REVISTA DA ANPEGE. V. 18. Nº. 36 — ANO 2022 E-ISSN: 1679-768X 25
DOI 10.5418/ra2022.v18i36.13567

CIÊNCIA, POLÍTICA E A PRODUÇÃO HISTÓRICA DO CLIMA: CONSIDERAÇÕES SOBRE CONTROVÉRSIAS CIENTÍFICAS E POLÍTICAS PARA MUDANÇAS CLIMÁTICAS

SCIENCE, POLICY AND HISTORICAL CLIMATE PRODUCTION: CONSIDERATIONS ON SCIENTIFIC CONTROVERSIES AND POLITICAL FOR CLIMATE CHANGE

CIENCIA, POLÍTICA Y LA PRODUCCIÓN HISTÓRICA DEL CLIMA: CONSIDERACIONES SOBRE CONTROVERSIAS CIENTÍFICAS Y POLÍTICAS PARA EL CAMBIO CLIMÁTICO

Andrei Cornetta
Universidade Metropolitana de Santos (UNIMES)
andrei.cornetta@gmail.com

Resumo

A partir de uma abordagem crítica, este artigo analisa aspectos históricos das ciências, especificamente as que se ocupam em compreender o clima e suas transformações. Discute-se as controvérsias de diferentes perspectivas científicas sobre as mudanças climáticas, particularmente o embate entre o conhecimento científico situado no centro das discussões (e que tem como teoria central o "aquecimento global") e perspectivas que partem de outros pressupostos e diferentes formas de pensar o fenômeno - por exemplo, aquelas que entendem o clima enquanto fenômeno histórico-geográfico. O artigo também faz uma reflexão sobre as influências da meteorologia física na formulação de políticas voltadas ao tema, cujos objetivos recaem em ações mitigadoras em detrimento de iniciativas de adaptação territorial.

Palavras-chave: clima, história da ciência, política, mudanças climáticas.

Abstract

From a critical approach, this article aims to analyze historical aspects of the sciences, specifically those concerned with understanding the climate and its transformations. It seeks to discuss the controversies from different scientific perspectives on climate change, specifically the clash between scientific knowledge located at the center of the discussions (and whose central theory is global warming) and perspectives that start from other assumptions and different ways of think about the phenomenon - for example, those who understand the climate as a historical-geographical phenomenon. The article also makes a reflection on the influences of physical meteorology in the formulation of policies focused on the theme, whose objectives fall in mitigating actions to the detriment of territorial adaptation initiatives.

Keywords: climate, history of science, politics, climate change.

Resumen

Desde un enfoque crítico, este artículo tiene como objetivo analizar aspectos históricos de las ciencias, específicamente aquellas que se ocupan con la comprensión del clima y sus transformaciones. Se busca discutir las controversias de diferentes perspectivas científicas sobre el cambio climático, en particular el choque entre el conocimiento científico ubicado en el centro de las discusiones (que tiene el "calentamiento global" como su teoría central) y las perspectivas que parten de otros supuestos y diferentes formas de pensar en el fenómeno, por ejemplo, aquellos que entienden el clima como un fenómeno histórico-geográfico. El artículo también hace una reflexión sobre las influencias de la meteorología física en la formulación de políticas centradas en el tema, cuyos objetivos recaen en acciones de mitigación en detrimento de las iniciativas de adaptación territorial.

Palabras clave: clima, historia de la ciencia, política, cambio climático.

Introdução

As alterações e influências que a humanidade vem provocando nas dinâmicas naturais da Terra têm sido uns dos principais temas de discussão da ciência contemporânea, sobretudo em relação às mudanças climáticas globais e seus inúmeros efeitos sobre a superfície terrestre. Essas alterações seriam de tal ordem que a influência da humanidade no planeta nos últimos séculos tornou-se significativa a ponto de constituir-se numa nova era geológica, como afirma o químico Paul Crutzen.

A perspectiva científica que vem denominando o atual período na história natural da Terra como "Antropoceno" argumenta que as alterações no planeta em função da ação humana teriam sido intensificadas, em grande medida, pelas emissões de gases de efeito estufa (GEE) desde o advento da Revolução Industrial. Mais precisamente, como aponta Crutzen, pode-se considerar que o Antropoceno começou nas últimas décadas do século XVIII, quando as análises de testemunhos de gelo polar mostraram uma concentração global significativa de dióxido de carbono e metano, período que coincide com a invenção da máquina a vapor por James Watt, em 1784 (Crutzen, 2002, p. 22).

Essa perspectiva contribui para a compreensão de que, apesar de a história mostrar alterações no metabolismo socioecológico nas diferentes formações geográficas e que redefiniram o equilíbrio entre sociedade e natureza, somente no capitalismo foi possível imaginar essa alteração na escala global. A concepção de que a humanidade entrou em uma nova era geológica, ao lado do conceito de "limites do planeta", tem chamado atenção não apenas no âmbito do debate acadêmico, mas da própria mídia – que desempenha papel fundamental na circulação social dessa concepção. Aponta-se para o fato de que já não vivemos mais no Holoceno, período em que as mudanças ambientais teriam ocorrido dentro de certa estabilidade na Terra (Rockstrom et al, 2009).

A definição dos termos "Antropoceno" e "limites do planeta", como indica Castree (2014a; 2014b), foi projetada para propor uma inflexão às ideias que compõem o pensamento ambientalista referente às ações nocivas do homem sobre o ambiente. Por outro lado, é de extrema importância discutir que esta condição inclui não apenas um alargamento do quadro temporal do clima e dos fenômenos ambientais em geral, mas, também, inclui uma intensificação das disputas políticas e ideológicas no atual contexto histórico do capitalismo.

Diante dessa complexidade, torna-se fundamental discutir sobre distintas visões a respeito do clima e suas alterações, seus desdobramentos históricos e geográficos e as maneiras pelas quais vêm se tomando decisões políticas frente às mudanças climáticas.

Tratar da dimensão política do clima é sempre muito delicado, não apenas pelo fato de as informações climáticas terem implicações sociais e econômicas fortes, justamente por se tratar de informações que, em geral, tratam sobre o futuro, e consequentemente por entrar no campo da incerteza, mas também pela diversidade de visões que existem sobre o clima e suas transformações.

Uma dimensão elementar das previsões do futuro, considerando um fenômeno como o clima que incide implicações diretas sobre a economia, é o fato de as previsões afetarem o presente. Exemplo disso são os momentos quando a política é induzida a agir de modo a se preparar preventivamente para aquilo que foi previsto, ou mesmo para se tirar proveito do que se anuncia sobre o futuro (Cornetta, 2017; Taddei, 2017).

De acordo com esse entendimento, este artigo discute aspectos relacionados ao conteúdo cognitivo das ciências que se ocupam em entender os fenômenos atmosféricos e suas transformações. Para além da dualidade "aquecimentistas x céticos", circunscrita ao campo da meteorologia física, discute-se sobre as controvérsias de diferentes perspectivas científicas que tratam sobre mudanças climáticas. Considera-se o embate entre o conhecimento localizado no centro das discussões (e que tem como teoria central o aquecimento global) e abordagens que partem de outros pressupostos e escalas de se pensar o mesmo fenômeno, a exemplo das que entendem o clima enquanto fenômeno histórico-geográfico.

Apesar de se reconhecer a importância da pluralidade de visões para a formulação de políticas para o clima – ou como alguns autores de maneira mais abrangente vêm denominando de "políticas da natureza" –, particularmente aquelas direcionadas para as adaptações territoriais que contemplem as mais diferentes realidades, reconhece-se as limitações deste artigo no sentido de abranger um amplo número de perspectivas que seja capaz de atingir este objetivo. Assim, o texto se limita a uma discussão sobre duas visões de entendimento em relação aos fenômenos atmosféricos, particularmente no que se refere às confluências e divergências entre a Meteorologia física e a Climatologia geográfica.

Para essa discussão, parte-se de duas perspectivas bem marcadas em seus campos científicos: i) A Meteorologia, que entende o clima enquanto tempo meteorológico médio, ou como define a Organização Meteorológica Mundial (OMM), o clima "pode ser considerado como o tempo médio, ou de uma forma mais cientificamente correta, pode ser definido como a descrição estatística em termos da média e da variabilidade de quantidades relevantes ao longo de um período de tempo"; ii) A Climatologia que compreende o clima enquanto fenômeno geográfico, portanto entendido não apenas como fenômeno natural, mas, sobretudo, enquanto fenômeno territorial, substanciado pelas relações com a sociedade.

