

**e.**  
**publica**  
public law journal

**A integração da ciência da atribuição de eventos  
climáticos extremos às políticas públicas**

**Pedro Minassa  
Luciana Turatti**

Revisora:

**Alexandra Aragão**

Vol. 12 No. 3 (107-138)  
November 2025  
[e-publica.pt](http://e-publica.pt)

ISSN 2183-184x

Funded by:

**FCT** Fundação  
para a Ciência  
e a Tecnologia

## A INTEGRAÇÃO DA CIÊNCIA DA ATRIBUIÇÃO DE EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS ÀS POLÍTICAS PÚBLICAS

*The integration of the extreme weather attribution science into public policy*

### PEDRO SAMPAIO MINASSA

Lisbon Public Law Research Centre (LPL)  
Faculdade de Direito da Universidade de Lisboa (FDUL)  
Universidade do Vale do Taquari (Univates)  
Programa de Pós-graduação em Ambiente e Desenvolvimento (PPGAD)  
ORCID: 0000-0002-4762-9039

### LUCIANA TURATTI

Universidade do Vale do Taquari (Univates)  
Programa de Pós-graduação em Ambiente e Desenvolvimento (PPGAD)  
ORCID: 0000-0002-6684-1422

**Resumo:** Raros são os estudos que exploram as interfaces entre a ciência da atribuição de eventos climáticos extremos e as políticas públicas. Este artigo supre essa lacuna. A atribuição, ramo em expansão desde o início deste milênio, estabelece vínculos probabilísticos entre secas, tornados, inundações e as mudanças climáticas induzidas pelo homem, rastreando fatores, atores e impactos. Seu potencial para subsidiar políticas de mitigação e adaptação é expressivo. Adotando abordagem qualitativa, metodologia exploratória e revisão bibliográfica, o estudo: (i) apresenta três categorias analíticas (eventos extremos, ciência da atribuição e políticas públicas climáticas); (ii) mostra como elementos da atribuição vêm sendo integrados às políticas; e (iii) aponta desafios e estratégias para efetivar essa integração. Conclui que, embora a atribuição ofereça subsídios relevantes à ação pública, sua incorporação exige vencer barreiras institucionais, cognitivas e comunicacionais.

**Palavras-chave:** Adaptação; Atribuição; Eventos Climáticos Extremos; Políticas Públicas Climáticas; Mudanças Climáticas.

**Abstract:** Few studies explore the interfaces between extreme-event attribution science and public policy. This article addresses that gap. Attribution science, an expanding branch since the early 2000s, establishes probabilistic links between droughts, tornadoes, floods, and human-induced climate change, tracing causal factors, responsible actors and resulting impacts. Its capacity to support mitigation and adaptation policy is substantial. Using a qualitative, exploratory, and bibliographic approach, the study (i) sets out three analytical categories (extreme events, attribution science and climate public policy); (ii) shows how attribution findings are already being integrated into policy cycles; and (iii) identifies key challenges and strategies for deeper integration. It concludes that, although attribution provides valuable evidence for public action, effective uptake depends on overcoming institutional, cognitive and communication barriers.

**Keywords:** adaptation; attribution; climate change; climate policy; extreme weather events.

## 1. Introdução

As mudanças climáticas, fenómeno de origem antropogénica cientificamente inequívoca, têm atuado no aumento da frequência e da intensidade dos chamados eventos climáticos extremos, como secas, furacões, tempestades e inundações. Esses eventos causam danos materiais e vitimam populações, com registos recorrentes ao redor do mundo (IPCC, 2023: 20-21).

Estabelecer o vínculo entre tais eventos e as mudanças climáticas induzidas pelo homem tornou-se uma tarefa desafiadora, enfrentada, com o tempo, pela denominada **ciência da atribuição** (*attribution science*), campo que permite que especialistas explorem e, com graus de confiabilidade, estabeleçam a conexão entre as mudanças climáticas, as fontes emissoras, os eventos extremos e os prejuízos deles decorrentes.

Em estudo anterior (Minassa, 2024), do qual este trabalho é uma continuidade, foi possível avançar na interlocução entre a ciência da atribuição e as grandes áreas das ciências humanas e sociais. Agora, impõe-se aprofundar a análise da sua interface com as políticas públicas. Isso porque, além do Direito, as políticas públicas constituem uma das frentes em que os resultados dos estudos em atribuição mais têm se revelado relevantes e, ao mesmo tempo, mais têm sido mobilizados (Minassa, 2024). Por meio desses estudos, as diversas etapas do ciclo de políticas públicas podem ser ancoradas em evidências científicas mais robustas, auxiliando formuladores e tomadores de decisão na criação e implementação de medidas de mitigação, adaptação e resposta aos danos provocados por eventos extremos.

Na lusofonia, entretanto, a literatura sobre a relação entre políticas públicas e atribuição climática ainda é incipiente e fragmentada (Minassa, 2024), o que evidencia a necessidade de um estudo exploratório e conceitual, capaz de explicitar e caracterizar essa interface de forma inédita. Nesse sentido, o presente trabalho dedica-se justamente a esse objetivo: explorar conceitualmente como a ciência da atribuição tem sido (e poderá ser) incorporada às agendas políticas, isto é, aos processos de elaboração, implementação e avaliação de políticas de enfrentamento aos riscos climáticos.

Pautado em metodologia predominantemente exploratória, com abordagem qualitativa e técnica bibliográfica, o estudo busca: i) estabelecer, por meio de três categorias analíticas (eventos climáticos extremos, ciência da atribuição e políticas pública climáticas), os fundamentos conceituais do cotejo proposto; ii) demonstrar como as políticas públicas têm integrado e podem integrar elementos de atribuição nas medidas de mitigação e adaptação climática; e iii) elencar e explicar os principais desafios e estratégias para efetivar essa integração.

## 2. Fundamentos conceituais para o diálogo entre clima, atribuição e políticas públicas

Esta secção propõe-se a estabelecer os três eixos conceituais fundamentais para a compreensão da integração entre a ciência da atribuição e as políticas públicas. Primeiramente, será necessário definir e caracterizar os eventos climáticos extremos. Em seguida, serão apresentados os elementos constitutivos, as abordagens e as tipologias próprias da ciência da atribuição, evidenciando o que a configura como um repertório técnico inovador e promissor para a ação pública. Por fim, será delineado o conceito de políticas públicas climáticas, com a identificação dos seus principais atores e a distinção entre medidas de mitigação e de adaptação.

### 2.1 Eventos climáticos extremos: espécies e características

Sabe-se que as mudanças climáticas resultam da intensificação do fenómeno natural do efeito estufa por atividades emissoras antropogénicas. As emissões de GEEs atuam como forçamento externo, alterando a média e/ou a dispersão do clima dentro da chamada variabilidade climática (climate variability): variações do estado médio do clima em diferentes escalas de tempo (dias, anos, décadas). Antes da influência humana, essa variabilidade já incluía flutuações internas puramente naturais do sistema climático, bem como forças externas naturais (por exemplo, erupções vulcânicas) (IPCC, 2018: 546). Assim, é possível contrastar modelos em que a variabilidade era exclusivamente natural com cenários em que a cauda da distribuição foi ampliada por forças antrópicas.

É por meio da análise da variabilidade climática, cenário estatístico, que se identificam padrões e desvios nos limites históricos das variáveis do clima, isto é, de sua cauda da distribuição. Quando o valor de uma variável climática supera limiares próximos aos percentis 10% inferiores ou 90% superiores da série histórica, caracteriza-se um *climate extreme* (extremo climático). O IPCC diferencia, dentro desse gênero, os *extreme weather events* (EWE), eventos meteorológicos extremos de curta duração (IPCC, 2018: 545 e 549).

Os extremos climáticos constituem, portanto, um gênero que engloba tanto os eventos meteorológicos (de horas a dias) quanto os eventos de duração mais dilatada ou sazonal, calculada em médias de semanas ou meses. Os EWE estão vinculados à raridade espaçotemporal do fenómeno, como tempestades ou furacões, que, por definição, se situam nos percentis extremos da série histórica (tipicamente  $\leq 10\%$  ou  $\geq 90\%$ ). Assim, uma tempestade cujos índices pluviométricos ultrapassam o limiar superior histórico para determinado local, no intervalo temporal típico do fenómeno, enquadra-se como EWE.

A *World Meteorological Organization* (Wmo) corrobora essa concepção ao definir os EWE como eventos raros observados em um dado local e período. Esses eventos destacam-se por características que destoam dos padrões históricos, como magnitude, intensidade, duração e extensão territorial. É considerada altamente provável a influência das atividades humanas sobre

a intensificação e a maior frequência desses eventos, sendo estimado, por exemplo, que a cada 1°C de aquecimento global, haja um aumento de 7% nas chuvas intensas diárias (WMO, 2025). Ainda que as características do que se considera extremo variem entre territórios, os impactos humanos e materiais tendem a ser significativos em todos os casos, condicionados, naturalmente, pelo grau de exposição e vulnerabilidade das comunidades afetadas.

Ademais, a influência das emissões de origem antropogênica não se restringe aos eventos isolados, como uma onda de calor pontual. A literatura aponta como dado de alta confiabilidade que as atividades humanas também aumentaram, desde a década de 1950, a probabilidade de ocorrência de eventos extremos compostos, como a simultaneidade de secas e ondas de calor (IPCC, 2023: 21). Esses extremos compostos impõem desafios tão expressivos quanto os eventos extremos sequenciais, em que desastres ocorrem em intervalos curtos de tempo, comprimindo a margem de reação dos gestores públicos e dificultando a adoção oportuna de políticas adaptativas.

Entre os eventos mais notadamente investigados pela ciência climática estão: ondas de calor, ondas de frio, tornados, furacões, ciclones tropicais, enchentes, grandes precipitações, incêndios florestais e secas. Para que um fenômeno seja classificado como evento extremo, portanto, é necessário que atinja variáveis próximas ao limite superior ou inferior do histórico registado, ou seja, daquilo que já foi observado como máximo ou mínimo em determinada região.

Contudo, a simples ocorrência de um evento climático não basta para classificá-lo como extremo. É necessário considerar a combinação de múltiplos fatores, como a variabilidade climática natural, as condições da superfície terrestre, dos oceanos e da atmosfera, além das alterações provocadas pelas emissões antrópicas de GEEs. Por isso, seria impreciso afirmar que as mudanças climáticas induzidas pelo homem são, por si só, responsáveis pela ocorrência de eventos extremos. O que se pode afirmar, com base nos estudos em atribuição, conforme veremos, é que essas mudanças, em interação com os demais fatores, podem aumentar ou mesmo, em alguns casos, atenuar a frequência ou a magnitude de determinados eventos (Otto, 2019: 1). É isso que ficou evidente em um dos estudos seminais da ciência da atribuição: *"Human contribution to the European heatwave of 2003"*, de Stott, Stone e Allen (2004), que se tornou um marco ao demonstrar, com base em modelos climáticos, como as mudanças climáticas induzidas pelo homem aumentaram a probabilidade de ocorrência da onda de calor que assolou a Europa no verão de 2003. Os resultados, com um nível de confiança superior a 90%, indicaram ser muito provável que a influência humana sobre o clima tenha, no mínimo, dobrado o risco de ondas de calor ainda mais intensas do que aquela, até 2040, no continente. Desde então, as investigações sobre a atribuição de eventos extremos vêm se desenvolvendo de forma consistente e, atualmente, instituições como a *World Weather Attribution (WWA)* têm se dedicado à publicação de relatórios e estudos que auxiliam na compreensão do vínculo entre tais eventos, as mudanças climáticas e as políticas necessárias para lidar com os seus efeitos.

