The Alliance for Just Deliberation on Solar Geoengineering

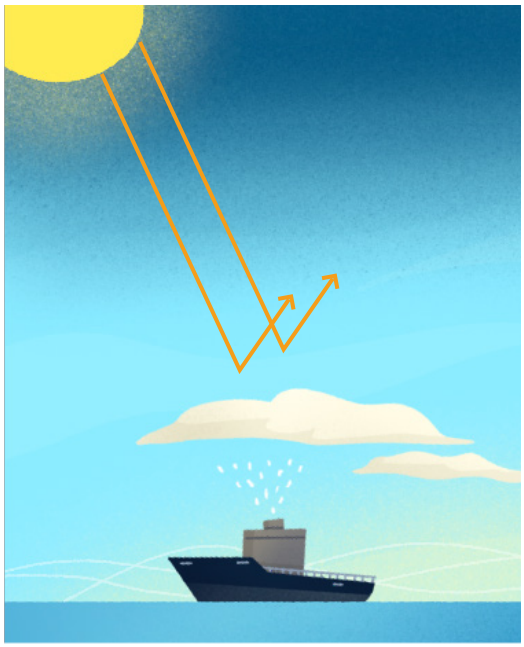
Compreendendo o clareamento de nuvens marinhas

O clareamento de nuvens marinhas (MCB, sigla em inglês) é uma abordagem proposta de geoengenharia solar que busca resfriar a Terra ao aumentar a refletividade de nuvens marinhas de baixa altitude sobre os oceanos. A ideia é pulverizar minúsculas partículas de sal marinho nessas nuvens, aumentando a densidade das gotículas de água e tornando as nuvens mais claras. Nuvens mais claras refletem mais luz solar de volta para o espaço, reduzindo a quantidade de energia solar absorvida pelo planeta. Ao aumentar o albedo (refletividade) das nuvens, o MCB poderia ajudar a reduzir as temperaturas regionais, potencialmente mitigando alguns dos efeitos das mudanças climáticas. As estimativas de custo do MCB são limitadas e incertas, mas geralmente se situam na faixa de bilhões a dezenas de bilhões de dólares por ano, dependendo da escala de implementação.

Como funciona o MCB?

O MCB aproveita os processos naturais de formação de nuvens:

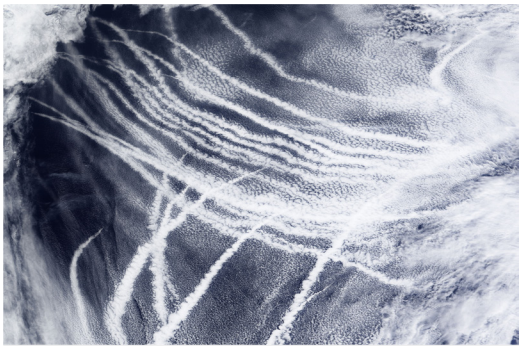
- Sobre os oceanos, as nuvens se formam quando o vapor de água se condensa em torno de partículas, como o sal marinho, que atuam como núcleos de condensação de nuvens.
- Ao pulverizar partículas adicionais de sal marinho na atmosfera, o MCB favorece a formação de um maior número de gotículas nas nuvens. Isso aumenta a densidade e a refletividade das nuvens, intensificando o efeito de resfriamento.
- Equipamentos especializados, como navios ou aeronaves, poderiam ser utilizados para pulverizar água do mar na atmosfera, criando gotículas finas que permanecem suspensas por períodos prolongados.



O MCB provavelmente seria direcionado a regiões específicas, como o Ártico ou áreas costeiras, onde o resfriamento localizado poderia proteger ecossistemas vulneráveis ou desacelerar os impactos do calor extremo.

