

As perspectivas e divergências acerca do aquecimento global antropogênico

The perspectives and divergences about anthropogenic global warming

Pedro dos Santos Ferreira

Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela
Universidade Federal de Pernambuco
pedro_spe@hotmail.com

Josiclêda Domiciano Galvínio

Professora do programa de pós-graduação em
Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Pernambuco
josicleda@hotmail.com

Viviane Pedroso Gomes

Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela
Universidade Federal de Pernambuco
vivianegomesgeo@gmail.com

Weronica Meira de Souza

Professora da Unidade Acadêmica de Garanhuns da
Universidade Federal Rural de Pernambuco
veronicameira@gmail.com

Resumo

Nas últimas décadas, grande parte da comunidade científica, órgãos internacionais, agências de pesquisas e organizações supranacionais vem investigando a possibilidade de uma possível interferência humana na dinâmica climática global. Esta intervenção estaria associada às atividades humanas, responsáveis pelo aumento da concentração de gases estufa emitidos a partir da exploração indiscriminada dos recursos naturais para produção de energia e bens de consumo. Entre os efeitos principais destaca-se o aumento da temperatura média do ar e mudança na distribuição espaço-temporal da precipitação pluviométrica. Diversos modelos climáticos empregados para a previsão de cenários futuros indicam que o aumento da temperatura do ar deve trazer graves prejuízos socioeconômicos. Por outro lado, uma corrente de pesquisadores contrários a esta ideia tem apresentado alguns argumentos para desconstrução deste paradigma. A principal crítica diz respeito a capacidade do CO₂ de controlar o clima global. Para este grupo, o clima do planeta passa por constantes mudanças ao longo de sua evolução. Estas mudanças estariam associadas exclusivamente a fatores naturais como mudanças na radiação solar, erupção de vulcões, choques com corpos celestes, entre outros. Diante de toda a polêmica que ainda permeia os ambientes de discussão, apresentaremos neste estudo alguns argumentos que sustentam e refutam as referidas linhas de pensamento. Ao final, faremos algumas considerações sobre a importância do debate e de intervenções no modo de exploração da natureza.

Palavras-chave: Glaciação; variabilidades climáticas; fatores naturais

Abstract

In the last decades, much of the scientific community, international agencies, research agencies and supranational organizations have been investigating the possibility of possible human interference with global climate dynamics. This intervention would be associated to human activities, responsible for the increase in the concentration of greenhouse gases emitted from the

indiscriminate exploitation of the natural resources for the production of energy and consumer goods. Among the main effects is the increase in mean air temperature and change in the spatial-temporal distribution of rainfall. Several climate models used to predict future scenarios indicate that the increase in air temperature is expected to cause serious socioeconomic losses. On the other hand, a chain of researchers opposing this idea has presented some arguments for the deconstruction of this paradigm. The main criticism concerns CO₂'s ability to control global climate. For this group, the planet's climate undergoes constant changes throughout its evolution. These changes would be exclusively associated with natural factors such as changes in solar radiation, eruption of volcanoes, clashes with celestial bodies, among others. In the face of all the controversy that still permeates the discussion environments, we will present in this study some arguments that sustain and refute these lines of thought. In the end, we will make some considerations about the importance of the debate and of interventions in the way of exploration of nature.

Keywords: glaciation; climate variability; natural factors.

1. INTRODUÇÃO

O clima global é resultado da complexa interação entre a energia irradiada pelo Sol e variáveis físicas como massas líquidas, relevo, comunidades vegetais, entre outros, distribuídas heterogeneamente no espaço. Este fato vem a explicar a multiplicidade de tipologias climáticas encontrados no planeta, onde suas variações geográficas resultam da maior ou menor influência de um ou mais atributos físicos. Deste modo, qualquer alteração no referido sistema resulta em um ajuste natural e dinâmico, o qual é denominado mudança climática.

As mudanças de clima são eventos que sempre fizeram parte do longo processo de evolução da Terra. Vários estudos paleoclimáticos indicam que o planeta passou por longos períodos de grande alternância na temperatura, atravessando Eras de resfriamento e aquecimento. Algumas das causas principais referem-se à erupção de vulcões, movimento das placas tectônicas, variação da radiação solar, posicionamento da Terra em relação ao Sol e choque com corpos celestes (CROWLEY; NORTH, 1988; OLIVEIRA et al., 2015).

Nas últimas décadas, grande parte da comunidade científica, órgãos internacionais, agências de pesquisas e organizações supranacionais vem investigando a possibilidade de uma possível interferência humana na dinâmica climática global. Esta intervenção estaria associada às atividades humanas, responsáveis pelo aumento da concentração de gases estufa emitidos a partir da exploração indiscriminada dos recursos naturais para produção de energia e bens de consumo.

De acordo com Santos, Galvêncio e Moura (2010), circula na vasta literatura que trata sobre a temática, pelo menos, três linhas de pensamento. A primeira, e mais aceita atualmente, é composta por cientistas que associam as variações no padrão de temperatura média global, verificado durante a segunda metade do século XX, à exploração intensa da natureza e dos seus recursos. Deste modo,

a anomalia seria o resultado da emissão de gases do efeito estufa como óxido nitroso (N₂O), dióxido de carbono (CO₂) e metano (CH₄), produzidos a partir da queima de combustíveis fósseis, desmatamento, entre outros.

Um segundo grupo de pesquisadores defende a ideia de que o clima muda em função de fatores exclusivamente naturais, como ocorrera no passado geológico da Terra. Por outro lado, vão na direção contrária do que é apontado pela maior parte da comunidade científica. Afirmam que o planeta caminha para uma nova glaciação e que qualquer possível variação positiva da temperatura é resultado de fatores naturais. Deste modo, refutam totalmente o paradigma do aquecimento global antropogênico. Os pesquisadores inseridos nesta linha de pensamento descartam totalmente a ideia de que o CO₂ seja capaz de controlar o clima global.

Quanto à terceira linha de pensamento, esta comporta um grupo de pesquisadores que defende a ideia de que as causadas seriam decorrentes da combinação de fatores antropogênicos e naturais. Entretanto, as forças naturais seriam dominantes sobre as humanas, enquanto as antropogênicas funcionariam como um agravante a nível local e regional. Pontuam ainda que os diagnósticos sobre as condições de clima são, em muitas circunstâncias, precipitados, os quais frequentemente desconsideram uma série de fatores importantes quanto à análise.

Diante das questões elencadas e da importância da discussão da referida temática para a sociedade em geral, pretende-se abordar a partir deste estudo as principais ideias que alimentam os debates sobre as mudanças climáticas, assim como os argumentos que sustentam cada uma das teses discutidas atualmente. No que se refere às mudanças climáticas antropogênicas, serão abordados não só as evidências observadas pela comunidade científica, mas também os possíveis impactos do referido processo sobre os sistemas naturais e socioeconômicos. Em contrapartida, serão apresentados também os principais argumentos que rebatem o paradigma do aquecimento global, assim como as principais evidências do passado e do presente apresentadas pelo grupo de pesquisadores denominados céticos.

2. AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS: FATORES ANTROPOGÊNICOS

O processo de revolução industrial, iniciado ainda no século XVIII, marcou uma nova Era na história da humanidade. As técnicas empregadas para a produção e transformação do espaço geográfico, até então em conformidade com a natureza, deram lugar a novas tecnologias que, segundo Milton Santos, passaram a funcionar como próteses dos territórios. Desta forma, houve uma intensa transformação da natureza por meio da exploração dos recursos naturais (SANTOS, 2006), a qual vem impulsionando uma série de problemas ambientais.

É no ceio desta efervescência técnico-científica que novos paradigmas como o das mudanças climáticas antropogênicas passaram a ser intensamente debatidos. As alterações sobre os sistemas ecológicos, promovidas em razão do aumento da exploração dos recursos naturais para produção de energia e bens de consumo, são, então, motivo de preocupação para vários pesquisadores, os quais fixam suas atenções para as implicações que o referido dinamismo promove sobre as configurações climáticas em escalas geográficas variadas.

Estudos iniciais relacionando a degradação dos sistemas naturais com as alterações nos padrões de temperatura e precipitação vieram a reforçar as suspeitas sobre a capacidade do homem de interferir no clima do planeta. De acordo com Ayoade (2003), a tendência de aumento da temperatura do ar, por exemplo, já podia ser constatada durante período que se estende de 1880 até 1940. Nas duas décadas seguintes, houve decréscimo da temperatura, com retomada da tendência de aumento a partir da década de 60.

Na tentativa de explicar a tendência de aumento da temperatura do ar, algumas teorias passaram a ser elaboradas e intensamente exploradas. Entre elas, pode-se destacar a teoria do efeito estufa antropogênico. Conceitualmente, o efeito estufa é um fenômeno natural que ocorre no planeta Terra. A energia de ondas curtas emitida pelo sol atinge a atmosfera, onde parte dela é refletida de volta para o espaço sideral, enquanto o restante, cerca de 45%, interage com a superfície e é novamente reemitida para a atmosfera, ou absorvida pela superfície, resultado que depende das condições de albedo de superfície. Quando absorvida, a radiação influencia nos processos evaporativos e de aquecimento. Deste modo, a energia convertida em calor é liberada e absorvida por gases e vapor d'água, mantendo o controle da temperatura global, a qual seria em torno de -7°C (ANDRÉ, 2006). Segundo os cientistas, o balanço de energia global passou a ser modificado em função da liberação excessiva de gases do efeito estufa, que estariam aprisionando maior quantidade de calor na atmosfera.

Com o objetivo de apoiar trabalhos científicos para avaliação do clima, foi criado em 1988, pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC). O IPCC vem publicando uma série de relatórios desde o ano de 1990, alertando para o perigo que o aumento da concentração de gases estufa na atmosfera pode causar sobre os sistemas naturais e socioeconômicos (MARENGO, 2007).

De acordo com o quarto relatório publicado pelo grupo, o aumento da temperatura global é decorrente principalmente do aumento da concentração de CO_2 , proveniente da queima de combustíveis fósseis, desmatamentos, queimadas e atividades industriais. Os estudos apontam que durante a segunda metade do século XX, houve um incremento de $0,6^{\circ}\text{C}$ na temperatura média

global do ar. O referido aumento é apontado pelos cientistas como principal responsável pelo derretimento das geleiras e consequente elevação do nível do mar em algumas regiões costeiras, bem como, secas e enchentes em determinadas áreas (IPCC, 2007).

Preocupados com a questão, verifica-se um grande esforço que parte da comunidade científica para o desenvolvimento de modelos capazes de projetar cenários climáticos, baseados em forçantes controladoras como demografia, desenvolvimento socioeconômico, mudanças na tecnologia e níveis de emissão de CO₂. Vários cenários climáticos foram simulados, com projeções que se estendem até o ano de 2100. A partir das configurações propostas, os cenários foram classificados como otimistas (B1), intermediários (A1B) e pessimistas (A2) (IPCC, 2007).

Os resultados encontrados pelo grupo indicam que as maiores elevações da temperatura média global do ar devem ocorrer na região do polo Norte (Figura 1), para os três cenários em questão. Caso se mantenha os níveis de emissões atuais, a temperatura na referida região deve sofrer um incremento médio, até 2099, de 3,5 a 5,5°C para o cenário B1; 4,5 a 6,5°C no cenário B2 e de 6 a 7,5°C quando considerado o cenário A2. Caso os prognósticos se confirmem, espera-se que haja maior derretimento das calotas polares e elevação no nível do mar.

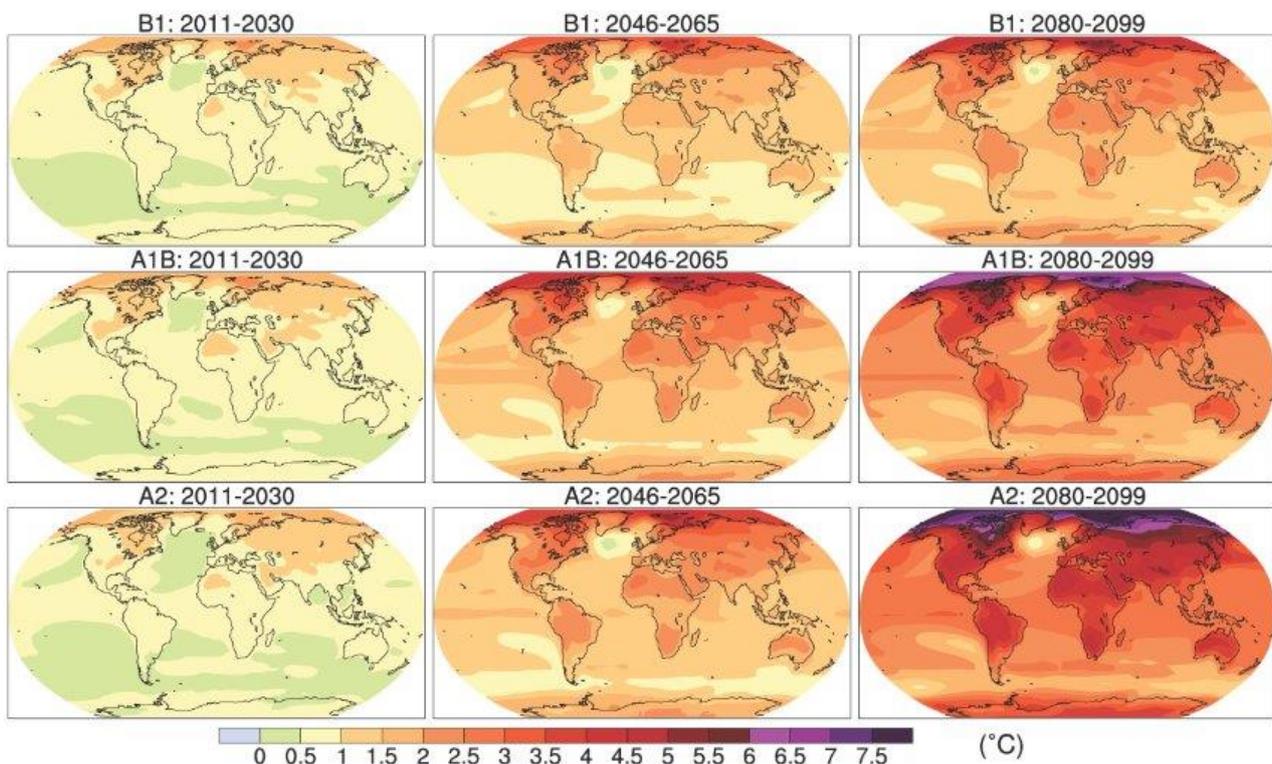


Figura 1 - Cenários de distribuição espacial da temperatura média do ar para o globo terrestre projetados pelo IPCC. Fonte: IPCC, (2007).

