



POR QUE REDUZIR AS EMISSÕES DE CARBONO NEGRO?

Evitando pontos de inflexão climática, fortalecendo a resiliência e proporcionando ar limpo



CONTEÚDO

1. Sumário executivo	3
2. O carbono negro em resumo	5
3. Por que carbono negro?	7
4. O conhecimento científico mais atual	8
5. Soluções para reduzir as emissões de carbono negro	11
Iluminando a África	12
Usando a energia renovável perto do Ártico	14
Mudando para o ziguezague	16
Apagando o fogo	18
6. Por que agir?	20
7. Recomendações	21
8. Referências	24

1. SUMÁRIO EXECUTIVO

O carbono negro, um poluente emitido pela combustão incompleta de combustíveis fósseis, biomassa e resíduos, tem papel fundamental nas crises climática e de saúde. As emissões de carbono negro impactam o aquecimento global, o derretimento da neve e do gelo, os padrões das monções e do clima, o risco de enchentes, o estresse térmico e a saúde pública. Os benefícios potenciais da redução das emissões são sentidos com maior intensidade perto da fonte, mas o carbono negro pode ser transportado por milhares de quilômetros na atmosfera. Ele tem um papel de aquecimento da atmosfera, similar aos gases de efeito estufa, e afeta também os mecanismos de formação e desenvolvimento de nuvens. Suas maiores fontes são o setor de transporte nas cidades, e as queimadas de resíduos agrícolas e de florestas. A natureza dupla do carbono negro (poluente climático e poluente atmosférico) fez com que nenhum desses campos estructure políticas de controle deste poluente. Resulta que o carbono negro segue em larga medida ausente das principais agendas climáticas e de saúde.

A redução das emissões de carbono negro tem importância crítica para a mitigação climática rápida e para fortalecer a resiliência frente aos efeitos das mudanças climáticas. Os efeitos mais significativos das emissões de carbono negro estão nos agravos à saúde em cidades, pois é emitido em grandes quantidades por veículos que utilizam diesel, sendo um dos maiores responsáveis por níveis de poluição do ar urbana. Outro efeito importante é seu impacto nos ecossistemas sensíveis da criosfera, que se aproximam de pontos de inflexão climática irreversíveis. A deposição de carbono negro na neve e no gelo acelera o derretimento das geleiras do Ártico, do Himalaia e dos Andes, bem como de outras regiões da criosfera. As emissões de carbono negro em latitudes intermediárias aquecem o ar circundante, que é então transportado para os polos e agrava o aquecimento do Ártico. As emissões de carbono negro na Ásia e na África contribuíram para tornar as monções mais imprevisíveis, diminuindo a segurança hídrica e energética, reduzindo a produtividade agrícola e causando enchentes catastróficas. O carbono negro e outros aerossóis escuros também agravam o impacto das ondas de calor, que estão se tornando mais frequentes no atual cenário de aquecimento climático.

A redução das emissões de carbono negro também pode melhorar a saúde pública e promover a justiça ambiental. O carbono negro é parte significativa do material particulado fino (PM_{2,5}), o principal risco ambiental à saúde, que ceifa milhões de vidas a cada ano. Os piores impactos do carbono negro na saúde recaem sobre comunidades marginalizadas e indígenas em situação de risco. Mulheres e crianças, por exemplo, estão mais expostas à inalação das emissões oriundas da queima doméstica de biocombustível e querosene para cozinhar em áreas vulneráveis. Fontes industriais de carbono negro, como os fornos de fabricação de tijolos, podem ser a principal fonte de poluição atmosférica em algumas cidades, afetando a saúde dos trabalhadores. As emissões de motores a diesel contribuem para a injustiça ambiental, dada a concentração de veículos altamente poluentes nas áreas em que vivem comunidades marginalizadas. As emissões causadas por incêndios florestais, agravadas pelo aquecimento climático, estão revertendo décadas de progresso na melhoria da qualidade do ar nos Estados Unidos, além de derreter as geleiras do Himalaia e desregular completamente as monções.



O que é o carbono negro?

O carbono negro 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 juntamente com outros poluentes atmosféricos numa combustão incompleta. Por exemplo, motores a diesel, fornos de fabricação de tijolos, energia doméstica, 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.

Há soluções para reduzir as emissões de carbono negro que trazem benefícios quase imediatos. O carbono negro é uma forçante climática cuja vida é extremamente curta, sendo estimada em apenas 1-2 semanas. A redução das emissões de carbono negro, feita complementarmente à essencial descarbonização de toda a economia, é uma maneira prática e rápida de evitar pontos de inflexão climática irreversíveis, melhorar a qualidade do ar e fortalecer a resiliência contra as mudanças climáticas. Os estudos de caso deste relatório demonstram que os instrumentos econômicos existentes podem, a custo módico, reduzir as emissões de carbono negro, os poluentes atmosféricos coemitidos e os gases de efeito estufa, ao mesmo tempo em que proporcionam grandes benefícios locais e regionais.

RECOMENDAÇÕES

Para obter esses benefícios:

- **Os governos nacionais devem incluir nas revisões das suas contribuições nacionalmente determinadas (CNDs) metas de redução das emissões carbono negro e ações adicionais para alcançá-las.** Os países podem ser mais ambiciosos em suas metas de redução de emissões no balanço global de 2025, cumprindo o princípio do Acordo de Paris de que a ação climática deve ocorrer no contexto do desenvolvimento sustentável e da erradicação da pobreza e obtendo financiamento para iniciativas de mitigação e adaptação.
- **Os bancos multilaterais de desenvolvimento (MDBs), as agências de desenvolvimento e outros financiadores devem oferecer doações e financiamento concessionário para ajudar os países a reduzir as emissões dos setores que emitem muito carbono negro e a implementar medidas direcionadas nas demais fontes.** O financiamento focado e os projetos para reduzir as emissões de carbono negro terão vários efeitos benéficos quanto ao desenvolvimento, incluindo a melhoria da qualidade do ar, da saúde e da segurança hídrica e energética. Tais projetos podem ser importantes para que os países atinjam suas metas de mitigação e adaptação climáticas.
- **É necessário realizar mais trabalhos sobre a medição e modelagem do carbono negro e dos seus copoluentes.** Diante da urgência e da magnitude da crise climática, é importante que redes de monitoramento e trabalhos de modelagem em alta resolução sejam feitas, como ferramenta auxiliar nas ações rápidas que o planeta precisa. São necessários inventários de emissões aprimorados, avaliações integradas atualizadas e um olhar atento da Organização Mundial da Saúde e dos especialistas para os agravos do carbono negro à saúde humana.

Precisamos reduzir as emissões de carbono negro para acelerar as ações de mitigação de emissões, e para ajudar bilhões de pessoas em todo o mundo a respirar um ar mais limpo. As soluções já existem. A hora de agir é agora.

A redução das emissões de carbono negro tem importância crítica para a mitigação climática rápida e para fortalecer a resiliência frente aos efeitos das mudanças climáticas.

2. O CARBONO NEGRO EM RESUMO



Clima regional

O carbono negro desregula os ciclos hidrológicos nos sistemas de monções e acelera o aquecimento regional, especialmente na criosfera, sendo os seus efeitos sentidos com maior intensidade perto da fonte.

- Observações feitas no Planalto Tibetano mostram que a deposição de carbono negro na neve responde por até 39% do derretimento total das geleiras e 10% da perda da sua massa devido à redução da precipitação.
- O carbono negro acelera o recuo das geleiras do Himalaia, diminui a cobertura do gelo marinho ártico no verão, antecipa a estação de derretimento da neve no oeste dos Estados Unidos e aumenta o escoamento nas geleiras andinas.
- O carbono negro alimenta o ciclo de "feedback" causador da amplificação ártica, o que tem efeitos mais amplos, desregulando as monções indianas e promovendo a desertificação da Califórnia.



Pontos de inflexão climática

O carbono negro aquece a atmosfera e as superfícies terrestres ao absorver a radiação solar incidente, o que aproxima o mundo de pontos de inflexão climática nos ecossistemas da criosfera e nos sistemas de monções.