A seguir, uma discussão sobre as trajetórias da Meteorologia física e da Climatologia geográfica, com base em uma revisão bibliográfica e em documentos oficiais, como os relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), nos permite avançar na discussão sobre a política e as distintas formas de produção histórica do clima.

A partir disso, propõe-se na última parte do artigo, uma reflexão a respeito das maneiras pelas quais as referidas disciplinas se posicionam frente às mudanças do clima, no sentido de compreender o papel que ambas exercem (ou que podem exercer) na formulação de políticas territoriais voltadas ao tema, além de uma breve reflexão sobre como a perspectiva hegemônica cria subsídios para a estruturação de um mercado voltado a compensação de gases de efeito estufa.

Nas considerações, aborda-se a questão dos riscos relacionados à dimensão política das

mudanças climáticas. O conjunto de transformações vindas com o atual contexto do regime político das mudanças climáticas, o que implica em uma diversidade de riscos envolvidos, ressalta a necessidade de uma reflexão crítica sobre as posições adversas que o tema suscita para o século XXI. É preciso reconhecer a importância desta discussão no interior do debate crítico, tendo em vista a contribuição que este pode oferecer na compreensão das relações indissociáveis entre clima, economia e política.

Visões de clima e desdobramentos históricos

Em 1988, quando o IPCC foi criado, a partir de uma iniciativa conjunta da OMM com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), não se poderia imaginar o grau de abrangência política que esta instituição poderia alcançar.

Em relação ao seu regimento científico, o Painel não desenvolve propriamente pesquisas, ou levanta dados empíricos sobre fenômenos atmosféricos ou outros parâmetros de estudos meteorológicos. Sua tarefa principal consiste na compilação da literatura científica sobre mudanças climáticas e publicá-la a partir de uma avaliação divulgada e sumários científicos. Trata-se de uma posição "ratificadora" que o Painel assume, algo que se assemelha àquilo que Popper (1985) compreende como um processo de formação racional de consenso dentro de uma comunidade científica (Cornetta, 2012, p. 46).

De maneira geral, as pesquisas reportadas nos Relatórios de Avaliação do IPCC vêm apontando para diversos efeitos preocupantes sobre a superfície terrestre que podem ser acentuados nos próximos cem anos. Dentre os principais, está a extinção de espécies animais e vegetais, a alteração na frequência e intensidade das chuvas, interferindo diretamente na agricultura e oferta de alimentos, a elevação do nível do mar, a intensificação de fenômenos meteorológicos, como tempestades severas, ondas de calor, inundações e secas prolongadas. Entretanto, para além desta visão – que não se pode decretar como consenso científico, embora ocupe o centro do debate como perspectiva hegemônica – é preciso considerar que há outras visões sobre os fenômenos atmosféricos e os processos pelos quais se estabelecem as relações entre sociedade e clima.

Vale ressaltar que os inúmeros efeitos adversos apontados como consequência direta do aquecimento da atmosfera terrestre, já são sentidos há tempos pelas populações no nível de suas relações imediatas, não necessariamente pela elevação da temperatura terrestre, mas pelos mais diversos processos que incluem as complexas relações entre as sociedades e seus meios. As estratégias de adaptação que as diferentes sociedades vêm criando frente às mudanças ambientais fazem parte de um processo mais amplo que inclui a própria formação de seus territórios.

Disciplinas como a Climatologia geográfica, ou mesmo a História climatológica, oferecem outras perspectivas de entendimento sobre os fenômenos atmosféricos, tanto em termos epistemológicos,

quanto em termos de procedimentos de investigação. Esta última, tem como traço principal o estudo de aspectos que envolvem as mudanças no clima e seus efeitos ao longo da trajetória das sociedades. A Climatologia histórica utiliza fontes primárias que incluem documentos escritos, crônicas, mapas, história oral, literatura, entre outros recursos de análise.

Dentro da perspectiva da História Climatológica, destaca-se o historiador francês, Le Roy Ladurie que desenvolveu um campo de pesquisa a partir de observações sobre as datas de queda de colheitas vinícolas e as mudanças climáticas que as afetaram. Outro grande nome da climatologia histórica é o meteorologista Hubert Lamb, que usou uma gama grande de fontes históricas e registros meteorológicos para reconstruir o clima encontrado pela Armada Espanhola entre os anos de 1585 a 1604 (Fagan, 2009, p. 34).

Estes aspectos levantados pela História climatológica levam a uma reflexão sobre o clima indicando que, ao mesmo tempo em que as transformações nos fenômenos atmosféricos são intrínsecas às dinâmicas naturais, os impactos que elas provocam na superfície terrestre também o são à história da humanidade. Isto é, as mudanças do clima que podem ter sua forma de acontecer afetada por processos não-naturais (nas diferentes escalas geográficas), também ocorrem de forma variada em relação aos efeitos sobre a sociedade.

Sem dúvida que o conhecimento proporcionado pela História climatológica, sobretudo pelos seus aspectos metodológicos ao documentar e interpretar como as diversas sociedades estabeleceram ações de adaptação frente ao clima pode significar uma importante ferramenta, não apenas para se pensar o atual estágio das mudanças climáticas, como para se pensar estratégias políticas de adaptação territorial.

No mesmo sentido dessa contribuição, porém a partir de outros pressupostos teórico-metodológicos, a Climatologia geográfica vem oferecendo uma visão sobre clima que se difere sensivelmente da perspectiva hegemônica da Meteorologia física. De maneira sintética, enquanto a Meteorologia considera a ação humana como uma variável "natural", passível de medição à semelhança de uma "lei física" dentro dos sistemas digitais de modelagem climática, a Climatologia procura evidenciar o clima enquanto fenômeno geográfico, territorial, portanto, em relação intrínseca com as atividades sociais.

Conforme Moreira (2010, p. 93) exemplifica, a maneira como cada disciplina compreende a cidade torna evidente os distintos propósitos, enquanto a Climatologia geográfica a vê em termos orgânicos, a Meteorologia a entende como uma sobreposição ou uma externalidade.

Diante destas necessárias distinções, o que se assume é um entendimento sobre o clima enquanto fenômeno geográfico sujeito às contingências territoriais. A busca é por uma compreensão do clima e suas relações com o território, no sentido de se levantar questões sobre sua atual apropriação política e econômica considerando os mercados de compensação de gases de efeito estufa e a forma como estes se relacionam com políticas mitigatórias frente à mudança climática global.

É importante ressaltar que tal apropriação, bem como as estratégias de mitigação, deriva de um entendimento científico específico sobre o clima e de anúncios que se baseiam em previsões, modelagens climáticas e mecanismos econômicos compensatórios. No entanto, antes de entrarmos nesta discussão, é interessante expor a definição de clima dada pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas e, dessa forma, possibilitar uma breve comparação com o entendimento geográfico sobre o clima exposto adiante:

> O clima é geralmente definido como o "tempo médio", ou mais rigorosamente, como a descrição estatística do tempo em termos de temperatura e variabilidade de quantidades relevantes ao longo de períodos de várias décadas (normalmente três décadas, conforme definido pela OMM). Essas quantidades são na maioria das vezes variáveis de superfície, como temperatura, precipitação e vento, mas, em um sentido mais amplo, o "clima" é a descrição do estado do sistema climático (IPCC, 2014 p. 4) (tradução própria).

Nota-se que a abordagem do IPCC se inclina para um entendimento matemático do fenômeno, baseado em descrições estatísticas da variabilidade meteorológica. Como mencionado anteriormente, sendo o IPCC um órgão ligado à OMM, suas orientações científicas prendem-se à física teórica da meteorologia com forte apelo técnico-científico. Além disso, ressalta-se a consideração de "tempo meteorológico médio", referência que se assemelha à concepção tradicional de clima, amplamente questionada pela Climatologia geográfica (PEIXOTO 1938; SORRE 1951; MONTEIRO 1971; 1991; SANT'ANNA NETO, *2*001; 2004; ZAVATTINI 2003; 2015 *ET AL.*).

