

## Análise espaço-temporal da variação da temperatura do Estado de Minas Gerais

Marcos Rogério dos Santos Brito<sup>1</sup>  
Rejane Ennes Cicerelli<sup>1</sup>  
Tati de Almeida<sup>1</sup>  
Kássia Batista de Castro<sup>1</sup>  
Henrique Llacer Roig<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Geociências da Universidade de Brasília - UNB, Brasília (DF),  
mrs-brito@hotmail.com; {rejaneig, tati\_almeida, roig}@unb.br; kassiabcastro@gmail.com

**Abstract.** Global warming is responsible for changes in climate and varied environmental impacts occurring in world. Although the variation of the earth's temperature has occurred naturally, numerous scientists have attributed the unusual rise in temperature of the planet to human activities. Nowadays, it is noticeable the importance of research involving climate study in the pursuit of building new knowledge to support the implementation of public policies to minimize the influence of global warming on the socio-economic field globally, nationally and local. In this context, this study aimed to analyze the variation of the temperature of the air in the state of Minas Gerais from thematic maps produced using the digital elevation model (SRTM) and temperature values measured by weather stations of the Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), available in Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP). The historical series comprised the period from 1975 to 2014. The temperature values, in degrees Celsius (°C), were processed using statistical model of multiple linear regression and data interpolation technique. Products generated showed great spatial variability and climate of the time in the state and indicated average values of increase of 0.55 °C for the minimum average temperature and 1.34° C for maximum average temperature in the 40 year period.

**Palavras-chave:** minimum and maximum temperature average, multiple linear regression, digital elevation model, map algebra.

### 1. Introdução

Pesquisas sobre mudanças climáticas não são triviais devido à dificuldade na ponderação das forçantes naturais e antropogênicas do clima (FAAP, 2008). Há inúmeras evidências indicando que a ação humana é a principal responsável pelas mudanças que o clima no planeta vem sofrendo. O último relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2014), lançado em 2014, já comprova um aumento médio da temperatura global de 0,85 °C com possibilidade de exceder 4 °C, dependendo da região do planeta. De acordo com o mesmo relatório, para o Estado de Minas Gerais é esperado um aumento de temperatura que, de forma conservadora, pode alcançar de 2 a 4°C e, em cenários mais pessimistas, atinge 3 a 5°C até 2100.

Esse aumento de temperatura pode afetar, principalmente, o potencial do agronegócio no estado, uma das principais fontes de renda do estado, no qual em 2014 alcançou o valor de R\$ 162,943 bilhões (13,8% do PIB brasileiro do setor), além de outras áreas econômicas e sociais (saúde, recursos hídricos, setor energético, setor industrial, entre outros) (FAEMG, 2015). Estima-se que os custos dos impactos de aquecimento global para a economia do estado podem alcançar, nas próximas décadas, até R\$ 450 bilhões (FEAM, 2015).

De olho nesse cenário, o governo do Estado de Minas Gerais apresentou, no ano de 2014, O Plano de Energia e Mudanças Climáticas de Minas Gerais (PEMC), política pública transversal que tem como objetivos principais promover a transição para a economia de baixo carbono, reduzir a vulnerabilidade às mudanças climáticas no território mineiro e articular com coerência as diferentes iniciativas já desenvolvidas e planejadas, dentro de uma estratégia territorial integrada. (FEAM, 2015).

Lyra et al. (2011) relata que o conhecimento da variação espacial da temperatura do ar é fundamental para caracterizar e estudar o clima de determinada região, realizar o zoneamento agroclimático, avaliar riscos climáticos para atividades agrícolas e florestais, caracterizar

eventos de seca e desertificação, delimitar regiões ecológicas, analisar a distribuição de espécies vegetais nativas e estimar a radiação solar global. Além desses, os conhecimentos dos cenários atuais da distribuição espacial da temperatura do ar são fundamentais nas análises dos impactos das mudanças climáticas. Essas informações subsidiam, sobretudo, políticas socioambientais, de crédito e seguridade rural, florestal e geração de energia.

A baixa densidade de estações meteorológicas com longas séries de temperatura do ar no Brasil dificulta as caracterizações e avaliações supracitadas. Uma opção simples e eficiente, em termos climáticos, é estimar a temperatura do ar por modelos determinísticos globais (superfícies de tendência), como por exemplo, regressão múltipla (linear ou não linear), tendo como variáveis independentes as coordenadas geográficas (latitude e longitude) e a altitude. (Lyra et al, 2011).