## 2.2 Ciência da atribuição: um novo repertório técnico para a ação pública

Têm se avolumado e se aperfeiçoado, ano após ano, os estudos e métodos de investigação que vinculam as mudanças climáticas induzidas pelo homem à ocorrência de eventos climáticos extremos, tanto em termos de severidade quanto de frequência – trata-se da chamada ciência da atribuição. Apesar da sua relativa juventude, com pouco mais de duas décadas de consolidação (Thorén, Persson, Olsson, 2021: 3; Parker, *et al.*, 2016: 354), esse campo já conta com um acervo robusto de literatura, a ponto de superar “algumas limitações típicas de uma ciência recém-nascida” e constituir um corpo de conhecimento sistematizado e confiável (Otto, 2023: 814).

Entre o ciclo de pesquisas de 2014 (AR5) e o mais recente (AR6), de 2023, o IPCC reforçou, com maior grau de confiabilidade, as evidências de que as alterações observadas nesses eventos devem ser atribuídas às atividades antrópicas (IPCC, 2023: 21 e 64). Dentre os inúmeros impactos adversos e as perdas e danos relacionados que integram esse campo atributivo das mudanças climáticas – com confiabilidade alta ou muito alta –, destacam-se: a) desnutrição; b) danos causados por incêndios florestais; c) deslocamento involuntário de populações; d) impactos na saúde mental; e) inundações e danos associados; f) danos à infraestrutura urbana; e, g) transformação de ecossistemas terrestres, aquáticos e oceânicos (IPCC, 2023: 23).

Nesse contexto, é importante distinguir os conceitos centrais que compõem esse campo científico. Para a terminologia do IPCC (2018: 547), a **atribuição** distingue-se da **detecção** de eventos extremos, embora ambas estejam intimamente relacionadas. A detecção serve para demonstrar a existência de uma alteração estatisticamente significativa no sistema climático, explicitando que a probabilidade de essa alteração ocorrer ao acaso, isto é, apenas por variabilidade interna é tipicamente inferior a 10%. Já a atribuição busca avaliar a contribuição relativa de vários fatores para a alteração ou para o evento extremo detectado.

Por meio dos estudos de atribuição, é possível identificar causas e, eventualmente, agentes causadores dos danos, apresentando resultados segundo graus de confiabilidade. Para as políticas públicas, enquanto os estudos de detecção evidenciam a influência sobre os eventos e, assim, indicam a urgência de agir, os estudos de atribuição rastreiam os fatores e, por extensão, os atores responsáveis, fornecendo a base técnico-científica para determinar quem deve ou deveria ter agido para evitar o evento.

Por certo que, sendo um campo relativamente recente, esta ciência ainda se depara com algumas limitações metodológicas, operacionais e comunicacionais, o que não invalida as suas descobertas e utilidades até aqui, as quais têm sido paulatinamente aprimoradas e testadas, técnica e teoricamente (Harrington, *et al.*, 2022: 2). Naturalmente, quanto mais um campo acumula massa crítica, mais rapidamente ele amadurece e pode contrastar os seus métodos, resultados, teorias e modelos e, assim, alcançar progressos científicos. É, portanto, uma ciência que se aprimora iterativamente, com a evolução de um *core* de conhecimento que segue o aprimoramento dos seus métodos probabilísticos e observacionais.

Na mesma proporção em que os estudos se tornaram heterogêneos em relação aos tipos de eventos extremos, houve uma dispersão geográfica do interesse de pesquisa na área, no entanto ainda são assimétricas as estimativas dos seus efeitos sobre diferentes comunidades e regiões do globo, sobretudo entre Norte e Sul Global, o que reclama um aprimoramento do monitoramento desses fenômenos de forma mais equitativa (Harrington, *et al.*, 2022: 1; Minassa, 2024). Apesar deste *gap* persistente, é possível perceber que muitos estudos em atribuição estão direcionados aos mais variados tipos e locais de ocorrência de eventos extremos, desde o sul da África até à Sibéria.

Para nós, a ciência da atribuição pode ser entendida como o campo da ciência climática que, por meio de métodos e modelos climáticos, estatísticos, observacionais e computacionais avançados, busca compreender *se e em que medida* as mudanças climáticas induzidas pelo homem influenciaram a probabilidade e a severidade de eventos climáticos extremos individuais, para, assim também, identificar e quantificar as fontes emissoras e os impactos adversos específicos.

A atribuição de eventos é construída a partir de uma cadeia causal que se inicia nas emissões antropogênicas de poluentes, passa pela intensificação do efeito estufa e culmina nos impactos específicos das mudanças climáticas sobre determinados territórios e comunidades. O vínculo entre o evento extremo, as mudanças climáticas e as perdas e danos observados é assegurado por um arcabouço científico que fundamenta essa relação de causalidade (Olsson, *et al.*, 2022: 4).

Similar é o conceito proposto por Akaoui e Wedy (2022: 3), para quem esta ciência investiga e detalha a influência das emissões de GEEs geradas por atividades humanas sobre as mudanças nos sistemas naturais, logrando isolar a influência do contributo humano da variabilidade climática natural. Para Cima (2022: 41), trata-se de um processo que avalia e quantifica “as contribuições relativas de vários fatores causais para um evento com um segmento de confiança estatística”. A determinação do contributo das alterações antropogênicas para a probabilidade e a magnitude de eventos climáticos específicos também está na base dos conceitos propostos por Mace e Verheyen (2016: 213), Osaka e colaboradores (2020: 3) e Harrington e colaboradores (2022: 2).

Já outros autores acabam se referindo à ciência da atribuição como sinónimo de atribuição de eventos (*event attribution* ou *probabilistic event attribution*), que é apenas um dos tipos de estudos que, a partir de uma abordagem probabilística, visa quantificar a influência das mudanças climáticas sobre os eventos extremos, como é o caso de Thalheimer e colaboradores (2022: 468) e Boran e Heath (2016: 1-3). No entanto, esta ciência também engloba estudos de outros tipos, que buscam determinar a procedência das emissões de GEEs e os impactos adversos específicos.

A literatura costuma dividir tais estudos em três tipos: (i) atribuição climática ou de eventos climáticos (*climate attribution* ou *event attribution*), (ii) atribuição de impactos (*impact attribution*) e (iii) atribuição de fontes (*source attribution*). A **atribuição de eventos** busca entender como as mudanças climáticas influenciam a probabilidade e a intensidade da ocorrência de eventos extremos específicos, como ondas de calor, secas e

inundações. Esse tipo de atribuição é geralmente probabilístico e comparativo, contrastando o cenário factual do mundo com mudanças climáticas com um cenário contrafactual, sem elas.

Para isso, a atribuição de eventos recorre a simulações de modelos climáticos, análises estatísticas e dados observacionais, sendo útil não apenas para identificar a contribuição das mudanças climáticas sobre eventos já ocorridos, mas também para comunicar riscos específicos associados ao aumento da intensidade e frequência desses eventos no futuro (Mikhailova, *et al.*, 2022: 2; The Equation, 2023).

A **atribuição de impactos**, por sua vez, possui um escopo mais amplo, porque trata de vincular as mudanças climáticas aos impactos ambientais, sociais e econômicos sofridos (Mikhailova, *et al.*, 2022: 2). Esse tipo de atribuição mira a influência tanto sobre as variáveis físicas do clima, quanto sobre as variáveis socioeconômicas e, por isso, depende de métodos conjugados que observem todas elas.

Até o momento, os estudos de atribuição se concentraram mais nesses dois primeiros tipos (Mikhailova, *et al.*, 2022: 2), muito embora esteja avançando também na atribuição de fontes. Assim, “uma vez determinado que um impacto é influenciado pela mudança climática, é possível calcular a proporção a ser atribuída a uma fonte específica de emissões” (State of the Planet, 2021). A **atribuição de fontes** consiste na identificação e quantificação das contribuições relativas de diferentes fontes de emissões de GEEs, causadoras das mudanças climáticas (Mikhailova, *et al.*, 2022: 2; The Equation, 2023), mirando não só as fontes estacionárias, mas também as móveis.

Para isso, os estudos podem ser mais ou menos complexos de acordo com o setor de emissões (agricultura, indústria, energia, resíduos, transporte). Por exemplo, a atribuição de fontes relativas à queima de combustíveis fósseis para geração de energia não exigirá os mesmos métodos que a atribuição de fontes relativas ao setor de usos e mudanças dos usos da terra (LULUCF), como o desmatamento. Múltiplos métodos podem ser utilizados para realizar a atribuição de fontes, tais como: (a) os inventários de emissões de GEEs (*carbon inventory*), que podem se revelar muito úteis à litigância climática, porque “servem como evidência documental para atribuir responsabilidade” (Mikhailova, *et al.*, 2022: 2), (b) o sensoriamento remoto e (c) modelagens variadas.

Em síntese, se a atribuição de eventos enlaça as mudanças climáticas antropogênicas aos eventos extremos específicos, a atribuição de impactos enlaça-as aos impactos específicos, e a atribuição de fontes aos países, setores, atividades ou, até mesmo, empreendimentos emissores, que contribuem para as emissões totais de GEEs.

Não só são vários os tipos de estudos em atribuição, como também o são as abordagens que utilizam. As duas principais abordagens são: (i) a *standard approach* (abordagem padrão), também conhecida como *probabilistic approach* (abordagem probabilística), *Oxford approach* (abordagem de Oxford) e *traditional approach* (abordagem tradicional), e (ii) a *storyline approach* (abordagem de enredo).

A mais conhecida abordagem, a *standard approach* coincide com o pontapé inicial do próprio campo. É também chamada de abordagem tradicional, porque além do seu pioneirismo, tem sido maioritariamente utilizada até hoje, mesmo com a emergência de outras abordagens (Thorén, Persson, Olsson, 2021: 6; Harrington, *et al.*, 2022: 2). Os modelos de simulação climática desenvolvidos por especialistas de *Oxford* baseiam-se na comparação quantitativa entre a probabilidade de ocorrência de um evento climático extremo no mundo real, isto é, com a presença de mudanças climáticas, e a probabilidade de ocorrência desse mesmo evento em um mundo pré-industrial, sem elas. Os dois cenários contrapostos apresentam quantitativamente a influência da contribuição das mudanças climáticas induzidas pelo homem sobre os eventos extremos, em que: o primeiro cenário é chamado de factual e o segundo, contrafactual.

Para realizar essa comparação, a abordagem padrão segue um passo a passo: inicialmente se define qual é o evento extremo a ser estudado, depois reconstrói-se a distribuição da probabilidade do cenário factual, para finalmente construir a distribuição da probabilidade contrafactual (Thorén, Persson, Olsson, 2021: 6). Essa abordagem depende de análises estatísticas, registros históricos, modelagem climática e modelos computacionais para quantificar a influência das mudanças sobre a frequência e a intensidade de um evento extremo individual (State of the Planet, 2021). Com esses métodos, torna-se possível desagregar aquilo que é contribuição da variabilidade climática natural, daquilo que são as mudanças causadas por atividades humanas no sistema climático.

A técnica mais comum na abordagem padrão é a chamada *Fraction of Attributable Risk* (FAR) que, importada da área da saúde pública, permite identificar qual é a fração do risco atribuível às mudanças climáticas antropogênicas sobre os eventos extremos (Sciline, 2023). Segundo Otto (2019: 2), “embora não tenhamos observações do mundo que poderia ter sido sem a mudança climática, sabemos muito bem quanto CO<sub>2</sub> e outros GEEs emitimos. Isso nos permite simular o tempo (*weather*) no mundo que poderia ter sido sem mudanças climáticas induzidas pelo homem da mesma maneira que simulamos possíveis eventos climáticos hoje”.

