Vulnerabilidade da mesorregião Norte de Minas Gerais face às mudanças climáticas

The vulnerability of the Northern Minas Gerais mesoregion in the face of climate change

Letícia Oliveira Freitas

Mestre em Geografia – Tratamento da Informação Espacial pela
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Brasil
leticia.of13@gmail.com

Tomás Calheiros

Mestre em Ciências Geofísicas
CE3C Centre for Ecology, Evolution and Environmental
Changes, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa,
1749-016 Lisboa, Portugal
tlmenezes@fc.ul.pt

Ruibran Januário dos Reis

Doutor em Geografia – Tratamento da Informação Espacial pela
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Brasil
ruibrandosreis.1@gmail.com

Resumo

As mudanças climáticas já são realidade e os relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) deixam claro que mudanças aceleradas vêm sendo observadas após a revolução industrial, em função de atividades antropogênicas. Variações climáticas significativas podem mudar as características físicas atuais, impor restrições de ocupações e impactar os setores ambiental, social e econômico. Com clima quente e seco, a mesorregião Norte de Minas Gerais se mostra frágil às mudanças climáticas. Importantes atividades econômicas como agricultura, pecuária, agroindústrias e usinas hidrelétricas estão relacionadas às condições climáticas. A ocupação por populações com perfil socioeconômico limitado coloca a mesorregião em situação de vulnerabilidade. Neste estudo são mostradas as projeções futuras de temperatura e precipitação, considerando um Modelo Climático Regional forçado por dois diferentes Modelos Climáticos Globais fornecidos pelo *Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment (CORDEX)*, para médio prazo (2041-2070) e longo prazo (2071-2100) em dois cenários climáticos *Representative Concentration Pathways (RCPs)*, assumindo maiores (RCP 8.5) ou menores (RCP 4.5) emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). Os modelos projetam aumento da temperatura em até 4°C a médio prazo e até 5°C a longo prazo, sendo mais intenso na primavera. Os modelos estimam secas no outono e inverno, chuvas de até 1000mm no verão e entre 400 e 800mm na primavera, com considerável variação espacial. Os efeitos dessas alterações são potenciais para atingirem os setores agropecuário, energético e industrial, a qualidade de vida e saúde das populações e a economia em nível regional. A implementação de medidas de mitigação e adaptação ao clima são desafiantes para populações com economias pouco desenvolvidas, como as do Norte de Minas.

Palavras-chave: Mudanças climáticas. Modelos climáticos regionais. Temperatura e precipitação. Vulnerabilidade. Mesorregião Norte de Minas Gerais.

Abstract

Climate change is already a reality, and the reports of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) make it clear that accelerated changes have been observed following the industrial revolution as a result of anthropogenic activities. Significant climatic variations can change current physical characteristics, impose technical constraints, and impact the environmental, social, and economic sectors. With a hot and dry climate, the northern mesoregion of Minas Gerais is fragile to climate change. Principal economic activities such as agriculture, livestock, agribusiness and hydroelectric plants are related to climatic conditions. The occupation by populations with a limited socioeconomic profile places the mesoregion in a situation of vulnerability. In this study the future projections of temperature and precipitation are shown, considering a Regional Climatic Model forced by two different Global Climate Models provided by the Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment (CORDEX), medium term (2041-2070) and long term (2071-2100) in two Representative Concentration Pathways (RCPs) climatic scenarios, assuming larger (RCP 8.5) or lower (RCP 4.5) greenhouse gas (GHG) emissions. The models project a temperature increase of up to 4°C in the medium term and up to 5°C in the long term, being more intense in the spring. The models estimate droughts in autumn and winter, rainfall up to 1000mm in summer and between 400 and 800mm in spring, with considerable spatial variation. The effects of these changes are potential to reach the agricultural, energy and industrial sectors, the quality of life and health of populations and the economy at the regional level. The implementation of climate mitigation and adaptation measures is challenging for populations with poor economies, such as those in Northern Minas.

Keywords: Climate change. Regional climate models. Temperature and precipitation. Vulnerability. Northern Meso-region of Minas Gerais.

1. INTRODUÇÃO

O clima é força dinâmica que transforma muitos aspectos do meio ambiente, podendo influenciar a configuração de regiões da terra, a estrutura do solo e a consequente produção agrícola, bem como as formas de vida que habitam determinada área (AMBRIZZI, 2014). O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), principal referência científica em relação ao tema, define mudança climática como a alteração no estado do clima devido a variabilidade natural ou decorrente da atividade humana, que pode ser identificada por mudanças na média e/ou na variação de suas propriedades e que persistem durante longo período de tempo (IPCC, 2007, 2014a).

Segundo Santos (2016) as causas das mudanças climáticas são associadas tanto a fatores naturais, como antropogênicos. Desde o início da revolução industrial e principalmente nas últimas décadas, tem sido observadas alterações no sistema climático, em função das emissões crescentes de Gases de Efeito Estufa (GEE) para a atmosfera, decorrentes de atividades antrópicas (SANTOS, 2006). A influência humana no sistema climático é clara e as recentes emissões antropogênicas dos gases são as mais altas da história (IPCC, 2014b). O principal constituinte dos GEE é o CO₂, proveniente da queima de combustíveis fósseis e matéria orgânica, bem como do desflorestamento (SANTOS, 2007).