Nesse contexto, este artigo tem como objetivo principal analisar a variação espaço-temporal da temperatura do ar mínima e máxima médias do Estado de Minas Gerais (Figura 1), baseado em uma série histórica de 1975 a 2014, utilizando mapas temáticos produzidos por meio do modelo estatístico de regressão linear múltipla e da ferramenta de interpolação de dados álgebra de mapas.

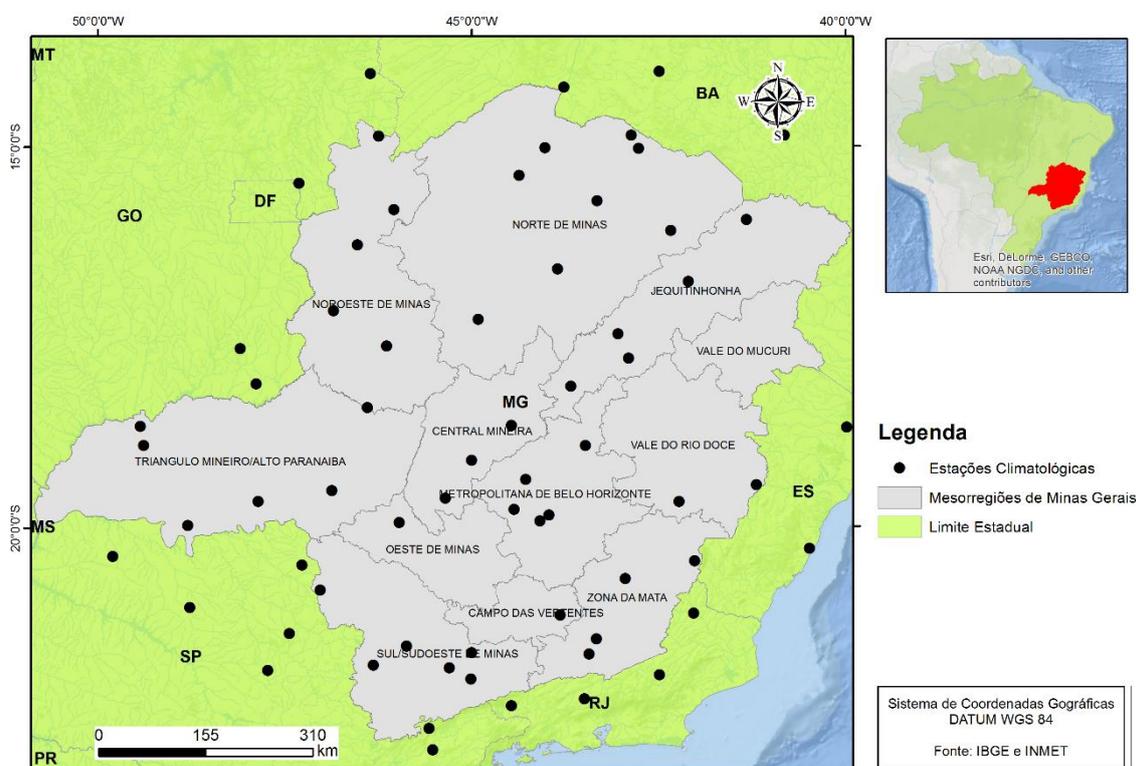


Figura 1. Localização das estações climatológicas utilizadas na pesquisa e das mesorregiões do estado de Minas Gerais. Fonte: IBGE, 2014.

## 2. Metodologia de Trabalho

Primeiramente selecionaram-se as estações climatológicas utilizadas, considerando a localização e disponibilidade de dados, entre os anos de 1975-2014, disponíveis no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Foram identificadas 46 estações climatológicas situadas no Estado de Minas Gerais e 23 estações situadas nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Bahia e Goiás, próximas à divisa com Minas Gerais (Figura 1).

As informações obtidas foram agrupadas em intervalos temporais de 10 em 10 anos (1975-1984; 1985-1994; 1995-2004; 2005-2014), com o objetivo de observar tendências

espaço-temporais de variação de temperatura. Os valores de temperatura do ar (°C), de cada estação, foram organizados em planilhas de temperatura mínima (TMin) e máxima (TMax), que proporcionaram o cálculo dos valores médios por período para cada estação climatológica. Para a redução da dimensionalidade das informações foram considerados somente os meses junho, julho e agosto para o cálculo da temperatura mínima média (TMin) e os meses de dezembro, janeiro e fevereiro para o cálculo da temperatura máxima média (TMax) (Nimer et al., 1993).