Recentemente, foi divulgado pelo IPCC o seu mais novo relatório, o *Assessment Report* (AR5). Diferente dos modelos utilizados no quarto relatório divulgado em 2007, os modelos empregados no AR5 apresentam sistemas mais completos, que consideram a alteração no balanço de radiação global, decorrente do incremento na concentração de gases estufa. Os resultados revelaram que as projeções não diferiram substancialmente das realizadas anteriormente. Caso as emissões de gases estufa continuem a crescer, o incremento médio na temperatura global deve variar de 2,6°C a 4,8°C até 2100 (IPCC, 2013).

2.1. Os impactos das mudanças climáticas antropogênicas

De acordo com a maior parte da comunidade científica, os impactos decorrentes do aquecimento global serão abrangentes e de grande magnitude. Espera-se que os possíveis cenários climáticos afetem os sistemas naturais e os socioeconômicos, provocando migrações em massa, desorganização do espaço geográfico, conflitos de natureza diversa e agravamento do quadro da fome no mundo.

Em relação aos sistemas naturais, a grande preocupação se dá em função da falta de tempo para que as espécies vegetais e animais possam se adaptar às novas condições do clima. No passado geológico da terra, as mudanças aconteceram de forma lenta, ou seja, levaram milhares, milhões de anos, permitindo que as espécies pudessem se adaptar ao longo de centenas de gerações. Por outro lado, as alterações climáticas decorrentes de vulcanismos severos, e choques com meteoros (mudanças abruptas) provocaram o rápido desaparecimento de diversas espécies. Esta é justamente a grande preocupação dos cientistas ligados ao IPCC, visto que, de acordo com os relatórios divulgados pelo grupo, o processo de mudança se encontra em ritmo acelerado, com impactos significativos esperados já para meados do século XXI (JOLY, 2007).

No tocante às atividades humanas, também há grande preocupação em relação ao curto espaço de tempo em que as mudanças estão ocorrendo. Os sistemas agrícolas, por exemplo, possuem uma alta dependência em relação ao clima, sendo muito vulneráveis às variações climáticas. Em razão do importante papel desempenhado pela agricultura para o bem-estar da sociedade, os cientistas e governantes de todo o mundo têm demonstrado preocupação sobre os potenciais efeitos das mudanças climáticas sobre os agrossistemas. Espera-se que o aquecimento adicional venha a influenciar diversas culturas e a produção de insumos de origem animal (IPCC, 2007; EMBRAPA, 2008).

Vale ressaltar que a própria agricultura é apontada por muitos pesquisadores como “vilã” do aquecimento global. Segundo Kates (2000), os agrossistemas subdividem-se em altamente intensivos, com sistemas complexos e bem equipados; e de baixa entrada (agricultura familiar),

considerada mais rústica, voltada principalmente para o abastecimento do mercado interno. De acordo com o autor, o modelo agrícola altamente intensivo é um dos que mais contribui com a emissão de gases estufa, entretanto, será menos afetado que o de baixa entrada devido ao aporte financeiro e tecnológico.

Dentro deste contexto, salienta-se que países mais pobres da África, Ásia e América Latina tendem a ser mais afetados pelo aquecimento global. Neste sentido, vale destacar os estudos de Jones e Thornton (2003), que avaliaram os possíveis impactos das mudanças climáticas sobre a produção de milho na África e na América Latina, para o ano de 2055, utilizando métodos variados para gerar dados meteorológicos diários com o objetivo de realizar uma simulação detalhada da cultura do milho. Os resultados, no geral, indicam que haverá uma redução média global de 10% sobre a produtividade de milho para ano estudado. Os autores alertam que, apesar dos valores, em um primeiro momento, parecerem inexpressivos, o prejuízo financeiro estimado é da ordem de 2 bilhões de dólares por ano. Isso se os níveis de emissões forem mantidos, o que na verdade contraria todas as perspectivas levantadas pelo IPCC.

Para o continente europeu, considerado mais desenvolvido socioeconomicamente em relação aos anteriormente citados, são esperados efeitos positivos e negativos, a depender da região. De acordo Olesen e Bindi (2002), que realizaram uma revisão da literatura referente aos efeitos do aquecimento global sobre a produtividade agrícola na Europa, as alterações no clima da região devem favorecer a produção de diversas culturas no Norte do continente. Entretanto, para que isto ocorra será necessário adaptar os sistemas agrícolas atuais aos novos cenários climáticos. Por outro lado, para as porções do Mediterrâneo e Sul da Europa, acredita-se que o declínio das precipitações pluviais, atreladas ao aquecimento sistemático do território, favoreça a redução das áreas agricultáveis, impactando diretamente o setor de alimentos.

Outro fato alarmante diz respeito aos impactos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos. Para pesquisadores como Ma et al. (2008), não há mais dúvidas de que a variação na vazão de várias bacias hidrográficas tem relação com as mudanças climáticas e intervenções humanas no uso e cobertura da terra. No que concerne aos eventos climáticos, as modificações no elemento precipitação pluvial são apontadas como responsáveis pelos desastres associados à escassez hídrica em áreas onde a oferta hídrica é inferior a demanda, ou excesso.

Por essa razão, a dinâmica de precipitação pluviométrica vem sendo alvo de investigações em várias partes do mundo devido a sua importância para a distribuição espaço-temporal da água. Os resultados encontrados revelam condições diversas. Para o Oriente Médio (TABARI; TALAEE, 2011), maior parte do continente africano (BATES, 2008), parte dos Estados Unidos e continente europeu (GALLANT; KAROLY; GLEASON, 2014), observa-se, de modo geral, tendência de

redução dos valores de precipitação pluvial. Quanto a América do Sul, o padrão detectado por Skansi et al. (2013) indica aumento da condição de umidade para a porção sudeste da região. Por outro lado, para parte ocidental do continente e região Nordeste do Brasil, o padrão encontrado foi contrário, entretanto sem significância estatística para os testes empregados nas séries históricas.