As emissões antropogênicas de GEE são impulsionadas principalmente pelo crescimento populacional, atividades econômicas, estilo de vida, uso de energia, padrões de uso da terra, tecnologia e política climática (IPCC, 2014b). Como consequência do aumento da concentração de GEE na atmosfera, Klabin (2009) aponta que a elevação na temperatura média do planeta já é uma realidade. O IPCC (2014b) estima que para o final do século XXI (2081 – 2100) é provável que o aumento da temperatura exceda de 1,5 a 2°C nos cenários intermediários (RCP 4.5 e 6.0) e de altas emissões de GEE (RCP 8.5) em relação ao período de 1850-1900.

As estimativas de aumento da temperatura apontam para a provável ocorrência de ondas de calor mais frequentes e duradouras (IPCC, 2014b). Ainda conforme o IPCC (2014b) em regiões secas de latitudes médias e subtropicais, a precipitação média tende a diminuir, afetando a quantidade e qualidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. As mudanças na precipitação poderão proporcionar eventos extremos mais intensos e frequentes (IPCC, 2014b).

Os impactos estimados com as mudanças climáticas têm potencial para afetar os sistemas humanos e naturais, podendo repercutir na intensificação de problemas de saúde, comprometimento de atividades humanas, como agricultura e trabalho ao ar livre e deslocamento de populações (IPCC, 2014b). Cenários futuros de aumento da temperatura e estresse hídrico em determinadas regiões do Brasil, podem acarretar em queda da produtividade agrícola e afetar a segurança alimentar (NOBRE e MARENGO, 2017). Outros efeitos na agricultura e no setor energético comentados por Assad et al (2017) são de diminuição de áreas disponíveis, produtividade, mudanças no zoneamento de riscos, economia, doenças e insetos, qualidade e destruição de plantações e geração de energia.

A seca é a principal característica climática do semi-árido brasileiro, sendo considerada um dos estresses ambientais que mais afeta a produtividade das culturas (LIMA; ALVES, 2008). O Polígono das secas é a região semi-árida mais povoada do mundo, que enfrenta problemas críticos de falta de água e chuva abaixo de 800 mm por ano (MARENGO, 2008). O semi-árido apresenta uma curta e crucial estação chuvosa, além de ciclos de fortes estiagens e secas que costumam atingir a região em intervalos que variam de poucos anos a décadas, colocando a região em uma situação de vulnerabilidade frente às mudanças climáticas (MARENGO, 2008).

As projeções de clima futuro para o semi-árido brasileiro indicam riscos de secas intensas e reduções de chuvas em até 40%, além de aumento de temperatura em até 4 a 5°C, no cenário de maiores emissões de GEE, até o final do século XXI (MARENGO, 2008). Este autor destaca que o semi-árido submetido a um clima mais quente e seco pode se tornar uma região árida.

Sobre os eventos extremos de precipitação, os modelos globais do IPCC não têm mostrado simulações satisfatórias, uma vez que a estimativa de que estes poderão ser mais intensos e frequentes partem de análises de dados observados dos últimos 50 anos (MARENGO, 2006). Os impactos oriundos de eventos climáticos extremos como, por exemplo, ondas de calor e secas, indicam

significativa vulnerabilidade de alguns ecossistemas e de muitos sistemas humanos à variabilidade climática atual (IPCC, 2014a). A diminuição de chuvas e a consequente intensificação dos períodos secos podem demandar maior necessidade de irrigação das áreas agrícolas, aumentando a disputa pelos recursos hídricos, que por sua vez pode causar uma catástrofe social e econômica nos municípios (MARENGO, 2006):

Mudanças climáticas no Brasil ameaçam intensificar as dificuldades de acesso a água. A combinação de alterações do clima, na forma de falta de chuva ou pouca chuva acompanhada de altas temperaturas e altas taxas de evaporação e, com a competição por recursos hídricos, podem levar a uma crise potencialmente catastrófica, sendo os mais vulneráveis os agricultores pobres, como os agricultores de subsistência na área do semi-árido do Nordeste. Com um semi-árido mais árido e com maior frequência de secas, a base da sustentação para as atividades humanas diminuirá, sendo provável que aumente o deslocamento de população para as cidades ou para as áreas onde seja possível desenvolver a agricultura irrigada (MARENGO, 2008, p.154).

Ambrizzi (2014) aponta que o aquecimento da terra não tem sido uniforme ao longo do tempo e nem globalmente homogêneo, uma vez que as alterações climáticas não são sentidas na mesma medida, em todas as partes do planeta. Consequentemente, os riscos são distribuídos de forma desigual, sendo maiores para pessoas desfavorecidas (IPCC, 2014b). Assad et al (2017) reforçam que para grupos mais vulneráveis, mesmo pequenas mudanças no clima podem ter impactos desastrosos sobre suas vidas e seus meios de subsistência.