Os dados obtidos foram espacializados utilizando o modelo estatístico de regressão linear múltipla. A regressão linear múltipla é uma técnica multivariada cuja finalidade é obter uma relação matemática entre uma das variáveis estudadas (variável dependente ou resposta) e o restante das variáveis que descrevem o sistema (variáveis independentes ou explicativas), e reduzir um grande número de variáveis para poucas dimensões com o mínimo de perda de informação, permitindo a detecção dos principais padrões de similaridade, associação e correlação entre as variáveis (Bussab e Morettin, 2006).

Santos et al. (2008) aplicaram modelos de regressão múltipla na estimativa da temperatura do ar, associados ao MDE de diferentes resoluções espaciais e gerados por métodos distintos. A concordância da espacialização da temperatura está condicionada, particularmente, à resolução, à fonte de dados e ao método de obtenção do MDE. Segundo Pezzopane et al. (2004), a inclusão do modelo digital de elevação na espacialização das temperaturas do ar resulta em mapas mais detalhados e que melhor representam o comportamento desta variável. Para a pesquisa, optou-se por utilizar o MDE disponível gratuitamente na página da USGS (*United States Geological Survey*), o SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) com resolução espacial de 30 metros.

Nesse trabalho foram utilizados modelos de regressão linear múltipla para avaliar a relação entre a variável dependente (temperatura) e as variáveis independentes (latitude, longitude e altitude), expresso como segue na Equação 1 (Santos et al., 2015):

$$T = \beta_0 + (\beta_1 \times Y) + (\beta_2 \times X) + (\beta_3 \times Alt) \quad (1)$$

em que: T: Temperatura do Ar (°C);  $\beta_0$ : Constante Regressão; Y: Coordenada Geográfica Latitude; X: Coordenada Geográfica Longitude; Alt: Altitude (m); e  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  e  $\beta_3$  – Coeficientes de Regressão para as variáveis Y, X e Alt.

O cálculo dos valores da constante de regressão ( $\beta_0$ ) e dos coeficientes de regressão ( $\beta_1$ ,  $\beta_2$  e  $\beta_3$ ) para cada período de tempo analisado (1975-1984; 1985-1994; 1995-2004; 2005-2014), foi realizado diretamente no ArcGis, os dados foram interpolados para a geração de imagens representativas da temperatura mínima e máxima médias nos períodos supracitados.

### 3. Resultados e Discussão

Existe expressiva variação climática no estado de Minas devido a sua grande extensão (Sant'Anna Neto, 2005). Segundo Cavalcanti et al. (2005), no norte de Minas Gerais a média das temperaturas são superiores à 22°C e na divisa com o Estado do Espírito Santo, a temperatura média supera os 24°C. Nas áreas centrais do estado, as médias anuais de temperatura se situam entre 19°C e 21°C e nos setores montanhosos, as médias variam de 14°C e 18°C, influenciadas pela latitude, tornando os verões amenos e os invernos mais rigorosos, muitas vezes com valores negativos durante as manhãs mais frias.

A partir das informações obtidas pela BDMEP, em relação aos valores médios de temperatura do ar para cada estação climatológica foram gerados os valores das Constantes de Regressão ( $\beta_0$ ) e dos Coeficientes de Regressão ( $\beta_1$ ,  $\beta_2$  e  $\beta_3$ ), utilizados na interpolação dos dados para a geração das imagens (Tabela 1).

A análise dos valores absolutos de variação da média da temperatura mínima indicou um acréscimo de 0,55 °C (12,70 °C, no período de 1975 a 1984, para 13,25 °C, no período de 2005 a 2014). A maior variação ocorreu na estação climatológica localizada na capital Belo Horizonte, que registrou acréscimo de 2,57 °C (Figura 2).

Em relação à temperatura máxima, verificou-se uma variação maior, registrando 1,34° C de aumento na média das 46 estações climatológicas. Destaca-se, nesse caso, a estação climatológica da cidade de Florestal, localizada na Região Metropolitana de Belo Horizonte, onde ocorreu acréscimo de 2,19 °C entre 1975 e 2014 (Figura 2).

Tabela 1. Valores das Constantes e dos Coeficientes de Regressão.