A título de exemplo, suponhamos que eventos de grande precipitação (*v.g.*, mais de 200 mm em um único dia) ocorram hoje em Lisboa, com uma frequência de uma vez a cada quinze anos. Em um mundo contrafactual, sem mudanças climáticas, esse mesmo evento extremo seria muito mais raro, ocorrendo numa frequência de uma vez a cada setenta e cinco anos. Nesse caso, a abordagem padrão, comparando o cenário factual hipotético e o contrafactual, apontaria para o resultado de que as mudanças climáticas aumentaram a probabilidade de ocorrência de grandes precipitações em cerca de cinco vezes nesta mesma região.

Entretanto, como resultado da abordagem padrão, nem sempre serão encontradas evidências quantitativas de que as mudanças climáticas, de facto, influenciaram a ocorrência de um evento extremo. Como é de bom rigor científico, os estudos em atribuição não partem da premissa de que é certa a existência dessa influência, mas da hipótese de que ela possa existir e, por isso, “não só quantificam até que ponto as mudanças climáticas tornaram mais provável a ocorrência de eventos extremos, mas também quando não há sinais dessa influência” (Harrington, *et al.*, 2022: 2).

Em relação à abordagem padrão, a abordagem de enredo é mais recente. A despeito das vozes contrárias (Thorén, Persson, Olsson, 2021: 8; Otto, 2023: 823), a maior parte da literatura entende que a abordagem de enredo não se reveste de caráter quantitativo ou probabilístico, porque é mais “determinística”, preocupando-se em entender como os fatores físicos e ambientais condicionam as mudanças climáticas aos eventos extremos específicos (Lloyd, Shepherd, 2021: 1).

É de enredo a abordagem que busca determinar, de forma mais qualitativa, quais foram os fatores ou motivadores envolvidos na ocorrência daquele evento climático e a sua plausibilidade (Thalheimer *et al.*, 2022: 472). Por isso, à diferença da abordagem padrão, ela considera a interferência da variabilidade natural do clima, assim como outras variáveis e contextos meteorológicos, geográficos e climáticos que subjazem o evento. A narratividade na apresentação dos resultados dos estudos de atribuição pautados nessa abordagem é revelada na conexão desses múltiplos fatores, contextos e variáveis não só quantitativos, que caracterizam o evento extremo individual.

Para Thorén, Persson e Olsson (2021: 8), a abordagem de enredo foca no evento climático extremo concreto para tentar explicar a cadeia causal e os fatores subjacentes a ele, como se partisse, indutivamente, do específico para o geral. A abordagem padrão, em sentido contrário, inicia a construção da cadeia causal “a montante do foco do evento”, quantificando a influência das mudanças climáticas induzidas pelo homem pela comparação de cenários factuais e contrafactuais, como se partisse, dedutivamente, do contexto geral para o específico.

Não obstante essas diferenças, a literatura tem paulatinamente reconhecido que não há que se falar, ao menos em teoria, em uma abordagem mais ou menos vantajosa. A depender do tipo de evento extremo e do objetivo do estudo em atribuição, por exemplo, uma ou outra abordagem – ou ambas –, pode se revelar mais adequada. Com efeito, há uma tendência de se reconhecer o caráter complementar entre abordagens, porque conjuntamente entregariam resultados mais precisos com repercussões positivas a nível regulatório e político, como é o caso do Fundo de Perdas e Danos da CQNUMC. Para Otto (2023: 823), esse Fundo se beneficiaria muito mais da combinação das duas abordagens, do que do uso isolado de apenas uma delas.

De modo geral, os estudos em atribuição estão avançando, mas esse avanço não ocorre de modo uniforme, quer porque alguns desses eventos carregam complexidades maiores que outros, quer porque os métodos e modelos disponíveis ainda não estão igualmente refinados para quantificar e caracterizar todos eles. Alguns eventos extremos, por exemplo, são mais fáceis de modelar do que outros (Sciline, 2023). Isso explica, ao menos em parte, a diferença de confiabilidade que os estudos possuem para cada um dos eventos extremos (Otto, 2019: 2)

Enquanto o calor e o frio extremos são os dois eventos com os melhores conhecimentos disponíveis e as melhores habilidades para detecção da influência das mudanças climáticas, as tempestades convectivas severas e os incêndios florestais contam com poucos conhecimentos disponíveis e baixa habilidade de detecção. Segundo Otto (2019: 2), eventos de pequena

escala como inundações repentinas, tempestades de granizo e tornados também contam com menos conhecimentos e habilidades de detecção e atribuição, ocasionando uma menor precisão e, logo, confiabilidade nos resultados encontrados nos estudos sobre esses eventos.

Os estudos em detecção e atribuição são mais avançados, por exemplo, para eventos relacionados à temperatura (Pfrommer, *et al.*, 2019: 81), não sendo fortuito o fato de existirem tantos estudos focados na severidade e probabilidade de ondas de calor (Harrington, *et al.*, 2022: 2). Essa maior acurácia de estudos sobre eventos relacionados à temperatura tem que ver com um registro mais longo de dados observacionais que podem ser simulados em modelos computacionais (State of the Planet, 2021).

Como vimos, isso não significa que os resultados dos estudos de atribuição sempre indiquem um recrudescimento desses eventos extremos, pois será igualmente válido e útil os resultados que demonstrarem que alguns eventos serão atenuados. Espera-se, por exemplo, que o risco de ondas de frio diminua como consequência das mudanças climáticas (Otto, 2019: 1). Também é preciso lembrar que esses eventos não ocorrem *ex situ*, em laboratórios, mas *in situ*, em lugares reais, com geografias distintas e ocupações humanas também distintas, o que exige grande atenção para as variações inerentes a cada evento extremo individual (Otto, 2019: 1).

Como é esperado para toda área científica, especialmente a climática, a ciência da atribuição não está isenta de limitações e incertezas (Young, *et al.*, 2019: 821). Algumas dessas limitações são de ordem metodológica e operacional, outras são da própria natureza complexa do sistema climático.

As incertezas sobre o papel de cada um dos fatores que incidem sobre os eventos extremos, para além das mudanças climáticas induzidas pelo homem, podem ser consideráveis, o que pode gerar problemas de cariz metodológico e operacional. Como veremos, Lahsen, Couto e Lorenzoni (2020: 228) destacam, por exemplo, que fatores humanos diretos, como a tomada de decisões políticas sobre a alocação de recursos financeiros, teriam uma maior influência sobre as consequências de alguns eventos, como secas recentes no Brasil, do que as mudanças climáticas potencialmente atribuíveis a eles.

Isso também ocorre com outros fatores sociais (*v.g.*, vulnerabilidade e exposição aos riscos), económicos, estruturais e políticos, que podem influenciar muito mais significativamente sobre os efeitos adversos dos eventos climáticos extremos do que propriamente as mudanças climáticas, e que, por isso, podem fugir ao radar dos estudos em atribuição. Portanto, nem sempre os estudos em atribuição revelar-se-ão como os mais pertinentes, úteis e necessários para compreender os impactos adversos de eventos extremos e a influência das mudanças climáticas (Otto, 2023: 814).

Em termos gerais, a raridade com que ocorrem os eventos extremos já seria, por si só, um motivo suficientemente sensível para a ciência da atribuição, devido à consequente escassez de dados (Pfrommer, *et al.*, 2019: 68). Entretanto, a disponibilidade operacional de acesso à tecnologia, como modelos computacionais e observacionais, agrava esse quadro, porque ela varia muito entre regiões e países do mundo. Como resultado, não são plenamente comparáveis às condições dos estudos em atribuição sobre eventos extremos em todas as escalas regionais e locais, porque há uma

“heterogeneidade geográfica da disponibilidade de dados climáticos e de impacto” (Clarke, *et al.*, 2022: 1), com carências, inclusive, de registros de séries históricas para embasar os métodos.

Espacialmente, os estudos também são mais profícuos para expor impactos em escala comunitária do que em escala individual, pois “quanto maior o número de pessoas afetadas, mas fácil é de se estabelecer uma conexão causal com os eventos”, sendo mais frágil o uso dos modelos climáticos para individualização de danos (Bogalho, Amaral, Santos, 2023: 10). Para Pfrommer e colaboradores (2019: 68-69), há dificuldades inerentes ao uso da modelagem climática para descrição de eventos extremos, porque nem sempre se fazem presentes métricas adequadas, inexistindo um padrão comum, aceito e exclusivo para modelar esses eventos, o que limita substancialmente a precisão e confiabilidade dos estudos e gera disparidades e incongruências nos resultados.

A complexidade do sistema climático impõe outra sorte de limitações aos estudos em atribuição, por mais avançados e sofisticados que possam ser. As incertezas sobre a influência e a dinâmica do clima sobre alguns eventos extremos são particularmente sensíveis, como secas e tempestades, porque são reféns da estocasticidade do sistema climático (Lahsen, Couto, Lorenzoni, 2020: 214; Pfrommer, *et al.*, 2019: 68). Não são poucas as variáveis que incidem sobre o clima, assim como não são simples as interações entre elas e, por isso, pode ser notoriamente difícil desagregar essas variáveis para aquinhoar causalidades e atribuir-lhes um papel delimitado.

A sinergia e a cumulatividade das emissões de GEEs na atmosfera também criam empecilhos no momento de atribuir a contribuição de cada um dos atores envolvidos historicamente na cadeia causal. A modelagem climática invariavelmente terá de lidar com efeitos imprevistos e indiretos das mudanças no sistema climático, afinal não são raros os seus processos de retroalimentação, que desafiam técnicas de detecção e atribuição.

Para além disso, a comunicação de evidências científicas pode ser distorcida, especialmente quanto ao contributo das mudanças climáticas antropogênicas sobre um evento extremo específico. Esse ruído comunicacional pode colocar em xeque a própria credibilidade do campo, porque o objetivo da ciência da atribuição não é criar pânico generalizado, mas informar cientificamente e aprimorar ações e decisões públicas.

### 2.3 Políticas públicas climáticas: definições, atores e medidas

Embora não haja uma definição consensual de políticas públicas na literatura, podemos recorrer ao conceito de Secchi (2014: 2), que as define como uma diretriz orientadora dos comportamentos ativos e passivos de indivíduos pertencentes a um determinado grupo social, com o objetivo principal de enfrentar e superar um problema coletivamente reconhecido como relevante (isto é, de interesse público).

Para que esse problema de natureza pública seja, de fato, enfrentado e eventualmente superado, o autor também destaca o elemento da **intencionalidade pública**, segundo o qual não basta que o problema seja, por si só, coletivo: é necessário que haja a intenção política de reconhecê-lo

como tal. É esse o elemento capaz de conferir relevância política a um problema potencialmente público e, assim, inseri-lo na agenda governamental.

É impossível compreender um problema público relevante como a crise climática sem recorrer à moldura teórica das políticas públicas ambientais, género do qual as políticas climáticas são apenas uma espécie (Minassa, 2023: 79). Uma das características centrais dessa moldura é o fato de que as questões ambientais e climáticas demandam políticas do tipo **sala operatória** (*operating room politics*), expressão cunhada por William T. Gormley para designar políticas fortemente dependentes de dados e evidências científicas robustas e, portanto, indissociáveis do avanço técnico-científico.

As políticas públicas climáticas dependem, assim, de um suporte científico constante, fazendo do estado de atualização da ciência uma condição para sua eficácia. Basta recordar, nesse sentido, a importância dos relatórios científicos produzidos por instituições como o IPCC na orientação das desafiadoras tarefas de *policymakers* e *decision-makers* encarregados de formular e implementar medidas de enfrentamento às mudanças climáticas (Minassa, 2023: 80).