- O Ártico está se aquecendo três a quatro vezes mais rapidamente do que o resto do mundo, o que levará ao recuo irreversível das camadas de gelo. O derretimento dessas camadas, que refletem a radiação, expõe as camadas mais escuras de terra e de água, aumentando a taxa de derretimento.
- O recuo das geleiras do Himalaia se acelerou em 50% devido ao aquecimento causado pelo carbono negro e pelo escurecimento da neve. Isso terá efeitos de "feedback" sobre as monções indianas.
- O efeito radiativo da queima de biomassa pela ação humana e do carbono negro dela decorrente afeta a precipitação na região das monções da África Ocidental.



Saúde

O carbono negro é um dos principais componentes do PM2,5, tendo impacto nocivo direto sobre a saúde humana e sendo emitido juntamente com outros poluentes atmosféricos prejudiciais à saúde.

- Como componente do PM2.5, o carbono negro contribui significativamente para 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, a maior parte das quais ocorre em países de renda baixa e média.
- O carbono negro está fortemente correlacionado com o aumento dos níveis de pressão arterial, que é fator de alto risco para doenças cardiovasculares.
- A exposição ao carbono negro durante a gravidez vem sendo associada a múltiplos efeitos adversos no nascimento, inclusive baixo peso ao nascer.
- Presumindo que todos os componentes tenham a mesma toxicidade, o carbono negro está associado a 150.000 mortes adicionais ao redor do mundo.
- Se o carbono negro for significativamente mais tóxico, a mitigação ampla talvez possa eliminar até 400.000 mortes precoces anuais somente na Planície Indo-Gangética.



Resiliência

A influência do carbono negro no ciclo hidrológico, especialmente nos países sensíveis às monções, aumenta o risco de eventos de precipitação extrema tais como enchentes, que têm impactos devastadores na vida, nos meios de subsistência e na infraestrutura.

- A redução das emissões de carbono negro pode ajudar as comunidades a se adaptar à crise climática ao mitigar o aumento da temperatura, reduzir o estresse térmico e melhorar a saúde humana e dos ecossistemas.
- A redução das emissões de carbono negro pode aumentar a segurança alimentar, energética e hídrica de bilhões de pessoas no Sul Global cuja subsistência depende de rios alimentados pelas geleiras e chuvas de monção.
- As comunidades vulneráveis são afetadas desproporcionalmente pelo impacto das emissões de carbono negro. Assim, reduzir essas emissões pode contribuir significativamente para a justiça climática.

Impactos



Precipitação extrema



Insegurança alimentar



Derretimento do gelo



Saúde precária

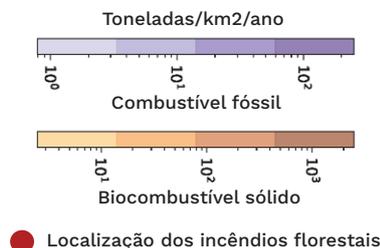
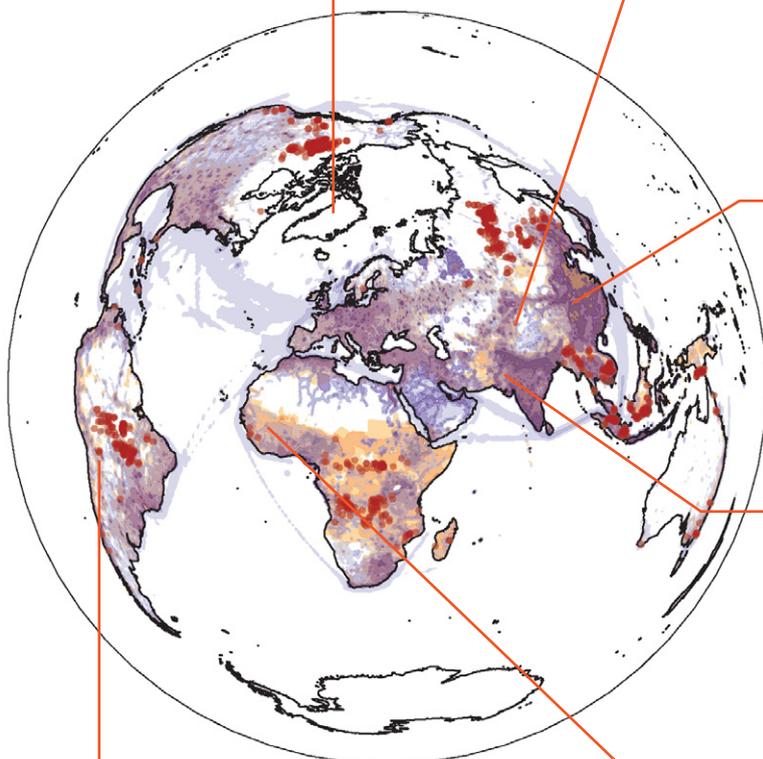


Poluição atmosférica

Efeitos regionais do carbono negro

Ártico

- Deposição de carbono negro de fontes emissoras próximas - por exemplo, queima de gás ("flaring"), geradores a diesel e transporte marítimo.
- Transporte de calor para os polos - por exemplo, incêndios florestais, queimadas e emissões domésticas
- Impacto direto nas ondas de calor europeias, nas monções indianas etc.



Américas

- Escurecimento da neve e do gelo causado pelo carbono negro
- Derretimento precoce no oeste dos Estados Unidos
- Aumento do escoamento nas geleiras andinas simultaneamente ao pico da temporada de incêndios na Amazônia
- Impacto negativo na disponibilidade de água
- Risco de enchentes e riscos hidrológicos regionais

Recuo das geleiras do Himalaia

- Fonte emissora próxima - por exemplo, energia doméstica e fornos de fabricação de tijolos
- O recuo das geleiras do Himalaia se acelerou em 50% devido ao aquecimento causado pelo carbono negro e pelo escurecimento da neve - isso terá efeitos de "feedback" sobre as monções indianas
- Afeta a circulação regional e o ciclo das monções

Enchentes na Ásia

- Eventos de precipitação extrema causam enchentes, por exemplo, na China e na Índia
- A redução das emissões de carbono negro contribuirá para a adaptação às enchentes num clima em aquecimento

Desregulação das monções asiáticas

- Desvio para o norte das nuvens causadoras das chuvas tropicais
- Chuvas extremas fora de época e impacto negativo na agricultura e nos meios de subsistência
- Início precoce também esperado em decorrência das emissões de carbono negro

Desvio das monções na África Ocidental

- Diminuição das chuvas de monção na África Ocidental e aumento das chuvas no nordeste da África
- Impacto negativo na agricultura e nos ecossistemas

Fonte: Sistema de Dados de Emissões Comunitárias (CEDS)

3. POR QUE CARBONO NEGRO?

As emissões gasosas e particuladas de atividades antropogênicas e fontes naturais contribuem para as mudanças climáticas, representando riscos globais à saúde e ao meio ambiente. Esses tipos de poluentes são capturados em graus variados pelas políticas climáticas e ambientais. Contudo, e apesar do seu importante papel, o carbono negro não recebe a devida atenção das entidades e programas de combate à mudança climática e de melhoria da qualidade do ar.

As políticas de mitigação climáticas enfatizam o dióxido de carbono (CO₂) e outros gases de efeito estufa na atmosfera, que são a causa maior do aquecimento global e constituem o principal foco das metas de redução de emissões dos acordos internacionais. Em contraste, o carbono negro não recebe a atenção que merece. Apenas um pequeno número de países incluiu nas suas contribuições nacionalmente determinadas (CNDs) metas de redução das emissões de carbono negro, e ele não foi contemplado em nenhum protocolo climático. Isso representa uma lacuna importante na estratégia global de enfrentamento da mudança climática.

Por outro lado, as diretrizes de qualidade do ar voltadas à redução da poluição atmosférica focam os níveis de material particulado fino (PM_{2,5}), ozônio (O₃), óxidos de nitrogênio (NO_x), dióxido de enxofre (SO₂) e outros poluentes. O PM_{2,5} tem muitos componentes, principalmente sulfatos, nitratos, compostos orgânicos, carbono negro e poeira. Assim, a redução de NO_x e SO₂ pode diminuir os níveis de PM_{2,5}, sendo esse o foco de muitas intervenções bem-sucedidas para melhorar a qualidade do ar (por exemplo, normas sobre o teor de enxofre dos combustíveis). A Organização Mundial da Saúde enfatizou o impacto potencial do carbono negro na saúde e recomendou a realização de mais estudos a respeito, mas não estabeleceu diretrizes para esse poluente, o que faz com que as normas nacionais e regionais sobre a qualidade do ar não tratem especificamente do carbono negro. Acordos regionais, como o Protocolo de Gotemburgo, reconhecem o carbono negro como um componente crucial do PM_{2,5}, mas não exigem relatórios de emissões e têm aplicação limitada a uma área geográfica específicaⁱ.