No enfrentamento às mudanças climáticas, são consideradas medidas de mitigação e adaptação. As primeiras visam reduzir as emissões de GEE para atmosfera. Já as medidas de adaptação estão relacionadas a um processo de resposta com o objetivo de minimizar os impactos negativos das mudanças climáticas nos setores social, econômico e biofísico (SANTOS, 2016). Ambas demandam custos elevados, de modo que uma mitigação imediata reduz a necessidade de custos futuros voltados para adaptação, mas implica em investimentos maiores a curto prazo. Em contrapartida, a ausência de mitigação aponta para custos mais elevados de adaptação, no futuro (SANTOS, 2016).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área de Estudo

A área de estudo corresponde à mesorregião Norte de Minas Gerais (Figura 1), outrora marcada por um vazio demográfico, populacional e civilizatório, devido ao atraso econômico, social, políticas públicas ineficazes e má governança (FRANÇA; SOARES, 2006). Em 1963, a mesorregião passou a integrar a área do semi-árido brasileiro, também conhecido como “Polígono das Secas”, estando desde então, sob a jurisdição da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste

(SUDENE) (MOREIRA, 2010). Este autor explica que a superintendência fez tal inclusão, uma vez que reconheceu aspectos físico-climáticos similares ao do semi-árido nordestino. Neste contexto, a região começou a desenvolver grandes projetos agropecuários, envolvendo agroindústrias e indústrias extrativistas, oportunizados pela SUDENE (FRANÇA; SOARES, 2006).

Figura 1 - Localização da mesorregião Norte de Minas Gerais

Fonte: IBGE, 2018.

A mesorregião é composta por 89 municípios, em 2010, a população total atingiu 1.601.412 habitantes distribuídos em 128.454,108 km², totalizando em 12,46 habitantes por km² (IBGE, 2010). Em 2018, a estimativa populacional foi de 1.703.128 habitantes, superando em 6% a população registrada em 2010 (IBGE, 2018).

Quase 60% dos municípios da mesorregião apresentam populações com menos de 10 mil habitantes (IBGE, 2018). O setor de serviços, o maior componente do Produto Interno Bruto (PIB) é responsável por 45% do Valor Adicionado Bruto (VAB) da mesorregião, entretanto, é o principal pilar econômico em menos de 15% dos municípios (IBGE, 2015). Quase 80% dos municípios tem suas economias apoiadas em atividades de administração, defesa, saúde e educação públicas e seguridade social (IBGE, 2015). A agricultura familiar, por sua vez, é praticada em 85% dos estabelecimentos agropecuários e correspondem a 30% das áreas agropecuárias (IBGE, 2006). Estes dados permitem inferir que em linhas gerais a mesorregião é caracterizada por municípios de pequeno porte, com existência de agricultores familiares, economias pouco desenvolvidas, ao ponto de existir forte dependência da administração pública e concentração de riqueza em poucos municípios.

A mesorregião Norte de Minas Gerais se mostra vulnerável frente às mudanças climáticas. As populações se encontram expostas a um ambiente com características físicas insalubres que envolvem

clima seco, temperaturas elevadas e pouca disponibilidade de água. As economias municipais são pouco dinâmicas, muitas vezes relacionadas às atividades agrárias. E o perfil socioeconômico da maior parte das populações é limitado frente aos recursos e alternativas de mitigação e adaptação às novas condições de clima.

2.2. Metodologia

Com o objetivo de modelar cenários futuros climáticos para a mesorregião Norte de Minas Gerais¹, foram utilizados dados diários de temperatura média e precipitação acumulada disponíveis no projeto *Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment* (CORDEX). Estes foram gerados por meio de um Modelo Climático Regional (RCM) o RCA4, com resolução espacial de 50km, que foi “forçado” por meio da técnica de *downscaling* dinâmico² por dois Modelos Climáticos Globais (GCM), o SAM-44_ICHEC-EC-EARTH (Modelo 1) e SAM-44_MPI-M-MPI-ESM-LR (Modelo 2).

Os dados foram extraídos considerando dois cenários de emissões de GEE, o *Representative Concentration Pathways* (RCP) 4.5 (menores emissões) e o RCP 8.5 (maiores emissões). O cenário RCP 4.5 indica uma estabilização da força radiativa em 4,5 W/m² antes do final do século XXI e o cenário RCP 8.5 corresponde estabilização de 8.5 W/m² em 2100 (IPCC, 2014b).

Os dados correspondem a três períodos de tempo, rodada histórica (1976 a 2005), projeção a médio prazo (2041 a 2070) e projeção a longo prazo (2071 a 2100). Cada período de tempo compreende um intervalo de 30 anos, sendo o usual em estudos de clima.

A partir da coleta dos dados de interesse (referentes a um retângulo de delimitação da mesorregião Norte de Minas Gerais), foram realizados os cálculos por programação computacional do tratamento estatístico dos dados diários de precipitação e temperatura média, considerando cada período de tempo e cada cenário de emissões de GEE. Na sequência foram calculadas as médias climáticas mensais e sazonais. Todas as operações de programação foram realizadas em ambiente MATLAB®³

Para definição da sazonalidade considerou-se a seguinte distribuição: verão (janeiro – fevereiro – março), outono (abril – maio – junho), inverno (julho – agosto – setembro) e primavera

¹ Estes cenários futuros climáticos correspondem aos resultados da dissertação de mestrado da primeira autora, apresentada em 2017 no Programa de Pós-Graduação em Geografia – Tratamento da Informação Espacial da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

²“Downscaling” é um conceito geral que abrange vários métodos para aumentar a resolução espacial e reduzir alguns dos vieses, a fim de melhorar a usabilidade dos cenários climáticos. O downscaling dinâmico faz uso de um modelo climático regional (RCM) com maior resolução espacial (normalmente de 10 a 50 km) em uma área limitada e “alimentado com tempo em grande escala” do GCM nos limites do domínio. Um modelo climático regional é conceitualmente semelhante a um modelo climático global; ambos se concentram nos processos dinâmicos e físicos que governam o clima e, portanto, o clima e os processos físicos básicos são os mesmos, embora as parametrizações difiram por causa da resolução diferente, e as abordagens numéricas para resolver as equações são semelhantes (INFRASTRUCTURE..., 2019).