Ainda que as políticas públicas, em geral, possam envolver distintos atores, costuma-se classificá-los em três categorias principais: *policymakers* (formuladores de políticas), *decision-makers* (tomadores de decisão) e *stakeholders* (grupos de interesse). No campo climático, mais do que em qualquer outro, esses atores não podem estar exclusivamente concentrados na figura do Estado e de suas instituições, ou seja, não se pode sustentar um “postulado de estatocentrismo” (Thoenig, 1997: 22-36), pois à ação verdadeiramente pública impõe-se uma interação dinâmica, coletiva e *bottom-up* entre uma extensa e complexa rede de atores sociais e políticos.

Muitos desses atores, como comunidades tradicionais, organizações não governamentais ambientais (ONGAs), sociedade civil organizada, empresas e grupos científicos, estão, inclusive, na linha de frente dos impactos da crise climática. A garantia de ampla e irrestrita participação pública nos processos de formulação e decisão em políticas climáticas é, portanto, condição indispensável para sua boa execução, desempenho e avaliação.

No interior desse arranjo participativo, a comunidade científica (os *experts*) desempenha um papel cada vez mais relevante no ciclo das políticas públicas climáticas. A sua contribuição tem se dado de múltiplas formas: desde a produção de dados científicos capazes de conferir visibilidade à matéria e legitimá-la como tema de interesse público (condição para sua entrada na agenda governamental), até a orientação de modificações em políticas já existentes e a avaliação de sua efetiva implementação.

Detentores de um saber técnico imprescindível para a formulação de políticas climáticas eficazes, os cientistas da atribuição fortalecem preventivamente a *toolbox* dos gestores públicos ao fornecerem evidências sobre a conexão entre eventos extremos, mudanças climáticas e vulnerabilidades existentes. Mais do que atribuir culpas ou responsabilidades, a sua atuação tem o potencial de informar e mobilizar comunidades e *stakeholders* a agir contra a inação, especialmente no tocante às medidas de mitigação e adaptação (State of the Planet, 2021).

Tais medidas constituem os alicerces de qualquer política pública climática. As ações de mitigação dizem respeito à redução das causas antrópicas da crise, ou seja, à diminuição das emissões de GEEs nos diversos setores da economia. Em termos práticos, cabe à mitigação identificar fontes e setores significativamente emissores para, então, induzir ou impor a descarbonização progressiva da economia. Embora cada Estado defina suas prioridades setoriais – como agricultura, energia, transportes ou resíduos –, é na arena internacional que se firmam os compromissos de mitigação, especialmente no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC) e do Acordo de Paris (2015). As políticas nacionais ou locais de mitigação, portanto, estarão inevitavelmente orientadas pelos compromissos assumidos por cada país (as NDCs – Contribuições Nacionalmente Determinadas) perante a comunidade internacional.

Em contraste com as políticas mitigatórias, as de adaptação buscam fortalecer a capacidade de resiliência dos sistemas sociais e ecológicos frente aos efeitos já presentes ou inevitáveis da crise climática. Tornaram-se indispensáveis diante da insuficiência, ou do fracasso, das medidas preventivas, exigindo dos atores públicos respostas reativas diante dos impactos já em curso.

A premissa da adaptação consiste na incapacidade de frear a crise climática a tempo de apenas mitigá-la (Minassa, 2023: 102). Voltadas à redução da exposição e da vulnerabilidade de comunidades, infraestruturas e setores estratégicos, essas medidas tendem a assumir um enfoque mais localizado, menos causal e menos global do que as ações de mitigação. Ainda assim, contam com instrumentos legais e políticos, como normas de comando e controle e incentivos econômicos, que possibilitam a sua implementação (Minassa, 2023: 102-108).

Nos últimos anos, a tônica da integração das políticas climáticas (*climate policy integration* – CPI) nas agendas tem recaído mais sobre as medidas de mitigação, dada a recorrência e a expressividade das negociações em fóruns internacionais, do que sobre as medidas de adaptação, tradicionalmente mais restritas aos centros decisórios locais ou subnacionais (Urwin, Jordan, 2008: 180-181, 189). Esse cenário, entretanto, vem se alterando gradualmente diante do agravamento da crise e da necessidade de uma resposta institucional mais ampla, célere e eficaz para lidar com os riscos iminentes, como de resto veremos na próxima seção.

### **3. A integração de elementos da ciência da atribuição às agendas políticas**

Diante do aperfeiçoamento dos métodos aplicados aos estudos de atribuição, torna-se imperativo que os atores envolvidos no ciclo de políticas públicas climáticas conheçam e compreendam suas descobertas. Isso é fundamental para que possam melhor formular, prevenir, decidir e implementar suas respectivas agendas com base em evidências robustas.

Na esfera administrativa, embora o decisor público detenha ampla margem de conformação e discricionariedade para definir os meios de execução da política pública, essa liberdade encontra limites quando confrontada com dados científicos consistentes. No caso das políticas climáticas, essa tensão

se intensifica. O avanço da ciência da atribuição coloca à disposição dos tomadores de decisão evidências concretas sobre a influência, em frequência e intensidade, das mudanças climáticas sobre eventos extremos.

Isso significa que, uma vez cientes da existência de riscos fundamentados no conhecimento científico, os agentes públicos não mais podem eximir-se da responsabilidade de agir. Ainda que permaneça sob seu poder definir como a política será implementada, os estudos em atribuição operam como fator de compressão da margem de conformação administrativa, estreitando o espaço de inércia institucional.

Nesse contexto, a literatura tem recorrido a expressões como **políticas baseadas em evidências** (*evidence-based policy*) (National Research Council, 2012: 50-51) e **sistemas de conhecimento** (*knowledge systems*) para designar arranjos político-institucionais nos quais a gestão pública é mediada por saberes técnico-científicos, como os produzidos pela ciência da atribuição (Tangney, 2017: 141-146). No campo das políticas públicas climáticas, a interação entre os resultados científicos e sua tradução política, seja no interior das instituições, seja para o público, é condição imprescindível para garantir maior assertividade e eficácia, tanto nas estratégias de mitigação quanto nas de adaptação. Tal necessidade decorre, em grande parte, das especificidades da ciência climática: altamente técnica, em constante atualização e muitas vezes contraintuitiva. Isso exige formas de comunicação acessíveis, sem perda de rigor, que permitam sua apropriação pela arena política.

Acreditamos, contudo, que o rigor científico das evidências produzidas pela ciência da atribuição não deve ser atenuado em nome de uma suposta ampliação da compreensão por parte dos decisores públicos. Se é verdade que a comunicação científica pode e deve ser aperfeiçoada, desenvolvendo estratégias que facilitem o entendimento por atores políticos e pela sociedade, também é verdade que não cabe aos *experts* flexibilizar os seus critérios, *standards* e metodologias (*v.g.*, intervalos de confiança e testes de robustez) para admitir a margem de incerteza inerente às decisões políticas e jurídicas. A tradução dos conhecimentos em atribuição é tão relevante quanto a preservação do seu compromisso epistêmico com a verdade científica.

Dito isto, os resultados dos estudos em atribuição podem não apenas elevar os padrões de proteção, como também justificar a reordenação parcial, ou mesmo total, das prioridades nas decisões públicas em matéria climática. Com isso, oferecem um fundamento relevante para a formulação de políticas, ao iluminar o gestor quanto às alternativas e meios mais apropriados para a implementação, continuidade, modificação ou extinção de determinada política. Além disso, podem contribuir para elucidar as possíveis consequências da inação ou da adoção de medidas intempestivas.

O aproveitamento dessas evidências, no entanto, depende também de um alinhamento entre as previsões da ciência vigente e a disposição da agenda política em curso – bem como da vontade de seus agentes decisórios –, afinal, “o uso da ciência não é um resultado lógico ou inevitável da existência da ciência” (National Research Council, 2012, p. 50). Em síntese, não basta reconhecer que um evento extremo é parcialmente atribuível às mudanças climáticas, é preciso, antes, compreender se – e de que modo – as

instituições estão preparadas para lidar com essa informação e agir de forma adequada, orientadas por ela.

Essa capacidade de reorientar prioridades políticas com base em novos achados científicos revela a importância da integração contínua entre ciência da atribuição e formulação de políticas públicas. No entanto, ao contrário do que se poderia supor, os estudos de atribuição não servem apenas para confirmar uma influência positiva das mudanças climáticas sobre a probabilidade ou magnitude de eventos extremos, eles também podem apontar uma influência nula, mínima ou até mesmo negativa.

Harrington e colaboradores (2022, *passim*) corroboram essa perspectiva ao argumentarem que, mesmo quando tais estudos não identificam sinais estatisticamente significativos dessa conexão, eles ainda podem ser úteis aos tomadores de decisão no direcionamento e execução de políticas públicas (Harrington, *et al.*, 2022: 2). Portanto, quaisquer que sejam os resultados obtidos – influência positiva, negativa ou inexistente –, desde que confiáveis na elucidação do grau e da natureza da influência climática, os estudos em atribuição poderão oferecer subsídios relevantes à ação pública.

Como exemplo desses subsídios, alguns autores têm apontado o potencial dos estudos em atribuição para embasar mecanismos financeiros de compensação, especialmente por meio da precificação e cobertura de riscos climáticos e do financiamento voltado ao enfrentamento de perdas e danos. O Estado passa, nesse contexto, a exercer o papel de indutor de parcerias público-privadas voltadas à criação de instrumentos securitários (como seguros paramétricos, microsseguros e fundos de compartilhamento de riscos), que, segundo tais autores, configuram-se como uma medida precaucional mais eficaz frente aos eventos extremos do que a posterior demanda judicial por reparação (Patton, Barnes, 2017: 147-166; Kunreuther, Lyster, 2016: 29-54).

A influência da ciência da atribuição sobre instrumentos securitários é apenas uma entre várias possibilidades de integração às políticas públicas. Os seus dados podem aprimorar a precisão na definição das coberturas e dos prêmios de seguros, além de estimular investimentos preventivos, indispensáveis à construção de resiliência diante do aumento da vulnerabilidade e da exposição das comunidades aos riscos climáticos (Kunreuther, Lyster, 2016: 29-54).

### **3.1 Elementos de atribuição e medidas de adaptação: contributos e limitações**

As evidências científicas sobre atribuição de eventos podem atuar como verdadeiras catalisadoras das políticas de adaptação climática, assegurando medidas de baixo arrependimento (*low-regret*). Se os estudos em atribuição indicam, com grau significativo de confiabilidade, que a frequência e/ou a intensidade de determinados eventos será potencialmente ampliada pelas mudanças climáticas, o formulador e o decisor políticos passam a dispor de insumos mais robustos para orientar a alocação prioritária de recursos, planejar estruturalmente o enfrentamento aos riscos e decidir como, onde e quando agir de modo mais eficaz (Tangney, 2017: 23-43).

Os estudos em atribuição operam por meio de uma abordagem pós-facto, isto é, desenvolvem uma análise comparativa posterior à ocorrência de um evento extremo individual, como uma onda de calor, um tornado ou uma enchente. Nesse sentido, podem ser considerados **retroprospectivos**, pois, embora se debruçam sobre eventos passados recentes, objetivam fundamentar ações futuras: contribuem para o aprimoramento de modelos climáticos, para a identificação de padrões e tendências históricas e, sobretudo, para o redirecionamento das políticas de adaptação. Na ciência da atribuição, o objeto é o passado; mas o objetivo, o futuro.

Nesse contexto, as evidências científicas produzidas pela atribuição passam a funcionar sob um vetor *ex ante* política, ainda que derivem de eventos *ex post facto*. Explica-se: embora essencialmente retrospectivos, os estudos em atribuição geram conhecimento com valor prospectivo, instrumental à aceleração de medidas de adaptação frente aos eventos climáticos extremos. Isso porque a adaptação encerra, também, uma vertente preventiva, ancorada em evidências póstumas aos eventos passados, mas anteriores à formulação das políticas públicas de incremento de resiliência e, portanto, anteriores aos próximos eventos.