Resulta que, apesar do seu papel na mudança climática, a conscientização, o financiamento e as ações voltadas ao carbono negro estão atrasados em comparação com outros tipos de poluentes. A complexidade científica causou incerteza e paralisia, prejudicando a concretização de ações abrangentes voltadas especificamente ao carbono negro na forma de regulamentação focada e ações de mitigação. Enquanto isso, as emissões de carbono negro vêm aumentando em muitos lugares sem diminuir com rapidez suficiente em outros. Isso apesar da pronta disponibilidade de combustíveis e tecnologias capazes de reduzir rapidamente essas emissões. É tecnicamente viável cortar as emissões globais em 70% até 2030 em comparação com os níveis de 2016. A necessidade de mitigação é imediata e urgente. Portanto, este relatório:

- Apresenta o conhecimento científico mais atual sobre o carbono negro e seu papel na mudança climática, na saúde pública e na promoção da resiliência.
- Destaca soluções e estratégias práticas para reduzir ou eliminar as emissões de carbono negro.
- Descreve um conjunto de recomendações direcionadas a governos e entidades financiadoras para acelerar a adoção ampla de intervenções para reduzir as emissões de carbono negro.
- Recomenda a realização de mais pesquisas para reduzir as incertezas remanescentes na nossa compreensão dos múltiplos impactos do carbono negro.

ⁱ Metas de carbono negro também estão ausentes do Acordo da ASEAN sobre Poluição por Névoa Transfronteiriça, da Declaração de Male sobre Qualidade do Ar, do Programa de Ação Regional da ONU-ESCAP, do Plano de Ação Regional sobre a Qualidade do Ar da América Latina e Caribe e dos Acordos de Nairobi, Lusaka e Abidjan da África Ocidental, embora todos ofereçam oportunidades para incluí-las.

4. O CONHECIMENTO CIENTÍFICO MAIS ATUAL



Influência sobre o aquecimento global

O carbono negro afeta o forçamento radiativo atmosférico por meio de três mecanismos distintos: interações aerossol-radiaçãoⁱⁱ, interações aerossol-nuvem e escurecimento da neveⁱⁱⁱ. Segundo a mais recente avaliação do IPCC (Relatório AR6), as emissões de carbono negro contribuíram substancialmente para o aquecimento histórico, com forçamento radiativo global médio de $+0,11 \text{ W/m}^2$ (intervalo de $-0,20$ a $+0,42$). A incerteza quanto à média global se deve primordialmente à baixa confiança, no AR6, sobre os efeitos das interações aerossol-nuvem, mas o efeito das emissões de todas as fontes com alto teor de carbono negro no aquecimento perto da superfície e no escurecimento da neve e do gelo marinho - ambos cruciais no que tange aos pontos de inflexão climática para a criosfera e as monções - tem forçamento positivo com alta confiança.^{2,3}



Aquecimento da criosfera

Os ecossistemas criosféricos estão associados a pontos de inflexão climática cruciais para a segurança hídrica e energética, o clima regional e a agricultura. O carbono negro influencia significativamente as temperaturas superficiais regionais, especialmente no Ártico⁴, tendo um efeito no aquecimento da criosfera que se estima ser aproximadamente três vezes mais potente do que o do CO₂.^{3,5} O carbono negro alimenta um ciclo de "feedback" climático, também conhecido como amplificação ártica, que diminui a cobertura de neve e gelo e reforça o aquecimento regional. Estima-se que a taxa de aquecimento do Ártico seja de três a quatro vezes mais rápida do que a do planeta como um todo.^{6,7} Isso gera impactos climáticos globais, inclusive sobre as monções indianas e a desertificação na Califórnia.⁸ Ademais, o escurecimento da neve provocado pelo carbono negro tem efeito direto na aceleração do recuo das geleiras no Himalaia (causando 50% do aquecimento superficial da neve), antecipa a estação de derretimento da neve no oeste dos Estados Unidos, com consequências significativas para a hidrologia regional, e aumenta o escoamento nas geleiras andinas durante a alta temporada de incêndios na Amazônia (contribuindo com 4,5% do derretimento anual dessas geleiras).^{4,9,10,48}



Efeito nos padrões de precipitação

Os impactos climáticos vão além das mudanças na temperatura superficial, incluindo também alterações nos padrões de precipitação e nos sistemas de monções. O carbono negro contribui significativamente para as mudanças nos padrões regionais de precipitação¹¹ e sabidamente desacelera o ciclo hidrológico, levando a condições mais secas.¹² O impacto do carbono negro na sensibilidade hidrológica global é quase duas vezes maior que o do CO₂.¹³ e eventos climáticos extremos são mais sensíveis aos aerossóis, especificamente ao carbono negro.¹⁴ As emissões de carbono negro desregulam a precipitação das monções na Ásia^{15,16} e na África Ocidental¹⁷, afetando a agricultura ao causar mais enchentes, danificando a infraestrutura e impactando vidas e meios de subsistência. As emissões de carbono negro exacerbam eventos extremos de precipitação em regiões como a Índia e a China.^{14,18} Mais pesquisas são necessárias para que se saiba qual exatamente é o impacto do carbono negro nos padrões regionais de precipitação, dadas as suas complexidades como balanços energéticos locais, mudanças de umidade e efeitos de nuvens.¹⁹⁻²¹

ii O material particulado no contexto climático também é conhecido como aerossol.

iii Os três mecanismos são (1) forçamento radiativo direto através da absorção da luz solar, estimado em $+0,28 \text{ W/m}^2$ (alta confiança), (2) aquecimento devido ao depósito de carbono negro, que intensifica o derretimento da neve e do gelo, com "feedback" estimado em $+0,07 \text{ W/m}^2$ (alta confiança); e (3) efeitos indiretos do carbono negro em decorrência da sua capacidade de formar nuvens, alterando a refletividade e a distribuição das nuvens, com estimativa central de $-0,13 \text{ W/m}^2$ (probabilidade média). Os efeitos indiretos são a maior fonte de incerteza quanto às estimativas dos impactos climáticos do carbono negro.^{2,46}



Efeitos na Saúde

O carbono negro é um componente importante da poluição por PM_{2,5}, muitas vezes representando 10-30% das concentrações de PM_{2,5} detectadas.²² Sendo um poluente atmosférico nocivo, o carbono negro contribui significativamente para as 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 da ordem de trilhões de dólares (6% do PIB global)²³ a cada ano.

Há cada vez mais evidências sobre os impactos na saúde da exposição especificamente ao carbono negro, que se insere no contexto das fartas evidências sobre PM_{2,5} de forma mais ampla. Supondo que todos os componentes do PM_{2,5} tenham toxicidade equivalente, estima-se que a exposição externa/ambiental ao carbono negro seja responsável por 150.000 mortes adicionais a cada ano ao redor do mundo²⁴. Medidas de mitigação das emissões de carbono negro também reduziram o carbono orgânico coemitido, o que poderia evitar até oito vezes mais mortes.²⁵ Tais projeções estão subestimadas, pois não incluem a poluição do ar em ambientes domésticos. As medidas de mitigação devem ter como um dos seus principais focos o uso doméstico de biocombustíveis, que é fonte significativa de carbono negro. O carbono negro apresenta correlação mais forte com níveis elevados de pressão arterial do que o PM_{2,5} em geral, agregando carga de morbidade e mortalidade cardiovascular maior que a de outros componentes do PM_{2,5}.²⁶ Isso significa que a redução das emissões de carbono negro pode ter impacto ainda maior. Um estudo recente estimou que uma redução de 87% nas emissões de carbono negro somente na Planície Indo-Gangética poderia eliminar até 400.000 mortes precoces anuais.²⁷ A exposição ao carbono negro na gravidez comprovadamente afeta o desenvolvimento e a saúde dos recém-nascidos, estando associada à redução do peso ao nascer.²⁸

Tal como ocorre com a poluição atmosférica geral, os riscos que o carbono negro causa à saúde são sentidos de forma mais aguda pelas comunidades mais vulneráveis da sociedade. A exposição a muitas das principais fontes de carbono negro ocorre de forma desigual. Por exemplo, comunidades de baixa renda muitas vezes ficam mais próximas de rodovias com tráfego pesado de caminhões e ônibus a diesel²⁶, enquanto mulheres e crianças estão mais expostas às emissões nocivas de lamparinas e fogões a querosene²⁹.

