Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS
ISSN 2237-8642

VARIABILIDADE ESPACIAL DO CLIMA NO ESTADO DE MINAS GERAIS: UMA PROPOSTA DE SÍNTESE

Spatial variability of climate in the state of Minas Gerais: a synthesis proposal

La variabilidad espacial del clima en el estado de Minas Gerais: una propuesta de síntesis

Aion Angelu Ferraz Silva
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG, *campus* Sabará)
aion.silva@ifmg.edu.br

Carlos Henrique Jardim
Departamento de Geografia – Inst. Geociências – Univ. Federal de Minas Gerais (UFMG)
dxhenrique@gmail.com

Resumo: O clima pode ser definido como um recurso natural que influencia diversas atividades sociais e econômicas (abastecimento hídrico, agricultura, geração de energia elétrica etc.), o que torna fundamental compreender a distribuição espacial de seus elementos por meio do mapeamento de síntese. Nesse sentido, o objetivo deste artigo foi definir, como proposta inicial, unidades climáticas para o estado de Minas Gerais a partir de técnicas estatísticas de Análise Multivariada. Foram utilizados dados pluviotérmicos diários coletados ao longo de 20 anos para 54 estações meteorológicas e pluviométricos diários para 477 estações pluviométricas, que passaram por análises estatísticas de homogeneidade, preenchimento de falhas e consistência. Os dados consistidos serviram para a definição de 18 variáveis climáticas médias na escala anual (pluviotérmicos e do balanço hídrico climatológico) que foram avaliados por técnicas estatísticas de Análise Multivariada, para delimitar espacialmente diferentes grupos com características climáticas homogêneas. Os resultados obtidos permitiram compreender (regionalmente) a variabilidade espacial dos atributos climáticos em Minas Gerais, através da associação de diferentes táxons hierárquicos: o 1º táxon com duas regiões hídricas (seca e úmida); o 2º táxon com quatro macrorregiões climáticas; o 3º táxon com cinco regiões térmicas (frias a quentes); o 4º táxon com dois tipos climáticos (áreas *core* e de transição); e o 5º táxon com 13 subtipos climáticos (relação entre os quatro primeiros táxons e as macrounidades geomorfológicas).

Palavras-chave: 1. Unidades climáticas. 2. Variabilidade climática. 3. Análise multivariada

Abstract: Climate can be defined as a natural resource influencing various social and economic activities (water supply, agriculture, electricity generation etc.), which makes it essential to understand the spatial distribution of its elements through synthesis mapping. In this sense, the objective of this

article was to define, as an initial proposal, climatic units for the state of Minas Gerais (Brazil) based on statistical techniques of Multivariate Analysis. Daily pluviothermal data collected over 20 years for 54 meteorological stations and 477 pluviometric stations were used, which underwent statistical analyzes of homogeneity, gap filling and consistency. The consisted data served to define 18 average climatic variables based on annual data (pluviothermal and climatological water balance), evaluated by statistical techniques of Multivariate Analysis, to spatially delimit different groups with homogeneous climatic characteristics. The results obtained allowed us to understand (regionally) the spatial variability of climatic attributes in Minas Gerais, through the association of different hierarchical taxa: the 1st taxon with two water regions (dry and humid); the 2nd taxon with four climatic macro-regions; the 3nd taxon with five thermal regions (cold to hot); the 4rd taxon with two climatic types (core and transition areas); and the 5th taxon with 13 climatic subtypes (relationship between the first four taxa and the geomorphological macrounits).
Keywords: 1. Climatic units. 2. Climate variability. 3. Multivariate analysis.

Resumen: El clima puede definirse como un recurso natural que influye en diversas actividades sociales y económicas (suministro de agua, agricultura, generación de electricidad etc.), lo que hace imprescindible comprender la distribución espacial de sus elementos mediante cartografía de síntesis. En este sentido, el objetivo de este artículo fue definir, como propuesta inicial, unidades climáticas para el estado de Minas Gerais-Brasil con base en técnicas estadísticas de Análisis Multivariado. Se utilizaron datos pluviotérmicos diarios recopilados durante 20 años de 54 estaciones meteorológicas y 477 estaciones pluviométricas, a las que se les realizaron análisis estadísticos de homogeneidad, completación de datos faltantes y consistencia. Los datos constituidos sirvieron para definir 18 variables climáticas promedio, con base en datos anuales (balance hídrico pluviotermal y climatológico), evaluados mediante técnicas estadísticas de Análisis Multivariado, para delimitar espacialmente diferentes grupos con características climáticas homogéneas. Los resultados obtenidos permitieron comprender (regionalmente) la variabilidad espacial de los atributos climáticos en Minas Gerais, a través de la asociación de diferentes taxones jerárquicos: el 1er taxón con dos regiones acuáticas (seca y húmeda); el 2º taxón con cuatro macrorregiones climáticas; el 3º taxón con cinco regiones térmicas (de fría a caliente); el 4er taxón con dos tipos climáticos (áreas centrales y de transición); y el 5to taxón con 13 subtipos climáticos (relación entre los cuatro primeros taxones y las macrounidades geomorfológicas).
Palabras clave: 1. Unidades climáticas. 2. Variabilidad climática. 3. Análisis multivariado.

Submetido em: 07/05/2024
Aceito para publicação em: 19/01/2025
Publicado em: 04/02/2025

1. INTRODUÇÃO

A regionalização da superfície terrestre, baseada em características naturais semelhantes, é uma das atividades mais antigas associadas à Geografia (GOMES, 2000). Essa delimitação permite uma compreensão mais aprofundada de uma determinada porção do espaço geográfico e auxilia no planejamento, organização e exploração dos recursos naturais.

A capacidade de sintetizar as características de uma determinada localidade, por meio do processo de classificação e agrupamento simultâneo de diferentes elementos climáticos, possibilita a regionalização de espaços com condições semelhantes. Desse modo, torna-se um importante instrumento para auxiliar os agentes públicos e privados no planejamento de diferentes atividades que dependem das condições climáticas (ambientais, econômicas etc.).

De um ponto de vista inicial, a possibilidade de encontrar afinidades relacionais entre variáveis climáticas, por meio de critérios de homogeneidade, permite revelar relações que culminam em aspectos de ordem genética e processual. Essas relações têm o potencial de se constituir em critérios complementares para a individualização de unidades climáticas típicas, através de critérios de regionalização do espaço geográfico (semelhança estatística e/ou relativa homogeneidade espacial). O entendimento dessas relações possibilita compreender as características ligadas à realidade do objeto de estudo de maneira mais próxima, partindo de um pressuposto complexo e interligado aos aspectos sistêmicos (MONTEIRO, 2003).

A classificação climática tende a privilegiar aspectos reducionistas da complexa realidade existente na interação entre a atmosfera e a superfície, possuindo grande relevância para a ciência geográfica, pois possibilita a compreensão de como ocorrem, ao menos em parte, os mecanismos e as consequências da variabilidade do clima (MONTEIRO, 1999).

Foram realizadas algumas propostas escalares genéricas de unidades de clima para o Brasil. Por exemplo, a definida por Nimer (1989), que relaciona critérios genéticos (dinâmica das massas de ar) à variação espacial dos elementos climáticos para particularizar diferentes regiões climáticas do país. Essa proposta embasou a atual classificação do IBGE (2002).

Há muitos trabalhos na área da climatologia geográfica nacional que propuseram a delimitação de unidades climáticas em diferentes escalas espaciais, podendo destacar: (I) Monteiro (1973), para o estado de São Paulo; (II) Tarifa e Armani (2001a; 2001b), para o município de São Paulo; (III) Assis (2010), para Belo Horizonte; (IV) Novais, Brito e Sanches

(2018), para a mesorregião do Triângulo Mineira/Alto Paranaíba em Minas Gerais; (V) Novais (2019; 2020), para o Bioma Cerrado e para o estado de Goiás e Distrito Federal; (VI) Jardim e Galvani (2022), para o Parque Nacional da Serra do Cipó em Minas Gerais; dentre outros.

Os trabalhos acima mencionados, bem como os realizados por outros autores, utilizaram diferentes métodos de regionalização dos atributos do clima e/ou sistematização de unidades climáticas. Entre as dificuldades encontradas pelos autores, constata-se a falta de mapeamentos que busquem, simultaneamente, detalhar espacialmente e sintetizar regionalmente as características climáticas. Isso ocorre por diversos motivos, sendo os mais recorrentes: (I) a baixa densidade de cobertura espacial de estações meteorológicas e/ou pluviométricas com dados temporalmente homogêneos e/ou (II) a baixa qualidade dos dados.

Com a finalidade de mitigar os problemas descritos para os dados climáticos, existe a possibilidade de utilizar técnicas estatísticas que visam resumir suas características. Dentre elas, destacam-se as técnicas de Análises Multivariadas, exemplificadas pelos estudos de: (I) Aouad (1983) para o estado da Bahia; (II) Salvi (1984) para o estado de São Paulo; (III) Zavattini (2009), para a precipitação do estado do Mato Grosso do Sul; (IV) Souza *et al.* (2011), para a pluviosidade do estado de Minas Gerais; (V) Rossato (2011), para o estado do Rio Grande do Sul; (VI) Machado (2014), para três macrorregiões climáticas do estado de Minas Gerais; (VII) Silva e Jardim (2019) e Silva (2020), para cinco microrregiões do entorno de Unaí-MG.