2.2. Impactos e perspectivas do aquecimento global para o Brasil

Diferente de países como China e Estados Unidos, a maior parte dos gases estufa emitidos para a atmosfera no Brasil é oriunda da dinâmica de uso e cobertura da terra. Dentro desse contexto, o principal problema ambiental verificado no país encontra-se relacionado ao desmatamento. A remoção das vegetações nativas vem se intensificando em decorrência da ampliação de áreas de pasto e agricultura, assim como para uso da madeira extraída. O crescimento demográfico também exerce forte pressão sobre os biomas brasileiros, a exemplo do que vem ocorrendo com a Mata Atlântica, vegetação que tem sido devastada devido à ocupação verificada desde 1500, conforme Figura 2. É possível observar que a perda de área e a fragmentação do bioma atingiram níveis alarmantes, decorrentes de fatores históricos inerentes ao processo de ocupação e do modelo de exploração dos recursos.

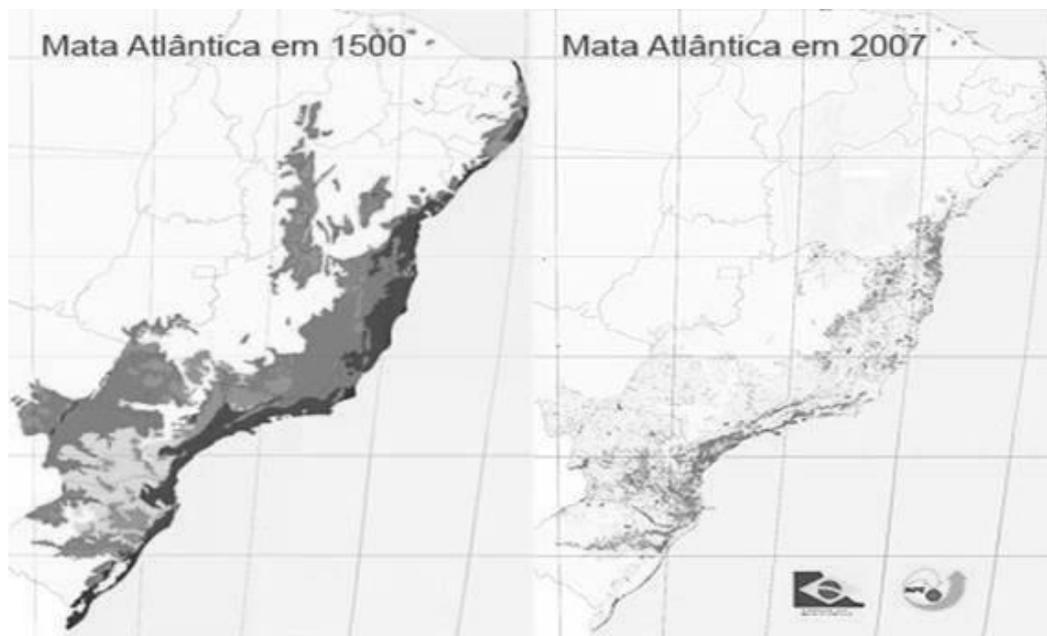


Figura 2: Degradação da Mata Atlântica

Fonte: <http://marcosbau.com.br/geobrasil-2/biomas-brasileiros/>

O reflexo deste quadro é a produção de mais de 250 milhões de toneladas de carbono por ano. Apesar de parecer um valor expressivo, a produção de CO₂ é cerca de dez vezes menor que o montante produzido por países como Estados Unidos e China, por exemplo. Todavia, a situação do

Brasil não é confortável. Ainda que o país produza menos carbono que a maioria dos países considerados desenvolvidos, a diminuição das matas nativas contribui para o aumento da temperatura de superfície e do ar, assim como contribui para a manutenção de CO₂ livre na atmosfera. Isto é devido a importante função que as vegetações exercem no sequestro e estocagem de carbono, por meio do processo de fotossíntese. Ou seja, os efeitos passam a alimentar as causas (*feedback*) (OLIVEIRA, 2010).

As projeções baseadas em cenários climáticos do IPCC para o país são preocupantes. Para regiões da Amazônia, bacia do Prata e Nordeste, os modelos climáticos empregados por Marengo (2007), entre eles o CCCMA, CSIRO, HadCM3, CCSR/NIES e GFDL, revelam que as alterações no clima devem mudar o padrão da precipitação pluvial e da temperatura do ar. No que se refere ao padrão das chuvas, as tendências devem variar de acordo com a região. Dos cinco modelos utilizados, com iguais concentrações de gases estufa, para os anos de 2050 e 2100, cenários B2 e A2, apenas o GFDL mostrou tendência de incremento nas chuvas para a Amazônia, enquanto os demais revelaram um padrão contrário.

Para a bacia do Prata, os modelos identificam que o ciclo da precipitação pluvial é semelhante ao atual, por outro lado, discordam quanto ao volume anual. O HadCM3 mostra aumento das chuvas na estação chuvosa, na ordem de 1 mm por dia, e redução de 0,5 mm no período seco. O CSIRO e CCSR/NEIS foram os que mais destoaram em relação aos demais, com estimativas de decréscimo anual da chuva simulada. O autor pontua que apesar dos resultados encontrados partirem de projeções, o que se tem verificado desde a década de 70 é o aumento do volume da vazão dos rios da região. Ainda assim, o mesmo admite que é difícil apontar a natureza do fenômeno, que pode ser o resultado de mudanças na cobertura da terra, assim como variações no regime pluvial.

Quanto à região Nordeste, todos os modelos mostram tendência de aumento da temperatura média do ar e redução da precipitação pluviométrica. Verificou-se no estudo que o ciclo anual das chuvas se assemelha ao padrão observado na atualidade. Porém, as estações secas tendem a se tornar mais alongadas, enquanto o período chuvoso é encurtado. A consequência do quadro exposto deve recair principalmente sobre a redução da vazão de vários rios localizados na região, em sua maioria intermitentes, contribuindo para as mudanças na quantidade e qualidade da água.

Outro ponto abordado diz respeito aos eventos extremos. Acredita-se que estes fenômenos vêm se tornando mais frequentes nos últimos anos, contabilizando prejuízos diversos e de grande magnitude. Estudos realizados por Groisman et al. (2005) na região Sul e Sudeste do Brasil reforçam a teoria. Os pesquisadores, em seus referidos trabalhos, verificaram que houve, na região Sul, incremento tímido nas precipitações registradas desde a década de 1950, enquanto que no

Sudeste, verificou-se um aumento da ocorrência de eventos extremos pluviométricos, ora associado à escassez, ora ao excesso.

Carvalho et al. (2004) ressaltam que a variabilidade dos extremos pluviométricos verificados no estado de São Paulo, por exemplo, tem relação com a atuação dos sistemas El Niño, La Niña e com a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). De acordo com os pesquisadores, os fenômenos El Niño e La Niña tendem se tornar mais frequentes em razão do aquecimento global. O reflexo disto, diante do quadro aqui apresentado, seria a maior recorrência de fenômenos de secas na região.

Um bom exemplo são os recentes eventos que atingiram o Sudeste do país, em especial o estado de São Paulo, entre os anos de 2013 e 2015. As reduções do volume de chuvas afetaram as vazões de várias bacias hidrográficas, onde se verificou volumes bem inferiores à média histórica. No campo econômico, as estimativas iniciais apontam que 60 mil estabelecimentos industriais, que representam 60% da composição do Produto Interno Bruto (PIB) paulista, foram afetados pela falta de água. Quanto ao setor de alimentos, produtos como o tomate e alface, apresentaram alta de 30% nos valores, impulsionados também pela elevação dos custos com a produção de energia elétrica (MARENGO et al., 2015).