O carbono negro também pode piorar as condições de calor extremo e aumentar o risco de morte em decorrência das ondas de calor, estando associado ao aumento da intensidade dessas ondas.^{30,31} Além disso, a exposição a altos níveis de poluição atmosférica e de carbono negro comprovadamente aumenta o risco de morte durante as ondas de calor.³²⁻³⁴ Estima-se que as ondas ocorridas em períodos de alta concentração de material sejam 36% e 106% mais letais nas faixas etárias de 75 a 84 anos e de 85 anos ou mais, respectivamente.³²

Forçantes climáticas de aquecimento e de resfriamento

As fontes de carbono negro também emitem uma mistura complexa de outros poluentes prejudiciais à saúde, ao meio ambiente e/ou ao clima. Alguns dos principais copoluentes do carbono negro (por exemplo, CO₂, monóxido de carbono e compostos orgânicos voláteis não metano) causam aquecimento líquido, enquanto outros (por exemplo, carbono orgânico e dióxido de enxofre) provocam resfriamento líquido. A emissão de aerossóis como carbono negro, carbono orgânico e sulfatos, bem como o impacto climático da sua dispersão e absorção, dependem dos tipos de combustível, métodos de combustão, localização geográfica das emissões e condições atmosféricas, representando um campo de pesquisa vital para reduzir a incerteza climática.

Isso significa que algumas medidas, por exemplo, aquelas voltadas ao corte das emissões de dióxido de enxofre, podem ter como efeito líquido dominante a redução das emissões de forçantes climáticas que causam resfriamento.^{35,36} É importante que políticas e medidas adotem uma abordagem integrada e multipolvente, considerando seus impactos sobre o clima, a saúde, o meio ambiente, a economia e outros aspectos. O impacto da redução das emissões de gases de efeito estufa é amplamente analisado em escala global, mas outros poluentes têm efeitos são mais locais e regionais. O debate sobre "trade-offs" não deve ignorar, por exemplo, os efeitos sobre as desigualdades em nível local, sobre a saúde pública em âmbito nacional e sobre os ciclos de "feedback" e pontos de inflexão climática em escala regional.

Alguns comentaristas observaram recentemente que certas estratégias de controle da poluição atmosférica reduziram as forçantes climáticas de resfriamento, "desmascarando", por conseguinte, o aquecimento global. Mas não será a poluição que resolverá os problemas da mudança climática. Os princípios do Acordo de Paris exigem que a descarbonização tome caminhos que promovam o desenvolvimento sustentável e a equidade. O controle da poluição atmosférica e o combate à mudança climática estão umbilicalmente ligados, e os princípios do Acordo de Paris exigem que os problemas relacionados à poluição atmosférica e aos gases de efeito estufa sejam tratados de forma integrada. Precisamos enfrentar essas duas crises simultaneamente. Deixar de controlar a poluição atmosférica para "desacelerar" a mudança climática prejudicaria a saúde de bilhões de pessoas, ignorando que o ônus da poluição atmosférica recai desproporcionalmente sobre o Sul Global. No entanto, priorizar a redução das emissões de setores que emitem muito carbono negro abre a oportunidade para gerar benefícios imediatos quanto à qualidade do ar, mitigação climática e adaptação climática.

5. SOLUÇÕES PARA REDUZIR AS EMISSÕES DE CARBONO NEGRO

A distribuição geográfica dos setores que emitem muito carbono negro é extremamente variada³. O Sul da Ásia é predominantemente influenciado pelo consumo doméstico de energia e pelos fornos de fabricação de tijolos. A África e o Sudeste Asiático sofrem principalmente os efeitos dos incêndios florestais e queimadas e do consumo doméstico de energia. Já no hemisfério ocidental, as emissões são predominantemente provenientes de veículos a diesel e, mais recentemente, de incêndios florestais. Perto do Ártico, a queima de gás (“flaring”) e o transporte marítimo também são fontes importantes que merecem urgente atenção, dado o aumento nas emissões de carbono negro provenientes do transporte marítimo, apesar da urgência do combate à amplificação ártica.³⁷

Existem soluções para reduzir as emissões de carbono negro em todos esses setores e regiões prioritários. Muitas dessas soluções enfrentam desafios não de caráter técnico, mas sim relativos a financiamento, modelos de negócios e intervenção política. Mais financiamento, melhor capacitação local, o compartilhamento das lições aprendidas e a disseminação das melhores práticas sobre essas soluções podem ter efeito rápido e concreto na redução das emissões de carbono negro. Abaixo são apresentados estudos de caso sobre intervenções exitosas de combate às emissões de carbono negro nas proximidades de regiões criosféricas sensíveis ao clima e de circulação.



ILUMINANDO A ÁFRICA



**USANDO A ENERGIA RENOVÁVEL
PERTO DO ÁRTICO**



APAGANDO O FOGO



**MUDANDO PARA O
ZIGUEZAGUE**



ILUMINANDO A ÁFRICA

O problema

Aproximadamente 675 milhões de pessoas em todo o mundo ainda não têm acesso à eletricidade, das quais 47,80% vivem na África Subsaariana. Em regiões com acesso limitado à eletricidade, as lâmpadas a querosene são uma fonte de iluminação muito comum e uma importante fonte de poluição do ar interno, dado que suas emissões de material particulado são compostas quase inteiramente de carbono negro. Os impactos do carbono negro são especialmente pronunciados na África Ocidental, estendendo-se à modulação dos padrões das monções.

A solução

Desde 2009, os programas "Iluminando a África" (*Lighting Africa*) e "Iluminação Global" (*Lighting Global*) do Banco Mundial promovem o acesso à iluminação solar de alta qualidade e a preços módicos em locais fora da rede elétrica ("off-grid"), substituindo as lâmpadas a querosene e eliminando as emissões de carbono negro. Em colaboração com governos, setor privado, agências de desenvolvimento, instituições financeiras e outros parceiros, esses programas desenvolveram uma metodologia abrangente para catalisar mercados solares sustentáveis "off-grid".

Aproximadamente **32,4 milhões** de produtos de iluminação solar "off-grid" de alta qualidade foram vendidos na África Subsaariana na última década. Esses produtos de Nível 1 e outros de categoria inferior normalmente são utilizados para iluminação, substituindo as lâmpadas a querosene.



Desde 2016, esses produtos proporcionaram a cerca de **415,5 milhões** de pessoas acesso a iluminação limpa e segura.



A substituição de lâmpadas a querosene evitou a emissão de **24.000 toneladas métricas** de carbono negro.

Milhões de produtos de Nível 2 e de categoria superior, que oferecem maior capacidade de geração de energia solar e podem substituir tanto lâmpadas a querosene quanto equipamentos de maior porte, também foram comercializados no âmbito do programa, contribuindo para o atingimento do ODS7 (acesso à energia limpa).

Financiamento e oportunidades de expansão

Conseguiu-se essa redução significativa nas emissões domésticas de carbono negro graças à expansão do acesso a dispositivos de iluminação solar "off-grid" de alta qualidade e a custo módico, especialmente nas áreas mais dependentes das lamparinas a querosene. Sob a orientação do Programa de Assistência à Gestão do Setor Energético (ESMAP), os especialistas em energia "off-grid" dos programas atuam dentro das equipes de acesso à energia do Banco Mundial para auxiliar as intervenções governamentais e a estruturação de instrumentos financeiros. A expansão de programas similares ao Lighting África e ao Lighting Global é necessária para ampliar ainda mais o acesso. Estima-se que soluções usando energia solar "off-grid" - indo de produtos básicos de iluminação a energia solar utilizando carregadores de celular (Nível 1) a sistemas solares domésticos de maior porte (Nível 2 e categoria superior) - tenham o potencial de gerar, a custo módico, eletricidade limpa para cerca de 464 milhões de pessoas na África Subsaariana até 2030, mas investimentos adicionais são necessários para ajudar o mercado a aproveitar essa oportunidade.