A revisão bibliográfica realizada para este estudo não encontrou trabalhos que tenham classificado e mapeado unidades climáticas regionais em Minas Gerais: (I) com detalhe maior que as macrounidades; (II) com o uso integrado de dados pluviais e térmicos para uma grande quantidade de estações meteorológicas e/ou pluviométricas. Portanto, este artigo tem como objetivo mapear e descrever a variabilidade espacial do clima de Minas Gerais, por meio: (I) da concepção teórica e metodológica de regionalização climática; (II) do uso de técnicas estatísticas de análise multivariada aplicadas em elementos pluviotérmicos e do Balanço Hídrico Climatológico (BHC), considerando os fatores regionais (latitude, longitude e altitude).

2. METODOLOGIA

2.1 Aquisição dos dados, critérios de seleção e correção das falhas

Foram obtidas informações de estações de coleta de dados meteorológicos na escala diária, localizadas em Minas Gerais e estados vizinhos (visando minimizar a falta de dados nos limites estaduais), entre os anos de 1980 e 2021, para: (I) precipitação e temperaturas do ar (máxima, média compensada e mínima) de 77 estações meteorológicas convencionais (47 em Minas Gerais e 30 em estados vizinhos) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2023); e (II) de precipitação para 3.699 estações da Rede Hidrometeorológica Nacional (ANA, 2023).

A seleção das estações ocorreu com base na melhor sobreposição espacial e temporal possível, considerando o maior número de estações com a menor quantidade de falhas mensais, conforme os critérios de homogeneidade dos dados de precipitação e temperatura do ar da Organização Meteorológica Mundial (WMO, 1989; 2017). Além disso, a série histórica de dados para cada estação atendeu aos seguintes requisitos: (I) mínimo de 10 anos (contínuos ou intermitentes) de dados completos para cada mês; e (II) máximo de 35% de falhas mensais para todo o período. Ressalta-se que esses critérios são mais rigorosos que os adotados nas Normais Climatológicas Provisórias (WMO, 1989; 2017; INMET, 2022a; 2022b).

O preenchimento das falhas dos dados mensais de temperatura do ar foi realizado pela técnica de Regressão Linear Múltipla (SEDIYAMA; MELO JÚNIOR, 1998), tendo como variáveis independentes a latitude, a longitude e a altitude de cada estação meteorológica e, como variável dependente, a temperatura registrada nas estações meteorológicas que apresentam dados completos do mês que necessitava ser preenchido na estação com falha (Fórmula 1).

$$(1) \quad T = \beta_0 + \beta_1 \times LAT + \beta_2 \times LONG + \beta_3 \times ALT$$

Em que: T= temperatura do ar (°C); β_0= constante de regressão; LAT= coordenada em graus decimais da latitude; LONG= coordenada em graus decimais da longitude; ALT= altitude da estação (metros); e β_1, β_2 e β_3= coeficientes de regressão das variáveis LAT, LONG e ALT.

Os preenchimentos das falhas mensais de precipitação e totais de dias secos (precipitação <= 1 mm [INMET, 2022b]) ocorreram pela técnica de Regressão Linear Múltipla (TUCCI, 2012; SILVA; JARDIM, 2017), onde: y_c = dado da estação a ser estimada (respectivamente, mm ou %); a_1, a_2, a_3, ..., a_n = coeficientes estimados para cada estação; x_1i, x_2i, x_3i,..., x_ni, = dados registrados nas estações de apoio; a_0 = constante da regressão.

(2) $$y_c = a_1 \times x_1 i + a_2 \times x_2 i + a_3 \times x_3 i + \cdots + a_n \times x_n i + a_0$$

Os preenchimentos das falhas nos dados de precipitação (TUCCI, 2012) e do total de dias secos utilizou os seguintes critérios: (I) a estação preenchida teve o apoio de no mínimo 3 estações com todos os dados mensais completos e sem falhas para o mês que será preenchido; (II) as estações de apoio precisaram possuir proximidade espacial, altitude semelhante e coeficiente de correlação mínimo de 0,6; e (III) após o preenchimento do(s) dado(s), a estação precisa ter R^2 mínimo de 0,9 no processo de consistência (Dupla Massa).

As médias consistidas nas escalas mensal e anual da precipitação e dos totais de dias secos das estações meteorológicas e pluviométricas foram espacialmente interpoladas pela técnica de Krigagem Ordinária (PERIN *et al.*, 2015), utilizando como semivariograma o modelo gaussiano com 16 vizinhos, através do *plugin* Smart-Map do *software* QGIS 3.16.

As qualidades dos modelos de regressão das temperaturas do ar e das interpolações das precipitações e dos totais de dias secos foram aferidas pelo R^2, RMSE e RSR (MORIASI *et al.*, 2007; CUNHA *et al.*, 2013; SILVESTRE; BEZERRA, 2015), conforme Fórmulas 3, 4 e 5.

(3) $$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_i^n (O_i - E_i)^2}{\sum_i^n (O_i - \mu)^2}\right)$$ (4) $$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_i^n (O_i - E_i)^2}{n}}$$ (5) $$RSR = \frac{RMSE}{\sqrt{\sum_i^n (O_i - \mu)^2}}$$

Onde: R^2= coeficiente de determinação; RMSE = erro quadrático médio; RSR = *RMSE-observations standard deviation ratio*; O_i = valores observados nas estações meteorológicas ou pluviométricas; E_i = valores estimados pelos modelos de regressão (temperatura) ou de interpolação espacial (precipitação e total de dias secos); μ = média dos valores observados.

2.2 Balanço hídrico climatológico e meses secos

Para compreender as trocas entre a água armazenada no solo (infiltração da chuva) e a evapotranspiração das plantas, foi utilizado o BHC. O cálculo da evapotranspiração potencial não ajustada (ET'_p) – Fórmula 6 – se deu pelo método de Thornthwaite e Mather (1948).

(6) $$ET'_p = 16 \times \left(\frac{10T_a}{I}\right)^a$$

Em que: ET'_p = evapotranspiração potencial não ajustada (mm); T_a= média mensal da temperatura do ar (°C); I = índice anual de calor. O índice anual de calor (I) é a soma dos índices

mensais de calor (i) para 12 meses (Fórmula 7). Em que: i = índice mensal de calor para o mês (i = 0, quando $T_a \leq 0°C$). A Fórmula 8 calcula o expoente "a" da Fórmula 6:

$$i = \left(\frac{T_a}{5}\right)^{1,514} \quad (7)$$

$$a = 6,75 \times 10^{-7} \times I^3 \times -7,71 \times 10^{-5} \times I^2 + 1,7912 \times 10^{-2} \times I + 0,49239 \quad (8)$$

As informações obtidas pela ET'_p (Fórmula 5) necessitam ser corrigidas para a duração do dia (d) e para o número de dias do mês (N), conforme a Fórmula 9:

$$ETP = ET'_p \times \left(\frac{d}{12}\right) \times \left(\frac{N}{30}\right) \quad (9)$$

Foi utilizada como referência da Capacidade de Água Disponível (CAD) estimada o valor de 100 mm, a partir das sugestões de Nimer e Brandão (1989), Santos (2002; 2005) e Pereira *et al.* (2022). Também foram calculados o Armazenamento de Água no Solo (ARM, Fórmula 10), a Evapotranspiração Real (ETR), a Deficiência Hídrica (DEF) e o Excedente Hídrico (EXC):

$$ARM = CAD \times e^{\left(\frac{NEG.ACUM}{CAD}\right)} \quad (10)$$

Pereira *et al.* (2022) explanam que a ETR ocorre em função da relação entre a ETP e a Precipitação (P). Quando não há restrição hídrica, a ETP = ETR, porém, quando a ARM do mês anterior é negativa, a ETR = P + ARM do mês anterior. Biscaro (2007) explica que a DEF é calculada pela ETP - ETR, sendo que o EXC = 0 quando o ARM < CAD, porém, quando há sobra de água no solo no período chuvoso, a ARM = CAD e o EXC = P - ETP - ARM do mês anterior.

Em geral, o método de Thornthwaite e Mather (1955) é uma ferramenta eficaz que permite monitorar as condições agrometeorológicas. Doorenbos e Kassam (1994) explicam que o Déficit de Evapotranspiração Relativa (DER) é um importante índice que visa expressar a intensidade da DEF e sua correlação com os momentos de *stress* hídrico (Fórmula 11).

$$DER = 100 - \frac{ETR\ Anual}{ETP\ Anual} \quad (11)$$

Sendo: DER = déficit de evapotranspiração relativa; ETR Anual = somatório mensal da evapotranspiração real (mm); ETP Anual = somatório mensal da evapotranspiração potencial (mm). Além das informações oriundas do BHC, também foram calculados os Índices Climáticos de Aridez, Hídrico e de Umidade, conforme as Fórmulas 12, 13 e 14 (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007), sendo que: Ia = Índice de Aridez; Ih = Índice Hídrico; Im = Índice de Umidade; DEF = somatório mensal da deficiência hídrica (mm); EXC = somatório mensal do excedente hídrico (mm); e ETP = somatório mensal da evapotranspiração potencial (mm).

(12) $$Ia = \frac{DEF}{ETP}$$ (13) $$Ia = \frac{EXC}{ETP}$$ (14) $$Im = \frac{(100 \times EXC) - (60 \times DEF)}{ETP}$$

Adotou-se o critério de Nimer (1979; 1989) para os meses secos, definidos quando a precipitação é igual ou inferior ao dobro da temperatura média compensada do ar (P ≤ 2T).

Os cálculos dos BHC's foram realizados no *software* Excel© 2016, através da adaptação feita por Silva (2020) da proposta de Rolim *et al.* (1998). Os dados de entrada do BHC foram obtidos pelos valores médios mensais das interpolações das precipitações e pelas regressões das temperaturas médias compensadas do ar, a partir de uma grade de pontos com equidistância de 1 km para todo o estado de Minas Gerais (totalizando 651.486 BHC's).