Como exemplifica Monteiro (1991) em sua crítica aos valores médios, "o caprichoso 'jardim' dos padrões climáticos espaciais do globo está muito mais longe da comodidade da geometria dos jardins de Le Nôtre e muito mais em direção aos caprichosos contornos dos jardins do nosso Burle Marx". A dificuldade de representar o "comportamento" (revelador) do clima contrasta com a facilidade de se encontrar a média (mascaradora): "Se é difícil apontar-se o ritmo 'habitual', os valores 'médios' dos elementos, então, são destituídos de qualquer significância" (Monteiro, 1991, p. 187).

Os próximos dois itens aprofundam as distinções entre estes campos, evidenciando seus aspectos históricos, seus desdobramentos políticos e econômicos. Ademais, os textos apontam para questões em relação a maneira como a abordagem hegemônica se confronta com as políticas para mudanças climáticas e a decorrente estruturação dos mercados compensatórios de gases de efeito estufa.

Sobre a história da meteorologia: o clima em células

A leitura do clima através de números, ou a previsão numérica das variações do tempo, surge

ainda no início do século XX com os trabalhos do meteorologista norueguês, Vilhelm Bjerknes (1862-1951), que demonstrou que as leis da física poderiam ser usadas para desenvolver um processo para a previsão atmosférica. Bjerknes é considerado um dos fundadores da meteorologia moderna e da previsão do tempo. Após dois anos como professor na Hogskola (Escola de Engenharia), em Estocolmo, Bjerknes tornou-se professor de mecânica aplicada e física matemática na Universidade de Estocolmo, em 1895. Dois anos mais tarde, ele desenvolveu os teoremas de circulação que o levaram a uma síntese da hidrodinâmica e termodinâmica aplicáveis aos movimentos em grande escala da atmosfera e dos oceanos. A partir daí, ele elabora um plano de investigação que iria usar estes teoremas para calcular o estado futuro da atmosfera; este trabalho culminou na teoria das massas de ar e frentes.

Contudo, somente nos anos 1920, sobretudo com a emblemática obra "*Weather prediction by numerical process*" do meteorologista inglês Lewis Fry Richardson, que a possibilidade de previsões meteorológicas se tornaria mais concreta. A importância do trabalho de Richardson para a construção das modelagens climáticas está justamente no princípio formulador das emulações de diferentes tempos, isto é, uma perspectiva em que o clima pode ser dividido em células (ou grades, como aparece nos Relatórios de Avaliação do IPCC) em que as variáveis climáticas (espaciais e temporais) são substituídas por finitas diferenças. Esta leitura geometrizada do clima é ilustrada na gravura "Richardson's Forecast Factory*"*, exibida em homenagem ao referido cientista, no site de comemorações do bicentenário da Administração Nacional Oceânica e Atmosférica (NOAA, sigla em inglês), agência norte-americana de estudos meteorológicos.

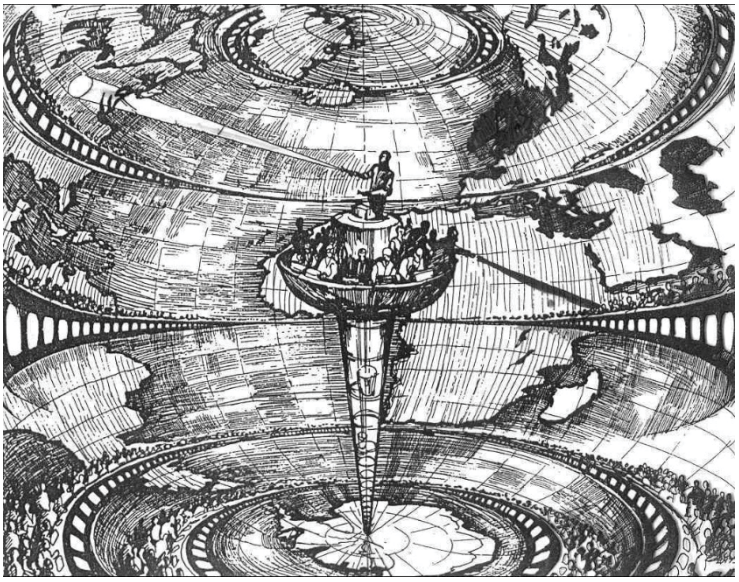

Figura 1: Richardson's Forecast Factory. Fonte: A. Lannerback. NOAA. 200th Celebration. 2007. Disponível em: <http://celebrating200years.noaa.gov/foundations/numerical_wx_pred/theater.html>. Acesso em 09 de dez. de 2020.

Com a repetição dos cálculos para uma variedade grande de períodos de tempo, podem-se obter previsões de qualquer extensão ou duração. Como o próprio autor explica:

> As ideias fundamentais são de que as pressões atmosféricas, velocidades, etc. devem ser expressos em números, e devem ser tabulados em determinadas latitudes, longitudes e alturas, de modo a dar uma explicação geral do estado da atmosfera em qualquer instante, sobre uma extensão regional, até uma altura de, digamos, 20 quilômetros. [...] Mostra-se que há um método aritmético de operar sobre estes números tabulados, de modo a obter uma nova tabela que representa aproximadamente o estado subsequente da atmosfera após um breve intervalo de tempo (Richardson, 1922, p.1) (tradução própria).

Tais princípios deram origem ao primeiro sistema de previsão numérica do tempo a partir de uma versão simplificada do conjunto de sete equações proposto por Bjerknes em "*The problem of weather forecasting from the standpoint of mechanics and physics*". Richardson acrescentou a variável dos aerossóis atmosféricos ao conjunto de equações proposto quase duas décadas antes, mas que esbarrava nas limitações tecnológicas do período em calcular as previsões em tempo hábil. Estimava-se que uma previsão de oito horas levaria seis semanas para ser concluída (Hunt, 1998). Estas operações só foram possíveis nos anos 1940, com o surgimento dos computadores digitais capazes de processar os cálculos desenvolvidos por Richardson.

Nesse período, no *Institute for Advanced Study*, da Universidade de Princeton, Estados Unidos, um grupo de meteorologistas liderado por Jule Gregory *Charney* iniciou os primeiros estudos para a previsão do tempo computadorizada. Meteorologista americano que desempenhou importante papel no desenvolvimento da previsão do tempo, Charney desenvolveu um conjunto de equações para se calcular os movimentos das ondas planetárias. Foi figura dominante dentro das ciências atmosféricas nas três décadas após a Segunda Guerra Mundial.

Assim como Richardson, seu grupo dividiu a atmosfera utilizando uma grade de variáveis e aplicando o método de diferenças finitas para resolver as equações numéricas representativas das variáveis atmosféricas (Hunt, 1998). Valendo-se destes mesmos princípios, a primeira previsão meteorológica computadorizada foi concretizada em 1950, no *Eletronic Numerical Integrator and Computer* (ENIAC), computador concebido pelo *Ballistic Research Laboratory*, do Departamento de Defesa dos Estados Unidos, em fins da Segunda Guerra Mundial, com o propósito de estudar o desenvolvimento da bomba de hidrogênio.

A previsão original levou aproximadamente um dia para computar (incluindo o tempo de carregamento dos cartões perfurados), para uma previsão de 24 horas. Pela primeira vez uma máquina viabilizaria uma previsão do tempo, surgindo, assim, uma nova perspectiva de se olhar para os fenômenos atmosféricos.

O avanço das tecnologias digitais no período pós-guerra possibilitou uma série de perspectivas para os estudos meteorológicos, especialmente para os que se ocupavam com as previsões por meio dos modelos computacionais. Os novos computadores que surgiram no contexto da disputa tecnológica da Guerra Fria permitiram a resolução das equações matemáticas concomitantes e a obtenção de resultados que, até meados do século XX, eram alcançados apenas manualmente, ou com poucos recursos tecnológicos.

É interessante notar que, neste período pós-guerra, especialmente no contexto histórico da Guerra Fria, a ciência pôde desenvolver ferramentas e abordagens para não só compreender fenômenos climáticos, da biosfera, entre outros na escala global, mas para experimentá-los por meio da ótica das simulações e dos modelos. Dentro deste contexto, foi criado em 1956 o primeiro experimento numérico de circulação geral realizado por Norman Phillips, considerado um marco para a meteorologia que deu origem aos referidos Modelos de Circulação Geral em computador (Nunes, 2002). O modelo matemático desenvolvido por Phillips pode descrever padrões mensais e sazonais da troposfera, tornando-se o primeiro modelo de circulação geral do clima bem sucedido.