Temperatura Mínima Média (TMin)				
Períodos	Constante de Regressão	Coeficientes de Regressão		
		Latitude (Y)	Longitude (X)	Altitude
	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$
1975 - 1984	19,728374	0,661755	-0,171056	-0,003183
1985 - 1994	20,107164	0,675097	-0,1893	-0,004391
1995 - 2004	21,218874	0,798364	-0,207279	-0,003417
2005 - 2014	20,344543	0,749204	-0,216664	-0,003828
Temperatura Máxima Média (TMax)				
Períodos	Constante de Regressão	Coeficientes de Regressão		
		Latitude (Y)	Longitude (X)	Altitude
	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$
1975 - 1984	27,150739	0,139556	-0,200646	-0,006331
1985 - 1994	29,29352	0,135112	-0,157504	-0,006175
1995 - 2004	32,614304	0,168323	-0,118993	-0,006342
2005 - 2014	32,185497	0,155593	-0,125637	-0,006397

Em relação à temperatura mínima média, observou-se oscilação dos valores para mais e para menos ao longo dos quatro períodos do estudo, enquanto a temperatura máxima média apresentou, em quase a totalidade das regiões, aumento gradativo no decorrer do tempo.

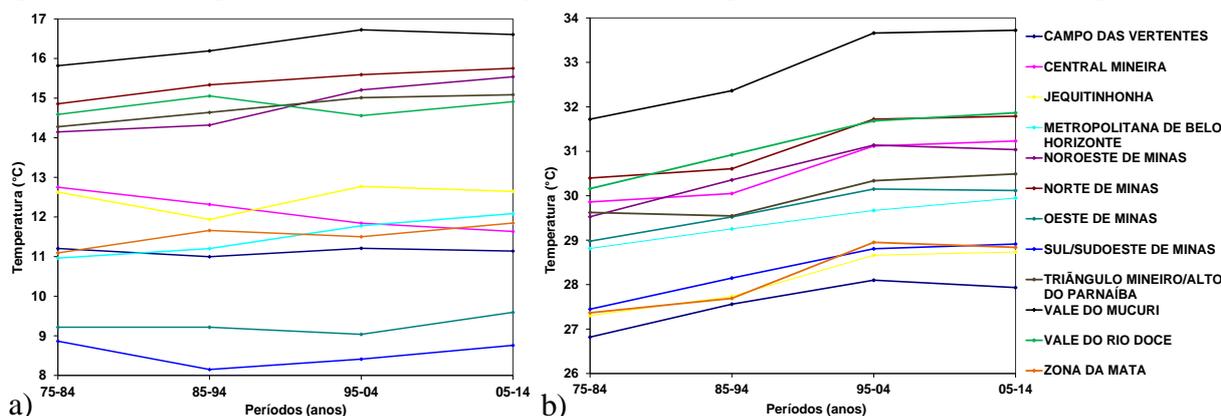


Figura 2. Variação da Temperatura Mínima Média (a) e Máxima Média (b) por Mesorregião.

Destaca-se, nos gráficos, a região do Vale do Mucuri, na porção noroeste do território mineiro, divisa com os estados do Espírito Santo e da Bahia (Figura 1), por ter apresentado as maiores temperaturas mínimas e máximas médias no período de tempo analisado, quando comparados apenas os valores médios de temperatura das estações climatológicas situadas em cada mesorregião.

Além da análise temporal dos valores absolutos da variação de temperatura citada anteriormente, fez-se, também, a análise espacial dos resultados a partir de imagens criadas utilizando-se os dados de temperatura e o modelo digital de elevação. As Figuras 3 e 4 mostram os mapas temáticos com os valores interpolados de temperatura mínima média e de

temperatura máxima média, respectivamente, para cada período proposto no estudo (1975-1984; 1985-1994; 1995-2004; 2005-2014).

A espacialização dos dados indicou temperatura mínima média variando entre 6 °C a 18 °C (Figura 3). Comparando os mapas temáticos dos períodos de 1975-1984 e 2005-2014 observamos que na região norte/noroeste de Minas houve aumento de temperatura em grande parte das áreas, passando da temperatura mínima média de 14-16 °C para 16-18 °C. No Triângulo Mineiro (extremo oeste do estado), observou-se que apenas uma pequena área, no período de 1975-1984, apresentava temperaturas entre 14-16 °C. Já em 2005-2014, aproximadamente metade do território da mesorregião apresentou temperaturas nessa faixa de valor. No Jequitinhonha e Vale do Mucuri (porção nordeste do estado) no período de 1975-1984 predominavam temperaturas entre 12-14 °C enquanto em 2005-2014, as localidades apresentaram predominância de temperaturas entre 14-16 °C. Na região centro-leste (Vale do Rio Doce), divisa com o Espírito Santo, ocorreu variação em grande parte do território, passando de 12-14 °C para 14-16 °C nos períodos analisados.