O financiamento e o custo seguem sendo as principais barreiras à expansão. A implementação de soluções inovadoras de financiamento, por exemplo, microempréstimos ou modelos de pagamento conforme o uso ("pay-as-you-go"), aliada à colaboração com bancos, instituições de microcrédito e plataformas de pagamento móvel locais, pode facilitar a ampliação do acesso a essas opções de financiamento. Subsídios ou doações oferecidas por governos e doadores internacionais, incluindo sistemas inovadores de financiamento climático baseados em resultados, também podem reduzir os custos iniciais e incentivar o uso desses produtos. Disponibilizar amplamente essas soluções financeiras e adaptá-las ao contexto econômico local pode aumentar significativamente a adoção de soluções de iluminação a energia solar, proporcionando uma alternativa sustentável às lamparinas a querosene.

“Passados 100 anos da criação da rede elétrica convencional na África Subsaariana, aproximadamente metade da população permanece sem eletricidade. A energia solar "off-grid" abre aos países africanos a oportunidade de acelerar a universalização do acesso à eletricidade, mitigando muitos dos impactos ambientais negativos causados pela iluminação baseada em combustíveis fósseis.”

– Erik Fernstrom, Gerente de Energia para a África Oriental, Área Global de Energia, Banco Mundial

Impactos



Insegurança alimentar



Saúde precária



Poluição atmosférica



USANDO A ENERGIA RENOVÁVEL PERTO DO ÁRTICO

O problema

Numerosas comunidades próximas ao Ártico são muito dependentes de geradores a diesel que emitem carbono negro que se deposita no gelo ártico, acelerando o seu derretimento. O transporte marítimo do diesel a essas comunidades também aumenta os custos para a comunidade e as emissões.

A solução

Substituir o diesel por energia solar ou eólica renovável para atender às necessidades energéticas é uma solução eficaz para mitigar as emissões de carbono negro na região. Lançado em 2018, o Programa Canadense de Energia Limpa para Comunidades Rurais e Remotas (CERRC) tem como objetivo reduzir, no prazo de 8 anos, a dependência das comunidades indígenas remotas do diesel para calefação e geração de energia. A aldeia indígena de Old Crow, na província canadense do Yukon, por exemplo, instalou em 2021 um parque de geração solar que supre 25% da demanda de eletricidade da comunidade.

Com o apoio da empresa ATCO Electric Yukon e com financiamento de 1,8 milhão de dólares canadenses da CERRC, esse projeto comunitário de base inclui painéis solares com capacidade total de **940 quilowatts** e um sistema de baterias para armazenamento de **616 quilowatts**. A iniciativa economiza até **190.000 litros** de diesel por ano, o equivalente a retirar 140 carros de circulação.



Isto evita a emissão de aproximadamente **680 toneladas** de CO₂ e **40kg** de carbono negro anualmente.

Financiamento e oportunidades de expansão

O CERRC apoia mais de 100 projetos desse tipo em todo o país graças ao financiamento de mais de 160 milhões de dólares canadenses recebido do Governo do Canadá. Outros países do Ártico também mantêm programas similares de incentivo à energia renovável "off-grid". Os EUA, por exemplo, implementaram o Fundo de Energia Renovável (*Renewable Energy Fund*)³⁹, que destinou US\$250 milhões a 73 projetos hoje em operação no Alasca. Programas semelhantes também existem na Rússia, Noruega e Suécia. Programas desse tipo são viáveis não apenas no Ártico, mas também em outras regiões próximas à criosfera em diferentes partes do mundo, por exemplo, no Nepal, na Índia e na região de Hindu Kush, entre o Paquistão e o Afeganistão.

“Este projeto é um ótimo exemplo de como as iniciativas internacionais, nacionais e locais se cruzam, com ótimos resultados para as comunidades locais e seus moradores e para o planeta. O Canadá é membro do Conselho do Ártico, estabeleceu uma meta de redução das emissões de carbono negro, incorporando-o à sua NDC vinculada ao Acordo de Paris, e, em cumprimento a esses compromissos, implementou um programa nacional bem financiado de eletrificação de comunidades rurais remotas sem o uso do diesel. Além disso, o governo local assumiu a liderança no campo, promovendo mudanças altamente inovadoras mesmo em circunstâncias difíceis. Foi uma vitória para a saúde da população local, uma vitória para o desenvolvimento local e uma vitória para o clima, especialmente num ambiente tão sensível quanto o Ártico, que já está sob forte estresse.”

- Dan McDougall, Ex-Embaixador para Assuntos Relativos à Mudança Climática e Ex-Vice-Ministro Adjunto do Departamento de Políticas Estratégicas, Meio Ambiente e Mudança Climática do Canadá

Impactos



Derretimento do gelo



Saúde precária



Poluição atmosférica



MUDANDO PARA O ZIGUEZAGUE

O problema

A produção de tijolos pode emitir muito carbono negro.⁴⁰ O Nepal tem cerca de 1.300 fornos tradicionais para fabricação de tijolos, que emitem cerca de 1.200 toneladas de carbono negro e 1,3 milhão de toneladas de CO₂ por ano.⁴¹ No Vale de Katmandu, estima-se que as fábricas de tijolos respondam por cerca de 40% da poluição atmosférica.

A solução

O Centro Internacional para o Desenvolvimento Integrado das Montanhas (ICIMOD), em parceria com a Federação das Indústrias de Tijolos do Nepal (FNBI), apoiou a transição para uma tecnologia mais limpa de fornos em ziguezague.^{41iv} O terremoto de 2015, que danificou cerca de 40% dos fornos tradicionais do Nepal, abriu as portas para essa transição.

Em 2015, o ICIMOD também lançou o “Manual de Projeto: Forno Aprimorado de Chaminé Fixa para Fabricação de Tijolos” (*Design Manual: Improved Fixed Chimney Brick Kiln*), que apresenta um projeto de forno resistente a terremotos, energeticamente eficiente e ambientalmente sustentável. Seguiu-se um memorando de entendimento entre 12 operadores de fornos e o FNBI, alocando responsabilidades para a fase de reconstrução.

Desde 2023, **476** fornos tradicionais foram convertidos em modelos em ziguezague, permitindo reduzir em **20%** o consumo de carvão e produzir tijolos de melhor qualidade a custo mais baixo.



Estima-se que os fornos em ziguezague, se operados corretamente, reduzam as emissões de

↓
PM2,5 em
40%

↓
Carbono
negro em
60%

↓
CO₂ em
12%

iv A verdadeira tecnologia em ziguezague inclui quatro elementos essenciais que funcionam em conjunto: chaminé em ziguezague, sopradores/circuladores de ar elétricos, isolamento térmico eficiente e gestão otimizada do combustível. Intervenções que não incluam todos os quatro aspectos podem não apresentar resultados semelhantes aos relatados.

Os fornos em ziguezague têm importante papel na transição para fornos elétricos mais limpos, que infelizmente ainda não são amplamente utilizados porque demandam investimento elevado.

A bem-sucedida intervenção do ICIMOD no Nepal ressalta a importância da adoção de tecnologias mais sofisticadas para criar um impacto social significativo, e este programa agora também opera no Paquistão.

Financiamento e oportunidades de expansão

O projeto ICIMOD no Nepal recebeu aportes de US\$1 milhão da Coalizão Clima e Ar Limpo (*Climate and Clean Air Coalition*) e de US\$1,2 milhão do Departamento do Reino Unido para o Desenvolvimento Internacional (*UK Department for International Development*). Somente um investimento inicial é necessário para converter fornos tradicionais para o modelo em ziguezague, cuja operação é mais econômica e produz tijolos de qualidade superior (tipo "A"), gerando mais renda para os trabalhadores e tornando a atividade mais sustentável a longo prazo. Contudo, pode ser necessário oferecer auxílio não financeiro (técnico e comercial) aos proprietários dos fornos e programas de capacitação aos trabalhadores para otimizar a construção e operação dos fornos em ziguezague⁴².