³ As operações em MATLAB® foram realizadas por meio da licença disponível na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL).

(outubro – novembro – dezembro). Essa distribuição foi escolhida por abranger o maior número de dias com características climáticas de cada estação.

Para avaliar os cenários projetados pelos Modelos Climáticos, os dados modelados da rodada histórica (1976 – 2005) foram comparados com dados observados nas estações convencionais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), do mesmo período.

Foram selecionadas as estações convencionais do INMET que dispunham de monitoramento por período de 30 anos ou mais. Entretanto, ao longo do período de monitoramento, foram identificadas algumas interrupções ou ausência do registro de dados. Para preencher essas lacunas, foram utilizados dados de precipitação das Normais Climatológicas (NA), calculadas pelo próprio INMET e divulgadas por Reis, Guimarães e Landau (2012) e NA de temperatura, obtidas junto ao INMET. Desta forma, foram selecionadas 08 estações que correspondem aos municípios de Arinos, Espinosa, Janaúba, Januária, Monte Azul, Montes Claros, Pirapora e Salinas (Figura 2). A estação de Arinos não se localiza na mesorregião Norte de Minas Gerais, no entanto, foi considerada a fim de preencher um vazio de estações na porção oeste da mesorregião. Ressalta-se ainda, que esta estação está contida na área do retângulo de delimitação da mesorregião, utilizado para modelagem da área de interesse.

Figura 2 - Distribuição das estações climatológicas INMET em relação a mesorregião Norte de Minas Gerais
Fonte: IBGE, 2018 e INMET, 2016.

Para cada estação climatológica, foram comparados os dados observados com os modelados da rodada histórica, considerando os pontos mais próximos de cada estação. A comparação considerou cada modelo regional e os parâmetros de precipitação e temperatura média. Para

precipitação, foram utilizadas as médias dos acumulados mensais dos 30 anos de análise. E para temperatura média, considerou-se as médias mensais do período.

Para evidenciar as mudanças climáticas modeladas para o futuro, foram calculadas as anomalias de precipitação e temperatura. Ramos et al. (2008) consideram anomalia climática, como a flutuação extrema de um elemento em uma série climatológica com desvios acentuados do padrão observado da variabilidade. Salazar, Nobre e Oyama (2007) afirmam que as anomalias correspondem as diferenças entre a simulação (cenário futuro) e o controle (clima atual dos modelos), chamados neste estudo de rodadas históricas. Essas diferenças também foram calculadas com o uso de técnicas de programação no *software* MATLAB®. Para calculá-las, considerou-se a diferença entre os dados modelados para cada intervalo de tempo futuro (médio e longo prazo) e os dados modelados para a rodada histórica.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Avaliação dos modelos para temperatura média

Na comparação dos dados modelados para a rodada histórica (1976 – 2005) com os dados observados nas estações do INMET no mesmo período, observa-se que em termos de temperatura média, os modelos simulam valores abaixo dos que ocorreram de fato, sendo observadas diferenças variadas na análise de cada estação climática. Entretanto, os modelos e os dados observados apresentaram uma mesma tendência de temperaturas mais elevadas no verão e primavera e temperaturas menores nos meses de junho a agosto. Os meses em que os valores modelados e os observados se apresentaram mais próximos foram setembro, outubro e novembro. A Figura 3 mostra a comparação da modelagem dos dados para a rodada histórica com os observados em cada estação do INMET.

Durante o verão, outono e inverno, o Modelo 1 (SAM-44_ICHEC-EC-EARTH) estimou temperaturas cerca de 4,5°C menores que os valores observados. Na primavera, essa diferença foi menor, sendo de cerca de 3°C. Na estação de Arinos, foram observadas as maiores diferenças entre dados modelados e observados, atingindo o ponto mais crítico no mês de maio, quando o Modelo 1 estimou temperatura 8°C abaixo do valor observado. Em contrapartida, na estação de Salinas, foram observadas as menores diferenças entre dados modelados e observados. O Modelo 1 simulou valores cerca de 2°C abaixo do observado, sendo que em outubro e novembro, essa diferença foi inferior a 1°C.

Figura 3 - Temperatura média mensal – Comparação entre as rodadas históricas dos modelos e os dados observados nas estações do INMET (1976 – 2005) **Fonte:** CORDEX..., 2016; INMET, 2016.

O Modelo 2 (SAM-44_MPI-M-MPI-ESM-LR) estimou temperaturas cerca de 3°C menores que as observadas nas estações convencionais do INMET, durante o verão, outono e inverno. Na primavera, essa diferença foi menor, sendo de 2°C abaixo dos valores observados. Na estação de Arinos, também foram observadas as maiores diferenças entre dados modelados e observados, sendo o ápice de 6°C de diferença nos meses de maio e agosto. No extremo oposto, na estação de Salinas, observou-se diferença de 2°C nos seis primeiros meses do ano e de menos de 1°C no segundo semestre.