Justamente esse caráter retro-prospectivo potencialmente aplicável à formulação de políticas públicas é que leva autores como Boran e Heath (2016), a investigar se – e em que medida – os estudos de atribuição podem informar adequadamente decisões políticas adaptativas. Ou seja, o real potencial dessas evidências científicas para embasar políticas de adaptação.

Segundo os autores, embora tais estudos possam, em tese, auxiliar processos decisórios sobre adaptação – ao identificar, senão todos, ao menos os principais fatores que deflagram eventos extremos – a natureza e o alcance desse auxílio não são assim tão evidentes (Boran, Heath, 2016: 4). A abordagem probabilística própria da atribuição climática permite distinguir e delimitar os fatores que influenciam diretamente a ocorrência de tais eventos, traçando, de um lado, a parcela atribuível às mudanças climáticas induzidas pelo homem e, de outro, à variabilidade climática natural.

Uma vez compreendidas essas influências, os formuladores e tomadores de decisão poderiam aumentar a eficácia das medidas adaptativas, otimizando a alocação dos recursos disponíveis a indivíduos e comunidades mais vulneráveis aos impactos. Essa otimização se daria com o auxílio da ciência da atribuição, notadamente na especificação dos custos envolvidos na adaptação (Boran, Heath, 2016: 4). Contudo, permanece inconclusa a questão sobre se – e em que medida – esses estudos podem, de facto, contribuir para a mensuração desses encargos adaptativos e, por conseguinte, para a afetação eficiente de recursos públicos (Boran, Heath, 2016: 1-2).

As incertezas quanto ao uso da abordagem probabilística (padrão) da atribuição, para informar políticas de adaptação persistem, e podem decorrer, *inter alia*, de dois fatores principais:

(i) esta abordagem considera exclusivamente fatores climáticos quantitativos, enquanto as políticas adaptativas dependem também da consideração de variáveis como exposição e vulnerabilidade, normalmente

ignoradas nos modelos de atribuição probabilísticos (Boran, Heath, 2016: 4); e

(ii) embora os métodos para estimar custos de mitigação (isto é, de implementação de medidas para redução de emissões) estejam mais consolidados, o mesmo não se pode dizer dos métodos voltados ao cálculo dos custos da adaptação, que são substancialmente mais complexos.

Além das limitações da abordagem probabilística da atribuição para subsidiar políticas de adaptação, os autores manifestam certa reserva em relação à ênfase do debate político atual – tanto em nível doméstico quanto internacional – que, segundo eles, tem se restringido ao enquadramento normativo dos elementos da atribuição (*normative framework*). Esse enquadramento, predominante em instâncias como as negociações da CQNUMC, tem sido guiado por uma lógica de responsabilização civil individual e de compensação por danos relacionados às mudanças climáticas, o chamado *tort-like thinking*. Tal abordagem, na visão dos autores, oferece pouca ou nenhuma utilidade prática para a formulação de políticas de adaptação aos riscos e impactos climáticos.

Boran e Heath (2016: 9) argumentam que o enquadramento mais apropriado e, por isso, mais promissor para esse tipo de política pública é o da gestão e compartilhamento de riscos, associado a instrumentos de seguro climático (*insurance*), como fundos securitários. Ainda que essa lógica seja, até ao momento, pouco acionada no debate político, os autores consideram-na mais eficaz. Enquanto o *tort-like thinking* instrumentaliza os estudos em atribuição como base para mecanismos normativos de caráter reparatório ou sancionador, a lógica do compartilhamento de riscos (*risk-pooling logic*) propõe uma abordagem mais cooperativa, voltada a benefícios mútuos, e emprega as evidências científicas da atribuição para orientar o desenho de políticas de adaptação e de mecanismos para perdas e danos.

Nesse mesmo sentido crítico, Harrington e colaboradores (2022) questionam a adequação da abordagem probabilística contrafactual convencional, ancorada na comparação entre o clima atual e um cenário pré-industrial, para informar políticas de adaptação. Segundo os autores, essa abordagem, embora relevante para sustentar evidências em litígios climáticos, revela-se limitada no contexto da formulação de políticas públicas adaptativas (Harrington, *et al.*, 2022: 3-4). Ao contrário da lógica jurídica, que busca estabelecer causalidade em termos retrospectivos, a adaptação climática exige ferramentas prospectivas e continuamente atualizáveis.

Não haveria, portanto, um vínculo significativo entre a necessidade de fomentar capacidade adaptativa de indivíduos e comunidades e um modelo baseado em uma linha de base pré-industrial fixa. Afinal, como afirmam os autores, “as comunidades não se adaptam em relação a uma linha de base pré-industrial, mas se adaptam *pari passu* à mudança do clima, integrando continuamente novos conhecimentos e avaliando a eficácia de esforços anteriores” (Harrington, *et al.*, 2022: 2).

De facto, as decisões relacionadas à adaptação raramente se baseiam em análises comparativas entre períodos climáticos históricos. Essa perspectiva tem se mostrado pouco útil para identificar os focos contemporâneos de vulnerabilidade e exposição aos eventos extremos, como as ondas de calor.

Em outras palavras, “o facto de que as ondas de calor mais severas do futuro próximo provavelmente não ocorrerão em um clima pré-industrial é de pouca importância para fins de gerenciamento de riscos futuros” (Harrington, *et al.*, 2022: 5). A adaptação mais relevante, portanto, reside na capacidade de compreender como e em que medida os eventos extremos estão se transformando no presente, isto é, quantificar o índice de mudança da ocorrência desses eventos (*rate of change*).

Para os autores, essa abordagem baseada em *rate of change* é mais adequada à formulação de políticas adaptativas, especialmente porque diferentes setores da sociedade seguirão trajetórias distintas de resiliência frente aos eventos extremos. Por exemplo, os sistemas de saúde pública demandarão menos esforços adaptativos em comparação aos sistemas de drenagem pluvial, mais sensíveis à intensificação de chuvas extremas (Harrington, *et al.*, 2022: 2).

Ao identificar o ritmo de transformação desses eventos, torna-se possível direcionar e priorizar esforços dentro do vasto leque de setores afetados. Assim, se se pretende defender a integração dos estudos de atribuição científica às políticas de adaptação, argumentam os autores, que seja por meio de uma abordagem alternativa à convencional abordagem probabilística contrafactual, esta menos proveitosa para embasar decisões voltadas à resiliência climática (Harrington, *et al.*, 2022: 4-5).

Essa discussão encontra eco em outros trabalhos da literatura, como o de Young e colaboradores (2019), que reconhecem o valor dos estudos de atribuição como suporte à formulação de políticas adaptativas, mas que também destacam uma influência limitada desses estudos sobre os processos decisórios, sobretudo em países em desenvolvimento (Young, *et al.*, 2019: 812).

Com base em um estudo sobre áreas urbanas do Senegal, os autores analisam as percepções de *policymakers*, *decision-makers* e *stakeholders* envolvidos na política nacional de adaptação, acerca da contribuição prática dos estudos de atribuição. A escolha dos centros urbanos senegaleses como recorte espacial justifica-se pela recorrência de eventos climáticos extremos, como chuvas intensas e inundações, que exigem ações adaptativas urgentes por parte dos atores políticos. Nesse contexto, a relação entre atribuição e adaptação manifesta-se no âmbito do planejamento urbano, com as especificidades próprias das cidades do Sul Global.

Segundo os autores, o planejamento urbano que incorpora informações de atribuição, como probabilidade e intensidade de eventos extremos, tende a ser mais qualificado do que aquele que as ignora. A atribuição pode fornecer subsídios concretos à tomada de decisão, permitindo que os agentes políticos ajam com maior consciência dos riscos envolvidos em eventos extremos que afetam o espaço urbano.

No entanto, o estudo de caso do Senegal revela que nem todos os atores políticos associam diretamente as inundações urbanas às mudanças climáticas induzidas pelo homem. Muitos as atribuem a falhas no ordenamento territorial e à preexistente vulnerabilidade socioespacial (Young, *et al.*, 2019: 812). Ainda assim, não descartam a utilidade da ciência da atribuição para esclarecer as possíveis conexões entre as mudanças

climáticas e eventos extremos. Tampouco, porém, defendem que as decisões políticas devam basear-se exclusivamente nesses estudos, especialmente diante das limitações metodológicas envolvidas na avaliação da probabilidade de recorrência de eventos futuros.

Essas limitações ilustram um dos principais desafios da utilização da atribuição como diretriz para políticas de adaptação: da mesma forma que não é possível estabelecer um padrão único e generalizável sobre a influência das mudanças climáticas em diferentes tipos de eventos extremos, também não se pode construir uma agenda adaptativa sólida apenas com base em estudos que analisam eventos passados (Young, *et al.*, 2019: 819). Ainda que os estudos em atribuição revelem informações relevantes sobre eventos meteorológicos específicos, não oferecem previsões abrangentes e precisas de risco futuro, o que pode ajudar a explicar por que, até hoje, tais estudos têm repercutido pouco sobre medidas efetivas de adaptação (Young, *et al.*, 2019: 820).

Essa limitação é particularmente significativa em países que carecem de registros históricos consolidados de seus eventos extremos, o que compromete a confiabilidade das projeções observacionais e dos modelos climáticos. É o caso do Senegal, mas também de muitos outros países do Sul Global que enfrentam desafios semelhantes. Soma-se a isso a falta de coordenação institucional, que aprofunda os hiatos nas agendas e dificulta a integração dos estudos de atribuição nas políticas urbanas de adaptação. Nessas circunstâncias, há uma tendência dos atores políticos de priorizar riscos já manifestos e problemas urbanos persistentes, em detrimento da incorporação de evidências sobre riscos futuros (Young, *et al.*, 2019: 821).

Apesar disso, Young e colaboradores (2019: 821) valorizam o potencial da atribuição científica como ferramenta de apoio à formulação e implementação de políticas adaptativas. Ao esclarecer a magnitude e a probabilidade de riscos climáticos associados a eventos extremos localizados, os estudos em atribuição podem contribuir para o fortalecimento da capacidade adaptativa no planejamento urbano. Os autores advertem que ignorar esses conhecimentos pode tornar obsoletas, *in limine*, as próprias medidas de adaptação já implementadas.

Ainda assim, a literatura não é unânime quanto à pertinência do uso irrestrito da atribuição como base para as políticas adaptativas. Parte dos autores argumenta que, mais importante do que rastrear causas e atribuir responsabilidades por eventos extremos, seria abordar diretamente as vulnerabilidades socioespaciais, estas, sim, elementos centrais na ampliação da exposição aos riscos, impactos e danos. Outro argumento que surge na literatura refere-se aos riscos de má-adaptação que os estudos em atribuição podem, inadvertidamente, acentuar se conduzidos ou comunicados de forma inadequada.

Caso não haja uma sinalização probabilística precisa sobre a tendência climática subjacente a determinados eventos extremos, *decision-makers* poderão tomar decisões baseadas em riscos mal estimados, comprometendo, por exemplo, a alocação racional de recursos escassos. Um estudo de atribuição que, de forma imprecisa, associe um evento extremo a mudanças climáticas e depois se revele inconsistente com a realidade, pode desorientar os tomadores de decisão e induzir à má-

adaptação. Por razões como essas, ainda permanece aberta a questão sobre “até onde a ciência da atribuição pode ir para informar políticas adaptativas, sem representar um instrumento contraproducente que pode gerar uma má-adaptação” (Young, *et al.*, 2019: 821).