Programas semelhantes estão em andamento no Paquistão, na Índia e em Bangladesh. A proibição, pelo governo de Bangladesh, do uso de fornos com chaminé fixa resultou na conversão de 50% dessas unidades em fornos em ziguezague, sem a necessidade de financiamento externo. Essas intervenções também podem ser adotadas em países da América Latina, onde operam 45 mil produtores de tijolos⁴⁰.

“O ICIMOD foi pioneiro num modelo transformador para os fornos de fabricação de tijolos no sul da Ásia. Esse modelo também enfatizou a inclusão de gênero e social, com foco em aspectos como a saúde e a segurança dos trabalhadores, bem como na educação dos seus filhos. Um dos principais sucessos dessa abordagem foi a adoção pela Federação das Indústrias de Tijolos do Nepal (FNBI) de um Código de Conduta Social elaborado em conjunto com o ICIMOD.”

– Sra. Bidya Pradhan, Especialista Sênior em Meio Ambiente Atmosférico do ICIMOD

Impactos



Precipitação extrema



Insegurança alimentar



Derretimento do gelo



Saúde precária



Poluição atmosférica



APAGANDO O FOGO

O problema

Incêndios florestais frequentemente resultam da ação humana, tendo havido aumento significativo na sua extensão e frequência em todo o mundo, inclusive na África Ocidental. Mais incêndios florestais acarretam mais emissões de gases de efeito estufa e de carbono negro, contribuindo para o aumento das temperaturas globais e para a piora da qualidade do ar. Temperaturas mais altas, por sua vez, tornam mais prováveis os incêndios florestais e o aumento das emissões, criando um ciclo vicioso.

A solução

Em 2017, a Form International e a Form Ghana desenvolveram o Programa de Restauração da Paisagem Florestal (*Forest Landscape Restoration Program*), um Projeto Integrado de Manejo Comunitário de Queimadas que incluía o corpo de bombeiros, bombeiros comunitários voluntários, autoridades tradicionais e líderes comunitários.⁴³ A proibição total das queimadas para fins agrícolas até então em vigor foi revogada e queimadas controladas voltaram a ser permitidas sob novas regras e sob a supervisão de bombeiros comunitários voluntários, treinados e equipados para atuar em conformidade com um conjunto de procedimentos operacionais. Foi desenvolvido um novo procedimento operacional combinando as boas práticas de trabalho tradicionais com outras mais modernas, como o uso de um índice de perigo de incêndio. Programas de conscientização e capacitação também foram implementados, fortalecendo o monitoramento, a operação e a comunicação entre as diversas autoridades locais e governamentais.

Quatro anos após a implementação do Projeto Comunitário de Manejo de Queimadas, o número de incêndios florestais tinha se reduzido em **78%**. ↓



Em Gana, os incêndios florestais emitem 8.000 toneladas/ano de carbono negro, correspondendo a quase metade das emissões do país.

Se o projeto de manejo de queimadas fosse implementado em escala nacional, poderia evitar a emissão de cerca de **6.000 toneladas/ano** de carbono negro.

Financiamento e oportunidades de expansão

O êxito do projeto inicial levou à sua adoção por um serviço privado de restauração florestal que recebeu financiamento da Parceria pelas Florestas (*Partnership for Forests*) e da DOB Ecology, entre outras organizações, para elaborar e implementar o projeto.

Os incêndios florestais podem ser monitorados usando dados de satélite. O ICIMOD⁴⁴ lançou no Nepal um serviço de alerta de incêndios florestais, podendo o mesmo método ser utilizado para monitorar a eficácia dos programas de manejo de queimadas. O manejo adequado na região do Himalaia possivelmente exigirá cooperação regional entre os países do Hindu Kush himalaio.

“A adoção de uma abordagem comunitária voltada à prevenção das queimadas, em vez de à sua supressão, contribui para a drástica redução do número e extensão dos incêndios florestais descontrolados nas áreas rurais. Tudo começa com discussões abertas e transparentes entre todos os usuários da terra, para esclarecer os desafios existentes nos âmbitos governamental, social, ambiental e organizacional. A implementação de uma estrutura operacional aprimorada, que adapta práticas tradicionais e incorpora novas medidas, devolve à população local, das aldeias, a responsabilidade e o controle sobre os incêndios florestais. Tanto os governos, quanto o setor privado e outras partes interessadas devem colaborar para incorporar essa abordagem aos programas nacionais e regionais de prevenção de queimadas e incêndios.”

– Rosa Diemont, Especialista em Restauração Paisagística e Florestal, Form International

Impactos



Insegurança alimentar



Derretimento do gelo



Saúde precária



Poluição atmosférica

6. POR QUE AGIR?

O Ártico está se aquecendo três a quatro vezes mais rapidamente do que o resto do planeta, aproximando-se rapidamente de pontos de inflexão perigosos e impactando os ciclos globais de "feedback" climático. As geleiras estão derretendo mais rapidamente do que nunca no Himalaia, nos Andes e nos Alpes. A imprevisibilidade crescente das monções causa enchentes mais extremas e danos significativos à vida e à infraestrutura.

A crise climática está se agravando. Os formuladores de políticas buscam estratégias para conter o aumento da temperatura e evitar pontos de inflexão irreversíveis, enquanto os profundos e rápidos cortes nas emissões de CO₂, essenciais à sobrevivência do planeta a longo prazo, estão sendo implementados. E o melhor lugar onde procurar é a família de gases e partículas que causam poluição atmosférica nociva e que contribuem fortemente para a mudança climática. Reduzir os poluentes climáticos de vida curta, por exemplo, o metano, o carbono negro e o ozônio troposférico, é uma maneira inteligente de reduzir o aquecimento no curto prazo.

Hoje há consenso de que ações podem e devem ser tomadas com respeito ao metano, abrindo a possibilidade de evitar o aquecimento de 0,3°C até 2050.⁴⁵ Agora, a atenção também deve se voltar para outros poluentes climáticos importantes. O carbono negro, que já foi um dos focos da ação climática, acabou relegado a segundo plano em meio a disputas políticas e questionamentos sobre a relevância da sua contribuição para o aquecimento global. O conhecimento científico mais atual deixa claro que o carbono negro tem grande impacto nos ciclos regionais de "feedback" climático, pontos de inflexão e padrões climáticos. Pesquisas adicionais definirão a magnitude exata da sua contribuição. Mas até lá, o seu efeito de aquecimento líquido, juntamente com o potencial de fortalecer a resiliência em regiões vulneráveis e de melhorar a saúde pública, é justificativa suficiente. Uma abordagem focada no carbono negro é uma ferramenta urgente, necessária e eficaz para enfrentar os perigos da mudança climática.

O carbono negro merece, portanto, ganhar destaque na agenda climática e nas estratégias climáticas. A boa notícia é que já é possível agir, usando tecnologias existentes e práticas reconhecidas, para reduzir as emissões de carbono negro. A vida curta do carbono negro na atmosfera faz com que os benefícios da redução das suas emissões ocorram quase imediatamente.

Além disso, o carbono negro não é apenas uma questão de mitigação climática. Reduzir as suas emissões pode fortalecer a resiliência, ajudar as comunidades a se adaptar a um clima mais quente e melhorar a saúde pública, sendo esses benefícios sentidos mais intensamente perto das fontes emissoras. A ação focada e rápida sobre o carbono negro pode reduzir o risco de eventos de precipitação extrema e de enchentes, reduzir o estresse térmico e tornar as pessoas mais capazes de lidar com o calor extremo, aumentando a segurança alimentar e hídrica. Também pode nos ajudar a melhorar a qualidade do ar, prevenir milhões de mortes a cada ano e corrigir injustiças ambientais de longa data.

Juntamente com a descarbonização profunda, precisamos dar mais atenção às forçantes climáticas críticas não CO₂. Por que agir? Porque reduzir estrategicamente as emissões de carbono negro dentro da estratégia climática é uma forma quase imediata de mitigar rapidamente a mudança climática e de promover o desenvolvimento sustentável e obter benefícios sociais e de saúde alinhados aos princípios do Acordo de Paris.

7. RECOMENDAÇÕES

As recomendações abaixo se destinam a formuladores de políticas e financiadores e pretendem promover o conhecimento e a pesquisa científica. Essas etapas podem ajudar a evitar pontos de inflexão climáticos irreversíveis e que se aproximam rapidamente e a melhorar a qualidade do ar para bilhões de pessoas. Ações e intervenções setoriais mais específicas estão delineadas no Anexo A.