3. MUDANÇAS CLIMÁTICAS E OS FATORES NATURAIS

Como pontuado ao longo do presente estudo, apesar das mudanças climáticas antropogênicas não ser uma unanimidade, a hipótese é bem aceita pela maior parte da comunidade científica. Isto pode ser verificado mediante o número reduzido de trabalhos que debatem ideias contrárias à teoria do aquecimento global, aqueles que associam as oscilações climáticas, verificadas desde os primórdios, a fatores físico-naturais. As duas teorias divergem principalmente sobre o papel do homem no processo em questão.

Os céticos, como são chamados os cientistas que refutam a ideia do aquecimento global antropogênico, destacam que o homem não é capaz de modificar o clima em escala global, mesmo admitindo os impactos, em alguns casos irreversíveis, sobre a natureza. Na verdade, para esse grupo de pesquisadores o planeta passa por processos de mudanças climáticas naturais, obedecendo a ciclos de resfriamento e aquecimento. Enquanto cientistas ligados ao IPCC projetam um aquecimento, os contrários a essa ideia, considerados da ala mais radical, afirmam que o planeta caminha para um período de glaciação. A teoria é fundamentada por estudos paleoclimáticos e sobre documentos antigos, atualmente é reforçada em função da ocorrência de invernos mais rigorosos (TEODORO; AMORIM, 2008).

No início da presente década, um vazamento de informações da *University of East Anglia's Climatic Research Unit* (CRU) alimentou ainda mais as discussões. O vazamento de uma série de e-mails entre pesquisadores, alguns possivelmente tirados de contexto, levantam indícios de que parte da comunidade científica vem omitindo algumas informações importantes. Segundo Schiermeier (2010), que levantou a discussão em um artigo publicado na revista *Nature*, existe até mesmo um alto grau de incertezas quanto as previsões do clima no futuro. Por outro lado, também admite-se que os cenários construídos podem ser até mais graves.

Para o físico e climatologista brasileiro Luiz Carlos Mollion, um dos principais críticos da teoria do aquecimento global, há uma série de questões que precisam ser melhor discutidas. Questões que recaem até sobre a forma como os dados vêm sendo coletados e interpretados. O pesquisador também chama a atenção para os interesses político-econômicos por trás do “alarmismo” difundido pela mídia de massa. Para ele, a teoria do efeito estufa antrópico seria na verdade uma tentativa das superpotências globais de frear o desenvolvimento socioeconômico dos países considerados em desenvolvimento e obter lucro. Um bom exemplo disso seria o mercado do carbono, que chegou a movimentar bilhões de dólares antes do seu “desaquecimento”.

As mudanças e variações climáticas foram responsáveis pela ascensão e declínio de várias civilizações ao longo da história da Terra. Silva e Ribeiro (2012) em seu artigo, “Aquecimento ou resfriamento global? Um único problema de várias respostas”, chamam a atenção para as mudanças na fauna e na flora, assim como as dificuldades enfrentadas pelas civilizações antigas em decorrência das alterações climáticas. Na região do Saara, por exemplo, onde no passado houve prosperidade graças às inundações do Nilo, as amplitudes térmicas verificadas entre os períodos diurnos e noturnos passaram a tornar o ar ainda mais seco e muito quente, inibindo as precipitações pluviométricas. Como resultado desse fenômeno, a vegetação nativa foi desaparecendo de forma gradativa, contribuindo para a intensificação dos efeitos de erosão eólica e transporte de sedimentos.

Outra região que, de acordo com Silva e Ribeiro (2012), passou por grandes mudanças em função das variações climáticas é a da Groelândia. Entre 800 e 1200 d.C, extensas áreas do país eram cobertas por florestas densas, de terras férteis, onde a agricultura era bem desenvolvida e havia o estabelecimento de um comércio marítimo bem articulado. Com as mudanças de clima (glaciação), a paisagem existente foi totalmente modificada, onde hoje se verificam vastas áreas congeladas, que limitam diversas atividades humanas de outrora.

Essas evidências servem como base para entender a dinâmica do clima, assim como suas variabilidades e mudanças. Os pesquisadores favoráveis à teoria das mudanças climáticas naturais recorrem principalmente à reconstrução de cenários climáticos do passado para tentar traçar

prognósticos para o futuro. É importante ressaltar que o contexto atual (ação humana) não é desconsiderado, entretanto, os pesquisadores ressaltam que os impactos causados pelas ações antrópicas são mais perceptíveis em escala local, não interferindo na dinâmica climática global.

3.1. Variabilidade natural do clima

Os dados apresentados pelo IPCC, que mostram um aumento médio de 0,6°C na temperatura global do ar, não são totalmente contestados pelos cientistas que refutam a teoria do aquecimento antropogênico. Entretanto, os pesquisadores discordam de uma possível participação humana no aumento térmico verificado. Molion (2007), por meio da análise de um gráfico de temperatura (Figura 3) construído por Jones (1999), afirma que o incremento verificado desde 1850, em relação à média de 1961 – 1990, é resultante de uma variabilidade anual causada por fatores exclusivamente naturais, onde as atividades solares são postas como causa principal. Além disto, o pesquisador destaca que a elevação térmica não é considerada expressiva. De 1920 a 1946, o aumento verificado foi de 0,4°C. Já para a região Ártica, os resultados foram mais expressivos, entretanto, a análise geral dos dados apontou num sentido diferente do sugerido pelo IPCC, como pontua Molion (2007) no seguinte trecho:

No Ártico, por exemplo, em que há medições desde os anos 1880, o aumento foi cerca de 10 vezes maior nesse período, 2,7°C somente entre 1918 e 1938... Entre 1947 e 1976, houve um resfriamento de cerca de 0,2°C, não explicado pelo IPCC e, a partir de 1977, a temperatura média global aumentou cerca de 0,3°C. O próprio Painel concorda que o primeiro período de aquecimento, entre 1920 e 1946, pode ter tido causas naturais, possivelmente o aumento da produção de energia solar e a redução de albedo planetário... Antes do término da Segunda Guerra Mundial, as emissões decorrentes das ações antrópicas eram cerca de 10% das atuais e, portanto, torna-se difícil argumentar que os aumentos de temperatura, naquela época, tenham sido causados pela intensificação do efeito-estufa provocada pelo Homem.

Como observado, o autor põe em cheque a teoria da relação direta entre aumento da concentração de gases estufa e o incremento da temperatura média do ar para o período em questão e outros onde, de acordo com o IPCC, se verificou mudança no padrão térmico da terra.

Molion (2010) destaca que o aquecimento verificado a partir de 1977 não ocorreu em todas as regiões do globo terrestre. Nos Estados Unidos, por exemplo, as maiores temperaturas não foram registradas no período do segundo aquecimento, mas sim na década de 1930, considerada mais quente que a de 1990. De modo geral, verificou-se, a partir de imagens de satélite que na verdade houve pequenos aquecimentos de 0,076°C por década, fato atribuído a uma variabilidade anual natural.