#### **4. Desafios e estratégias para a integração da ciência da atribuição às políticas públicas climáticas**

Existem desafios de ordem eminentemente política que dificultam a incorporação dos conhecimentos em atribuição às políticas climáticas. Esses obstáculos estão invariavelmente associados, entre outros fatores, à falha de governança; à fragmentação intersetorial (o conhecido *silos issue*); a desconsideração da vertente preventiva das políticas públicas; e à má gestão e planejamento urbano-ambiental. Nesse contexto, Urwin e Jordan (2008: 180, 189) destacam a importância de enfrentar tais barreiras por meio da auditoria das políticas existentes, bem como da implementação de mecanismos de *climate proofing* na formulação de novas políticas públicas nos distintos setores da agenda.

Como consequência previsível dessa falta de integração por entraves essencialmente políticos, verifica-se o aumento da litigância climática, que busca a responsabilização legal por omissão ou ação insuficiente dos atores políticos. Essa litigância se ancora nas frágeis operações de governos no cumprimento das políticas públicas, acordos internacionais, constituições, leis e normas administrativas voltadas às mudanças climáticas (Victovoski, Winckler, 2024: 1-21).

Trata-se de uma litigância estratégica, cujo objetivo é pressionar governos a acelerar a regularização e implementação de políticas públicas, bem como outras ações de governança climática em todas as esferas de poder. Em última instância, visa responsabilizar o governo por ações ou omissões que comprometem a redução das emissões de GEEs e, logo, a adaptação às mudanças climáticas (Kalil, Hupffe, Wedy, 2024: 4-5).

Assim, chegam aos tribunais demandas por responsabilização que utilizam os estudos probabilísticos em atribuição como parte de seu acervo probatório, a fim de fortalecer o nexos causal entre os danos provocados por eventos extremos e a inação, ou ação deficiente, do poder público. Em suma, os atores políticos que deixam de considerar, em suas decisões, os conhecimentos gerados pela ciência da atribuição, passam a ser responsabilizados judicialmente por não agir ou agir tardiamente diante de riscos que já poderiam (ou deveriam) conhecer (Carvalho, Zaneti Jr., 2024: 105).

Para que esses litígios se tornem viáveis, é necessário que a opinião pública esteja não apenas bem informada, mas também mobilizada. Um público consciente da relação atributiva entre eventos extremos e mudanças climáticas tende a exercer maior pressão sobre os atores institucionais, reivindicando participação nos processos decisórios e forçando a inclusão do tema no radar político e, por consequência, na agenda de governo.

Nesse mesmo sentido, Boasson e Tatham (2022: 404-407) ressaltam a importância do envolvimento de múltiplos atores sociais para a construção

de legitimidade das políticas climáticas. Para os autores, o **modelo de apoio público** (*public support model*) configura-se como o mais eficaz modelo de governança climática, sobretudo por sua capacidade de impulsionar, via consenso democrático, ações robustas, especialmente no campo das medidas de mitigação.

Nessa mesma direção, Schaffer, Oehl e Bernauer (2021: 138-141) destacam que, quando devidamente informada, a opinião pública tem o potencial de impulsionar a responsividade governamental (*government responsiveness*). A capacidade da sociedade de influenciar a ação do poder público se mostra, nesse caso, mais determinante do que a própria saliência do tema. Em outras palavras, o reconhecimento coletivo da relevância dos estudos de atribuição para a formulação de políticas climáticas pode pesar mais na indução de medidas de adaptação e mitigação do que a visibilidade inerente ao tópico em si. Quando falta essa percepção pública sobre a influência das mudanças climáticas na ocorrência de eventos extremos, impõe-se uma barreira à ascensão do tema na agenda política, barreira esta que se inscreve no plano participativo-democrático da integração da ciência da atribuição às políticas públicas.

Acontece que a percepção pública sobre o papel das mudanças climáticas nos eventos extremos enfrenta dificuldades mais profundas. A forma como o público compreende, interpreta e associa esses eventos ao fenômeno climático é invariavelmente complexa e atravessada por múltiplas variáveis sociais, políticas, culturais e econômicas. Em diferentes estudos de caso, Steratore (2019) e Zanocco (2024) identificaram que fatores como crenças prévias, experiências pessoais com desastres, nível de escolaridade, orientação ideológica e outros condicionantes podem pesar mais na construção desse vínculo atribucional do que o próprio conhecimento científico disponível.

A linguagem técnica da ciência da atribuição pode ser complexa e desafiadora para a percepção pública. Trata-se de uma barreira cognitiva estrutural à integração, pois mesmo indivíduos com elevada mobilização política podem desconhecer, ou compreender de forma muito superficial, o que torna um evento atribuível às mudanças climáticas (Steratore, 2019: 17 e 28). Assim, por mais engajado e interessado que seja, o público nem sempre dispõe das ferramentas necessárias para interpretar adequadamente os estudos de atribuição e, com isso, exercer pressão direcionada sobre os atores institucionais.

Além disso, soma-se a essa barreira cognitiva estrutural uma discrepância relevante entre o **conhecimento percebido** (*perceived knowledge*) e o **conhecimento efetivamente avaliado** (*assessed knowledge*) sobre a percepção de riscos climáticos. Conforme apontam Stoutenborough e Vedlitz (2014: 23, 28-30), nem sempre os indivíduos estarão verdadeiramente conscientes das causas e efeitos da crise climática e, por conseguinte, das implicações associadas à ciência da atribuição. Trata-se de um déficit que não é apenas informacional e comunicacional, mas também metodológico, relacionado à forma como se mede o conhecimento real das pessoas sobre o fenômeno.

Como resultado, indivíduos (inclusive atores políticos) com alto conhecimento percebido, mas baixo conhecimento avaliado, tendem a

apresentar menor percepção de risco climático e, por extrapolação lógica, menor receptividade à inclusão da ciência da atribuição nas agendas públicas. Embora Stoutenborough e Vedlitz (2014) não tenham avaliado diretamente a ciência da atribuição, seus achados sobre a relação entre conhecimento avaliado, risco percebido e apoio a políticas climáticas sugerem esse desdobramento.

Zanocco e colaboradores (2024: 1-4), por seu turno, denominam de **alinhamento atributivo** (*attribution alignment*) a presença ou a ausência de correspondência entre o que apontam as evidências científicas e a forma como o público as percebe, muitas vezes influenciado por variáveis intuitivas ou emocionais. No estudo de caso conduzido pelos autores nos Estados Unidos, observou-se que, além dos problemas de alinhamento, há uma variação relevante da percepção pública conforme o tipo de evento climático: os entrevistados demonstraram maior confiança na atribuição climática de incêndios florestais e ondas de calor do que de furacões e tornados (Zanocco, *et al.*, 2024: 8-9).

Esses achados corroboram a ideia de que a percepção pública sobre os riscos climáticos e os estudos em atribuição não é uniforme, nem politicamente estável. Soma-se à barreira cognitiva estrutural uma outra, de ordem cognitivo-temporal: as experiências e crenças individuais influenciam diretamente o apoio às políticas climáticas (sobretudo de adaptação), mas esse apoio também está fortemente relacionado à ocorrência recente de eventos extremos.

A percepção pública tende a ser mais favorável às políticas climáticas quando os efeitos de eventos extremos ainda estão presentes na memória coletiva (Ray, *et al.*, 2017: 104, 109; Konisky, *et al.*, 2016: 533, 544-546). Essa sensibilidade, no entanto, costuma ser modesta, varia conforme o tipo de política e, o que é mais relevante, tende a se diluir com o tempo. O apoio impulsionado por eventos específicos se dissipa rapidamente, o que fragiliza a ideia de que a integração da atribuição às políticas públicas pode depender exclusivamente da pressão exercida pela sociedade.

Essa constatação confirma o que Diamond (2008: 495-496) expressou por meio das noções de **amnésia da paisagem** e **normalidade sub-reptícia**, fenômenos que dificultam a apreensão sustentada dos riscos climáticos pelas comunidades humanas. A integração de elementos da ciência da atribuição nas políticas públicas, portanto, enfrenta também uma barreira temporal, segundo a qual o esquecimento e a habituação ao risco fragilizam o apoio público e dificultam tanto a entrada quanto a permanência do tema na agenda política.

Para fazer frente à volatilidade dessa percepção pública, torna-se essencial o fortalecimento institucional e contínuo de sistemas comunicacionais que ajudem a consolidar a memória social e a tornar mais acessível a relação causal entre eventos extremos, mudanças climáticas e as perdas e danos resultantes da inação dos atores políticos. A informação sobre os estudos em atribuição climática deve ser contextualizada e acompanhada de estratégias educacionais que considerem não apenas a efemeridade da percepção pública sobre riscos, mas também a complexidade técnica do tema, cuja tradução é fundamental para garantir uma participação social qualificada (Steratore, 2019: 76-77; Zanocco, *et al.*, 2024: 1-3, 15).

Outro grande desafio à integração entre ciência da atribuição e formulação de políticas decorre da forma como os próprios atores políticos (*policy players*) percebem os achados científicos. Invariavelmente, o fator que mais condiciona a presença de um tema na agenda política não é a urgência do problema – por mais relevante que seja, como no caso das mudanças climáticas – nem mesmo a robustez das evidências científicas disponíveis, mas sim a legitimidade política para se avançar com aquele tópico. Em contextos altamente polarizados, encontrar tal legitimidade, ou, em certos casos, uma legitimidade minimamente suficiente, pode ser ainda mais desafiador (Tangney, 2017: 98-117).

Isso significa que o entendimento técnico maioritário da comunidade científica sobre a influência das mudanças climáticas sobre eventos extremos nem sempre se converte em ação pública efetiva. Muitas vezes, o peso e a credibilidade das evidências científicas são suplantados por sua baixa legitimidade política, isto é, por sua limitada aceitabilidade diante de outros valores e prioridades dominantes na agenda, incluindo disputas orçamentárias e ideológicas. Quando carecem de legitimidade, mesmo estudos com sólida reputação científica e alta relevância social podem tornar-se vulneráveis a “processos de politização deliberada que influenciam os resultados das evidências e seu uso de maneiras inesperadas” (Tangney, 2017: 98-117).

Em contrapartida, quando surge uma janela de oportunidade que favorece a convergência entre os achados científicos e os objetivos estratégicos de governo, as chances de que os dados de atribuição climática sejam incorporados à tomada de decisão aumentam significativamente. Esse raro alinhamento entre o que recomendam os relatórios científicos e o que propõem as agendas políticas deve ser aproveitado para acelerar a implementação de políticas climáticas, sobretudo porque nem sempre as evidências encontrarão ressonância com os “requisitos práticos e normativos dos tomadores de decisão” (Tangney, 2017: 2).

Ainda sobre a percepção política dos estudos em atribuição, Lahsen, Couto e Lorenzoni (2020) discutem como o valor desses estudos pode variar dentro das agendas políticas e entre contextos nacionais diversos. A partir de um levantamento sistemático da cobertura mediática de dois eventos extremos no Brasil, as autoras observaram como líderes políticos e cientistas ambientais trataram (ou evitaram tratar) as causas desses eventos à luz das mudanças climáticas induzidas pelo homem. Entre os principais achados, destacam-se:

(i) a tendência de líderes em não enfatizar o papel das mudanças climáticas, preferindo focar em causas imediatas como desmatamento, infraestrutura precária e falhas de planejamento;

(ii) a constatação de que políticas relevantes para o enfrentamento da crise climática nem sempre são enquadradas como políticas explicitamente “climáticas”;

(iii) a prevalência de medidas emergenciais de resiliência e prevenção, como sistemas de alerta, em detrimento de discussões causais mais amplas;

(iv) a priorização de soluções políticas imediatas e janelas de oportunidade, em vez de uma ênfase nos vínculos entre os eventos extremos e as mudanças climáticas;

Não é sugerido que os atores políticos desconsiderem a influência das mudanças climáticas, mas que, por razões estratégicas, optem por enquadramentos mais pragmáticos. Essa escolha estratégica se justifica pelo contexto político brasileiro, em que a culpabilização direta das mudanças climáticas (por meio do que chamaram de *blame games*) pode ser menos eficaz do ponto de vista comunicativo e político (Lahsen, Couto, Lorenzoni, 2020: 228-230).