Elaboração de políticas e regulamentação

A liderança e a ação rápida sobre poluentes não CO₂, como o carbono negro, são fundamentais para, em conjunto com a descarbonização profunda, mitigar os piores efeitos das mudanças climáticas nos próximos anos. Os formuladores de políticas devem aproveitar o impulso dado pelos esforços de redução das emissões de metano para abrir a porta para iniciativas, novas e ambiciosas, voltadas a essas forçantes climáticas cruciais. No entanto, a Coalizão Clima e Ar Limpo (CCAC) identificou apenas 17 governos nacionais que incluíram o carbono negro nas suas metas nacionais, e nem todos se comprometeram a reduzir suas emissões.

Todos os países devem se comprometer a implementar controles novos e adicionais sobre as emissões de carbono negro por meio de planos de ação concretos capazes de reduzir as emissões de forma mensurável e no menor tempo possível. Dada a rapidez com que as emissões de carbono negro impactam o sistema climático e a qualidade do ar, a velocidade de implementação deve ser a métrica essencial.

- Todos os países devem incluir o carbono negro nas suas NDCs de 2025, com vistas a reduzir suas emissões além do que seria alcançado apenas com as ações de descarbonização e mitigação do metano. Essa abordagem se coaduna com o princípio do Acordo de Paris de que a ação climática deve ocorrer no contexto do desenvolvimento sustentável e da erradicação da pobreza.
- Os países devem (1) priorizar a descarbonização profunda das fontes que emitem muito carbono negro, por exemplo, fornos de fabricação de tijolos, motores a diesel e lamparinas a querosene; (2) apoiar iniciativas comunitárias de manejo de queimadas, e (3) implementar políticas, regulamentos, medidas de monitoramento e financiamento que incentivem a substituição dos biocombustíveis de uso doméstico por alternativas sem carbono negro.
- Os países do Conselho Ártico devem retomar e intensificar seus esforços para reduzir as emissões de carbono negro, estabelecendo uma meta ambiciosa de redução pós-2025. O Conselho do Ártico também deve dialogar com todos os países observadores e "candidatos" a observadores para definir uma meta complementar de redução de carbono negro, seja ela individual ou coletiva
- Os países devem criar inventários integrados de gases de efeito estufa e poluentes atmosféricos e incluir as forçantes climáticas de vida curta nos seus relatórios de inventário nacional para a UNFCCC.
- Organizações líderes em outras regiões da criosfera, como a Associação das Nações do Sudeste Asiático (ASEAN), a Comissão Econômica e Social para a Ásia e o Pacífico (ESCAP) e a ICIMOD, devem adotar e adaptar a abordagem do Conselho Ártico para reduzir coletivamente as emissões de carbono negro, gerando benefícios para o clima e a saúde na sua região.
- Os países devem envolver e apoiar as jurisdições subnacionais nos seus esforços, especialmente as cidades, que são fontes concentradas tanto das emissões de carbono negro quanto das soluções para reduzi-las.
- Devem ser feitos esforços para envolver e incluir as comunidades médica e de saúde no desenvolvimento de planos de ação para redução das emissões de carbono negro que fortaleçam as NDCs. Da mesma forma, os atores que trabalham com questões de justiça climática e equidade também devem ser incluídos, dado o impacto ambiental desigual do carbono negro e dos poluentes coemitidos.

Financiamento

Os esforços de redução das emissões de carbono negro acima mencionados devem ser apoiados por países doadores, bancos multilaterais de desenvolvimento (BMDs) e fundações filantrópicas por meio de doações e financiamento concessionário voltados desenvolvimento, evitando aumentar o endividamento dos países beneficiários, como ocorrido no passado.

- **Os países doadores** que financiam os esforços de descarbonização nos termos do Artigo 6.2 ou de outros acordos bilaterais devem priorizar projetos que simultaneamente tenham o maior potencial para reduzir as emissões de carbono negro.
- **Os MDBs** devem ampliar o financiamento aos programas de melhoria da qualidade do ar focados em setores que emitem muito carbono negro, ampliar a contabilidade de GEE nos projetos em andamento e novos de modo a incluir todos os poluentes climáticos de vida curta (SLCPs) e debater com o Fundo Verde para o Clima (*Green Climate Fund*) a inclusão explícita do carbono negro nos seus instrumentos financeiros. O financiamento da adaptação pode abrir uma nova fonte de recursos para as ações de redução das emissões de carbono negro, com um modelo mais focado em doações.
- **As entidades filantrópicas** devem dialogar com o Banco Mundial, o Fundo Global para o Meio Ambiente (*Global Environment Facility*) e os BMDs regionais para integrar o carbono negro nos respectivos programas e operações. Essas entidades podem ajudar as Organizações Não Governamentais na elaboração de campanhas de conscientização, no fortalecimento das capacidades necessárias para reduzir as emissões de carbono negro e no desenvolvimento de planos de mitigação específicos para determinados setores ou cidades. Podem, também, suprir lacunas críticas no financiamento das ações de mitigação onde as forças do mercado ou outros mecanismos de financiamento são insuficientes ou provavelmente não conseguirão chegar.

Ciência e pesquisa

Nossas recomendações se baseiam nos efeitos comprovados do carbono negro na neve e no gelo, nos ciclos hidrológicos e na saúde humana. As entidades financiadoras (públicas ou privadas) devem incentivar mais pesquisas científicas para reduzir as incertezas remanescentes no nosso conhecimento sobre o carbono negro e outros aerossóis, especialmente no que diz respeito à sua interação com as nuvens. Para superar os gargalos científicos, os esforços de pesquisa devem incluir:

- Uma nova avaliação integrada do carbono negro - a última foi realizada em 2011 pela CCAC, pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente e pela Organização Meteorológica Mundial - analisando, em especial, os impactos regionais que se tornaram mais relevantes na última década.
- Ferramentas para desenvolver inventários de emissões mais precisos e meios automatizados e verificáveis de acompanhamento da eficácia das medidas de redução das emissões de carbono negro, inclusive o uso de dados de satélite.
- Novos estudos da Organização Mundial da Saúde sobre os impactos do carbono negro na saúde, com vistas a incluí-lo nas diretrizes de melhoria da qualidade do ar. Um obstáculo fundamental é a ausência de dados de monitoramento de longo prazo do carbono negro que possam subsidiar estudos epidemiológicos. Tornar o monitoramento do carbono negro ambiental mais acessível e barato para os países de renda baixa e média supriria essa lacuna crítica de dados.
- Métricas para avaliar e acompanhar o progresso climático devem ser desenvolvidas levando em conta os impactos climáticos regionais de longo e curto prazos de todos os tipos de poluente relevantes, de modo a reduzir simultaneamente os riscos associados aos pontos de inflexão e a gerenciar o aquecimento de curto e longo prazos.
- É necessária mais modelagem climática regional para melhor entender os impactos mais localizados e regionais desses poluentes. A "expertise" que falta a determinado país ou região deve ser desenvolvida por meio da capacitação e do apoio à infraestrutura.