Nota-se que os modelos apresentaram valores próximos um do outro, sendo o Modelo 1, com temperaturas cerca de 1°C abaixo do Modelo 2 e consequentemente, com valores mais distantes dos observados.

3.2. Avaliação dos modelos para precipitação acumulada

Sobre a precipitação, os modelos simulam valores muito próximos, sendo o Modelo 1 (SAM-44_ICHEC-EC-EARTH) com valores entre 30 e 50 mm inferiores ao Modelo 2 (SAM-44_MPI-M-MPI-ESM-LR) durante os meses de janeiro, fevereiro, novembro e dezembro. Os volumes de chuva modelados foram superiores aos observados nas estações do INMET, durante o verão e primavera. No outono e inverno, as diferenças foram menores (Figura 4).

No verão, o Modelo 1 (SAM-44_ICHEC-EC-EARTH) superestimou volumes de chuvas em mais de 100 mm em relação aos valores observados nas estações do INMET, no mesmo período. A diferença mais extrema ocorreu no mês de fevereiro, na estação de Espinosa, quando foi estimada precipitação média mensal de 335 mm, comparados a 80 mm observados na estação do INMET. Por outro lado, observaram-se algumas simulações próximas dos dados observados, como em Montes Claros, que em janeiro e março, o Modelo 1 superestimou a precipitação em apenas 32 e 18 mm, respectivamente. Em Arinos, no mês de janeiro, a precipitação modelada foi de apenas 10 mm acima do volume observado na estação do INMET.

No outono e inverno, as diferenças entre os volumes simulados pelo Modelo 1 e os observados, foram insignificantes em alguns meses e locais. As maiores diferenças ocorreram no mês de setembro, quando foram modeladas precipitações entre 5 e 19 mm abaixo das observadas.

Na primavera, as menores diferenças entre dados modelados e observados, foram de até 13 mm, constatadas no mês de outubro, em Arinos, Espinosa, Janaúba e Monte Azul. As maiores diferenças atingiram 128 mm ao mês e ocorreram principalmente, em novembro e dezembro, nas estações de Pirapora, Montes Claros e Espinosa.

Figura 4 - Precipitação acumulada mensal – Comparação entre as rodadas históricas dos modelos e os dados observados nas estações do INMET (1976 – 2005)

Fonte: CORDEX..., 2016; INMET, 2016.

O Modelo 2 (SAM-44_MPI-M-MPI-ESM-LR) simulou para o verão valores de precipitação muito superiores aos observados pelo INMET, sendo a diferença acima de 200 mm em Espinosa, Januária, Monte Azul e Salinas. No outono e inverno, as projeções foram muito próximas dos valores observados. Na primavera as diferenças foram moderadas, em Arinos, Janaúba e Januária, os valores modelados e observados foram bem próximos. Enquanto que em Montes Claros e Pirapora, o Modelo 2 subestimou os valores médios de precipitação e em Espinosa, Monte Azul e Salinas, constatou-se superestimação dos volumes modelados.

Em suma, pode-se dizer que os modelos analisados apresentam valores mais confiáveis para as estações de outono e inverno. A variação da precipitação no espaço e no tempo dificulta as previsões numéricas, principalmente nas estações chuvosas (verão e primavera), quando são comuns a ocorrência de eventos extremos de chuvas. Desta forma, torna-se complexo identificar uma tendência clara da distribuição da precipitação no tempo e espaço.

3.3. Cenários futuros de temperatura média

As projeções futuras (Figura 5 e Figura 6) apontam para o aumento da temperatura ao longo do tempo. Os cenários mais extremos são o RCP 4.5 (menores emissões) do Modelo 1 e o RCP 8.5 (maiores emissões) do Modelo 2. Todos os cenários projetam temperaturas menores para a faixa que se estende longitudinalmente de sul para sudeste da mesorregião.

A médio prazo (2041 – 2070), para o verão, o Modelo 1 no cenário RCP 4.5 mostra predominância de temperatura entre 22 e 23°C e no cenário RCP 8.5 do modelo 2 as temperaturas ultrapassam 25°C. Os valores mais elevados são projetados para áreas entre Januária e Arinos, cujas temperaturas atingem 24°C no cenário RCP 4.5 do Modelo 1 e 26°C no RCP 8.5 do Modelo 2.

Para o outono, nos cenários RCP 4.5 de ambos modelos e RCP 8.5 do Modelo 1, predominam 19°C na faixa de sul a sudeste. Na porção oeste da mesorregião a temperatura varia entre 21 e 24°C. Já no cenário RCP 8.5 do Modelo 2, a faixa de sul a sudeste com temperaturas menores se mostra mais estreita, com variação entre 19 e 23°C, enquanto que na porção oeste a temperatura atinge 27°C.

No inverno, o Modelo 1 mostra temperaturas entre 18 e 23°C no cenário RCP 4.5 e o Modelo 2 mostra valores de até 26°C no cenário RCP 8.5. Na primavera, predominam valores entre 22 e 25°C no cenário RCP 4.5 do Modelo 1 e até 30°C no cenário RCP 8.5 do Modelo 2.

Figura 5 - Modelagem futura de temperatura a médio prazo (2041 – 2070)**Fonte:** CORDEX..., 2016; IBGE, 2010; INMET, 2016.