Ainda no contexto das disputas geopolíticas do período da Guerra Fria, é importante mencionar as cooperações internacionais científicas, como é o caso do Ano Geofísico Internacional (AGI), convocado pela OMM em 1957 com o objetivo de congregar os esforços dos países participantes no sentido de aprofundar uma compreensão específica sobre os fenômenos naturais da Terra. Tal aspecto denota, segundo Monteiro (1991, p. 23), o "(...) caráter técnico universalizante, ligado à física teórica da Meteorologia".

O AGI foi inspirado no Ano Polar Internacional (1882-1883 e 1932-1933), destinado a reunir cientistas preocupados com questões geofísicas. Somente em 1957, o AGI foi proclamado pela Assembleia Geral da ONU. Seu objetivo era congregar os esforços dos países que aderiram à campanha para proporcionar uma maior compreensão dos fenômenos relacionados à Terra (Buedeler, 1957).

Assim, o Ano Geofísico Internacional, enquanto evento agregador de comunidades científicas teve papel fundamental na concepção contemporânea do planeta enquanto um "sistema físico único", não apenas em uma perspectiva unicista para entender as relações dos diversos fenômenos terrestres, mas também no sentido de afirmação de uma compreensão científica hegemônica, particularmente no que diz respeito aos fenômenos meteorológicos.

Nota-se que tanto a OMM, o AGI, e, mais recentemente, o IPCC, possuem papéis semelhantes quanto ao conhecimento gerado sobre os fenômenos atmosféricos, conformando uma perspectiva de compreensão do clima que se localiza no centro dos debates internacionais sobre o tema. O centro (*core)*, como argumenta Cole (1995, p.15), "consiste em um pequeno conjunto de teorias, análises técnicas e fatos em que representam o dado em qualquer ponto particular no tempo".

O *core* pode ser interpretado, também, como aquilo que Latour e Woolgar (1979) chamam de "fatos" (*facts*), isto é, um conhecimento que vem sendo aceito pela comunidade científica como verdade

ou como uma adequada representação da natureza e que constitui, invariavelmente, um consenso universal virtual, uma verdade axiomática.

Sobre este aspecto, Monteiro (1991) enfatiza que "os axiomas da causalidade estão sendo abalados em seus fundamentos: sabemos agora que o que denominamos leis naturais são meramente verdades estáticas que supõem, necessariamente, exceções" (Monteiro, 1991, p. 55).

Ainda no que se refere aos avanços das projeções futuras do clima, especialmente suas alterações influenciadas pelo aumento de gases de efeito estufa na atmosfera, alguns acontecimentos nas últimas décadas do século XX passaram a dar projeção à hipótese do aquecimento do clima. Em 1988, o meteorologista James Hansen discursou para a comissão consultiva para a ciência do Senado dos Estados Unidos e foi categórico quanto às causas antropogênicas das mudanças climáticas.

Dez anos depois, os geofísicos Michael Mann, Raymond Bradley e Malcolm Hughes divulgaram o resultado de pesquisas feitas a partir de reconstruções dos padrões de temperatura global dos últimos seis séculos que demonstram um aumento significativo da temperatura a partir das primeiras décadas do século XX. Publicado na revista Nature, este artigo foi o primeiro a apresentar o gráfico que ficou conhecido como *"hockey stick",* que demonstra a elevação abrupta da temperatura terrestre.

Pouco tempo depois estas análises foram incorporadas pelo IPCC na elaboração de seu Terceiro Relatório de Avaliação (2001), e, a partir daí a afirmação sobre as mudanças do clima de origem antrópica passou a ter maior destaque nos meios de comunicação. O movimento implícito na produção da modelagem climática, assim como o "clima" que se produz por estes sistemas digitais, envolve uma complexidade que não pode ser entendida apenas do ponto de vista de sua busca por aprimoramentos nas previsões, métodos, ou causas científicas.

Considerando os diferentes entendimentos sobre as mudanças climáticas, suas origens, suas tendências e causas, discute-se a seguir sobre as controvérsias que surgem a partir da abordagem geográfica a respeito do clima, valendo-se de uma perspectiva metodológica que surge do próprio tensionamento com a Meteorologia física.

O clima enquanto fenômeno histórico-geográfico

Pode-se dizer que a perspectiva da climatologia se inaugura a partir da crítica feita pelo geógrafo francês Max. Sorre ao meteorologista Julius Hann, cujos pressupostos e entendimentos sobre o clima estão baseados nas médias aritméticas. A afirmação de Sorre (1951, pp. 13; 14) de que "o clima, num determinado local, é a série de estados da atmosfera, em sua sucessão habitual", é considerada por grande parte dos climatólogos a definição que mais se ajusta à noção de clima enquanto fenômeno geográfico. Dessa forma, o geógrafo francês vai romper com a concepção tradicional de Hann, que

caracteriza o clima como estado médio da atmosfera sobre determinado lugar da superfície terrestre (Hann *apud* Monteiro, 1991, p.18).

De acordo com Sorre (2006), a compressão de Julius Hann sobre clima é uma "definição simples e cômoda", sobretudo pelo entendimento do "estado médio da atmosfera", o que corresponderia ao clima, ser uma abstração inteiramente destituída de realidade que conduz a um uso exagerado das médias aritméticas para caracterizar os elementos climáticos, além de seu caráter estático e artificial (Sorre, 2006, p. 90).

Como mencionado, as perspectivas teóricas que se abriram a partir dos postulados de Sorre possibilitaram uma revisão epistemológica para a climatologia que foi incorporada primeiramente por Pierre Pédelaborde, na França, Mario Pinna, na Itália, ambos na década de 1950, e, no Brasil, por Carlos Augusto de F. Monteiro, nos anos 1960, inaugurando, assim, uma genuína climatologia geográfica.

Entretanto, como levantado anteriormente, a formação, ou os primeiros traços de um pensamento geográfico sobre o clima, podem ser identificados em autores que se dedicaram a escrever sobre geografia e clima no Brasil antes mesmo de existir uma escola da disciplina no país – o que viria a se concretizar somente em 1934 com a fundação da Universidade de São Paulo e, em 1935, com a Universidade do Distrito Federal, no Rio de Janeiro.

Henrique Morize, por exemplo, publicou em 1889, "Esboço da climatologia do Brazil", considerada obra pioneira da abordagem geográfica do clima, embora a concepção vigente do período ainda esteja vinculada à meteorologia física. Na mesma perspectiva, sete anos mais tarde, o engenheiro alemão Frederico Draenert, publica "O Clima do Brazil", que, ao lado dos trabalhos de Morize, formam o que Sant'Anna NETO (2001; 2004) chama de "protoclimatologia brasileira" ou o período pré-monteriano.

Ainda dentro deste período, no início do século XX, destacam-se os trabalhos de Carlos Delgado de Carvalho, geógrafo brasileiro radicado na França, que publicou uma série de textos sobre o clima do Brasil. Delgado de Carvalho é considerado autor de uma das mais densas análises sobre o tema no início daquele século. Dentre as mais importantes, destacam-se "*Un centre économique au Brésil*" de 1908, "*Le Brésil Méridional*", de 1910 e "*Climatologie du Brésil*", de 1916. Mas sua principal contribuição veio com a publicação "*Météorologie du Brésil*", editada em 1917.

Apesar de percorrerem ainda uma abordagem atrelada aos métodos da meteorologia, é preciso diferenciar os trabalhos de Morize e Delgado de Carvalho, sobretudo em relação às perspectivas geográficas distintas entre eles. Enquanto Morize estava apoiado no pensamento do geógrafo norte-americano, Ellsworth Huntington, especialmente nas teses deterministas relacionadas às influências do clima na sociedade, Delgado de Carvalho, apoiou-se em uma perspectiva mais próxima ao possibilismo, muito em função do período em que viveu na França, onde pôde ter contato direto com as obras de La Blache, Brunhes e De Martonne.