8. REFERÊNCIAS

1. CCAC (2020) Opportunities for 1.5°C consistent black carbon mitigation. Disponível em: <https://www.ccacoalition.org/resources/opportunities-15c-consistent-black-carbon-mitigation>
2. Szopa et al. (2021) Short-Lived Climate Forcers. in *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (eds. Masson-Delmotte, V. et al.) (Cambridge University Press, 2021). Disponível em: <https://doi.org/0.1017/9781009157896.008>
3. Bond et al. (2013) Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* **118**, 5380–5552.
4. Sand et al. (2020) Surface temperature response to regional black carbon emissions: do location and magnitude matter? *Atmos Chem Phys* **20**, 3079–3089.
5. Shindell & Faluvegi (2009) Climate response to regional radiative forcing during the twentieth century. *Nat Geosci* **2**, 294–300.
6. Rantanen et al. (2022) The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979. *Commun Earth Environ* **3**, 168.
7. AMAP Assessment (2021) Impacts of short-lived climate forcers on Arctic climate, air quality, and human health. Arctic Monitoring and Assessment Programme.
8. Zaelke et al. (2023) The Consequences of Arctic Amplification in a Warming World.
9. Gul et al. (2021) Black carbon concentration in the central Himalayas: Impact on glacier melt and potential source contribution. *Environmental Pollution* **275**, 116544.
10. Magalhaes et al. (2019) Amazonian biomass burning enhances tropical Andean glaciers melting. *Sci Rep* **9**, 16914.
11. Iersad (2023) The dependence of aerosols' global and local precipitation impacts on the emitting region. *Atmos Chem Phys* **23**, 3435–3452.
12. Stjern et al. (2017) Rapid Adjustments Cause Weak Surface Temperature Response to Increased Black Carbon Concentrations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* **122**, 11, 411–462, 481.
13. Kvalevag, Samset, & Myhre (2013) Hydrological sensitivity to greenhouse gases and aerosols in a global climate model. *Geophys Res Lett* **40**, 1432–1438.
14. Sillmann et al. (2019) Extreme wet and dry conditions affected differently by greenhouse gases and aerosols. *NPJ Clim Atmos Sci* **2**, 24.
15. Xie et al. (2020) Distinct responses of Asian summer monsoon to black carbon aerosols and greenhouse gases. *Atmos Chem Phys* **20**, 11823–11839.
16. Menon et al. (2002) Climate Effects of Black Carbon Aerosols in China and India. *Science* (1979) **297**, 2250–2253.
17. Solmon et al. (2021) West African monsoon precipitation impacted by the South Eastern Atlantic biomass burning aerosol outflow. *NPJ Clim Atmos Sci* **4**, 54.
18. Fan et al. (2015) Substantial contribution of anthropogenic air pollution to catastrophic floods in Southwest China. *Geophys Res Lett* **42**, 6066–6075.
19. Tselioudis et al. (2021) Evaluation of Clouds, Radiation, and Precipitation in CMIP6 Models Using Global Weather States Derived from ISCCP-H Cloud Property Data. *J Clim* **34**, 7311–7324.

20. Richardson et al. (2018) Drivers of precipitation change: An energetic understanding. *J Clim* **31**, 9641-9657.
21. Myhre et al. (2018) Sensible heat has significantly affected the global hydrological cycle over the historical period. *Nat Commun* **9**, 1922.
22. SPARTAN (2022) The Surface Particulate Matter Network. Disponível em: <https://www.spartan-network.org/>
23. World Bank (2022) *The Global Health Cost of PM2.5 Air Pollution A Case for Action Beyond 2021*. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/550b7a9b-4d1f-5d2f-a439-40692d4eedf3/content>
24. Chowdhury et al. (2022) Global health burden of ambient PM2.5 and the contribution of anthropogenic black carbon and organic aerosols. *Environ Int* **159**, 107020.
25. Anenberg et al. (2011) Impacts of global, regional, and sectoral black carbon emission reductions on surface air quality and human mortality. *Atmos Chem Phys* **11**, 7253-7267.
26. Baumgartner et al. (2014) Highway proximity and black carbon from cookstoves as a risk factor for higher blood pressure in rural China. *Proceedings of the National academy of sciences* **111**, 1322913234.
27. Verma et al. (2022) Black carbon health impacts in the Indo-Gangetic plain: Exposures, risks, and mitigation. *Sci Adv* **8**.
28. Balakrishnan et al. (2023) Exposure-response relationships for personal exposure to fine particulate matter (PM2-5), carbon monoxide, and black carbon and birthweight: an observational analysis of the multicountry Household Air Pollution Intervention Network (HAPIN) trial. *Lancet Planet Health* **7**, e387-e396.
29. Curto et al. (2019) Predictors of personal exposure to black carbon among women in southern semi-rural Mozambique. *Environ Int* **131**, 104962.
30. Dave, Bhushan, & Venkataraman (2020) Absorbing aerosol influence on temperature maxima: An observation based study over India. *Atmos Environ* **223**, 117237.
31. Mondal et al. (2021) Absorbing aerosols and high-temperature extremes in India: A general circulation modelling study. *International Journal of Climatology* **41**.
32. Analitis et al. (2014) Effects of heat waves on mortality: effect modification and confounding by air pollutants. *Epidemiology* **25**, 15-22.
33. Breitner et al. (2014) Short-term effects of air temperature on mortality and effect modification by air pollution in three cities of Bavaria, Germany: a time-series analysis. *Science of the Total Environment* **485**, 49-61.
34. Li et al. (2015) Particulate matter modifies the magnitude and time course of the non-linear temperature-mortality association. *Environmental Pollution* **196**, 423-430.
35. Zheng et al. (2020) Climate effects of China's efforts to improve its air quality. *Environmental Research Letters* **15**, 104052.
36. Dvorak et al. (2022) Estimating the timing of geophysical commitment to 1.5 and 2.0 °C of global warming. *Nat Clim Chang* **12**, 547-552.
37. Liudmila Osipova. (2023) Black carbon emissions from Arctic shipping: A Review of Main Emitters and Time Trends. ICCT. Disponível em: https://cleanarctic.org/wp-content/uploads/2023/04/BC_in_Arctic_prePPR10.pdf.
38. Natural Resources Canada (2018) Clean Energy for Rural and Remote Communities Program. Disponível em: <https://natural-resources.canada.ca/reducingdiesel>

39. REF (2008) The Renewable Energy Fund. Disponible em: [https://cleanarctic.org/wp-content/uploads/2023/04/BC in Arctic prePPR10.pdf](https://cleanarctic.org/wp-content/uploads/2023/04/BC%20in%20Arctic%20prePPR10.pdf)
40. CCAC (2020) Reducing Air Pollution and Climate Change, Brick by Brick. Disponible em: <https://www.ccacoalition.org/news/reducing-air-pollution-and-climate-change-brick-brick>
41. ICIMOD (2019) Brick industry build back cleaner and better in Nepal. Disponible em: <https://www.icimod.org/article/brick-industry-build-back-cleaner-and-better-in-nepal/>
42. ADB (2022) Bangladesh: Financing Brick Kiln Efficiency Improvement Project. Disponible em: <https://www.adb.org/projects/45273-001/main>
43. Diemont & Wanders (2021) A community-based approach to wildfire prevention in Ghana. Disponible em: <https://www.tropenbos.org/file.php/2520/4-1diemont.pdf>
44. ICIMOD (2023) Putting out fires: Predicting and curbing forest fire damages in Nepal. Disponible em: <https://www.icimod.org/adaptation-solutions/putting-out-fires-predicting-and-curbing-forest-fire-damages-in-nepal/>
45. UNEP (2021) GLOBAL METHANE ASSESSMENT: Benefits and Costs of Mitigating Methane Emissions. Disponible em: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/35913/GMA.pdf>
46. Oshima et al. (2020) Global and Arctic effective radiative forcing of anthropogenic gases and aerosols in MRI-ESM2. *O. Prog Earth Planet Sci* **7**, 1-21
47. International Bank for Reconstruction and Development - World Bank (2023). TRACKING SDG7: THE ENERGY PROGRESS REPORT. Disponible em: <https://trackingsdg7.esmap.org/data/files/download-documents/sdg7-report2023-full-report.pdf>
48. Ramachandran, S., Rupakheti, M., Cherian, R. and Lawrence, M.G., 2023. Aerosols heat up the Himalayan climate. *Science of The Total Environment*, p.164733.

Autores:

Kaushik Reddy Muduchuru, Chandrakiran Lakshmisha, Anshika Srivastava, Amishi Tewari, Indu K Murthy,
R Subramanian (CSTEP)

Michael Johnson (Grupo de Monitoramento de Qualidade do Ar da Universidade da Califórnia, Berkeley - BAMG)

Gary Kleiman (Orbis Air)

Daniel McDougall

Arindam Roy, Olivia Sweeney, Tom Grylls (Fundo para a Qualidade do Ar - Clean Air Fund)

Revisores:

Jessica Seddon (Laboratório de Arquitetura Institucional - The Institutional Architecture Lab)

Nathan Borgford-pannell, Scarlett Quinn-Savory, Sandra Cavalieri (Secretaria da Coalizão Clima e Ar Limpo)

Jennifer Samantha Lynch, Raihan Elahi (Banco Mundial)

Edição e design:

Sreerekha Pillai, Reghu Ram R, Bhawna Welturkar (CSTEP)

Tradução:**CEBRI**

Centro Brasileiro de Relações Internacionais