Figura 6 - Modelagem futura de temperatura a longo prazo (2071 – 2100)
Fonte: CORDEX..., 2016; IBGE, 2010; INMET, 2016.

A longo prazo (2071 – 2100), para o verão, o Modelo 1 projeta temperaturas entre 23 e 26°C no cenário RCP 4.5 e o Modelo 2, em seu cenário RCP 8.5, as temperaturas atingem 27 °C. No outono, o Modelo 1 mostra temperaturas mais amenas, entre 18 e 22°C no cenário RCP 4.5 e o Modelo 2 apresenta valores de até 26°C no cenário RCP 8.5. No inverno, o Modelo 1 mostra temperaturas entre 18 e 23°C no cenário RCP 4.5, enquanto o Modelo 2 estima valores que atingem 26°C em seu cenário RCP 8.5. Na primavera, o cenário RCP 4.5 do Modelo 1 projeta temperatura predominante de 25°C e o cenário RCP 8.5 do Modelo 2 mostra valores que ultrapassam 30°C nas porções oeste e norte da mesorregião.

Em suma, a médio prazo, os modelos projetam anomalias, entre 1 e 3°C para o verão, outono e inverno, considerando todos os cenários de emissões de GEE. Para a primavera, estima-se um aumento maior, na ordem de 1,5 a 4°C. A longo prazo, os modelos mostram anomalias maiores, com aumento estimado entre 1,5 a 4°C no verão, outono e inverno, e de 2 a 5°C na primavera.

A comparação entre os dados modelados para a rodada histórica e os observados nas estações do INMET, revelou que os primeiros simularam temperaturas inferiores aos dados observados. Portanto, ao considerar que as modelagens futuras podem também apresentar esta tendência, é possível apontar que as temperaturas a médio e longo prazo sejam ainda mais elevadas que as modeladas nos diferentes cenários futuros.

3.4. Cenários futuros para precipitação acumulada

Sobre a precipitação, os modelos projetam cenários secos para o outono e inverno e cenários chuvosos para a primavera e principalmente, para o verão, tanto a médio, quanto longo prazo (Figura 7 e Figura 8).

Para o verão os modelos projetam volumes entre 700 e 1000 mm, a médio (2041 – 2070) e longo prazo (2071 – 2100), considerando todos os cenários de emissões de GEE. A principal diferença é que a longo prazo, os modelos apontam áreas mais extensas com precipitação de 1000 mm.

No outono, os dados modelados variam entre 50 e 200 mm, para maior parte da mesorregião, a médio prazo, considerando todos os cenários de emissões. Nos cenários RCP 8.5, no extremo noroeste da mesorregião há projeções que atingem 500 mm. A longo prazo, observam-se áreas consideráveis sem ocorrência de chuvas.

No inverno, os modelos projetam a médio prazo, um período seco, com ausência de chuvas em áreas específicas ou volumes que não ultrapassam 70 mm. As áreas com mais chuvas correspondem a uma faixa estreita de leste a nordeste, cujos valores atingem 600 mm nos cenários de cada modelo. O cenário menos seco é o RCP 4.5 do Modelo 2. A longo prazo, predomina ausência de chuvas em praticamente toda a mesorregião e em todos os cenários.

**PRECIPITAÇÃO ACUMULADA
MÉDIAS CLIMÁTICAS SAZONAIS
PROJEÇÃO A MÉDIO PRAZO (2041 - 2070)**

Modelo 1: SAM-44_ICHEC-EC-EARTH

Modelo 2: SAM-44_MPI-M-MPI-ESM-LR

Cenário (RCP 4.5)

Cenário (RCP 8.5)

Cenário (RCP 4.5)

Cenário (RCP 8.5)

VERÃO

OUTONO

INVERNO

PRIMAVERA

Sistema de Projeção: GCS SIRGAS 2000

Fonte: CORDEX, IBGE e INMET.

Elaboração: Letícia Oliveira Freitas.

Figura 7 - Modelagem futura de precipitação a médio prazo (2041 – 2070)

Fonte: CORDEX..., 2016; IBGE, 2010; INMET, 2016.

Figura 8 - Modelagem futura de precipitação a longo prazo (2071 – 2100)
Fonte: CORDEX..., 2016; IBGE, 2010; INMET, 2016.

Na primavera, os modelos projetam chuvas de 300 a 700 mm nas porções central, leste e nordeste da mesorregião e de 100 a 300 mm entre Janaúba e Espinosa, tanto a médio, quanto longo prazo. Nas porções oeste e norte, os valores modelados a médio e longo prazo são de 600 a 1000 mm. A diferença é que a longo prazo observam-se mais áreas com projeções de 1000 mm.

Comparando os dados modelados a médio e longo prazo com os da rodada histórica, nota-se que as maiores mudanças são projetadas para a estação de verão, cujas anomalias atingem 300 mm. No outono e inverno não há mudanças significativas, sendo observada a permanência de períodos secos, principalmente nos cenários a longo prazo. E na primavera, as modelagens mostram anomalias entre 50 e 200 mm a mais de chuvas, nos dois períodos futuros.