A filiação de Delgado de Carvalho a estes autores fica evidente na maneira como entende o clima do ponto de vista ecológico, conhecimento este muito presente nos textos sobre a natureza da geografia humana que autores como La Blache, Levasseur e Brunhes escrevem na virada do século XIX para o XX (Claval, 2014). Este último, por exemplo, destaca o papel do clima, especialmente da energia solar como elemento fundamental da realidade ecológica:

> O calor solar! Aqui se encontra a energia capital da qual depende quase toda a atividade, onde nossa Terra é palco. O Sol é responsável, no nosso globo, pelas diferenças de temperatura que determina sem cessar [...] A luz e o calor, as chuvas, os climas e as estações, devemos tudo ao Sol (Brunhes *apud* Claval, 2014, p. 136).

Em relação à obra de Morize, pode-se dizer que a perspectiva determinista é relativizada quando aborda questões referentes ao território brasileiro. Isto é, ao mesmo tempo em que aceita as ideias de Huntington, propagador de ideologias geográficas como o "mal dos trópicos" e da "natural superioridade" do homem do mundo temperado, Morize considerou que, ao contrário de outras regiões do mundo, as condições climáticas do Brasil não seriam uma barreira para uma ocupação humana bem-sucedida, apesar das adversidades encontradas no vasto território.

As intersecções entre as perspectivas deterministas e possibilistas, postas em geral como polarizadas, incompatíveis, por vezes, misturam-se. Mesmo La Blache que, apesar de escapar do determinismo ao atribuir papel de protagonista ao homem em detrimento da passividade humana ante as influências do ambiente, hesita em fins do século XIX ao escrever sobre a singularidade das regiões mediterrâneas. Neste momento, La Blache descreve como certos traços de personalidades de habitantes do mediterrâneo são influenciados por características climáticas, o ardor do sol, a pureza da luz...: "A impetuosidade provençal e petulância napolitana são fatos fisiológicos em conexão com o clima" (La Blache *apud* Claval, 2014, p. 119).

Diferente de Morize, que aceitou com maior facilidade as teses deterministas, Delgado de Carvalho, apoiado no possibilismo e com forte influência de Emmanuel De Martonne, buscou não apenas uma explicação geográfica sobre o clima, como se mostrou crítico "em relação aos estudos que lançavam mão das normas médias dos elementos meteorológicos" (Sant'Anna Neto, 2001, p. 11). Esse aspecto, ressaltado por De Martonne – que já iria marcar uma identidade à climatologia geográfica –, é evidenciado em "*Traité de Géographie Physique*", publicado em 1909:

> O estudo do tempo durante um certo período coloca-nos em presença de realidades concretas. As relações entre os diversos fenômenos ressaltam com clareza e pode neste caso, discernir toda a engrenagem do mecanismo e acompanhar sua marcha. O tempo não mais varia de maneira desordenada. Podemos reconhecer situações

> características, que se repetem muitas vezes e se mostram durante períodos mais ou menos longos, constituindo autênticos tipos de tempo. Estamos, pois, na presença de conjunto de fenômenos característicos de certas regiões, portanto, de realidades verdadeiramente geográficas (De Martonne, 1909, pp. 184;185).

Um aspecto que chama atenção na obra de Delgado de Carvalho é a maneira como buscou relacionar os elementos do clima com a sociedade, com a paisagem, com as sensações humanas, sobretudo em relação à adaptação do homem aos diferentes tipos climáticos e suas decorrências econômicas:

> Estas influências gerais de tipos tropicais sobre o homem, em suma muito favorável para o seu desenvolvimento, fazem das zonas intertropicais muito povoadas, com exceção onde não domina o deserto [...]. Como para o próprio Brasil, a sua porção mais populosa se estende entre a foz do Amazonas até o Trópico de Capricórnio [...]. Uma das razões para o rápido aumento das populações tropicais deve ser procurada na extrema facilidade de vida, causada pela extravagância da natureza e do clima ameno (Carvalho, 1917, p. 43) (tradução própria).

Neste mesmo período em que a visão determinista e a perspectiva da média aritmética para se entender os fenômenos atmosféricos ocupam o centro do debate científico sobre o tema, surgem vozes dissonantes que buscam um olhar alternativo sobre o clima e suas diversas interações com a sociedade.

No âmbito da Geografia, alguns nomes relacionados aos estudos sanitários, como Afrânio Peixoto, um dos mais proeminentes do período, buscaram chamar a atenção para questões sociais e políticas relacionadas à nosogeografia humana, como as chamadas "doenças tropicais". Além de Peixoto, nas décadas seguintes, surgem outros autores com perspectiva semelhante que irão abordar o tema de maneira crítica em relação à abordagem determinista. Estes trabalhos, já na década de 1930, buscaram desmistificar certas ideologias geográficas como o "mal dos trópicos", "doenças tropicais", o subdesenvolvimento dos trópicos determinado pelas médias térmicas, considerando o contexto político e social, em detrimento de uma visão determinista sobre o clima.

Muitas das questões discutidas por estes médicos sanitaristas da primeira metade do século XX, como segurança alimentar, a higiene, a insalubridade, as patologias e que afetam os territórios mais fragilizados, são, também, objetos de discussão entre as políticas internacionais sobre mudanças climáticas e apontados pelos Relatórios de Avaliação do IPCC como consequências restritas da elevação da temperatura terrestre.

No entanto, o aumento da subnutrição e das consequências da diarreia, o aumento da amplitude e do potencial de transmissão de malária, dengue, leishmaniose, a alteração da distribuição espacial de alguns vetores de doenças infecciosas, fenômenos que possuem fundamentalmente motivações políticas

e sociais em seu desenvolvimento, são alguns dos principais temas discutidos em diversos estudos que são compilados pelo IPCC (IPCC, 2007; IPCC, 2013).

Estaríamos, então, diante de um novo quadro de ideologias geográficas, em seu sentido normativo a respeito do espaço? Isto é, uma normativa que busca um ordenamento específico com base em um suposto consenso científico sobre as mudanças do clima? Como nos ensina Moraes (1988), "num nível de maior detalhe toda a elaboração política sobre os temas espaciais constitui matéria das ideologias geográficas. Captar seus contextos de formulação, suas difusões e condições de assimilação, os agentes desse movimento e os interesses vinculados, seria a meta dos estudos [geográficos]" (*Idem*, p. 45).

Uma reflexão sobre aquecimento global, políticas territoriais e a economia do clima

De acordo com os pressupostos do IPCC, as estratégias de mitigação das mudanças climáticas são entendidas como "intervenções humanas para reduzir as fontes ou melhorar os sumidouros de emissões de GEE". Para que estas intervenções sejam efetivadas, o Painel trabalha com o conceito amplo de "cenários de mitigação", cujos propósitos incluem descrições sobre possibilidades futuras que detalham como determinados sistemas respondem a possíveis implementações de medidas e políticas mitigadoras.

A própria ideia de "mitigação" – cada vez mais presente nas políticas ambientais – é chave no contexto da mudança climática global. Conforme definido por documentos das Nações Unidas sobre o tema das mudanças climáticas, mitigação:

> Refere-se aos esforços para reduzir ou evitar a emissão de gases de efeito estufa. Mitigação pode significar o uso de novas tecnologias e energias renováveis, fazendo com que equipamentos mais antigos se tornem mais eficientes ou alterando as práticas de gestão e comportamento de consumo. [...]Proteger sumidouros naturais de carbono, como as florestas e os oceanos, ou a criação de novos sumidouros através de silvicultura ou agricultura verde também são elementos de mitigação (UNEP, s.d).

Além desta definição mais genérica, é importante ressaltar a maneira como o termo "mitigação" aparece nos Relatórios de Avaliação do IPCC. O Quarto Relatório, por exemplo, identifica o conceito de "potencial de mitigação" como uma medida a ser tomada frente às mudanças climáticas.

Conforme explicita o documento, trata-se de um mecanismo para medir a escala das reduções de gases de efeito estufa que poderiam ser feitas, em relação às linhas de base das emissões, para um

determinado nível de preço do carbono (explícito em custo de emissões de equivalente de dióxido de carbono evitadas ou reduzidas). O potencial de mitigação ou, inversamente, o "potencial de aquecimento global", ainda é caracterizado em termos do "potencial de mercado" e do "potencial econômico" (IPCC, 2007, p. 12). Os estudos de potencial de mercado manifestam aos formuladores de políticas as possibilidades de atividades mitigadoras tendo em vista as políticas existentes, enquanto os estudos de potenciais econômicos mostram o que é possível auferir considerando a incorporação de novas políticas adicionais em relação às mudanças do clima (*Idem*).