2.3 Mapeamento e regionalização das unidades climáticas

Conforme proposto por Silva (2020), a delimitação das unidades climáticas ocorreu pela análise da variabilidade espacial dos dados climáticos (brutos e estimados, sem análise de tendência), através da Análise Fatorial (AF) em Componentes Principais (CP's) e das Análises de Agrupamentos (AA) Não Hierárquico *K-means* (ferramenta *Semi Automatic Classification Plugin*, do *software* QGIS 3.16) e também Hierárquico (*software* Jamovi 2.3.18).

A AF em CP's possui o objetivo de transformar *p* variáveis estatisticamente correlacionadas em *n* componentes não correlacionados. Essa técnica possibilita a diminuição da dimensão da matriz de dados e a maximização da variância através dos maiores autovalores (*eigenvalues*). Desse modo, a AF em CP's permite reduzir o total de variáveis originais em uma quantidade menor de fatores independentes entre si (AMANAJÁS *et al.*, 2010). Com o objetivo de melhorar a compreensão dos dados obtidos pela AF em CP's, foi realizada a rotação dos resultados iniciais pelo método de transformação linear Varimax (SOUZA *et al.*, 2011), com o intuito de aumentar a concentração dos dados médios originais nos *n* fatores pela máxima variância dos dados (Fórmula 15), sendo que: Var= rotação Varimax; a= total de fatores que representam os dados originais; e m= número de variáveis.

(15) $$Var = \frac{\sum_{j=1}^{r}\left[m\sum_{i=1}^{m}(a_{ij})^2 - \left(\sum_{i=1}^{m} a_{ij}{}^2\right)^2\right]}{m^2}$$

A definição do total de fatores finais foi baseada no critério de Kaiser, ao adotar como significativos os fatores com autovalores a partir de 1,0 (BEZERRA, 2007).

Os escores dos fatores selecionados foram espacializados em imagens *raster*, com o objetivo de serem resumidos em uma quantidade menor de grupos homogêneos, através da técnica de AA Não Hierárquico *K-means* com medida de distância euclidiana (Fórmula 16). A seguir, foram calculadas as médias dos escores dos fatores para cada grupo *K-means*, com os valores agrupados pela técnica de AA Hierárquico de Ward (Fórmula 17) com medida de distância euclidiana (Fórmula 16). Essa técnica visa homogeneizar os valores internos das classes e obter a maior heterogeneidade possível entre os outros agrupamentos (SILVESTRE *et al.*, 2013), com o intuito de determinar diferentes unidades climáticas.

(16) $$d_{i,k} = \left[\sum_{j=1}^{p}(X_{i,j} - X_{k,m})^2\right]^{1/2}$$

(17) $$SQD = \sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2$$

A definição da quantidade de agrupamentos pela técnica de AA Hierárquico levou em consideração: (I) a análise do dendrograma de classificação, através da definição de uma linha de corte entre as ligações dos agrupamentos (SILVESTRE *et al.*, 2013); e (II) análise do comportamento do nível de similaridade (inércia intragrupos) dos *clusters* (MINGOTI, 2005).

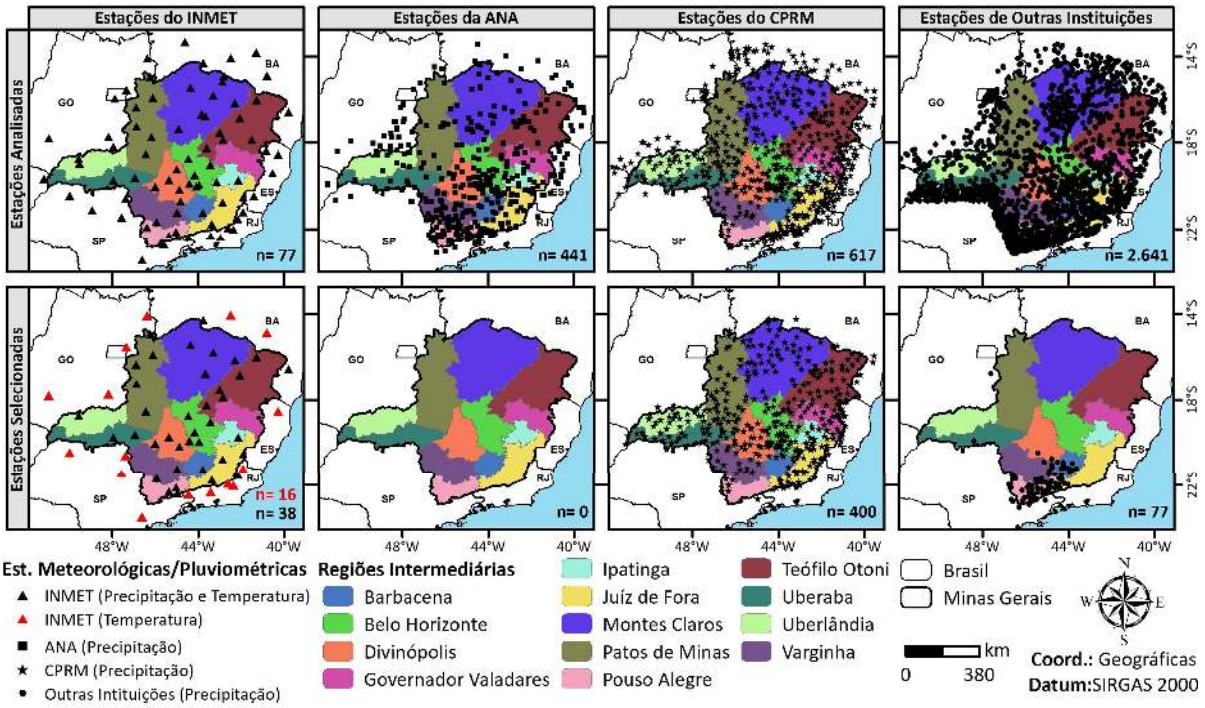
Os agrupamentos finais obtidos pela AA Hierárquico foram segmentados em cinco classes térmicas, através das anomalias das médias das temperaturas médias compensadas dos grupos (desvio padrão em relação à média), seguindo o critério de Silvestre *et al.* (2013).

As delimitações das unidades climáticas, obtidas pela AA Hierárquico, foram espacializadas no *software* QGIS 3.16, sendo originalmente concebidas na escala cartográfica de 1:4.500.000 e representadas na escala de 1:9.000.000, após as devidas generalizações cartográficas. Por fim, a nomenclatura das unidades climáticas finais ocorreu pela interpretação das suas sobreposições espaciais com as principais unidades geomorfológicas de Minas Gerais (IBGE, 2006), conforme adotado por Monteiro (1973), Salvi (1984), Tarifa e Armani (2001a; 2001b), Zavattini (2009), Novais, Brito e Sanches (2018), entre outros.

3. DESENVOLVIMENTO

Das 3.776 estações analisadas, o melhor recorte temporal compreendeu o período entre os anos de 1998 e 2017 (20 anos), totalizando 38 estações meteorológicas (precipitação e temperatura do ar) e 477 estações pluviométricas. Também foram utilizados os dados térmicos de 16 estações meteorológicas, visando compor os cálculos de regressão (Figura 1).

Figura 1 – Localização das estações meteorológicas e pluviométricas analisadas e selecionadas no estado de Minas Gerais e adjacências entre os anos de 1998 e 2017.



Fonte: adaptado de ANA (2023), IBGE (2023) e INMET (2023). Elaborado pelos autores.

As estações selecionadas apresentaram diferentes proporções de falhas (Tabela 1). Para os dados de precipitação, 95,8% das estações registraram até 15% de falhas mensais ao longo dos 20 anos. No caso das temperaturas máxima, média compensada e mínima do ar, o total de estações com até 15% de falhas foram, respectivamente, 88,8%, 81,4% e 92,6%.

Tabela 1 – Quantidade de estações selecionadas pelo total de falhas nos dados de precipitação e temperatura do ar no estado de Minas Gerais e adjacências entre os anos de 1998 e 2017.

Variável	n	Total de falhas nos dados pluviotérmicos mensais (%)							Total
		0 – 5	5 – 10	10 – 15	15 – 20	20 – 25	25 – 30	30 – 35	(%)
Precipitação	515	70,7	15,3	9,8	2,5	1,7	-	-	100,0
Temp. Máxima	54	61,0	18,5	9,3	5,6	-	1,9	3,7	100,0
Temp. Média Comp.	54	51,9	16,5	13,0	7,4	1,9	1,9	7,4	100,0
Temp. Mínima	54	75,9	11,1	5,6	3,6	1,9	-	1,9	100,0

Fonte: adaptado de ANA (2023) e INMET (2023). Elaborado pelos autores.

O preenchimento das falhas nos dados de precipitação apresentou o valor máximo de 5,0% no mês de dezembro e de 4,1% em relação ao total de 240 meses analisados para todas as estações meteorológicas e pluviométricas utilizadas (Tabela 2). A análise da homogeneidade dos dados de temperatura do ar apontou que todas as estações necessitaram realizar preenchimento de falhas, com os maiores quantitativos entre de abril e outubro.

BIBLIOTECA Comunitária de Bibliotecas Portal de Periódicos

Tabela 2 – Total de falhas mensais nos dados de precipitação e temperatura do ar das estações selecionadas no estado de Minas Gerais e adjacências entre os anos de 1998 e 2017.