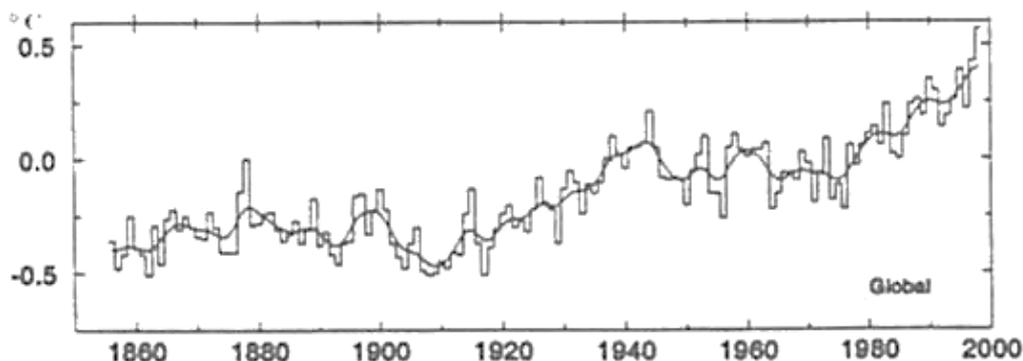


Figura 3. Desvios da temperatura média global com relação à média do período 1961-90

Fonte: Jones et al. (1999) citado por Molion (2010).

Sobre a coleta e tratamento dos dados climáticos, Molion destaca que a utilização de estações climatométricas pode comprometer a qualidade dos mesmos, visto que os equipamentos sofrem influência das alterações do microambiente em que estão inseridas. Outro grande problema apontado seria o tamanho da série histórica dos dados. Para estudos climáticos, recomenda-se a utilização de dados de séries longas, que possam revelar um determinado “padrão” no comportamento das variáveis climáticas. Não é o caso do que se dispõe atualmente para várias regiões do mundo. Apesar de ser ter verificado alguns avanços na aquisição de dados, as medições ainda são muito recentes para que se chegue a conclusões mais seguras (MOLION, 2008).

Outro que corrobora Molion, segundo Santos et al. (2010) é Manuel Alves (1998). Para o autor, algumas das afirmações relacionadas ao aquecimento antropogênico são precipitadas. Afirma ainda que variações da temperatura verificadas na década de 1980 existiram, mas é preciso ter cuidado para não incorrer no erro de atribuir o fato a uma possível alteração no clima global. O autor esclarece que o aquecimento ocorrido no referido período é explicado a partir da ocorrência de fatores naturais, onde o Sol e as massas oceânicas são figuram como variáveis determinantes para ocorrência da anomalia.

Outra evidência importante que reforça a teoria de variabilidade natural do clima foi encontrada por Jones et al. (1999). De acordo com os autores, os períodos de aquecimento verificados de 1925 – 1946 e 1977 – 1998 coincidem com as fases de Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), quando as águas estavam mais quentes, enquanto que o período de resfriamento (1947-1976), não explicado pelos pesquisadores ligados ao IPCC, corresponde à fase em que o Pacífico estava mais frio.

Outro ponto questionado é a participação humana no aumento da concentração de CO₂. Segundo Heib e Heib (2006), as variações na concentração de CO₂ decorrentes da queima de combustíveis fósseis, desmatamento e queimadas, não são significativas frente aos processos

naturais. Os maiores depósitos de carbono são os oceanos e os solos, onde o primeiro exerce maior influência, contribuindo com cerca de 95% do CO₂ emitido para a atmosfera.

3.2. Variabilidade da concentração de carbono

Apontado como principal vilão do aquecimento global, o CO₂ livre na atmosfera passou de 315 ppm em 1958 para 379 ppm em 2005, crescendo a uma taxa média de 0,4% por ano. A última estimativa feita para o ano de 2015, aponta que essa concentração ultrapassou 400 ppm, segundo dados de *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA, 2017). Mesmo com esse crescimento, estima-se que do total de gases que compõem a atmosfera, o CO₂ represente cerca de 0,035%. (MOLION, 2008).

Desde o período de formação da Terra, no pré-cambriano, cerca de 4,5 bilhões de anos atrás, a concentração de carbono na atmosfera variou significativamente. Este fato não é contestado por nenhuma das correntes teóricas a respeito das mudanças climáticas. A questão principal é se a temperatura média global de fato acompanhou o aumento ou declínio da concentração de CO₂. De acordo com os céticos, estudos em geleiras, rochas e oceanos, comprovam que não existe relação direta entre a elevação da concentração de CO₂ e o aumento da temperatura média do ar. Evans (2006) aponta que investigações realizadas no gelo antártico sugerem a passagem de cinco períodos interglaciais desde 450 mil anos atrás. Períodos em que a temperatura não variou de acordo com a concentração, positiva ou negativa, de carbono.

Estudos realizados a partir de amostras de gelo na Groelândia revelaram que o período de aquecimento verificado durante a Era Medieval (800 – 1000) foi muito semelhante ao verificado no século XX, que se estendeu de 1900 a 2010. Fato que não é explicado pelo IPCC. Os céticos atribuem o aquecimento verificado de 1976 a 2000 a intensificação das atividades solares (EVANS, 2006).

Silva e Paula (2012) analisaram um gráfico de correlação entre concentração de CO₂ e temperatura média global (Figura 4) que vai desde o Cambriano até o Cenozoico. A análise do gráfico revela que a concentração de CO₂ flutuou significativamente, atingindo 7000 ppm no Cambriano, ficando abaixo de 1000 ppm no final do Cenozoico. A partir da análise observa-se que a temperatura não tende a variar em função do aumento ou declínio da concentração de carbono, reforçando a tese de que o CO₂ não é capaz de controlar o clima global.