As demais regiões do estado apresentaram variações menos significativas, porém em quase todo o estado ocorreu aumento da temperatura mínima média (Tabela 1).

Para análise espacial da variação de temperatura máxima média também foram utilizados os mapas temáticos dos períodos de 1975-1984 e 2005-2014, que apresentaram áreas com temperaturas variando entre 24°C e 34 °C. Nesse caso, as regiões norte/noroeste de Minas obtiveram o aumento mais significativo de temperatura máxima média em Minas Gerais: no período de 1975-1984 apresentaram temperaturas com variação entre 28-30 °C e 30-32 °C e no período de 2005 a 2014, os valores passaram para a faixa de 30-32 °C, apresentando também temperaturas entre 32-34 °C em uma faixa territorial que inicia no nordeste e se estende para o centro da região. No Triângulo Mineiro ocorreu menor variação de temperatura máxima média, quando comparada à temperatura mínima média. A principal mudança foi o avanço na parte oeste da mesorregião da faixa de temperatura entre 32-34 °C. Nas regiões Metropolitana, Central Mineira, Oeste de Minas e Campo das Vertentes houve aumento da temperatura máxima média de 26-28 °C e 28-30 °C, passando para 28-30 °C e 30-32 °C em algumas localidades. No Vale do Mucuri, Vale do Rio Doce e Zona da Mata (leste/sudeste do estado) a variação da temperatura foi entre 30-32° para temperatura predominante entre 32-34 °C.

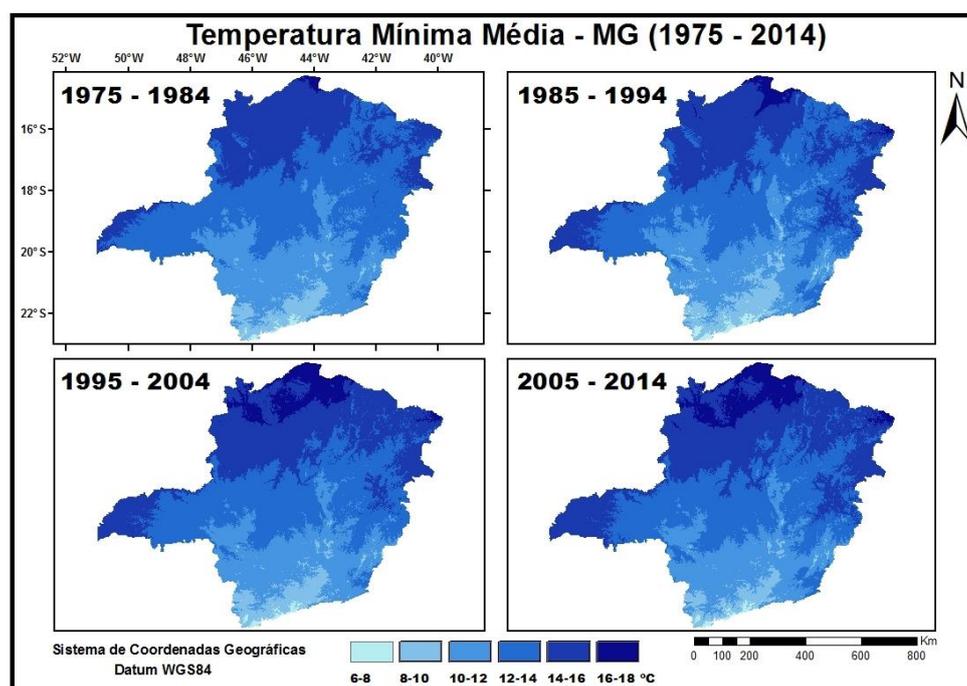


Figura 3. Mapas Temáticos – espacialização da Temperatura Mínima Média - MG (1975 - 2014).