Variável	n	Total de falhas nos dados pluviotérmicos mensais (%)												
		Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Ano
Precipitação	515	4,3	3,8	4,3	3,9	4,0	4,1	3,7	3,5	3,5	4,5	4,2	5,0	4,1
Temp. Máxima	54	5,8	4,6	5,7	7,7	6,8	5,8	10,8	9,5	5,5	7,4	6,7	5,8	6,8
Temp. Média Comp.	54	8,5	7,9	8,8	11,3	9,8	9,2	13,3	12,7	8,5	10,8	9,5	9,0	9,9
Temp. Mínima	54	5,4	4,1	4,5	6,2	6,0	5,1	10,4	3,9	4,3	5,9	5,9	5,1	5,6

Fonte: adaptado de ANA (2023) e INMET (2023). Elaborado pelos autores.

Os resultados das regressões (Quadro 1) apontam que os valores de R^2 foram acima de 0,75 e os RSR's foram muito bons em quase todos os meses (MORIASI *et al*., 2007). As exceções ficam por conta das temperaturas mínimas do ar nos meses de maio e setembro (RSR's bons), além de junho a agosto (RSR's satisfatórios), pois essa variável é fortemente influenciada por sistemas extratropicais frios (Sistemas Frontais e pela Massa Polar Atlântica), os quais não são passíveis de serem inseridos no modelo de Regressão Linear Múltipla.

Quadro 1 – Resultados das regressões lineares múltiplas para as médias mensais das temperaturas máxima, média compensada e mínima do ar entre 1998 e 2017.

Variável		Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Temp. Máxima	β_0	31,932	32,614	31,070	26,306	28,242	21,665	17,367	12,789	14,760	20,472	22,643	27,533
	β_{LAT}	0,100	0,070	0,157	0,304	0,563	0,500	0,472	0,424	0,517	0,486	0,289	0,119
	β_{LONG}	-0,099	-0,089	-0,143	-0,294	-0,314	-0,419	-0,503	-0,620	-0,646	-0,523	-0,362	-0,193
	β_{ALT}	-0,006	-0,006	-0,006	-0,006	-0,006	-0,006	-0,006	-0,006	-0,006	-0,006	-0,006	-0,006
	R^2	0,863	0,857	0,870	0,830	0,863	0,848	0,837	0,807	0,802	0,808	0,839	0,879
	RMSE	0,6	0,7	0,6	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1	1,0	0,7	0,6
	RSR	0,37	0,38	0,36	0,41	0,37	0,39	0,4	0,44	0,44	0,44	0,4	0,35
Temp. Média Comp.	β_0	25,087	25,406	25,611	23,651	26,659	21,579	18,316	14,546	13,839	18,039	21,491	23,251
	β_{LAT}	0,135	0,134	0,209	0,374	0,610	0,584	0,569	0,558	0,570	0,496	0,321	0,164
	β_{LONG}	-0,120	-0,118	-0,135	-0,229	-0,204	-0,282	-0,344	-0,453	-0,514	-0,419	-0,258	-0,164
	β_{ALT}	-0,006	-0,006	-0,006	-0,006	-0,006	-0,006	-0,006	-0,005	-0,005	-0,005	-0,005	-0,005
	R^2	0,905	0,877	0,902	0,892	0,890	0,844	0,834	0,828	0,855	0,861	0,902	0,918
	RMSE	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,5	0,4
	RSR	0,31	0,35	0,31	0,33	0,33	0,4	0,41	0,41	0,38	0,37	0,31	0,29
Temp. Mínima	β_0	17,851	17,769	20,006	20,691	24,989	21,323	18,760	14,465	12,090	13,723	18,840	17,986
	β_{LAT}	0,123	0,142	0,224	0,387	0,594	0,569	0,559	0,556	0,534	0,447	0,348	0,173
	β_{LONG}	-0,167	-0,176	-0,158	-0,184	-0,109	-0,148	-0,187	-0,303	-0,395	-0,367	-0,223	-0,181
	β_{ALT}	-0,005	-0,005	-0,005	-0,005	-0,005	-0,005	-0,005	-0,005	-0,005	-0,005	-0,005	-0,005
	R^2	0,859	0,791	0,825	0,764	0,732	0,620	0,579	0,587	0,717	0,803	0,876	0,863
	RMSE	0,5	0,7	0,6	0,9	1,2	1,5	1,6	1,6	1,2	0,9	0,6	0,5
	RSR	0,38	0,46	0,42	0,49	0,52	0,62	0,65	0,64	0,53	0,44	0,35	0,37

Fonte: adaptado de INMET (2023). Elaborado pelos autores.

Os resultados das interpolações das médias de precipitação e dos totais de dias secos tiveram altos valores para o Índice de Moran (*p-value* < 0,01), além do R^2 acima de 0,86 em

quase todos os meses (Quadro 2). As exceções do R^2 ficam por conta das precipitações dos meses de abril (0,78) e novembro (0,71), e dos totais de dias secos em março (0,82), abril (0,77), maio (0,83) e novembro (0,71). Os RSR's das interpolações indicam que quase todas as modelagens tiveram resultados muito bons, exceto abril para os dias secos e novembro para precipitação e dias secos, os quais foram considerados bons (MORIASI *et al.*, 2007).

Quadro 2 – Parâmetros e desempenhos das Krigagens Ordinárias para as médias de precipitação e total de dias secos nas escalas mensal e anual entre 1998 e 2017.

Variável		Jan	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Ano
Precipitação	Índ. de Moran	0,946	0,911	0,885	0,779	0,911	0,900	0,892	0,879	0,932	0,875	0,721	0,875	0,913
	Efeito Pepita	169,0	176,0	151,0	61,0	11,0	6,0	8,0	6,0	15,0	80,0	200,0	331,0	5474
	Patamar	18.267	6.853	3.173	469	708	339	317	214	871	1.876	793	3.534	229.917
	Alcance (km)	1.309	1.309	992	813	1.309	1.088	1.157	1.226	1.061	1.309	385	745,1	1.309
	R^2	0,950	0,921	0,876	0,783	0,917	0,924	0,921	0,891	0,936	0,869	0,711	0,868	0,916
	RMSE (mm)	15,2	12,3	12,8	7,9	4,2	3,2	3,1	2,8	4,5	8,5	13,8	16,8	73,9
Dias Secos	Índ. de Moran	0,940	0,924	0,847	0,782	0,844	0,895	0,885	0,879	0,902	0,886	0,749	0,889	0,874
	Efeito Pepita	6,0	6,0	7,0	5,0	2,0	1,0	1,0	1,0	2,0	4,0	8,0	8,0	2,5
	Patamar	402	275	127	36	40	73	92	64	85	107	47	198	69
	Alcance (km)	1.309	1.309	1.309	799	1.033	1.309	1.309	1.309	1.309	1.309	785	1.309	1.309
	R^2	0,936	0,921	0,822	0,772	0,829	0,907	0,900	0,889	0,906	0,872	0,708	0,874	0,860
	RMSE (%)	2,6	2,5	2,7	2,2	1,7	1,4	1,7	1,5	1,5	2,1	2,9	2,7	1,7

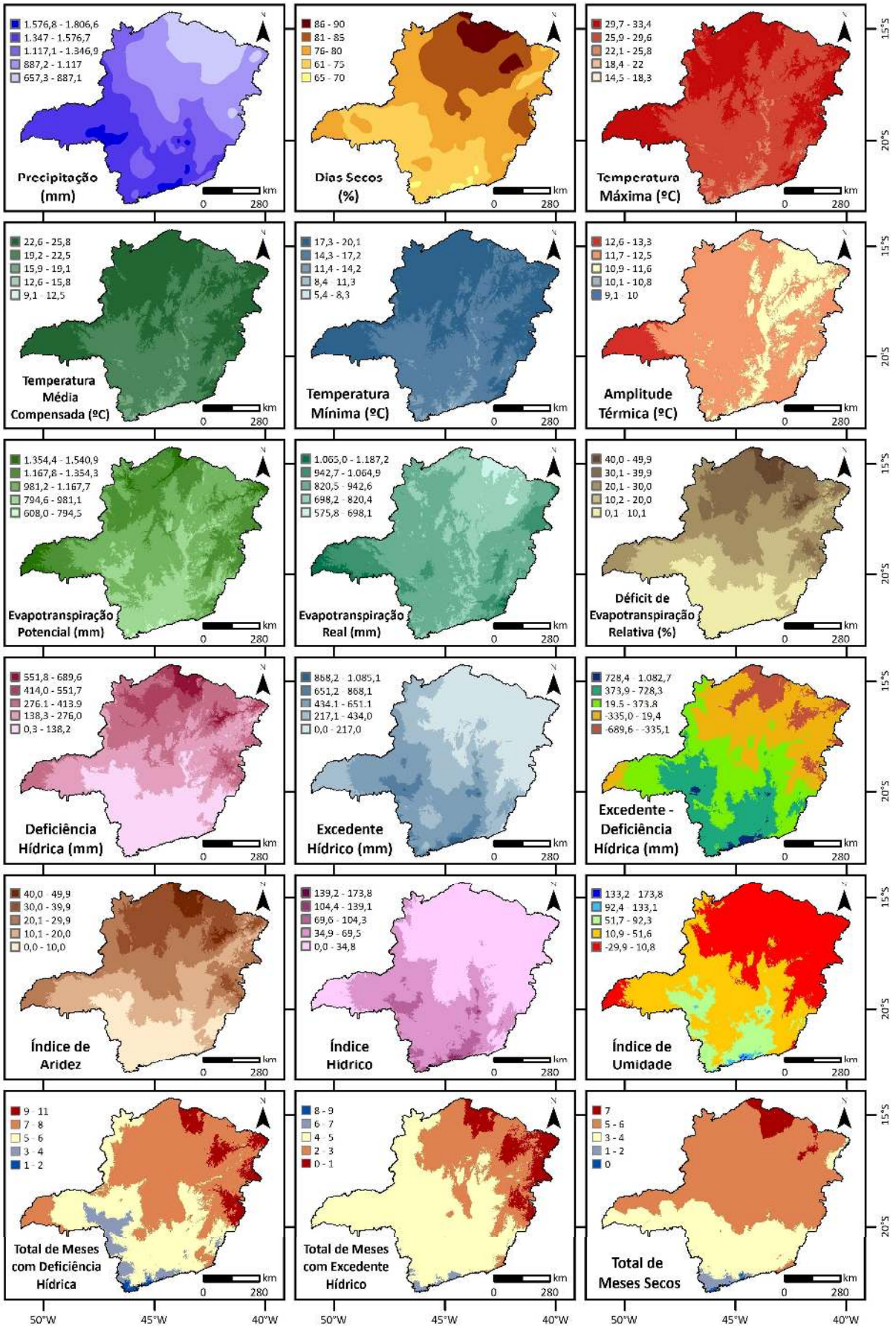
Fonte: adaptado de ANA (2023) e INMET (2023). Elaborado pelos autores.