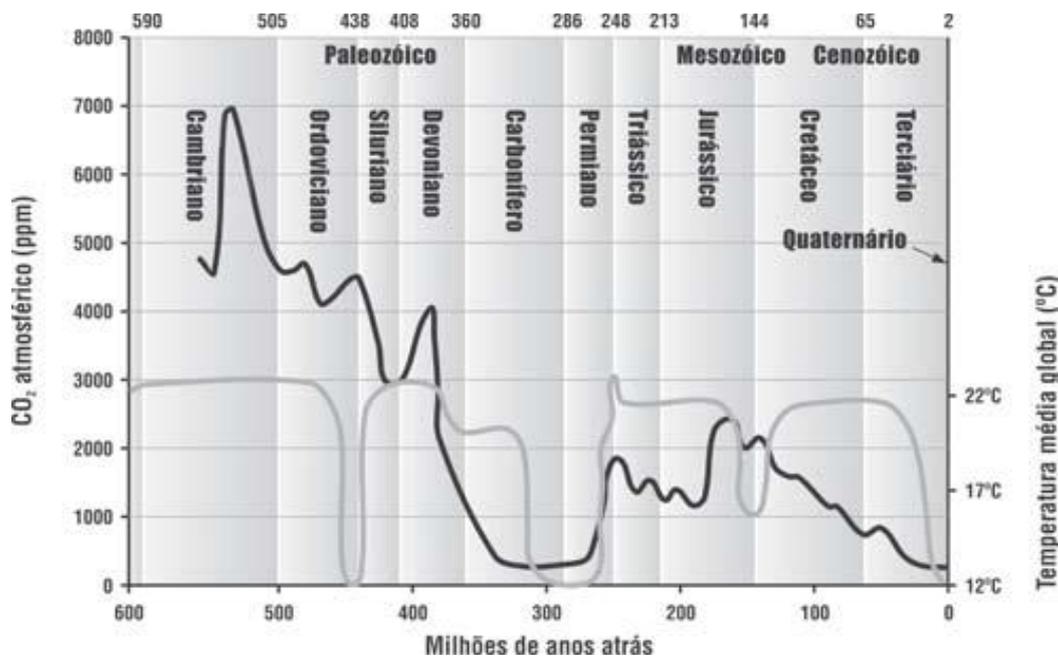


Figura 4: Variação da concentração de CO₂ atmosférico durante as eras geológicas

Fonte: Adaptado por Silva e Paula (2010).

4. AS LIMITAÇÕES DOS MODELOS CLIMÁTICOS

Outro ponto bastante criticado pelos céticos são as projeções realizadas por modelos climáticos, baseados em forçamentos controladores. O principal questionamento está relacionado ao pouco desenvolvimento dos modelos, que já têm apresentado erros significativos quando as simulações são comparadas com as observações atuais. De acordo com Molion (2007):

Todos os modelos concordam que os incrementos de temperatura serão maiores nas regiões polares que nas regiões equatoriais. Para o Ártico, os modelos previram incrementos superiores a 10°C... evidente que a média das anomalias de temperatura do ar, observadas para o setor Atlântico do Ártico a partir de 1880, apresentou um incremento superior a 3°C entre 1886-1938, quando a Humanidade consumia pouco combustíveis fósseis, seguido de um decréscimo superior a 2°C até o final da década de 1960. Ou seja, exatamente na região, onde os modelos preveem os maiores incrementos de temperatura, foi observado o oposto durante o período pós-guerra, quando crescimento industrial e, conseqüentemente, o consumo global de combustíveis fósseis, se acelerou! Não há dúvida que o desenvolvimento de modelos seja crítico para se adquirir habilidade futura de entender melhor ou mesmo prever o clima, mas há que se admitir que modelos atuais são representação ainda simples, grosseira, da complexa interação entre os processos físicos diretos (“forcings”) e de realimentação (“feedbacks”) que controlam o clima do globo. Modelos carecem de validação de seus resultados!

Ademais, o pesquisador acrescenta que os modelos apresentam grandes limitações na simulação do ciclo hidrológico, que exerce importante papel de regulação do sistema Terra-atmosfera. Por outro lado, é importante frisar que o mesmo não aponta alternativas que possam substituir ou até mesmo aperfeiçoar os modelos climáticos empregados.

Moura et al. (2010) chama atenção para a dificuldade que os modelos climáticos, enfrentam para simular os períodos de transição das estações do ano e a ocorrência de eventos climáticos extremos. Verifica-se que em situações de eventos extremos, os modelos tendem a subestimar ou superestimar a intensidade dos sistemas atuantes. Esse contexto revela que ainda existe uma série de lacunas que precisam ser preenchidas para que os modelos possam considerar amplamente os processos físicos que ocorrem no sistema terra-atmosfera-oceano. Diante da complexidade da questão, é imprescindível considerar que medidas adotadas com base em resultados obtidos a partir de modelagem climática podem não surtir o efeito esperado, podendo, em alguns casos, provocar prejuízos ambientais e socioeconômicos significativos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As evidências que remontam cenários de variações e mudanças climáticas no passado da Terra fortalecem a teoria de que o clima muda em decorrência de fatores físico-naturais. Entretanto, os resultados encontrados pelo corpo de cientistas ligados ao IPCC, referentes às mudanças no padrão de temperatura, relacionadas principalmente à remoção das florestas nativas (aumento da temperatura de superfície e do ar) sugerem que as mudanças climáticas causadas por ações antrópicas já são uma realidade. Ainda que haja uma discussão sobre o tema, não se pode desconsiderar os significativos impactos causados pelas atividades humanas sobre a natureza.

Sobre a capacidade do CO₂ controlar o clima global, como afirmam os adeptos da teoria do aquecimento global, a escassez de séries climáticas mais longas dificulta o desenvolvimento de estudos mais confiáveis que possam ratificar a referida ideia. Nesta perspectiva, as pesquisas devem avançar e estudos que possam contribuir para entendimento da complexidade do clima devem ser apoiados. Porém, é importante frisar que outras ações como a própria impermeabilização do solo são responsáveis pela mudança de clima em escala local e regional, problema já comprovado e discutido dentro de temas como ilhas de calor. Atrela-se a isso, também, a mudança no ciclo hidrológico em bacias hidrográfica, mecanismo de grande interferência no clima.

Opiniões contrárias aos possíveis efeitos das mudanças climáticas não podem deter o desenvolvimento de políticas de controle sobre as emissões de gases estufa e de desmatamento. O papel dos gestores públicos nesse aspecto é fundamental, principalmente no que concerne a adoção de medidas que promovam o desenvolvimento sustentável, visto que a pressão sobre a natureza tem produzido uma multiplicidade de problemas que recaem principalmente sobre a disponibilidade e distribuição de recursos fundamentais, como a água. Ações que visem a proteção dos sistemas naturais e socioeconômicos, como o investimento em tecnologias limpas, são fundamentais para

garantia da qualidade dos ambientes terrestres e aquáticos e devem ser postas em prática, em um amplo esforço entre nações, o mais rápido possível.

REFERÊNCIAS

ANDRÉ, I. R. N. Algumas considerações sobre mudanças climáticas e eventos atmosféricos severos recentes no Brasil. **Climatologia e estudos da paisagem**, 2006, 1(1/2): p1-9.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. (9ed.) Trad. Maria Juraci Zani dos Santos. Bertrand Brasil. Rio de Janeiro-Brasil, 2003, 332 p.

BATES, B. C. et al. **El Cambio Climático y el agua**. Secretaría de IIPCC: Ginebra, 2008.

CARVALHO, L. M. V. et al. The South Atlantic convergence zone: intensity, form, persistence, relationships with intraseasonal to interannual activity and Extreme Rainfall. **Journal of Climate**, n.17, p.88-108, 2004.

CARVALHO, L.M.V; JONES, C.; LIEBMANN, B. The South Atlantic convergence zone: Intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. **Journal of Climate**, v. 17, n. 1, p. 88-108, 2004.

CORDANI, U. G. **O planeta terra no tempo geológico**: tectônica de placas e mudanças climáticas. Anais Da 64a Reunião Anual Da SBPC – São Luís, MA – Julho/2012, 1–5.

CUNHA, L. V. R.; OLIVEIRA E. V. B. NUNES. “Impactos das alterações climáticas sobre os recursos hídricos de Portugal”, *Climate Change in Portugal, Scenarios, Impacts and Adaptation Measures*, Lisboa, 2002, p.13.