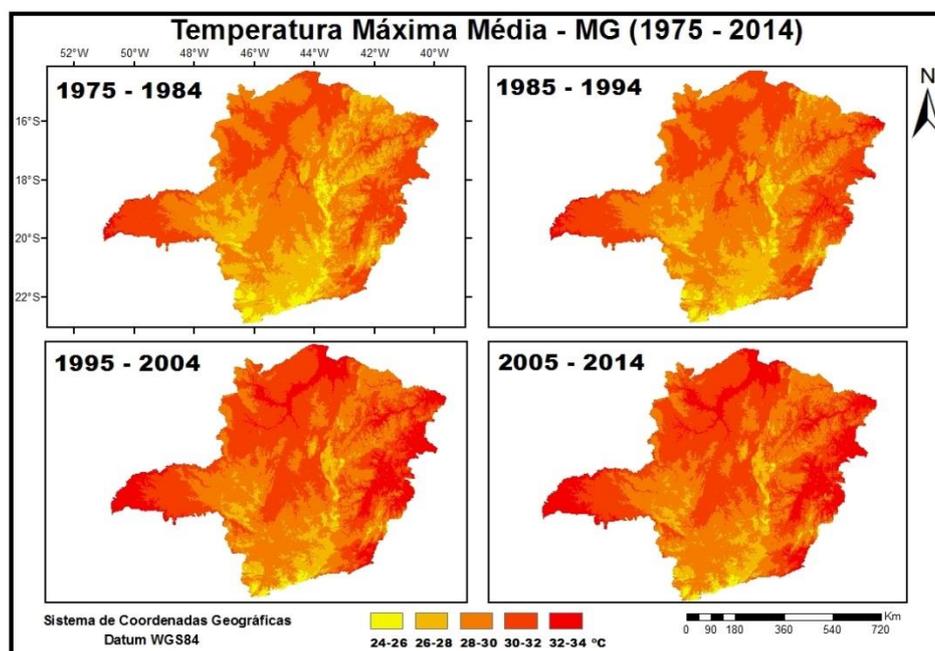


Figura 4. Mapas Temáticos – espacialização Temperatura Máxima Média - MG (1975 - 2014).

De modo geral, quando comparamos os mapas dos períodos de 1975-1984 e 2005-2014, observa-se que na maior parte do território do estado ocorreu aumento significativo de temperatura no período de 40 anos (1975-2014), o que demonstra que os resultados estão de acordo com a tendência de aquecimento global e consequentes mudanças climáticas verificadas no Brasil nas últimas décadas e com os estudos propostos pelo Plano de Energia e Mudanças Climáticas de Minas Gerais (PEMC-MG), do ano de 2014. No PEMC-MG, um dos principais pontos apresentados foi o Mapa de Vulnerabilidades às Mudanças Climáticas por Região de Planejamento (Figura 5), o qual apresenta grande semelhança com os resultados apontados neste trabalho. Essas mudanças climáticas podem ser explicadas por diversos fatores. Segundo o último relatório do IPCC (2014), o aquecimento global pode ser provocado pelas forçantes naturais (causas naturais) e antropogênicas (ações dos seres humanos) do clima.

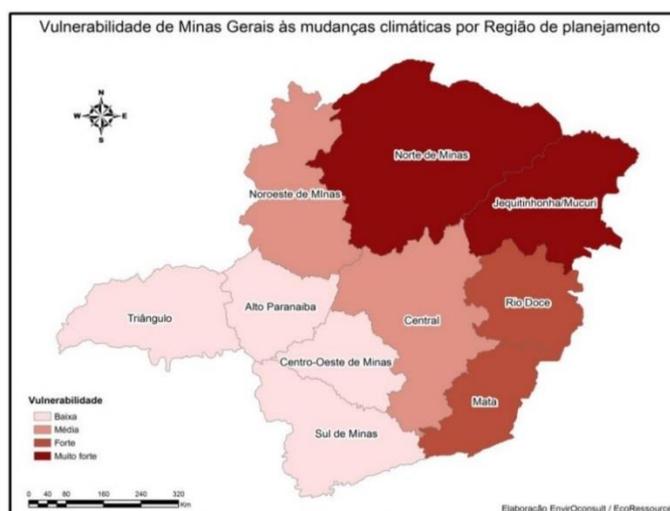


Figura 5. Mapa de Vulnerabilidades às Mudanças Climáticas – PEMC-MG (FEAM, 2015).

#### 4. Conclusões

Os mapas temáticos de temperatura elaborados no trabalho mostraram maior detalhamento devido à utilização de regressão linear múltipla e, principalmente, do modelo digital de elevação no processo de espacialização dos dados, proporcionando valores estimados mais condizentes com a realidade, por considerar diretamente a influência da altitude na variação da temperatura do ar.

