve the resilience of our populations;
- 6) Structure policies that reduce atmospheric pollutant emissions in conjunction with climate mitigation strategies.

Solutions to jointly address air pollution and reduce greenhouse gas emissions already exist and can yield rapid results. Among these solutions, we can mention:

- Clean and renewable energy: replacing coal and oil with solar, wind, and other sustainable energy sources.
- Sustainable public transport: implementing urban transport using electric buses, cycle paths and encouraging active mobility.
- Energy efficiency: smart buildings and less polluting industries.
- Reduction of waste, through the circular economy: large-scale recycling, less trash and less emission of harmful gases.

These measures make cities healthier, reduce healthcare costs, and even help combat the climate crisis. The transition to renewable energy and sustainable transportation are the two most important pillars of an integrated approach, as they address the primary source of air pollution and greenhouse gases: the burning of fossil fuels.

Climate change is no longer a distant prediction—it's happening now. More intense storms, prolonged heat waves, severe droughts, and frequent floods are affecting cities, rural communities, ecosystems, and economies around the world. Faced with these challenges, climate adaptation emerges as an essential strategy to reduce risks, protect lives, and preserve natural resources. Climate adaptation involves adjusting natural, social, and economic systems to deal with the impacts of climate change. Unlike mitigation, which seeks to reduce greenhouse gas emissions, adaptation focuses on increasing the resilience of people and the planet to changes already underway (Adapta Brasil, 2025). It is crucial that the issue of reducing air pollution be taken into account when implementing climate adaptation strategies, saving many lives in our urban areas.

TACKLING AIR POLLUTION AND CLIMATE CHANGE JOINTLY

Despite the clear benefits, it's still common for climate and air pollution policies to be planned in isolation. The biggest challenge is integrating agendas and sectors,

ensuring coordinated and effective action. To achieve this, governance mechanisms involving science, public authorities, the private sector, and civil society are essential. Addressing air pollution and climate change in an integrated manner isn't just an environmental issue. It's also a commitment to health, social justice, and quality of life. By cleaning the air we breathe, we're also ensuring a more stable climate for future generations. Combating air pollution and climate change together isn't just a smart strategy: it's an urgent necessity.

In strategies to address so-called tipping points, reducing emissions of short-lived pollutants is a key factor in increasing our planet's climate resilience (Global Tipping Points, 2025). In the Brazilian case, reducing deforestation in the Amazon and degradation of the Cerrado can avoid one of the critical tipping points, which is the Amazon's climate sustainability (SPA, 2021).

The 17 Sustainable Development Goals (SDG) are the path the United Nations has outlined to reduce social inequalities and build a sustainable future. SDG 13, action against global climate change, is essential for achieving several other SDGs. Without a stable climate, it will be impossible to provide water, food, and health care for the majority of the population. The impact of climate change in Brazil is vast and multifaceted, affecting the environment, the economy, and the quality of life of our population. Adapting to and mitigating these impacts requires a joint and continuous effort to protect the country's future and ensure a more resilient and sustainable future.

COP30 will be crucial for building global capacity to respond to the climate crisis based on scientific evidence and a profound transformation of organizational structures. Multilateralism is key to the success of the fight against climate change. Success will depend on the genuine commitment of stakeholders to abandon predatory models and move toward a regenerative and resilient economy that places life on the planet—not profit—at the center of decision-making. The current economic model, in general, fails to consider planetary boundaries and environmental sustainability. Our planet's natural resources are limited, and their unlimited exploitation is leading to the depletion of the resources that sustain our economies and societies.

It is crucial that countries chart a path for the world to wean itself off fossil fuels, which are the root of the climate problems we face. We also need to structure policies to adapt to the new climate, particularly in the most vulnerable countries. The Brazilian platform Adapta Brasil is an excellent example of how these adaptation policies can be implemented and monitored (Adapta Brasil, 2025). In this task, the implementation of financing mechanisms is crucial so that less developed countries can implement their energy transition and adapt to the new climate.

Climate adaptation is a collective challenge. Governments, businesses, social organizations, and citizens need to work together, planning actions based on science, technology, and local knowledge (Adapta Brasil, 2025). The faster and more comprehensive the adaptation, the greater the gains in security, health, and sustainability. The future will be shaped not only by the climate, but by how we prepare for it. Climate adaptation is

a crucial tool for transforming risks into opportunities, protecting the most vulnerable, and building more resilient and just societies.

The success of COP30 will depend on the ability of global actors to overcome empty rhetoric and advance firm, monitorable commitments based on international scientific and financial cooperation (Artaxo, 2012). The current complex landscape of geopolitical and economic disputes does not help in this critically important task. The planet can no longer postpone concrete action. The window of opportunity is closing. May Belém be not only a stage for negotiations, but also a symbol of a new beginning—one in which science, political courage, and collective action unite to build a possible future for all life on Earth. Humanity cannot fail in this task.

REFERENCES

- ADAPTA BRASIL. 2025. Available at: <https://adaptabrasil.mcti.gov.br/>.
- ARTAXO, P. "Break down boundaries in climate research. *Nature*, v. 481, 2012, p. 239 Available at: <https://www.nature.com/articles/481239a>.
- CHANCEL, L.; PIKETTY, T. "Carbon and inequality: From Kyoto to Paris. Trends in the global inequality of carbon emissions (1998-2013) & Prospects for an equitable adaptation fund". Paris, Paris School of Economics, 2015.
- CLIMATE CHANGE 2023. "Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change". Ed. Core Writing Team; H. Lee; J. Romero. Geneva, IPCC, 2023, pp. 35-115.
- GLOBAL TIPPING POINTS. 2025. Available at: <https://global-tipping-points.org/>.
- NATIONAL ACADEMIES of Sciences, Engineering and Medicine. "A Research Agenda Toward Atmospheric Methane Removal". 2024. Available at: <https://nap.nationalacademies.org/catalog/27157/a-research-agenda-toward-atmospheric-methane-removal>.
- SPA – The Science Panel for the Amazon. "Amazon Assessment Report 2021". Available at: https://www.theamazonwewant.org/spa_publication/amazon-assessment-report-2021.
- UNEP. "Emissions Gap Report 2024". 2024. Available at: <https://unepccc.org/emissions-gap-reports/>.
- WORLD BANK. "The global health cost of PM2.5 air pollution: a case for action beyond 2021". 2022. Available at: <https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/550b7a9b-4d1f-5d2f-a439-40692d4eedf3/content>.
- ZHAO, Y. et al. "Air pollution modulates trends and variability of the global methane budget". *Nature* 642, 2025, pp. 369-75. Available at: <https://www.nature.com/articles/s41586-025-09004-z>.