A Figura 2 apresenta os dados médios anuais de precipitação, do total de dias secos, das Temperaturas do Ar (Mínima, Média Compensada, Máxima e Amplitude), das Evapotranspirações Potencial (ETP) e Real (ETR), do Déficit de Evapotranspiração Relativa (DER), da Deficiência (DEF) e do Excedente (EXC) hídricos, da diferença entre EXC e DEF, dos Índices de Aridez (Ia), Hídrico (Ih) e Umidade (Im), e dos totais de meses com EXC, DEF e Secos.

A porção centro-sul do estado concentra os maiores volumes precipitados e os menores totais de dias secos, sendo gradualmente menos chuvosos e mais secos ao norte. As temperaturas do ar têm forte correlação com a localização geográfica e, principalmente, com a altimetria, tendo os menores valores situados nos locais mais elevados e/ou de maiores latitudes e menores longitudes. A ETP é diretamente influenciada pela temperatura do ar, ou seja, os valores mais baixos estão situados em áreas mais frias (por exemplo, na porção centro-sul), enquanto a ETR também sofre a influência da precipitação (por exemplo, as áreas mais quentes e de maior pluviosidade da porção centro-sul possuem maior ETR).

Ao comparar a espacialização das variáveis do BHC em Minas Gerais, constata-se que a porção centro-sul é hidricamente mais úmida, enquanto as porções centro-norte, nordeste

Figura 2 – Espacializações dos dados climáticos médios anuais para Minas Gerais entre 1998 e 2017.

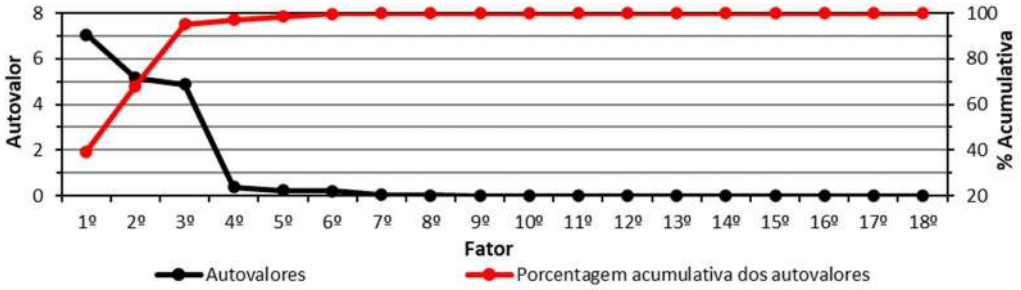


Fonte: adaptado de ANA (2023) e INMET (2023). Elaborado pelos autores.

e extremo oeste do estado (Triângulo Mineiro) são gradativamente mais secas. Essas características são quantitativamente intensificadas, sobretudo, no sentido S-N.

Os resultados pluviotérmicos e do BHC obtidos serviram de base para o cálculo da AF em CP's para 18 fatores (semelhante ao total de variáveis). Esses fatores foram rotacionados pela técnica de Varimax, com o objetivo de maximizar a variação entre os pesos de cada componente principal. Isso possibilita uma melhor interpretação dos resultados e permite sintetizar o total de variáveis analisadas em uma quantidade menor de fatores (MINGOTI, 2005), por meio da interpretação do gráfico de *Scree Plot* (Figura 3).

Figura 3 – Gráfico de *Scree Plot* dos autovalores após rotação (Varimax) da Análise Fatorial dos dados climáticos médios anuais para o estado de Minas Gerais entre 1998 e 2017.



Fonte: adaptado de ANA (2023) e INMET (2023). Elaborado pelos autores.

Ao interpretar as curvas de autovalores e adotar o critério de Kaiser, que utiliza fatores com autovalores acima de 1,0 (BEZERRA, 2007), foram definidos os três primeiros fatores como suficientes para compreender o conjunto de dados analisados. Esses fatores correspondem à inércia explicada acumulada de 95,1% (1º Fator com 39,3%, 2º Fator com 28,7%, 3º Fator com 27,1% das variâncias explicadas), sendo que as cargas fatoriais dos três componentes e os valores dos itens comuns para cada variável estão presentes na Tabela 3.

Tabela 3 – Cargas fatoriais rotacionadas (Varimax), itens comuns e características dos fatores.

Fator	Prec.	Dias Secos	Temperatura				Balanço Hídrico											Meses Secos	Variância Explicada (%)
			Máx.	Média	Mín.	Amp.	ETP	ETR	DER	DEF	EXC	EXC - DEF	Ia	Ih	Im	Meses DEF	Meses EXC		
1º	-0,815	0,579	0,353	0,429	0,466	-0,247	0,403	-0,170	0,533	0,512	-0,904	-0,785	0,533	-0,858	-0,809	0,810	-0,869	0,477	39,3
2º	-0,552	0,765	0,281	0,350	0,374	-0,213	0,313	-0,669	0,784	0,730	-0,377	-0,551	0,784	-0,380	-0,485	0,291	-0,285	0,773	28,7
3º	-0,139	-0,007	-0,890	-0,827	-0,793	-0,901	-0,846	-0,708	-0,300	-0,416	0,137	0,265	-0,300	0,291	0,302	-0,251	0,143	-0,127	27,1
Comum	0,988	0,920	0,996	0,990	0,986	0,918	0,977	0,978	0,990	0,968	0,977	0,989	0,990	0,965	0,981	0,803	0,856	0,841	95,1

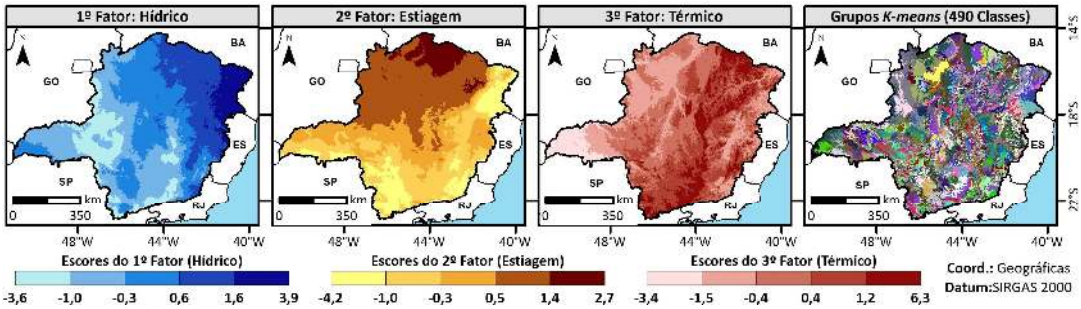
Classificação das cargas fatoriais significativas (< -0,5 e > 0,5) 1º Fator (Hídrico): + - 2º Fator (Estiagem): + - 3º Fator (Térmico): +

Fonte: adaptado de ANA (2023) e INMET (2023). Elaborado pelos autores.

É possível identificar na Tabela 3 que somente três variáveis possuem itens comuns abaixo de 0,9 (meses com DEF [0,80], EXC [0,87] e Secos [0,84]), sendo que quanto mais

próximos os valores das cargas fatoriais estiverem de 1, maior é a capacidade de explicação. As cargas fatoriais mais significativas (± 0,5) foram classificadas em: 1º Fator como Hídrico; 2º Fator como Estiagem; e 3º Fator como Térmico. Os coeficientes dos escores fatoriais foram espacializados e agrupados em 490 grupos pela técnica *K-means* (Figura 4).

Figura 4 – Espacializações dos escores fatoriais e dos 490 grupos classificados (*K-means*) para os dados climáticos médios anuais para Minas Gerais entre 1998 e 2017.



Fonte: adaptado de ANA (2023) e INMET (2023). Elaborado pelos autores.

Posteriormente, foram calculadas as médias dos escores fatoriais em relação à sobreposição espacial dos 490 grupos formados por *K-means*, os quais foram utilizados na análise de agrupamento hierárquico de Ward para a definição dos grupos homogêneos. A definição do total de grupos para a escala cartográfica de 1:9.000.000 ocorreu pela interpretação da Curva de Inércia Intragrupos (Figura 5) e na análise do dendrograma (Figura 6), permitindo sintetizar os 490 grupos em 13 unidades climática heterogêneas.