As modelagens da rodada histórica apresentaram valores de precipitação no verão e primavera superiores aos dados observados em quase todas as estações do INMET. Isso indica que essa superestimação também pode ocorrer nas modelagens futuras, podendo resultar em cenários de médio e longo prazos com menores volumes de chuvas no verão e primavera.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os modelos projetam aumento da temperatura gradativo ao longo dos anos, sendo mais intenso na primavera. Na análise espacial, observa-se que as temperaturas mais elevadas são para as porções oeste, norte e central da mesorregião Norte de Minas Gerais. Em termos de precipitação, os modelos apresentaram períodos secos para o outono e inverno, com maior intensidade nos cenários a longo prazo, chuvas com muita variação espacial na primavera e volumes maiores no verão.

Até o final do século XXI, a tendência aponta para um clima mais seco e com temperaturas mais elevadas. Esse panorama indica uma aridificação de um clima já semi-árido. A falta de chuva ou volumes inexpressivos no outono e inverno sugerem a continuidade e até intensificação de períodos de seca. A pouca tendência observada nas modelagens de precipitação na primavera sugere a possibilidade de eventos extremos de chuvas. Cenários com volumes mais expressivos de chuvas concentrados no verão, reforçam o fato do período chuvoso ser curto e, portanto, crucial para o Norte de Minas.

Com um clima mais árido, o ambiente pode se tornar restrito para diversas formas de ocupação. Em municípios com economias pouco dinâmicas, impactos nas características físicas do ambiente são potenciais para provocar crises econômicas no cenário regional.

Estes impactos acarretam em alterações do ar, água e solo, podendo repercutir diretamente nas atividades agrárias e do setor energético. Diminuição de áreas agricultáveis, de água para desempenho das lavouras e dessedentação de animais são alguns dos efeitos esperados para a mesorregião Norte de Minas Gerais. As restrições impostas às atividades agropecuárias podem

provocar aumento dos preços dos produtos alimentícios e em um cenário mais crítico, colocar em risco a segurança alimentar.

A diminuição hídrica atinge também o setor energético. Menos água disponível para a operação de hidrelétricas pode comprometer a atividade na região, provocar racionamento e encarecer o acesso à energia elétrica. Empreendimentos agroindustriais também são afetados com os impactos no setor energético.

As populações também sofrerão com as mudanças de clima esperadas para o futuro. O calor excessivo combinado com a possível escassez de água pode gerar não só desconforto e estresse físico, como acentuar as doenças respiratórias e transmitidas por insetos e parasitas.

Os impactos negativos nos setores agropecuário e industrial afetam diretamente a economia da mesorregião e principalmente, das populações menos desenvolvidas. O fato que agrava a situação é o perfil socioeconômico limitado da maioria dos municípios do Norte de Minas. Tratam-se de populações com poucas condições de investir em medidas de mitigação e adaptação ao clima.

Neste contexto, considera-se a possibilidade de expulsão de populações para outras áreas menos insalubres. A tendência é que as populações procurem grandes centros urbanos, onde existam mais infraestrutura e menor dependência de atividades agrárias. Já as populações que não possuem condições de migrar, poderão vivenciar maior risco à saúde e pobreza.

O maior desafio é conciliar os custos de medidas de enfrentamento ao clima com as condições socioeconômicas das populações do Norte de Minas. Um caminho a ser percorrido é pensar em formas de enfrentamento coletivas, passíveis de serem incorporadas no âmbito regional, de modo que haja integração dos municípios mais desenvolvidos com aqueles mais vulneráveis.

É interessante pensar nos investimentos em Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal (REDD), em busca da manutenção dos níveis de captação de carbono e das compensações pelos esforços, que poderão ser reinvestidas em outras medidas de enfrentamento.

No setor energético, torna-se necessário diversificar as fontes geradoras e favorecer fontes renováveis. A radiação solar abundante o ano todo no Norte de Minas favorece a adoção da energia solar. Outro aspecto que contribui para a viabilidade desta energia, é que ela já se apresenta com custos reduzidos e competitivos no mercado.

As medidas de adaptação também são indispensáveis, como implementar modelos mais sustentáveis de agricultura, envolvendo novos cenários de aptidão agrícola, escolha por lavouras mais tolerantes a temperaturas elevadas e pouca água, cultivos sob sombrios, onde cria-se um microclima com temperaturas mais amenas, migração de lavouras, rodízio das terras com a finalidade de exaurir menos o solo, controle de irrigação, dentre outros.

Em suma, é preciso unir esforços e efetivar formas de enfrentamento ao clima em caráter de urgência. As mudanças climáticas já são realidade e seus efeitos cada vez mais catastróficos.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoa de Nível Superior (CAPES) pelo fomento de bolsa de mestrado (nº de processo 1482169) a primeira autora deste artigo.

Aos pesquisadores doutores Filipe Duarte Branco da Silva Santos e Sílvia Carvalho do *Climate Change Impacts, Adaptation and Modelling – CCIAM*, do grupo de investigação CE3C da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa – FCUL pela oportunidade e suporte no processo metodológico deste estudo.

E ao Luiz Salvador pelo incentivo, estímulo e contribuições neste processo.

REFERÊNCIAS

AMBRIZZI, T. Variabilidade e mudança no clima: passado, presente e futuro. In: CORTESE, T.T. P.; NATALINI, G. (Org.). **Mudanças climáticas: do global ao local**. Barueri: Manole. Cap. 1, p. 1-38, , 2014. (Série Sustentabilidade).