Os resultados alcançados, em valores absolutos, estão de acordo com a tendência de aquecimento global verificada nas últimas décadas e indicaram valores médios de aumento de 0,55°C para a temperatura mínima média e 1,34°C para a temperatura máxima média no período de 40 anos, considerando-se as medições das 46 estações climatológicas de Minas Gerais. Esses valores comprovam o aumento gradual de temperatura no estado ao longo do tempo estudado.

Embora mudanças climáticas ocorram em médio e longo prazo, o zoneamento climático deve ser reavaliado e atualizado constantemente visando obter maiores informações sobre as condições climáticas e, sobretudo, proporcionar maior adequação dos investimentos socioeconômicos nas diferentes mesorregiões do estado.

Assim, conforme verificado na análise espaço-temporal da variação de temperatura, as mesorregiões do norte/noroeste de Minas, do Jequitinhonha, do Vale do Mucuri e do Vale do Rio Doce sofreram os maiores aumentos de temperatura do ar entre os anos de 1975 e 2014 e, portanto, recomenda-se que devem ser as áreas prioritárias para gestão pública com o intuito de minimizar o impacto negativo do aquecimento global para o meio ambiente e a sociedade.

#### Agradecimentos

Ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) pela disponibilização dos dados, a ESRI pelo fornecimento do Pacote de ferramentas que compõem a Família ArcGis 10.x por intermédio do contrato nº 2011 MLK 8733 e a IMAGEM pelo apoio e viabilidade da concretização do termo de uso entre o IG e a ESRI e pelo suporte aos softwares.

#### Referências Bibliográficas

Bussab, W.; Morettin, P. A. **Estatística Básica**. 5 ed. São paulo: Saraiva, 2006.

Cavalcanti, I.F.A., Ferreira, N. F., Silva, M.G.A.J., Dias, M.A.F.S. (org.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 463p.

Fundação Armando Álvares Penteado – FAAP. **Aquecimento Global – O clima de extremos**. Folha de São Paulo, 17 de janeiro de 2008.

Federação da Agricultura e Pecuária do Estado de Minas Gerais - FAEMG. FAEMG contesta PIB divulgado pela FJP. 2015. Disponível em: <<http://www.sistemafaemg.org.br/Noticia.aspx?Code=8345&ParentCode=&ParentPath=&ContentVersion=C&show=all>>. Acesso em: 10.out.2015.

Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM-MG). **Avaliação de impactos de mudanças climáticas sobre a economia mineira: Relatório Resumo**. Belo Horizonte: FEAM, 2011.

Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM-MG). **Plano de energia e mudanças climáticas de Minas Gerais: resumo executivo**. Belo Horizonte: FEAM, 2015. 49 p..

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Estados**. 2014. Disponível em <[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)>. Acesso em 10 de outubro de 2015.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 3.out.2015.

Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC (2007). **Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC**. Cambridge Univ. Press, 2007. Disponível em < <http://www.ipcc.ch/>> Acesso em: 22.nov.2015.

Lyra, G. B.; Santos, M. J.; Souza, J. L.; Santos, M. A. **Espacialização da Temperatura do Ar Anual no Estado de Alagoas com Diferentes Modelos Digitais de elevação e Resoluções Espaciais**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.21, n.2, p. 275-287, 2011.

Nimer, E.; Brandão, A.M. **Balanco Hídrico e Clima da Região dos Cerrados**. Rio de janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1989. 162 p.

Pezzopane, J. E. M.; Santos, E. A.; Eleutério, M. M.; Reis, E. F.; Santos, A. R. **Espacialização da temperatura do ar no Estado do Espírito Santo**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 151-158, 2004.

Sant'anna Neto, J.L. **Decálogo da Climatologia do Sudeste Brasileiro**. Revista Brasileira de Climatologia, v.1, nº1, 2005, p.43-60.

Santos, A.R. *et al.* **Espacialização de Dados Climáticos no ArcGIS 10.3 Passo a Passo**. Alegre: CAUFES, 2015, 64p.

Santos, M. J. et al.. **Espacialização da temperatura mínima do ar anual para o estado de Alagoas utilizando dois modelos digitais do terreno**. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 15., 2008, São Paulo. **Anais...** Sociedade Brasileira de Meteorologia: Rio de Janeiro, 2008.