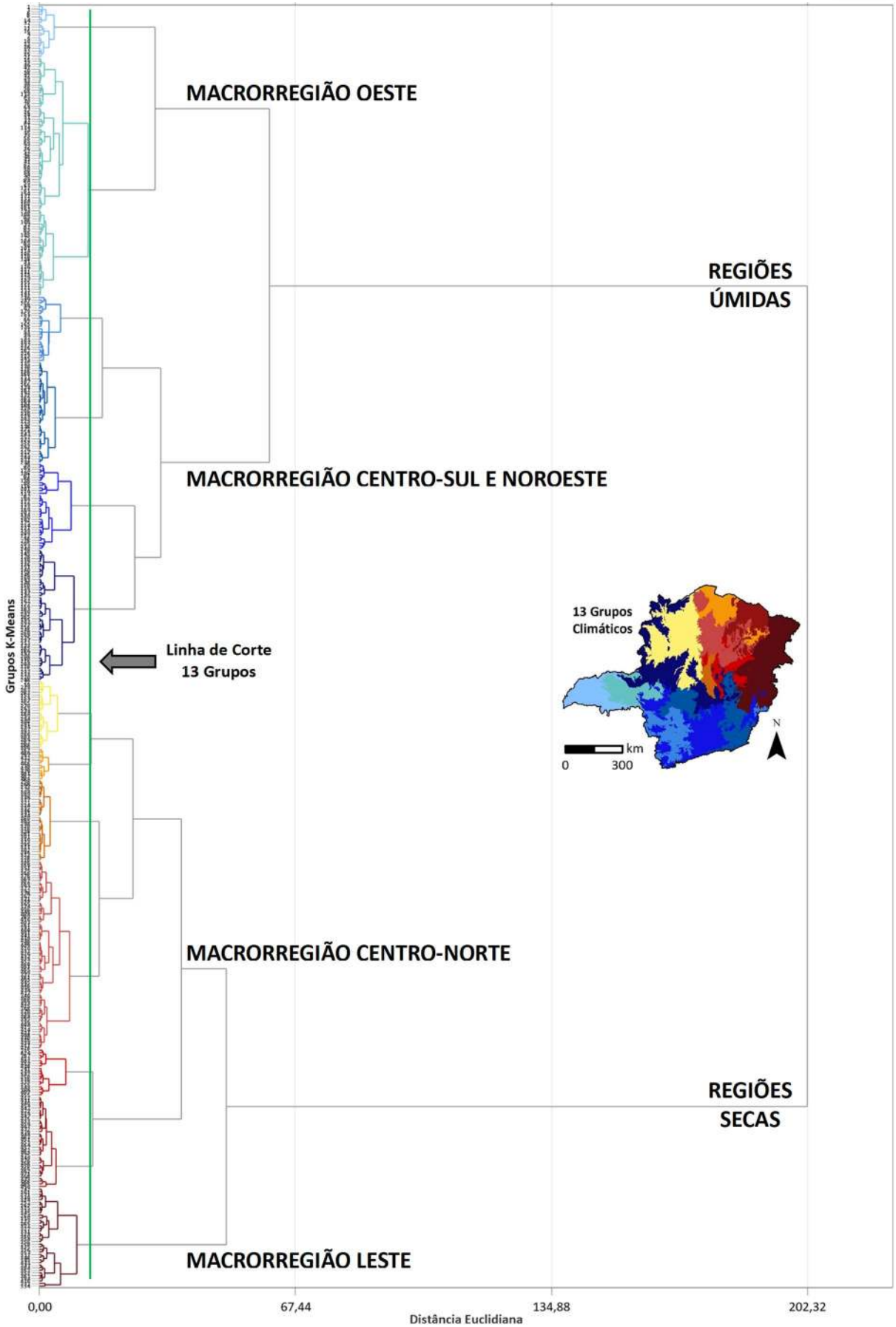
Figura 5 – Curva de Inércia Intragrupos da análise de agrupamento hierárquico para as médias dos 3 escores fatoriais climáticos anuais dos 490 grupos (*K-means*) para Minas Gerais entre 1998 e 2017.



Fonte: Elaborado pelos autores.

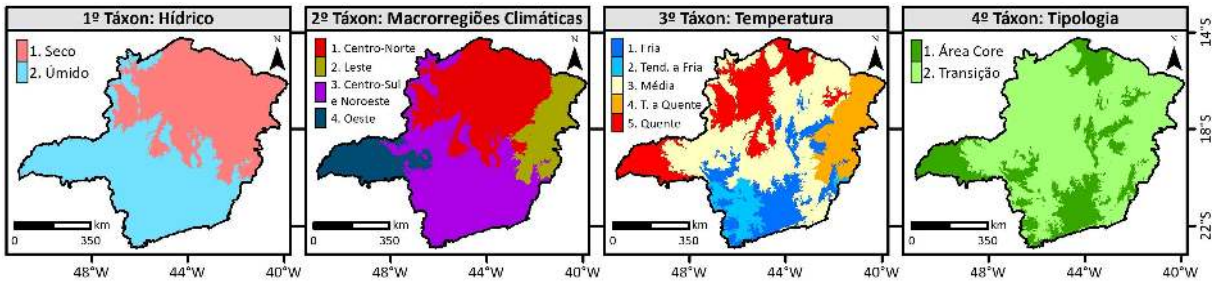
As características climáticas dos 13 grupos foram classificadas em 4 táxons principais (Figura 7): o 1º Táxon como Hídrico (1. Seco; 2. Úmido); o 2º Táxon como Macrorregiões Climáticas (1. Centro-Norte; 2. Leste; 3. Centro-Sul e Noroeste; 4. Oeste); o 3º Táxon como Térmico (1. Fria; 2. Tendente a Fria; 3. Média; 4. Tendente a Quente; 5. Quente); e o 4º Táxon com as Tipologias (1. Áreas *Core*: condições "extremas" [seca e fria; seca e quente; úmida e fria; e úmida e quente]; 2. Transição: regiões de interface entre as diferentes Áreas *Core*).

Figura 6 – Dendrograma das médias dos escores fatoriais para os 490 grupos (*K-means*).



Fonte: adaptado de ANA (2023) e INMET (2023). Elaborado pelos autores.

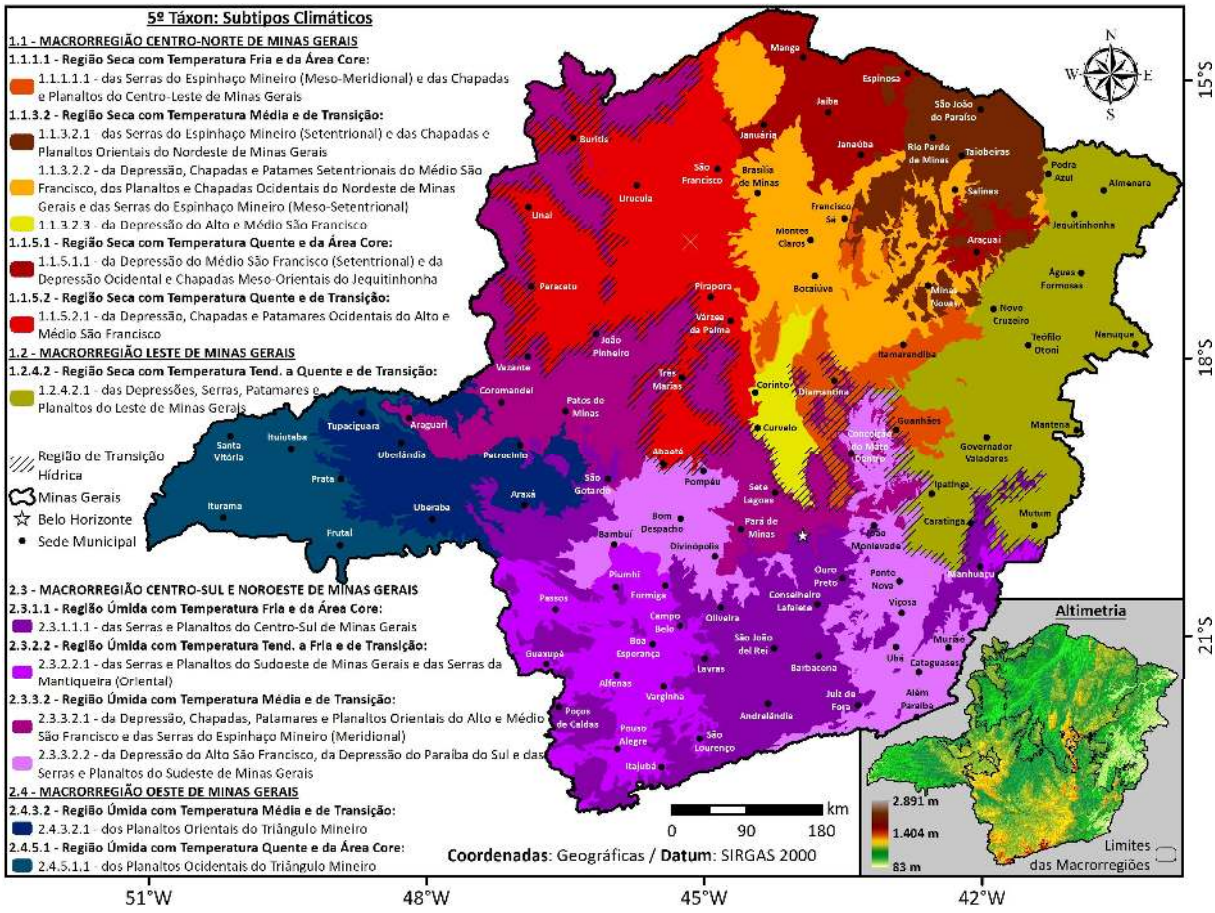
Figura 7 – 1º, 2º, 3º e 4º Táxons Climáticos do estado de Minas Gerais entre 1998 e 2017.



Fonte: adaptado de ANA (2023) e INMET (2023). Elaborado pelos autores.