As análises destes estudos apontam "com ampla concordância e muitas evidências", para um potencial econômico significativo para a mitigação das emissões globais de gases de efeito estufa ao longo das próximas décadas, "o qual poderia compensar o crescimento projetado das emissões globais ou reduzir as emissões para níveis inferiores aos atuais" (*Idem*, p. 13). Tem-se a impressão, a partir dos trechos citados, que os problemas do aquecimento global encontrarão uma saída na lógica compensatória que controla as iniciativas de mitigação, assim como os próprios mercados *ad hoc*.

O comércio que se criou em torno das compensações ambientais (independentemente da temporalidade ou da espacialidade envolvida), não se caracteriza como uma atividade que irá agregar novos elementos a uma determinada mercadoria, com exceção de seu aspecto simbólico. Tratam-se de produtos que têm seu valor de uso associado a um serviço futuro, ou ao menos sua expectativa de realização futura, cuja utilidade expressa-se em uma vantagem individual no "direito de poluir", embora isso seja apresentado como algo de interesse geral para a sociedade.

Estas ações, assim como as políticas instituídas para a "mitigação dos efeitos das mudanças climáticas globais", sugerem novas questões quanto às relações entre clima, política e economia. Isto é, como é possível aos mecanismos de mercado estabelecidos nos fóruns internacionais mitigar os efeitos de um fenômeno que tem em sua essência a mudança como constante? Assim, não seria mais adequado, em termos políticos, questionar a escala em questão, ou ainda, a relação entre elas ao invés de atender uma orientação verticalizadora de determinações sobre os territórios?

Todavia, é necessário não perder de vista as imbricações que o regime político das mudanças climáticas tem com as tecnologias e o mercado global. Assim, entender a rede que se configura a partir das relações entre determinadas abordagens científicas, a produção tecnológica e o mercado global é de fundamental importância para uma interpretação crítica sobre a questão ambiental contemporânea.

A constituição de redes científicas está arraigada em torno dos próprios modelos, as influências dos resultados da modelagem na formulação de políticas públicas e a constituição de um mercado de compensação de gases de efeito estufa são apenas alguns destes desdobramentos que surgem com as modelagens climáticas e que podem ser interpretados desde um ponto de vista político.

Como Peet *et al*. (2011) argumentam sobre tal questão, é "o momento em que a grande ciência encontra a grande política". Virtualmente, de acordo com estes autores, todo o debate político sobre mudanças climáticas diz respeito aos processos (significados, métodos e técnicas) de mercantilização da

natureza e de criação de mercados para a resolução dos problemas climáticos (por exemplo, o mercado de carbono e as ações mitigadoras) que podem supostamente comercializar a saída da catástrofe (Peet *et al.*, 2011, p. 8).

Esta "modelagem", portanto, não é apenas físico-climática como aparenta ser, mas (pela sua própria essência histórica) é, também, política: uma emulação de cenários, todos muito bem mensurados e quantificados, que aponta para possíveis consequências das mudanças do clima numa perspectiva futura que se estende até 2100, como indicam os Relatórios de Avaliação do IPCC.

De maneira geral, estes relatórios, especialmente os direcionados aos *policy makers,* demonstram a interação entre cientistas e autoridades governamentais que resulta na centralidade da tese das mudanças climáticas antropogênicas, ao mesmo tempo em que os gases de efeito estufa ganham relevância – cada vez maior – nas decisões políticas para o tema. Em outras palavras, privilegiam-se nas políticas para mudanças climáticas estratégias mitigadoras, compensatórias de emissões na atmosfera, em detrimento das adaptações territoriais necessárias.

Pensar em termos de uma produção histórica do clima, implica, necessariamente, uma reflexão sobre o conteúdo e a trajetória dos campos científicos voltados aos fenômenos atmosféricos. Como argumenta Castree (2001) sobre o atual papel da ciência na produção da natureza, "sem pesquisas científicas e as novas tecnologias que dela decorrem, os seres humanos não teriam capacidade de refazer a natureza da maneira como se faz atualmente" (Castree, 2001, p. 194) (tradução própria). Seguindo esta linha de raciocínio, é preciso considerar ainda que a ciência tem um papel primordial não apenas na (re) transformação material da natureza, mas, também, na sua própria transformação conceitual.

Considerações: uma palavra sobre riscos

Diante das possibilidades de se pensar o clima, como mostrado ao longo do artigo, e a maneira como se tomam decisões frente aos fenômenos atmosféricos, surgem diversos questionamentos sobre os aspectos políticos do clima. De maneira semelhante aos geógrafos sanitaristas, que destacaram, ainda na primeira metade do século XX no Brasil, a centralidade dos pressupostos geográficos para se pensar as relações entre política, seca, endemias, segurança alimentar, êxodo rural, higiene, dentre tantos outros fenômenos recorrentemente associados ao aquecimento global, ressalta-se o papel distintivo da Geografia, e possivelmente crucial, quando se pretende pensar sobre as atuais mudanças globais do clima.

Ainda que as mudanças climáticas pareçam algo recente, um fenômeno impulsionado pela sociedade moderna, as estratégias de adaptação a essas e suas inferências na superfície terrestre não são algo novo para a humanidade. Ao contrário, essas estratégias são parte constitutiva dos territórios, uma

vez que a espécie humana convive com as mudanças do clima desde antes do Holoceno.

Entretanto, como discutido na seção anterior, os atuais esforços direcionados às transformações no clima fixam-se nas emissões históricas de gases de efeito estufa e nas decorrentes estratégias de mitigação, embora as propostas e iniciativas de adaptação territorial sejam consideradas nos mais diversos documentos e relatórios oficiais.

A maneira pela qual as políticas vêm sendo concebidas frente às mudanças climáticas, isto é, baseadas em uma perspectiva marcada pelas modelagens computadorizadas e padronizações de "realidades" futuras, reforça o debate sobre os riscos relacionados às mudanças do clima. Não apenas em relação às catástrofes que se anunciam nos Relatórios de Avaliação do IPCC – o que sem dúvida deve ser olhado com extrema atenção –, mas aos riscos implícitos na negação deste controle exacerbado sobre as mudanças climáticas ou, de maneira mais ampla, na medição das equivalências que está pressuposta nos mecanismos de compensação que compõem grande parte das atuais políticas territoriais voltadas ao clima.

Para além dos desdobramentos adversos que podem ocorrer na superfície terrestre, os riscos relacionados às mudanças climáticas se acentuam pela própria relação indissociável que os mesmos têm com a política. Decisões políticas referentes ao clima, assim como aos distintos elementos que compõem o território, sobretudo os que se relacionam com compartilhamento de bens e recursos, pressupõe, pelo menos em parte, "fazer apostas sobre o futuro, a construir perspectivas que encerram sempre uma dose de riscos" (Veyret, 2007, p. 29).

Assim, ao mesmo tempo em que se criam supostos controles sobre as mudanças ambientais por meio de metrificações, ajustes, equações, planificações – um movimento semelhante ao que já acontece na racionalização da vida cotidiana, das práticas, costumes, etc. – criam-se riscos e inseguranças. Ou seja, a partir do momento em que se pretende controlar os distintos movimentos das mudanças do clima, ou de qualquer outro fenômeno que esteja sob "monitoramento rigoroso", o que se cria dentro de um movimento dialético são riscos iminentes, aversões; no limite, intolerâncias, como pode ser constatado no posicionamento negacionista de diversos grupos da atualidade.

O risco enquanto produto histórico-geográfico, aponta para a possibilidade futura de certos acontecimentos e processos e faz presente uma situação que (ainda) não existe. A relação do risco com o território é contingente e contextual, isto é, as possibilidades de concretização de distintos impactos ou o anúncio de alterações significativas estão diretamente associados ao seu contexto histórico, assim como a forma que se configuram as particularidades da ocupação territorial (Cornetta, 2012).

É importante considerar que, tanto as ações adaptativas (elemento histórico na formação de territórios), como as ações de mitigação levadas a cabo no contexto das mudanças globais do clima, estão condicionadas até certo ponto por relações de poder e não são, como aponta Ulloa (2011), apenas resultado de um conjunto de valores, crenças, práticas ou substrato material-cultural comum a certo grupo humano.