ASSAD, E. D.; RODRIGUES, R. A.; MAIA, S.; COSTA, L. C.; Segurança Alimentar. In: NOBRE, Carlos, MARENGO, José Antônio. **Mudanças Climáticas em Rede Um Olhar Interdisciplinar: Contribuições do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas**, Bauru, SP: Canal 6 Editora, 2017. Cap. 2, p.97-124.

CORDEX at CEDA. [S.l.]: CORDEX, 2016. Disponível em: <<https://esgf-index1.ceda.ac.uk/search/cordex-ceda/>>. Acesso em 04 mar. 2016.

ESTAÇÕES convencionais: Estação Meteorológica de Observação de Superfície Convencional. Brasília: INMET, 2015. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesConvencionais>>. Acesso em 11 nov. 2015.

FRANÇA, I. S. de; SOARES, B. R. O sertão norte mineiro e suas transformações recentes. In: ENCONTRO DE GRUPOS DE PESQUISA 2., 2006, Uberlândia. **Anais...**Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2006. p. 1-15.

FREITAS, L. O. **Mudanças Climáticas: Cenários futuros climáticos para a mesorregião Norte de Minas Gerais**. 2017. 169 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia – Tratamento da Informação Espacial, Pontifícia Universidade de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

INFRASTRUCTURE FOR THE EUROPEAN NETWORK FOR EARTH SYSTEM MODELLING. Exploring climate model data. Disponível em <https://climate4impact.eu/impactportal/downscaling/downscaling_does.jsp?q=Downscaling>. Acesso em: Jan. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário. 2006**. Brasília: IBGE, 2010. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/municipio/pesquisa/24/76693?ano=2006>>. Acesso em: 10 dez. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico. 2010**. Brasília: IBGE, 2010. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php?lang=>>>. Acesso em: 25 mar. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades: Estimativa da População. 2018.** Brasília: IBGE, 2010. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php?lang=>>. Acesso em: 05 dez. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades: Produto Interno Bruto. 2018.** Brasília: IBGE, 2010. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>>. Acesso em: 25 nov. 2018.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2007 Mitigation of climate change.** Cambridge: Cambridge University Press, 2007. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/contents.html>. Acesso em: 22 Out. 2016.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Summary for Policymakers.** WGII. Cambridge, United Kingdom e New York, United States: IPCC, p.34, 2014 a.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2014: Synthesis Report.** Geneva, Switzerland: IPCC, p.151, 2014 b.

KLABIN, I. Prefacio. In: FUNDAÇÃO BRASILEIRA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Mudanças Climáticas e Eventos Extremos no Brasil.** Rio de Janeiro: FBDS, 2009. p. 2.

LIMA, M. A.; ALVES, B.J.R. Vulnerabilidades, impactos e adaptação à mudança do clima no setor agropecuário e solos agrícolas. **Parcerias Estratégicas**, Brasília (DF), n. 27, p. 73-112, dez. 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: Biodiversidade, n. 26. 2006.

MARENGO, J.A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil. **Parcerias Estratégicas**, Brasília (DF), n. 27, p. 149-176, dez. 2008.

MOREIRA, H. F. **Se for Morrer de Fome eu Prefiro Morrer de Tiro:** O Norte de Minas e a formação de lideranças rurais. 2010 139f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação de Ciências Sociais em Desenvolvimento, Agricultura e Sociedade, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

NOBRE, C., MARENGO, J.A. Introdução. In: **Mudanças Climáticas em Rede Um Olhar Interdisciplinar: Contribuições do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas**, Bauru, SP: Canal 6 Editora, 2017. Introdução, p.15-64.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA (IPCC). **Mudança do clima 2007: a base das ciências físicas:** Contribuição do Grupo de Trabalho I ao Quarto Relatório de avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima: Sumário para os formuladores de políticas. Genebra: OMM/PNUMA, 2007.

RAMOS, M. A. B.; VIANA, S.; ESPÍRITO SANTO, E. B. Mudanças Climáticas. In: SILVA, Cássio Roberto da. (Org.) **Geodiversidade do Brasil: Conhecer o passado para entender o presente e prever o futuro.** Rio de Janeiro: CPRM, 2008. Cap. 11, p 163-174.

REIS, R. J.; GUIMARÃES, D. P.; LANDAU, E.C. Chuvas em Minas Gerais. Belo Horizonte: Editora PUC MINAS, 2012.

SALAZAR L.; NOBRE C.; OYAMA M. **Consequências das mudanças climáticas nos biomas da América do Sul**. [S.l.]: CEBMET, 2007. Disponível em: < <http://www.cbmet.com/cbm-files/14-47c009e61eb80cd2dff9420551dd1a57.pdf>>. Acesso em: 20 jul. 2016.

SANTOS, F.D. A Física das Alterações Climáticas. **Gazeta de Física**, Lisboa (PT), n. 30, p. 48-57, jan. 2007.

SANTOS, F.D. **Alterações Climáticas**: situação actual e cenários futuros. [S.l.]: Ciência Viva, 2016. Disponível em: <<http://www.cienciaviva.pt/img/upload/SituacaoactualcenariosfuturosFDuarteSantos.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2016.

SANTOS, F.D. Energia e Clima: Desafio Ambiental do Século XXI. **Gazeta de Física**, Lisboa (PT), n. 29, p. 22-28, jan. 2006.

Trabalho enviado em 24/01/2019

Trabalho aceito em 07/02/2019