O 5º Táxon representa os 13 subtipos climáticos de Minas Gerais (Figura 8), os quais são: (I) hierarquicamente definidos pela combinação dos códigos do 1º, 2º, 3º e 4º Táxons; (II) nomeados pela sobreposição das unidades climáticas com as macrofisionomias do relevo.

Figura 8 – Subtipos Climáticos (5º Táxon) do estado de Minas Gerais entre 1998 e 2017.



Fonte: adaptado de adaptado de ANA (2023), INMET (2023) e USGS (2023). Elaborado pelos autores.

Os subtipos climáticos estão vinculados aos fatores do clima (BORSATO, 2016; JARDIM; GALVANI, 2022), por meio: (I) das serras do Espinhaço, que limitam os efeitos da maritimidade a leste e reforçam gradualmente os da continentalidade a oeste; (II) da Massa Polar Atlântica

(mPa) e da Frente Polar Atlântica (FPA), cujas influências diminuem progressivamente no sentido S-N; (III) da Massa Tropical Atlântica (mTa) atuante em todo o estado, especialmente nos períodos de estiagem; (IV) da Massa Equatorial Atlântica (mEa) continentalizada ao norte; (V) das Zonas de Convergência de Umidade (ZCOU) e do Atlântico Sul (ZCAS), que, durante a primavera e o verão, contribuem para a precipitação de forma decrescente no sentido S-N.

O Quadro 3 apresenta as condições climáticas médias anuais entre 1998 e 2017 para cada Subtipo Climático (5º Táxon), com destaque para as unidades localizadas em áreas *core*.

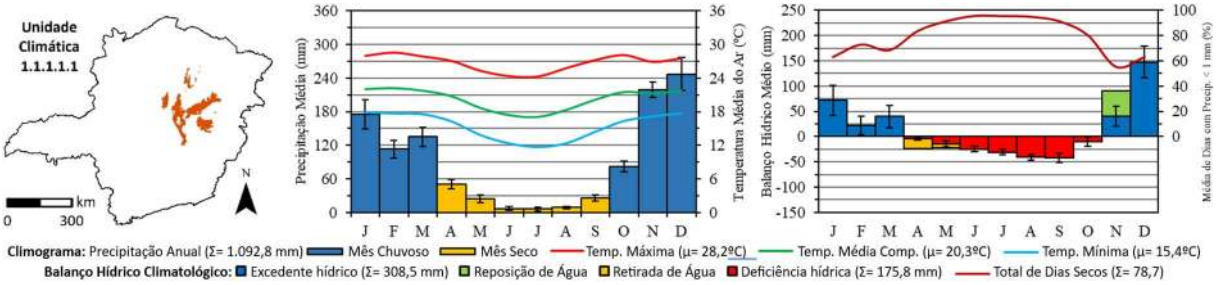
A seguir serão descritas as principais características dos 13 subtipos climáticos.

3.1 Serras do Espinhaço Mineiro (Meso-Meridional) e das Chapadas e Planaltos do Centro-Leste de Minas Gerais

A unidade 1.1.1.1.1 é uma região climática de área *core* (seca e fria) situada na Macrorregião Centro-Norte. Possui 18.768 km² (3,2% e 2ª menor área) e altitude média de 1.040 m (2ª maior).

A precipitação média anual é de 1.092,8 mm e o total médio de dias secos no ano é de 78,7%. As médias térmicas anuais são de 26,7°C para máxima (2ª menor), de 20,3°C para média compensada (2ª menor) e de 15,4°C para mínima (2ª menor), que correspondem a amplitude térmica de 11,3°C (2ª menor). As médias anuais de ETP e ETR são, respectivamente, de 940,5 mm (2ª menor) e de 771,8 mm (3ª menor), que contribuem para as médias acumuladas de -168,7 mm de DEF e de 321 mm de EXC, totalizando o saldo hídrico de 152,3 mm. Os índices médios do BHC são de 17,9 para o Ia, de 34,8 para o Ih e de 24,1 para o Im. Conforme Figura 9, no ano há em média 7 meses de DEF (abril a outubro), 5 meses de EXC (janeiro a março e novembro a dezembro) e 6 meses secos (abril a setembro).

Figura 9 – Localização e características climáticas médias (pluviotérmicas e do balanço hídrico climatológico) do subtipo climático 1.1.1.1.1 em Minas Gerais, entre os anos de 1998 e 2017.



Fonte: adaptado de ANA (2023) e INMET (2023). Elaborado pelos autores.

Quadro 3 – Características dos subtipos climáticos de Minas Gerais entre 1998 e 2017: média anual.

Variáveis		Unidades Climáticas Secas							Unidades Climáticas Úmidas					
		1.1.1.1.1	1.1.3.2.1	1.1.3.2.2	1.1.3.2.3	**1.1.5.1.1**	1.1.5.2.1	1.2.4.2.1	**2.3.1.1.1**	2.3.2.2.1	2.3.3.2.1	2.3.3.2.2	2.4.3.2.1	**2.4.5.1.1**
Área Ocupada	km²	**18.768**	30.499	46.335	8.798	**26.980**	71.555	75.660	**73.901**	38.710	77.420	52.786	30.499	**34.604**
	%	**3,2**	5,2	7,9	1,5	**4,6**	12,2	12,9	**12,6**	6,6	13,2	9,0	5,2	**5,9**
Altitude (m)	μ	**1.040**	849	743	655	**502**	596	461	**1.065**	842	844	650	825	**513**
	σ	**187**	117	117	72	**79**	77	207	**189**	98	95	173	110	**82**
Prec. (mm)	μ	**1.092,8**	781,4	917,1	1.052,4	**764,6**	1.104,2	990,7	**1.454,1**	1.385,6	1.289,5	1.332,6	1.502,0	**1.434,6**
	σ	**110,2**	60,6	67,1	58,1	**62,7**	117,3	95,9	**118,6**	84,0	125,9	108,3	56,5	**50,6**
DS (%)	μ	**78,7**	84,5	82,9	80,1	**86,0**	80,5	78,2	**72,9**	73,6	77,2	75,6	73,7	**75,3**
	σ	**1,7**	1,6	1,5	0,7	**1,1**	2,2	2,3	**2,3**	1,6	2,2	1,9	1,3	**1,2**
TMAX (ºC)	μ	**26,7**	28,2	29,2	29,2	**31,0**	30,7	29,7	**26,1**	27,8	28,9	28,6	29,3	**31,7**
	σ	**1,0**	0,6	0,8	0,5	**0,5**	0,6	1,1	**1,2**	0,7	0,9	0,8	0,9	**0,7**
TMC (ºC)	μ	**20,3**	21,9	22,6	22,5	**24,3**	23,9	23,0	**19,4**	20,8	22,1	21,7	22,3	**24,4**
	σ	**1,0**	0,6	0,8	0,5	**0,5**	0,6	1,0	**1,1**	0,7	0,9	0,8	0,8	**0,6**
TMIN (ºC)	μ	**15,4**	17,0	17,6	17,3	**19,1**	18,6	17,9	**14,5**	15,7	17,0	16,6	17,0	**18,9**
	σ	**0,9**	0,5	0,7	0,4	**0,4**	0,6	0,9	**1,0**	0,7	0,8	0,7	0,7	**0,5**
AT (ºC)	μ	**11,3**	11,2	11,6	11,9	**11,9**	12,1	11,8	**11,6**	12,1	11,9	12,0	12,3	**12,8**
	σ	**0,2**	0,2	0,1	0,1	**0,1**	0,1	0,3	**0,2**	0,2	0,2	0,2	0,2	**0,2**
ETP (mm)	μ	**940,5**	1.049,6	1.117,7	1.105,1	**1.304,4**	1.248,5	1.173,5	**899,1**	983,9	1.073,2	1.052,2	1.089,8	**1.322,7**
	σ	**58,0**	46,0	72,9	43,9	**59,0**	67,7	106,2	**54,5**	48,8	68,5	64,8	69,8	**81,3**
ETR (mm)	μ	**771,8**	712,3	776,8	836,6	**751,8**	866,4	904,0	**838,3**	913,9	842,1	920,2	938,4	**1.053,8**
	σ	**50,0**	28,2	24,9	18,3	**49,1**	32,6	58,8	**38,4**	31,8	31,0	56,7	38,4	**37,8**
DER (mm)	μ	**17,9**	32,0	30,3	24,2	**42,3**	30,5	22,6	**6,6**	7,0	21,3	12,5	13,7	**20,2**
	σ	**3,9**	3,3	4,0	2,1	**3,5**	3,4	5,6	**3,4**	3,2	5,3	3,8	3,8	**3,3**
DEF (mm)	μ	**168,7**	337,3	340,9	268,5	**552,6**	382,2	269,5	**60,8**	70,1	231,1	131,9	151,4	**268,9**
	σ	**40,3**	45,5	64,9	32,8	**57,9**	58,9	85,8	**32,8**	33,8	69,4	43,2	49,6	**58,0**
EXC (mm)	μ	**321,0**	69,1	140,3	215,8	**12,9**	237,8	87,9	**615,8**	471,7	447,4	412,3	563,6	**380,8**
	σ	**110,9**	43,4	63,1	62,8	**19,5**	98,8	79,8	**119,8**	73,3	105,8	108,1	60,4	**71,3**
EXC-DEF (mm)	μ	**152,3**	-268,2	-200,6	-52,7	**-539,8**	-144,4	-181,6	**555,0**	401,6	216,3	280,4	412,2	**111,8**
	σ	**143,4**	83,6	122,8	93,7	**72,8**	144,3	145,6	**141,1**	96,1	155,8	138,9	103,3	**122,8**
Ia	μ	**17,9**	32,0	30,3	24,2	**42,3**	30,5	22,6	**6,6**	7,0	21,3	12,5	13,7	**20,2**
	σ	**3,9**	3,3	4,0	2,1	**3,5**	3,4	5,6	**3,4**	3,2	5,3	3,8	3,8	**3,3**
Ih	μ	**34,8**	6,7	12,9	19,7	**1,0**	19,3	7,9	**69,2**	48,2	42,1	39,7	52,2	**29,2**
	σ	**14,2**	4,3	6,4	6,5	**1,5**	8,3	7,5	**16,5**	8,5	11,0	12,0	8,5	**7,1**
Im	μ	**24,1**	-12,5	-5,3	5,2	**-24,4**	1,0	-5,7	**65,2**	44,0	29,3	32,3	44,0	**17,1**
	σ	**15,8**	6,0	8,6	7,6	**3,4**	10,0	9,8	**17,9**	10,0	13,5	13,4	10,4	**8,7**
Meses com DEF	μ	**7**	9	7	7	**10**	7	9	**6**	6	7	7	7	**7**
	σ	**1**	1	1	0	**1**	0	1	**2**	1	1	1	1	**1**
Meses com EXC	μ	**5**	3	5	5	**1**	5	3	**6**	6	5	5	5	**4**
	σ	**1**	1	1	1	**1**	1	1	**1**	1	0	1	1	**0**
Meses Secos	μ	**6**	7	6	6	**7**	6	5	**4**	5	5	5	5	**5**
	σ	**0**	0	0	0	**1**	1	1	**1**	1	0	1	1	**1**