Desse estudo, extraem-se lições mais amplas: o valor político da ciência da atribuição é contingente, varia conforme o país, o momento e a correlação de forças na agenda pública (Lahsen, Couto, Lorenzoni, 2020: 213). Com isso, é preciso cautela com abordagens uniformizadoras que consideram desejável, em qualquer contexto, o uso direto dos estudos de atribuição como instrumento político. Um dos riscos de se enfatizar indiscriminadamente a culpabilização das mudanças climáticas por eventos extremos é incrementar o ceticismo público ou apatia diante de tema tão fundamental.

Partindo do caso brasileiro, as autoras destacam que a eficácia das políticas climáticas não depende exclusivamente da integração direta dos estudos em atribuição. Em determinadas circunstâncias, agendas que se conectam mais diretamente com as preocupações locais, como justiça ambiental, acesso a saneamento ou combate ao desmatamento, podem ser politicamente mais eficazes e socialmente legitimadas, ainda que não mobilizem de forma explícita evidências da ciência da atribuição.

Em lugar de priorizar uma culpabilização genérica das mudanças climáticas, as autoras recomendam uma maior atenção às dinâmicas locais, às vulnerabilidades socioespaciais e às realidades político-institucionais de cada território. Um mesmo evento extremo será percebido, enquadrado e gerido de maneiras distintas em contextos como o brasileiro ou o europeu. Assim, “o valor estratégico de atribuir eventos extremos às mudanças climáticas depende da natureza das políticas existentes e das oportunidades para novas políticas – fatores sujeitos a variações nacionais” (Lahsen, Couto, Lorenzoni, 2020: 228).

Nesse sentido, forçar a associação entre eventos individuais e as mudanças climáticas em contextos nos quais isso não gera adesão política pode resultar em efeito contrário ao desejado: deslegitimar a ciência climática e enfraquecer a mobilização social. Esse tipo de abordagem pode ser muito útil em países em que a percepção pública sobre o clima é mais cética (negacionismo climático), como ocorre em partes do Norte Global, mas pode ser contraproducente em outros, ao diminuir a pressão sobre os tomadores de decisão locais (Lahsen, Couto, Lorenzoni, 2020: 213, 228).

Vale destacar, ainda, que nem sempre a ocorrência de eventos climáticos extremos resultará nas mudanças político-institucionais esperadas ou embasadas em estudos de atribuição para a contenção de riscos futuros. Pesquisas como as de Giordano, Boudet e Gard-Murray (2020: 610-611) e Rowan (2022: 684-685, 695, 703) convergem nesse ponto, ao demonstrarem que desastres climáticos não funcionam, sozinhos, como

gatilhos automáticos para reformas substanciais e estruturantes ou para a formulação de políticas adaptativas. Do mesmo modo que, como vimos, as experiências subjetivas não são suficientes para abrir espaço a uma melhor compreensão sobre a natureza atribuível de determinados eventos, também a simples ocorrência de um desastre não assegura, por si, o aproveitamento de uma janela de oportunidade política pelas instituições.

Esse cenário ilustra uma tensão mais ampla, presente não apenas na ciência da atribuição, mas em diversas interações entre conhecimento técnico e formulação de políticas públicas. As tensões entre especialistas e formuladores de políticas, ou entre conhecimento e poder, não são exclusivas da ciência da atribuição, mas se tornam particularmente agudas no campo climático. Em regimes democráticos, marcados por múltiplas forças e interesses, a mediação entre o conhecimento técnico e as dinâmicas políticas impõe limites estruturais ao uso direto da ciência como fundamento das decisões públicas (Tangney, 2017: 2).

Isso se deve, entre outros fatores, ao facto de que a forma como as evidências científicas sobre o clima são rececionadas e interpretadas pelos atores políticos é profundamente condicionada por valores sociais e morais sobre o tema. A complexa rede institucional na qual se inserem, permeada por disputas de interesse, muitas vezes ancoradas em relações de poder pouco transparentes (*obscure and complicated power relationships*) e por expertises fragmentadas, dá origem a *trade-offs* que não podem ser equacionados apenas pela disponibilidade de dados científicos. Esses elementos geram um ruído que ultrapassa a esfera técnica e compromete a tradução direta da ciência em ação política informada (Juntti, Russel, Turnpenny, 2009: 208).

Soma-se a esses entraves, a rigidez dos enquadramentos institucionais preexistentes (*institutional frames*), que, diante da necessidade de criação de políticas climáticas, levam os atores políticos a recorrerem às abordagens dominantes a que seus respectivos setores estão habituados, dificultando a incorporação de elementos inovadores, como os estudos de atribuição, nas agendas. A lógica do *one frame fits all*, conforme argumenta Bosomworth (2015: 1451-1452, 1461), deve ser superada em favor do *frame reflexive*, que propõe aos formuladores o exercício de reconhecerem as limitações de suas próprias instituições e, com isso, vencerem resistências internas à inovação. Afinal, a forma como as instituições e os seus agentes compreendem a si mesmos, e reconhecem as suas vulnerabilidades, influencia diretamente a formulação e a efetividade de estratégias políticas voltadas ao enfrentamento de eventos extremos associados às mudanças climáticas.

Buscando superar os obstáculos comunicacionais que dificultam o entendimento e a apropriação dos estudos de atribuição pelos atores políticos, Parker e colaboradores (2016) propuseram uma ferramenta interativa voltada a esse desafio. Trata-se do jogo participativo *Climate Attribution Under Loss and Damage: Risking, Observing, Negotiating* (Cauldron), desenvolvido justamente para facilitar o diálogo entre cientistas e formuladores de políticas. Reconhecendo a existência de um gargalo na transmissão e no acesso ao conhecimento produzido pela ciência da atribuição – tanto em escala nacional quanto internacional –, os autores criaram e aplicaram o jogo com grupos de *stakeholders* políticos e institucionais.

A linguagem científica, sobretudo na sua forma mais técnica e quantitativa, pode representar um entrave relevante para a integração dos estudos em atribuição às agendas, bem como para sua assimilação pelo público não especializado. Os instrumentos tradicionais de publicização do conhecimento científico nem sempre se mostram eficazes quando se trata de temas complexos. Nesse sentido, a interatividade de ferramentas lúdico-pedagógicas, como o Cauldron, pode funcionar tanto como ponto de partida para a conscientização pública sobre a atribuição de eventos extremos quanto como estratégia para ampliar a visibilidade e a compreensão política sobre o estado da arte dessa ciência (Parker, *et al.*, 2016: 354).

O jogo foi estruturado com base nos pilares da atribuição probabilística e em sua interface com a gestão de riscos climáticos, além de incorporar os mecanismos relativos a perdas e danos no âmbito das negociações internacionais sobre o clima, especialmente no contexto da Cqnumc. Sua aplicabilidade prática foi testada, inclusive, no estudo conduzido por Young e colaboradores (2019), já mencionado neste artigo, no qual o Cauldron facilitou a compreensão de *policymakers* e *stakeholders* senegaleses sobre o papel da ciência da atribuição nas recorrentes inundações e precipitações extremas que afetam as áreas urbanas do país (Parker, *et al.*, 2016: 363).

A partir da aplicação prática do jogo, os autores identificaram que, embora o Cauldron não seja uma solução definitiva nem a única ferramenta possível, ele teve efeitos positivos tanto na qualificação do debate público quanto na tomada de decisões políticas. Ao integrar distintos grupos de interesse e permitir que os atores institucionais acessem a complexidade dos achados científicos, o jogo contribuiu de maneira relevante para reduzir o hiato comunicacional entre a ciência da atribuição e as políticas públicas climáticas (Parker, *et al.*, 2016: 363).

### **Considerações finais**

A presente investigação buscou traçar um panorama inicial das possíveis interfaces entre os estudos da ciência da atribuição e as políticas públicas, área que, ao lado do Direito, tem se destacado pela potencialidade de incorporar evidências científicas oriundas daquele campo, com o objetivo de subsidiar formuladores e tomadores de decisão na criação e implementação de medidas voltadas ao enfrentamento dos eventos extremos e das suas consequências adversas. A relevância de explorar e descrever tais interfaces decorre, entre outros fatores, do fato de que, na lusofonia, a literatura ainda se apresenta notoriamente incipiente e fragmentada no que diz respeito à inserção da atribuição nas ciências humanas e sociais.

Para estabelecer o diálogo entre clima, atribuição e políticas públicas, apresentamos os três conceitos fundamentais à análise integrativa proposta: eventos climáticos extremos, ciência da atribuição e políticas públicas. Os extremos climáticos são fenômenos que se desviam significativamente do comportamento climático esperado, ultrapassando os limites superiores ou inferiores das séries históricas. Dentro desse gênero, destacam-se os *extreme weather events* (EWE), eventos meteorológicos raros, de curta duração (de horas a dias), caracterizados por sua magnitude, intensidade,

duração e extensão geográfica. São exemplos os ciclones tropicais, tornados, ondas de calor, secas, inundações e chuvas intensas. Segundo o Ipcc e a Wmo, é altamente provável a influência das mudanças climáticas sobre o aumento da intensidade e da frequência desses eventos. Além dos eventos individuais e pontuais, destacam-se os eventos compostos – quando múltiplos extremos ocorrem simultaneamente – e os eventos sequenciais, que se sucedem em intervalos curtos, comprometendo a capacidade de resposta e adaptação por parte dos gestores públicos.

Os estudos que vinculam as mudanças climáticas induzidas pelo homem à ocorrência de eventos extremos têm se multiplicado e se aprimorado desde o início deste milênio, consolidando um campo específico dentro da ciência climática: a ciência da atribuição. Diferente da detecção, que identifica alterações estatisticamente significativas no sistema climático, a atribuição busca avaliar a contribuição relativa de diversos fatores para a intensificação, em frequência ou severidade, de um evento extremo detectado. Costuma-se dividi-la em três tipos: (i) atribuição de eventos, que investiga a influência das mudanças climáticas sobre a probabilidade e intensidade de eventos específicos; (ii) atribuição de impactos, que relaciona esses eventos aos efeitos ambientais, sociais e econômicos sofridos; e (iii) atribuição de fontes, que identifica e quantifica a responsabilidade de diferentes emissores.

As duas principais abordagens metodológicas são a *standard approach*, de caráter probabilístico, que compara cenários com e sem influência antrópica, e a *storyline approach*, mais qualitativa, que explora os fatores que tornam o evento plausível. Para as políticas públicas, a atribuição representa um novo repertório técnico, pois rastreia causas e responsabilidades, oferecendo embasamento científico para orientar a ação estatal, determinar obrigações e justificar medidas de mitigação e adaptação.

As políticas climáticas, vertente das políticas públicas ambientais, exigem constante suporte científico, sendo a atualização da ciência condição essencial para a sua eficácia. No campo climático, a ação pública não se deve restringir ao Estado, requerendo uma dinâmica coletiva e *bottom-up* que envolva uma ampla rede de atores como comunidades tradicionais, ONGAs, sociedade civil, empresas e grupos científicos. Estes últimos, especialmente os cientistas da atribuição, têm papel crescente ao fortalecer a *toolbox* dos gestores públicos, oferecendo evidências sobre a conexão entre eventos extremos, mudanças climáticas e vulnerabilidades. As políticas climáticas dividem-se entre medidas de mitigação, voltadas para a redução das emissões de GEEs, e medidas de adaptação, voltadas ao fortalecimento da resiliência frente aos efeitos já presentes ou inevitáveis da crise.