CROWLEY, T. J.; NORTH, G. R. Abrupt climate change and extinction events in Earth history. **Science**, v. 240, n. 4855, p. 996–1002, 1988.

Embrapa. **Aquecimento Global e a nova Geografia da Produção agrícola no Brasil**, 2008, p. 82.

EVANS R., Nine facts about climate change. Disponível em: <[http:// www.lavoisier.com.au /articles/greenhousescience/ climate-change/longversionfinal.pdf](http://www.lavoisier.com.au/articles/greenhousescience/climate-change/longversionfinal.pdf).> Acesso: 04 dez. 2014.

GALLANT, A.; KAROLY, D.; GLEASON, K. Consistent trends in modified climate extremes index in the U.S.A., Europe and Australia. **Journal of Climate**, n.27, p.1379 - 1394, 2014.

GROISMAN, P. Y.; KNIGHT, R. W.; EASTERLING, D. R.; KARL, T. R.; HEGERL, G. C.; RAZUVAEV, V. N Trends in Intense Precipitation in the Climate Record. **Journal of Climate**, v.18, p. 1326-1350, 2005.

- HIEB, M.; HIEB, H. Global warming: a chilling perspective. 2006. Disponível em: http://www.clearlight.com/~mhieb/WVFossils/ice_ages.html e http://www.clearlight.com/~mhieb/WVFossils/global_warming.html e <http://www.clearlight.com/~mhieb/WVFossils/GlobWarmTest/start.html>. Acesso em: 30 jan. 2007.
- IPCC, 2007, Climate Change 2007. The Physical Science Basis: contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp, doi:10.1017/CBO9781107415324.
- JOLY, Carlos Alfredo. Biodiversidade e mudanças climáticas: contexto evolutivo, histórico e político. **Ambiente & Sociedade**, v. 10, n. 1, p. 169-172, 2007.
- JONES, P.D.; NEW, M.; PARKER, D.E.; MARTIN, S.; RIGOR, I. G. Surface air temperature and its changes over the past 150 years. **Rev. Geophys.** 37, 1999, 173-199.
- JONES, P. G.; THORNTON; P. K. The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin America in 2055. **Global Environmental Change**, v.13, n.1, p. 51–59, 2003.
- KATES, R.W. Cautionary tales: adaptation and the global poor. **Clim. Change**, n.45, p.5-17, 2000.
- MA, Z. et al. Analysis of impacts of climate variability and human activity on streamflow for a river basin in arid region of northwest China. **Journal of Hydrology**, v. 352, n. 3, p. 239-249, 2008.
- MARENGO, J. A. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006.
- MARENGO. J. A. Future Change of Climate in South America in the Late 21st Century: the CREAS Project. **AGUAS Newsletter**, v.3, n.2, 2009.
- MARENGO, J. A., VALVERDE, M. C. Caracterização do clima no Século XX e Cenário de Mudanças de clima para o Brasil no Século XXI usando os modelos do IPCC-AR4. **Revista Multiciência**, n.8, p.6-28, 2007.
- MARENGO, J. A. et al. A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. **Revista USP**, n.106, p. 31–44, 2015.
- MARENGO, J. A. et al. **Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil**. Rio de Janeiro: FBDS, 2009.
- MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Texto, 2007.

- MEDEIROS, S. S.; CECÍLIO, R. A.; MELO JÚNIOR, J. C. F; SILVA JUNIOR, J. L. C. Estimativa e espacialização das temperaturas do ar mínimas, médias e máximas na Região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.2, p. 247-255, 2005.
- MOURA, R. G. de; HERDIES, D. L.; MENDES, D.; DAMIÃO, M. M. C. Avaliação do modelo regional ETA utilizando as análises do CPTEC e NCEP. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.1, p.47-53, 2010.
- MOLION, L. C. B. Desmistificando o aquecimento global. **Intergeo**, v. 5, p. 13-20, 2007.
- MOLION, C. B. Perspectivas climáticas para os próximos 20 anos. **Revista Brasileira de Climatologia**, n.12, 2008.
- NOAA. Global carbon dioxide concentrations surpass 400 parts per million for the first month since measurements began. Disponível em: <<http://research.noaa.gov/News/NewsArchive/LatestNews/TabId/684/ArtMID/1768/ArticleID/11153/Greenhouse-gas-benchmark-reached-.aspx>>. Acesso em: 30/05/2017.
- OLIVEIRA, D. L. Mercado de Carbono no Brasil. **Gestão & Tecnologia**, v.2, n.5, 2010.
- OLIVEIRA, M. et al. História geológica e Ciência do clima: métodos e origens do estudo dos ciclos climáticos na Terra. **Terrae**, v. 12, p. 3–26, 2015.
- OLESEN, J. E.; BINDI, M. Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. **European Journal of Agronomy**, v.16, n.4, p. 239-262, 2002.
- ORGANIZAÇÃO METEOROLÓGICA MUNDIAL. **Climatic Change**. Geneva: WMO, 1966. 80p.
- REGIÃO Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.2, p. 247-255, 2005.
- SANTOS, M. **A natureza do espaço**. 4.ed. São Paulo: EDUSP, 2006.
- SANTOS, A. M.; GALVÍNCIO, J. D.; MOURA, M. S. B. Os recursos hídricos e as mudanças climáticas: discursos, impactos e conflitos. **Revista Geográfica Venezuelana**, v.51, n.1, p.59–68, 2010.
- SANTOS, A. M.; GALVÍNCIO, J. D.; MOURA, M. S. B. Mudanças climáticas e o escoamento superficial na bacia hidrográfica do rio Goiana - Pernambuco - Brasil. **Investigaciones Geográficas, Boletín Del Instituto de Geografía**, n.81, p.51–65, 2013.
- SCHIERMEIER, Q. The real holes in climate science. **Nature**, v. 463, n. 7279, p. 284–287, 2010.
- SILVA, V.M.D.A.; RIBEIRO, V.H.D.A. Aquecimento ou resfriamento global? Um único problema de várias respostas. **POLÊMICA**, v. 11, n. 3, p. 425 - 438, 2012.
- SKANSI, M. et al. Warming and wetting signals emerging from analysis of changes in climate extreme indices over South America. **Global and Planetary Change**, v. 100, p. 295–307, 2013.

SURGIO, K. **Geologia do Quaternário e mudanças ambientais**: (passado, presente e futuro?). 2.ed. São Paulo: Comunicação das Artes Gráficas, 2007.

TABARI, H.; TALAEE, P. H. Temporal variability of precipitation over Iran: 1966-2005. **Journal of Hydrology**, v. 396, n. 3/4, p. 313-320, 2011.

TAVARES, A. C. Mudanças climáticas. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. 2.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p.49-88.

TEODORO, P. H. M.; TRINDADE, M. C. C. TRINDADE. Mudanças climáticas: algumas reflexões. **Revista Brasileira de Climatologia**, n.4, p.24-35, 2008.

Trabalho enviado em 15/03/2017

Trabalho aceito em 30/05/2017