Embora seja inegável que uma parte das emissões de gases de efeito estufa, entendidas como principal fator do aquecimento do planeta, é impulsionada por ações antrópicas e que estas devem ser reduzidas com o intuito de se estabilizar a concentração de gases poluentes na atmosfera, especialmente pelas inúmeras doenças associadas a estas emissões. Evidentemente, a elevação da temperatura terrestre pode agravar a situação de territórios com maiores vulnerabilidades, como indicado nos próprios Relatórios do IPCC. Entretanto, não são poucos os estudos, além da distorção habitual da grande mídia, que atestam a vinculação direta de doenças, desertificação e escassez hídrica com a ideia de um "aquecimento global", em detrimento de seus aspectos políticos.

Portanto, entende-se como fundamental abordar esses processos a partir das dinâmicas políticas e econômicas que aprofundam os efeitos adversos das mudanças climáticas. Efeitos esses, aliás, que não se resumem aos que já atingem diversas partes do mundo, mas, também, *à*queles que se relacionam com a dimensão política das mudanças climáticas que podem, dentre os diversos desdobramentos citados ao longo do artigo, suscitar novas contradições expressas no desenvolvimento geográfico desigual.

Bibliografia

BUEDELER, W. El Año Geofísico Internacional. **La UNESCO y su Programa**. UNESCO: Paris, 1957. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000128396>. Acesso em 04 mai. 2020.

CASTREE, N. Marxism, capitalism, and the production of nature. In: Castree, Noel; Bruce Braun (orgs.) **Social nature.** Theory, practice, and politics. Oxford: Blackwell Publishing, 2001.

The Anthropocene and the environmental humanities: extending the conversation. **Environmental Humanities**. 5, 2014a.

CARVALHO. D. de. **Météorologie du Brésil**. Oxford: John Bale, Sons & Danielsson, 1917.

CLAVAL, P. **Epistemologia da geografia**. Florianópolis: Ed. UFSC, 2014.

COLE, S. **Making Science**. Between nature and Society. Cambridge: Harvard University Press, 1995.

CORNETTA, A. **A financeirização do clima**: Uma abordagem geográfica do mercado de carbono e suas escalas de operação. São Paulo: Annablume/Fapesp, 2012.

Entre o clima e a terra: uma análise geográfica da "economia de baixo carbono" na Amazônia Legal. 2017. Tese (Doutorado em Geografia Humana). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. 429 f.

CRUTZEN, P. J. Geology mankind. **Nature**. vol. 415, 23. 3 January, 2002.

DE MARTONNE, E. Traité de Géographie physique. — Climat. — Hydrographie. — Relief du sol. — Biogéographie. **Annales de Géographie**. 18e Année, N. 102, 15 nov. 1809.

FAGAN. B. **O aquecimento global**. A influência do clima no apogeu e declínio das civilizações. São Paulo: Larousse, 2009.

HAMMES, D. F. **Análise e interpretação ambiental da química iônica de um testemunho do manto de gelo da Antártica ocidental.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Porto Alegre, 2011.

HUNT, J.C.R. Lewis Fry Richardson and his contribution to mathematics, meteorology, and models of conflicts. **Annual Reviews. Fluid Mech**. n. 30: xiii-xxxvi. London: University College London, 1998.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Introducción a los modelos climáticos simples utilizados en el segundo informe de evaluación del IPCC.** Documento técnico IPCC. fev, 1997. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/paper-II-sp.pdf>.

Climate Change 2007 – The Physical Science Basis Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Paris: 10th Session of Working Group I of the IPCC, February, 2007. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-spm.pdf>.

Working Group, I contribution to the IPCC 5th Assessment. Report "Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2013. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/#.umlE63vFovk>.

Annex II: Glossary [Mach, K.J., S. Planton and C. von Stechow (eds.]. In: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2014.

Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2014a. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_full.pdf>.

Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2014b. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/WGIIAR5-PartB_FINAL.pdf>.

LATOUR, B.; WOOLGAR, S. **Laboratory life***:* the construction of scientific facts. Princeton: Princeton University Press, 1979.

LATOUR, B. **Políticas da natureza:** como fazer ciência na democracia. Bauru, SP: EDUSC, 2004.

LOIOLA, S. A. **Variabilidade paleoclimática e a evolução de sistemas complexos adaptativos nos humanos modernos.** Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

MANN, M. E.; BRADLEY, R. S.; HUGUES, M. K. GLOBAL-SCALE TEMPERATURE PATTERNS AND CLIMATE FORCING OVER THE PAST SIX CENTURIES. **NATURE.** VOL. 392. 1998. DISPONÍVEL EM: <HTTPS://WWW.NATURE.COM/ARTICLES/33859 >.

MONTEIRO, C. A. F. DE. ANÁLISE RÍTMICA EM CLIMATOLOGIA. PROBLEMAS DA ATUALIDADE CLIMÁTICA EM SÃO PAULO E ACHEGAS PARA UM PROGRAMA DE TRABALHO.

CLIMATOLOGIA N° 1, SÃO PAULO: INSTITUTO DE GEOGRAFIA DA USP, 1971.

CLIMA E EXCEPCIONALISMO. FLORIANÓPOLIS: EDITORA DA UFSC, 1991.

MORAES, A. C. R. **GEOGRAFIA**. PEQUENA HISTÓRIA CRÍTICA. SÃO PAULO: HUCITEC, 1988.

IDEOLOGIAS GEOGRÁFICAS. SÃO PAULO: HUCITEC, 1999.

MOREIRA, R. **O PENSAMENTO GEOGRÁFICO BRASILEIRO**. AS MATRIZES BRASILEIRAS. VOL. 3. SÃO PAULO: CONTEXTO, 2010.

NUNES, A. M. B. **INICIALIZAÇÃO FÍSICA EM MODELOS DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDO DE SEUS EFEITOS NA PARTICIPAÇÃO DE ENERGIA EM MODOS VERTICAIS E HORIZONTAIS NOS TRÓPICOS E NA AMÉRICA DO SUL.** TESE (DOUTORADO EM METEOROLOGIA). INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE), SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, 2002.

PEET, R.; ROBBINS, P.; WATTS, M. GLOBAL NATURE. IN: PEET, R.; ROBBINS, P.; WATTS, M. (ORGS.) **GLOBAL POLITICAL ECOLOGY**. ROUTLEDGE: NEW YORK, 2011.

PEIXOTO, A. **CLIMA E SAÚDE**. INTRODUÇÃO BIO-GEOGRAFICA À CIVILIZAÇÃO BRASILEIRA. COLEÇÃO BRASILIANA. SÃO PAULO, EDITORA NACIONAL, [1938], 1975.

POPPER, K. R. **LÓGICA DA PESQUISA CIENTÍFICA.** SÃO PAULO: EDUSP, 1985.

RICHARDSON, L. F. **Weather prediction by numerical process**. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1922.

ROCKSTRÖM, J. *et al*. Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. **Ecology and Society**, v. 14, n. 2, p. 32. 2009. Disponível em: <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>.

SANT'ANNA NETO, J. L. **História da Climatologia no Brasil**: gênese, paradigmas e a construção de uma Geografia do Clima. (Tese de Livre-Docência). Presidente Prudente: FCT/UNESP, 2001.

História da Climatologia no Brasil: Gênese e paradigmas do clima como fenômeno geográfico. **Cadernos Geográficos da Universidade Federal de Santa Catarina**. n.7. Florianópolis: Imprensa Universitária. 2004.

SORRE, M. **Les fondements de la géographie humaine**. Paris: Librairie Armand Colin, 1951.

Traité de climatologie biologique et médicale. In: MASSON, M. P. Paris: Cie Éditeurs. Vol. I, pp. 1 – 9, 1934. Traduzido por José Bueno Conti. Departamento de Geografia/ FFLCH/USP. **Revista do Departamento de Geografia**, 18, 2006. pp. 89-94.

TADDEI, R. **Meteorologistas e profetas da chuva**. Conhecimentos, práticas e políticas da atmosfera. São Paulo: Terceiro nome, 2017.

ULLOA, A. **Perspectivas culturales del clima**. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Humanas. Departamento de Geografía, 2011.

UNITED NATIONS. ENVIRONMENT PROGRAMME ENVIRONMENT FOR DEVELOPMENT

(UNEP). **Climate Change Mitigation**. s/d. Disponível em: <https://www.unenvironment.org/explore-topics/climate-change/what-we-do/mitigation >.