Na esfera administrativa, embora os gestores públicos disponham de margem para definir os meios de implementação das políticas, essa liberdade encontra limites diante de evidências científicas robustas. No caso das políticas climáticas, a ciência da atribuição fornece essas evidências. Nesse cenário, ganha força a ideia de políticas públicas baseadas em evidências (*evidence-based policies*) e de sistemas de conhecimento (*knowledge systems*), em que a atuação estatal se ancora em saberes técnico-científicos. Os estudos em atribuição podem não apenas elevar os padrões de proteção, mas também orientar a formulação, revisão e eventual

extinção de políticas climáticas, além de esclarecer os riscos da omissão ou de decisões inadequadas.

As evidências científicas produzidas pela ciência da atribuição podem funcionar, sobretudo, como catalisadoras das políticas de adaptação climática, oferecendo subsídios para medidas de baixo arrependimento (*low-regret*). Ainda que essencialmente retrospectivos, os estudos em atribuição produzem conhecimento com valor prospectivo, instrumental à antecipação e ao aprimoramento de medidas adaptativas. A adaptação, nesse sentido, incorpora também uma vertente preventiva, baseada em evidências derivadas de eventos passados, mas anteriores à formulação das políticas públicas voltadas à resiliência.

Apesar do potencial contributivo, persistem limitações quanto ao uso direto desses estudos na formulação de políticas adaptativas. As incertezas da abordagem probabilística e o foco atual no enquadramento normativo da atribuição reduzem sua utilidade prática frente a abordagens mais operacionais, como a lógica de compartilhamento de riscos. Além disso, a literatura alerta que a adaptação não pode se apoiar exclusivamente em eventos passados, nem tampouco desconsiderar as vulnerabilidades socioespaciais que amplificam os danos. Estudos mal conduzidos ou mal comunicados podem, inclusive, acentuar riscos de má-adaptação, comprometendo os objetivos de proteção e resiliência.

A integração da ciência da atribuição às políticas públicas climáticas enfrenta desafios diversos: estruturais, institucionais, cognitivos, comunicacionais e políticos. Obstáculos como falhas de governança, fragmentação intersetorial e deficiências no planejamento urbano e ambiental dificultam a incorporação das evidências científicas nos processos decisórios. Como resultado, cresce a litigância climática, que busca responsabilizar juridicamente os agentes públicos pela omissão ou insuficiência de resposta frente à crise. Para que essas ações se tornem viáveis, é essencial que a sociedade esteja informada e mobilizada, pois só uma opinião pública consciente da relação entre eventos extremos e mudanças climáticas é capaz de pressionar os atores institucionais e induzir a inclusão do tema na agenda de governo.

Contudo, essa mobilização enfrenta entraves significativos. A linguagem técnica da ciência da atribuição, somada à complexidade do próprio fenômeno climático, impõe barreiras cognitivas à compreensão ampla e acessível dos estudos. A percepção pública sobre os riscos climáticos não é homogênea, tampouco estável, sendo condicionada por variáveis como crenças, experiências pessoais, escolaridade e ideologia. Além disso, os próprios atores políticos podem interpretar os achados científicos de forma distinta, muitas vezes guiados por quadros institucionais e narrativas consolidadas. Para superar esses obstáculos, é indispensável fortalecer estratégias educacionais que traduzam os achados da atribuição em linguagem acessível e orientada à ação pública, promovendo uma participação social mais qualificada na formulação de políticas climáticas.

## Referências

- Akaoui FR, Wedy G. Direito climático: litígios e ciência da atribuição. *Revista de Direito Ambiental* [recurso eletrônico]. 2022 abr-jun; (106). Disponível em: <https://dspace.almg.gov.br/handle/11037/4454>. Acesso em: 5 jul. 2024.
- Minassa PS, Ciência da atribuição e mudanças climáticas: uma análise da produção bibliográfica nas ciências sociais e humanas. Manuscrito submetido para publicação; 2024.
- Boasson EL, Tatham M. Climate policy: from complexity to consensus? *Journal of European Public Policy*. 2023; 30 (3): 401-424.
- Boran I, Heath J. Attributing weather extremes to climate change and the future of adaptation policy. *Ethics, Policy & Environment*. 2016; 19 (3): 239-255.
- Bosomworth K. Climate change adaptation in public policy: frames, fire management, and frame reflection. *Environment and Planning C: Government and Policy*. 2015; 33 (6): 1450-1466.
- Carvalho DW, Zaneti Jr H. Desastres climáticos e conflitos coletivos complexos. In: *Desastres socioambientais e mudanças climáticas: aspectos doutrinários*. CNMP; 2024.
- Cima E. The right to a healthy environment: reconceptualizing human rights in the face of climate change. *Review of European, Comparative & International Environmental Law*. 2022; 31 (1): 38-49.
- Clarke B, *et al.* Extreme weather impacts of climate change: an attribution perspective. *Environmental Research: Climate*. 2022; 1 (1).
- Diamond J. *Colapso: ascensão e queda das sociedades humanas*. Lisboa: Gradiva; 2008.
- Giordono L, Boudet H, Gard-Murray A. Local adaptation policy responses to extreme weather events. *Policy Sciences*. 2020; 53: 609-636.
- Harrington LJ, *et al.* Integrating attribution with adaptation for unprecedented future heatwaves. *Climatic Change*. 2022; 172 (1-2): 2.
- Ippc. Annex I: Glossary. In: Masson-Delmotte V, *et al.*, organizadores. *Global warming of 1.5 °C*. Cambridge; New York: Cambridge University Press; 2018. p. 541-562.
- Ippc. Summary for policymakers. In: Core Writing Team; Lee H; Romero J, editores. *Climate change 2023: synthesis report*. Genebra: Ippc; 2023. p. 1-34.
- Juntti M, Russel D, Turnpenny J. Evidence, politics and power in public policy for the environment. *Environmental Science & Policy*. 2009; 12(3): 207-215.
- Kalil AB, Hupffer HM, Wedy G. A relevância da ciência da atribuição para a litigância climática. *Revista de Direito Ambiental*. 2024; 114: 333-357.
- Konisky DM, Hughes L, Kaylor CH. Extreme weather events and climate change concern. *Climatic Change*. 2016; 134: 533-547.

Kunreuther H, Lyster R. The role of public and private insurance in reducing losses from extreme weather events and disasters. *Asia Pacific Journal of Environmental Law*. 2016; 19 (1): 29-54.

Lahsen M, Couto G, Lorenzoni I. When climate change is not blamed: the politics of disaster attribution in international perspective. *Climatic Change*. 2020; 158: 213-233.

Lloyd EA, Shepherd TG. Climate change attribution and legal contexts: evidence and the role of storylines. *Climatic Change*. 2021; 167 (3-4): 28.

Mace MJ, Verheyen R. Loss, damage and responsibility after COP 21: all options open for the Paris Agreement. *Review of European, Comparative & International Environmental Law*. 2016; 25 (2): 197-214.

Mikhailova EA, *et al.* Delaware's Climate Action Plan: omission of source attribution from land conversion emissions. *Laws*. 2022; 11 (3): 41.

Minassa PS. Políticas públicas em tempos de mudanças climáticas: medidas de mitigação e adaptação no enfrentamento da crise. *Revista de Finanças Públicas e Direito Fiscal*. 2023; 71-123.

National Research Council. Using science as evidence in public policy. Washington (DC): The National Academies Press; 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.17226/13460>. Acesso em: 10 mai. 2025.

Olsson L, *et al.* Ethics of probabilistic extreme event attribution in climate change science: a critique. *Earth's Future*. 2022; 10 (3).

Osaka S, *et al.* Media representation of extreme event attribution: a case study of the 2011-17 California drought. *Weather, Climate, and Society*. 2020; 12 (4): 847-862.

Otto FEL. Attribution of extreme events to climate change. *Annual Review of Environment and Resources*. 2023; 48: 813-828.

Otto F. Attribution of extreme weather events: how does climate change affect weather? *Weather*. 2019; 74 (9).

Parker HR, *et al.* Using a game to engage stakeholders in extreme event attribution science. *International Journal of Disaster Risk Science*. 2016; 7: 353-365.

Patton L, Barnes FH. Science and the law: how will developments in attribution science affect compensation for climate change effects? In: Markell DL, Rodgers WH, editores. *An introduction to climate change law, policy and governance*. Cheltenham: Edward Elgar; 2017.

Pfrommer T, *et al.* Establishing causation in climate litigation: admissibility and reliability. *Climatic Change*. 2019; 152 (1): 67-84.

Ray A, *et al.* Extreme weather exposure and support for climate change adaptation. *Global Environmental Change*. 2017; 46: 104-113.

Rowan S. Extreme weather and climate policy. *Environmental Politics*. 2022; 31 (5): 684-707.

Schaffer LM, Oehl B, Bernauer T. Are policymakers responsive to public demand in climate politics? *Journal of Public Policy*. 2021.

Sciline. How attribution science works. Disponível em: <https://www.sciline.org/climate/attribution/how-attribution-science-works/>. Acesso em: 25 mai. 2024.

Secchi L. Políticas públicas: conceitos, esquemas de análise, casos práticos. São Paulo: Cengage Learning; 2014.

State of The Planet. Attribution science: linking climate change to extreme weather. Columbia Climate School; 2021. Disponível em: <https://news.climate.columbia.edu/2021/10/04/attribution-science-linking-climate-change-to-extreme-weather/>. Acesso em: 25 mai. 2025.

Steratore RL. Public understanding of climate science, extreme weather and climate attribution [tese de doutoramento]. Pittsburgh: Carnegie Mellon University; 2019.

Stott PA, Stone DA, Allen MR. Human contribution to the European heatwave of 2003. *Nature*. 2004; 432 (7017): 610-614.

Stoutenborough JW, Vedlitz A. The effect of perceived and assessed knowledge of climate change on public policy concerns: an empirical comparison. *Environmental Science & Policy*. 2014; 37: 23-33.

Tangney P. Climate adaptation policy and evidence: understanding the tensions between politics and expertise in public policy. Londres: Routledge; 2017.

Thalheimer L, *et al.* Integrating a disaster displacement dimension in climate change attribution. *Meteorology*. 2022; 1 (4): 468-476.

The Equation. From research to action: the growing impact of attribution science. Disponível em: <https://blog.ucsusa.org/delta-merner/from-research-to-action-the-growing-impact-of-attribution-science/>. Acesso em: 21 mai. 2024.

Thoenig JC. Política pública y acción pública. *Gestión y Política Pública*. 1997; 6 (1): 19-37.

Thorén H, Persson J, Olsson L. A pluralist approach to epistemic dilemmas in event attribution science. *Climatic Change*. 2021; 169 (1-2): 16.

Urwin K, Jordan A. Does public policy support or undermine climate change adaptation? Exploring policy interplay across different scales of governance. *Global Environmental Change*. 2008; 17 (1): 105-115.

Victovoski JJ, Winckler S. Estudos de atribuição e a responsabilização civil do causador do dano climático. *Revista Direito Ambiental e Sociedade*. 2024; 14 (2): 1-21.

Wmo. Extreme weather. [s.l.]: Wmo; [s.d.]. Disponível em: <https://wmo.int/topics/extreme-weather>. Acesso em: 25 mai. 2025.

Young HR, *et al.* Event attribution science in adaptation decision-making: the context of extreme rainfall in urban Senegal. *Climate and Development*. 2019; 11 (9): 812-824.

Zanocco C, *et al.* Comparing public and scientific extreme event attribution to climate change. *Climatic Change*. 2024; 177: 76.