Rastros de navios: um exemplo observado no mundo real

Os “rastros de navios” oferecem um exemplo real do MCB em ação. Essas formações estreitas e refletoras de nuvens ocorrem quando aerossóis provenientes das emissões dos navios atuam como núcleos de condensação de nuvens, aumentando a refletividade das nuvens sobre os oceanos. Embora os rastros de navios demonstrem como os aerossóis podem aumentar o albedo das nuvens, eles também evidenciam a complexidade das interações entre aerossóis e nuvens, que ainda não são plenamente compreendidas.



Benefícios potenciais do MCB

1. **Resfriamento regional e flexível:** o MCB poderia ser aplicado em áreas específicas para enfrentar o aquecimento localizado, como a proteção de recifes de coral ou a desaceleração da perda de gelo no Ártico.
2. **Capacidade de ajuste:** a intensidade e a frequência das aplicações de MCB poderiam ser ajustadas com base nos resultados das pesquisas e nas condições climáticas, oferecendo certo grau de controle sobre seus efeitos.

Riscos e desafios do MCB

1. **Incerteza científica:** os impactos de longo prazo sobre o comportamento das nuvens, os ecossistemas marinhos e a química atmosférica não são bem compreendidos, e ainda não se conhecem com precisão a abrangência e a magnitude desses impactos.
2. **Perturbação dos padrões meteorológicos:** ao alterar as propriedades das nuvens, a disponibilidade de luz e a temperatura dos oceanos, alguns modelos preveem que o MCB poderia, inadvertidamente, perturbar os padrões regionais de precipitação, afetando a agricultura e o abastecimento de água. Outros modelos indicam que o MCB poderia potencialmente impactar a pesca e as cadeias alimentares marinhas.
3. **Desigualdades regionais:** os efeitos podem não ser distribuídos de maneira uniforme. Por exemplo, enquanto algumas regiões poderiam se beneficiar, outras poderiam sofrer alterações climáticas indesejadas, como redução das chuvas ou secas.
4. **Escalabilidade:** o MCB pode funcionar apenas para determinados tipos de nuvens e apresenta limitações quanto à sua escalabilidade. Além disso, seu uso em uma escala capaz de influenciar as temperaturas globais pode provocar perturbações mais significativas.
5. **Solução temporária:** assim como outras técnicas de geoengenharia solar, o MCB não atua sobre as emissões de gases de efeito estufa. Se for interrompido, seus efeitos de resfriamento se dissipariam rapidamente, resultando em um aquecimento acelerado (um “choque de interrupção, ou termination shock”).

Pesquisas em andamento

Na Austrália, pesquisadores estão estudando o MCB desde 2020 como uma ferramenta potencial para proteger a Grande Barreira de Corais do branqueamento. Ao pulverizar partículas finas de sal marinho na atmosfera, o projeto busca aumentar a refletividade das nuvens e reduzir a temperatura dos oceanos, potencialmente diminuindo o estresse térmico sobre os recifes. Embora os testes iniciais apresentaram resultados promissores, os efeitos ecológicos e climáticos de longo prazo ainda estão sendo estudados. Enquanto isso, em Alameda, Califórnia, o Projeto de Clareamento de Nuvens Marinhas da Universidade de Washington pretendia conduzir um experimento para avaliar a viabilidade do MCB. No entanto, em junho de 2024, a cidade de Alameda votou pelo encerramento da pesquisa devido a preocupações ambientais e éticas, refletindo debates mais amplos sobre a governança e os riscos da geoengenharia.

O clareamento de nuvens marinhas oferece uma forma cientificamente plausível de resfriar temporariamente regiões específicas do planeta, mas continua sendo uma abordagem altamente experimental. Embora possa proporcionar um resfriamento rápido e localizado, seus impactos de longo prazo sobre os padrões climáticos, os ecossistemas e as condições atmosféricas permanecem incertos. Assim como outras abordagens de geoengenharia, o MCB não enfrenta a causa fundamental das mudanças climáticas, as emissões de gases de efeito estufa, e não deve ser considerado uma solução isolada.