VEYRET, Y. **Os Riscos**: o homem como agressor e vítima do meio ambiente. São Paulo: Contexto, 2007.

ZAVATTINI, J. A. A produção brasileira em climatologia: o tempo e o espaço nos estudos do ritmo climático. **Terra Livre**. n. 20., 2003.

Dinâmica atmosférica e análise rítmica: a contribuição do brasileiro Carlos Augusto Figueiredo Monteiro à França de Pédelaborde e à Itália de Pinna. In: MONTEIRO, C. A. F.; *et al.* (orgs.) **A construção da climatologia geográfica no Brasil**. Campinas: Alínea, 2015.

Notas

1 "O registro das informações contidas em testemunhos de gelo ocorre pela precipitação da neve, que ao ser depositada carrega consigo as impurezas presentes na atmosfera. [...] Esse registro então é conservado, pois a sequência anual das camadas e sua composição química são preservadas ao longo do tempo com a formação das geleiras e mantos de gelo e constitui um arquivo valioso de nosso passado climático" (Hammes, 2011, p. 20).

2 Na escala de tempo geológico, o Holoceno é a época que sucede o Pleistoceno do período Quaternário, que se estende de 12 ou 10 mil anos, quando terminaram os efeitos da última glaciação, ou Idade do Gelo. Esse período também corresponde à revolução neolítica, quando o homem domina as primeiras técnicas de produção de alimentos. Justamente por se tratar de uma época marcada pelo fim da última glaciação, portanto, um processo progressivo, a datação do Holoceno é extremamente controversa. Vale mencionar, que o Holoceno foi definido oficialmente apenas em 2008 pela União Internacional de Ciências Geológicas (IUGS, sigla em inglês).

3 O termo refere-se a uma proposta teórica de rompimento com a dualidade ontológica sociedade-natureza, e propõem a elaboração de um "estatuto para as políticas da natureza". Ver LATOUR, B. Políticas da natureza: como fazer ciência na democracia. Bauru, SP: EDUSC, 2004.

4 Ver a esse respeito IPCC. Climate Change 2007 – The Physical Science Basis Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Paris: 10th Session of Working Group I of the IPCC, February, 2007a, p. 20; IPCC. Mudança do Clima 2007: Mitigação da Mudança do Clima. Sumário para os Formuladores de Políticas: Quarto Relatório de Avaliação do IPCC, Grupo de Trabalho III, 2007b, p. 11.

5 Definição dada pelo glossário do IPCC. Ver Glossary Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <https://archive.ipcc.ch/pdf/glossary/ipcc-glossary.pdf >. Acesso em 19 jan. 2021.

6 Neste artigo, publicado em 1904 no jornal alemão Meteorologische Zeitschrift, Bjerknes introduz princípios da hidrodinâmica e da termodinâmica nos estudos meteorológicos e expressa sua visão para uma possível programação para a previsão do tempo.

7 Foi a primeira proposta de um computador eletrônico programável, construído no final da Segunda Guerra Mundial pelos EUA, a partir de contrato com as forças armadas daquele país. (Encyclopedia Britannica). Disponível em: <http://global.britannica.com/technology/ENIAC>. Acesso em 19 jan. 2021.

8 A experiência pode ser lida em The general circulation of the atmosphere: a numerical experiment, publicado no Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/qj.49708235202/abstract>. Acesso em 19 jan. 2021.

9 Para uma leitura completa desse discurso, acessar: <http://image.guardian.co.uk/sys-files/Environment/documents/2008/06/23/ClimateChangeHearing1988.pdf>. Acesso em 10 jan. 2021.

10 Ver MANN, M.; BRADLEY, R. S.; HUGUES, M. K... Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries. Nature. vol. 392. 1998. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/33859 >. Acesso em 10 jan. 2021.

11 Conforme explicação de Moraes (1999), Huntington concebia um determinismo invertido, isto é, "para ele, as condições naturais mais hostis seriam as que propiciariam o maior desenvolvimento. [...] o autor defende a ideia de que os rigores do inverno explicariam, pelas necessidades impostas (abrigo, estocagem de comida), o desenvolvimento das sociedades europeias" (p. 58).

12 Utiliza-se o termo no sentido proposto por Moraes (1988), como a substância que alimenta representações sociais sobre os lugares, que impulsionam a maneira que se transforma ou se acomoda nele.

13 Conforme Claval (2014) nos ajuda a entender, pode-se dizer que este traço faz parte de uma herança da tradição hipocrática, ao lado da grande inserção das ideias evolucionistas nos estudos geográficos do período, não excluindo os geógrafos brasileiros aqui mencionados.

14 Trata-se de uma abordagem sobre a distribuição geográfica de doenças e questões sanitárias como um todo nas relações espaço temporais e condicionantes do processo saúde-doença de populações.

15 Dentre os nomes mais proeminentes desta formação de médicos geógrafos está Josué de Castro, que dedicou grande parte de sua obra e atuação política ao combate à fome. Destacou-se no cenário brasileiro e internacional não só pelos seus inúmeros trabalhos de geografia sobre o problema da fome no mundo, mas também no plano político em vários organismos internacionais. Além de Josué de Castro, destacam-se outros nomes de médicos sanitaristas que escreveram sobre geografia, como Gastão Cruls, que se dedicou a escrever sobre a realidade amazônica nos anos 1920, e Samuel Pessoa, conhecido como "o médico dos camponeses", pioneiro na pesquisa sobre parasitologia no Brasil, entre outros que se ocuparam de pensar a saúde pública no Brasil em seu contexto histórico e geográfico.

16 Ver, por exemplo, PETERSON; SHAW, 2003; LIESHOUT et al., 2004; MARENGO, 2006, 2007; GOLLIN; ZIMMERMANN, 2008; 2012; BEEBE; COOPER; MOTTRAM; SWEENEY, 2009; ANYAMBA; LINTHICUM; SMALL, 2012; DESCLOUX, et al., 2012; et al.

17 O potencial de mitigação é estimado com o uso de diferentes tipos de abordagens. Há duas grandes classes – abordagens bottom-up e top-down, que foram usadas primeiramente para avaliar o potencial econômico. Os estudos bottom-up baseiam-se na avaliação das opções de mitigação, ressaltando as tecnologias e regulamentações específicas. São estudos tipicamente setoriais, sem mudanças macroeconômicas. As estimativas setoriais foram agregadas, como no Terceiro Relatório de Avaliação, para fornecer uma estimativa do potencial global de mitigação para esta avaliação. Os estudos top-down

avaliam o potencial econômico das opções de mitigação. Usam quadros coerentes do ponto de vista global e informações agregadas sobre as opções de mitigação, captando as respostas macroeconômicas e do mercado (IPCC, 2007).

18 Os Potenciais de Aquecimento Global (GWP, sigla em inglês) para os principais GEE são: CO2 = 1 (por definição); CH4 = 21; N2O = 310. A energia total por sua vez é calculada como a integral durante cem anos da forçante radiativa correspondente à emissão do gás e do dióxido de carbono (CGEE, 2008, p. 41).

19 O potencial de mercado é o potencial de mitigação com base nos custos privados e nas taxas de desconto privadas, que pode ser que ocorram no âmbito de condições de mercado previstas, inclusive políticas e medidas atualmente em vigor, observando-se que as barreiras limitam a absorção real. O potencial econômico é o [...] que leva em conta os custos e benefícios sociais e as taxas de desconto sociais, supondo-se que a eficiência do mercado melhore por meio de políticas e medidas e que as barreiras sejam removidas (Idem).

20 Sobre este tema ver Loiola, S. A. Variabilidade paleoclimática e a evolução de sistemas complexos adaptativos nos humanos modernos. 2014.

21 A OMS estima que cerca de 7 milhões de pessoas morrem a cada ano devido à exposição a partículas finas em ar poluído. A Organização ainda estima que nove em cada 10 pessoas respiram ar contendo altos níveis de poluentes. Ver: OPAS. Brasil. Nove em cada dez pessoas em todo o mundo respiram ar poluído. 01 mai. 2018. Disponível em: <https://www.paho.org/bra/index.php?option=com_content&view=article&id=5654:nove-em-cada-dez-pessoas-em-todo-o-mundo-respiram-ar-poluido&Itemid=839 >. Acesso em 15 jan. 2021.