μ = média aritmética / σ = desvio padrão / **áreas *core***

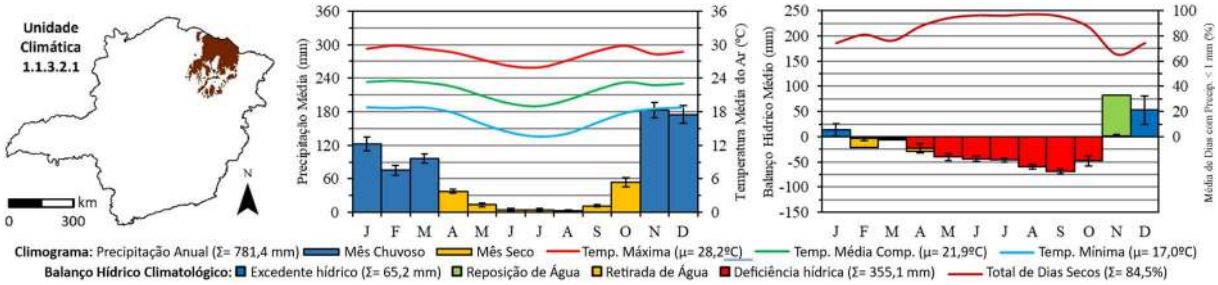
Fonte: adaptado de ANA (2023) e INMET (2023). Elaborado pelos autores.

3.2 Serras do Espinhaço Mineiro (Setentrional) e das Chapadas e Planaltos Orientais do Nordeste de Minas Gerais

A unidade 1.1.3.2.1 é uma região de transição climática (seca e de temperatura média) situada na Macrorregião Centro-Norte. Possui 30.499 km² (5,2%) e altitude média de 849 m (3ª maior).

A precipitação média anual é de 781,4 mm (2ª menor) e o total médio de dias secos no ano é de 84,5% (2º maior). As médias térmicas anuais são de 28,2°C para máxima, de 21,9°C de média compensada e de 17°C de mínima, que correspondem a amplitude térmica média anual de 11,2°C (1º menor). As médias anuais de ETP e ETR são, respectivamente, de 1.049,6 mm e de 712,3 mm (1ª menor), que contribuem para as médias acumuladas de -337,3 mm de DEF e de 69,1 mm de EXC (2ª menor), totalizando o saldo hídrico de -268,2 mm de déficit ao longo do ano (2º menor). Os índices médios do BHC são de 32,0 para o Ia (2º maior), de 6,7 para o Ih (2º menor) e de -12,5 para o Im (2º menor). Conforme Figura 10, o ano há em média 9 meses de DEF (fevereiro a outubro), 3 meses de EXC (janeiro e novembro a dezembro) e 7 meses secos (abril a outubro).

Figura 10 – Localização e características climáticas médias (pluviotérmicas e do balanço hídrico climatológico) do subtipo climático 1.1.3.2.1 em Minas Gerais, entre os anos de 1998 e 2017.



Fonte: adaptado de ANA (2023) e INMET (2023). Elaborado pelos autores.

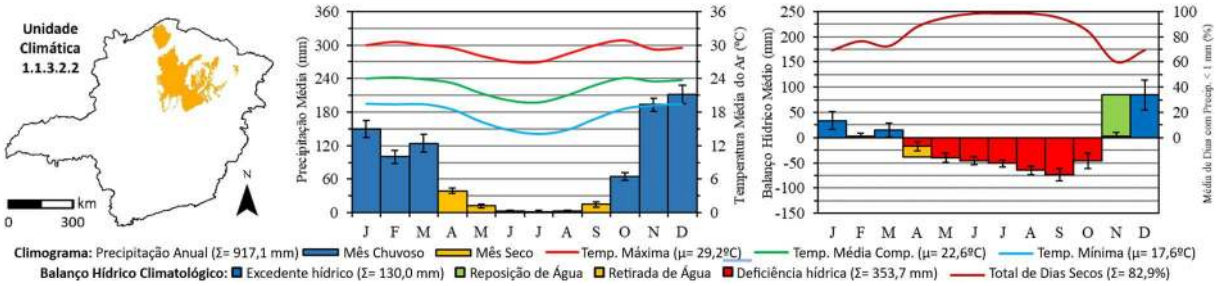
3.3 Depressão, Chapadas e Patamares Setentrionais do Médio São Francisco, dos Planaltos e Chapadas Ocidentais do Nordeste de Minas Gerais e das Serras do Espinhaço Mineiro (Meso-Setentrional)

A unidade 1.1.3.2.2 é uma região de transição climática (seca e de temperatura média) situada na Macrorregião Centro-Norte. Possui 46.335 km² (7,9%) e altitude média de 743 m.

A precipitação média anual é de 917,1 mm (3ª menor) e o total médio de dias secos é de 82,9% (3º maior). As médias térmicas anuais são de 29,2°C para máxima, de 22,6°C para

média compensada e de 17,6°C de mínima, que correspondem a amplitude térmica de 11,6°C. As médias anuais de ETP e ETR são, respectivamente, de 1.117,7 mm e de 776,8 mm, que contribuem para as médias acumuladas de -340,9 mm de DEF (3ª maior) e de 140,3 mm de EXC, totalizando o saldo hídrico de -200,6 mm de déficit ao longo do ano (3º menor). Os índices médios do BHC são de 30,3 para o Ia, de 12,9 para o Ih e de -5,3 para o Im. Conforme Figura 11, no ano há em média 7 meses de DEF (abril a outubro), 5 meses de EXC (janeiro a março e novembro a dezembro) e 6 meses secos (abril a setembro).

Figura 11 – Localização e características climáticas médias (pluviotérmicas e do balanço hídrico climatológico) do subtipo climático 1.1.3.2.2 em Minas Gerais, entre os anos de 1998 e 2017.



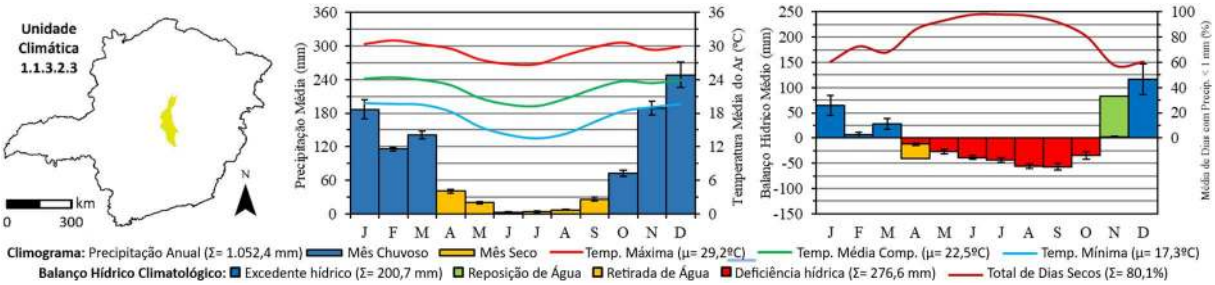
Fonte: adaptado de ANA (2023) e INMET (2023). Elaborado pelos autores.

3.4 Depressão do Alto e Médio São Francisco

A unidade 1.1.3.2.3 é uma região de transição climática (seca e de temperatura média) situada na Macrorregião Centro-Norte. Possui 8.798 km² (1,5% e menor área) e altitude média de 655 m.

A precipitação média anual é de 1.052,4 mm e o total médio de dias secos no ano é de 80,1%. As médias térmicas anuais são de 29,2°C para máxima, de 22,5°C para média compensada e de 17,3°C de mínima, que correspondem a amplitude térmica média anual de 11,9°C. As médias anuais de ETP e ETR são, respectivamente, de 1.105,1 mm e de 836,6 mm, que contribuem para as médias acumuladas de -268,5 mm de DEF e de 215,8 mm de EXC, totalizando o saldo hídrico de -52,7 mm de déficit ao longo do ano. Os índices médios do BHC são de 24,2 para o Ia, de 19,7 para o Ih e de 5,2 para o Im. Constata-se que durante o ano há em média 7 meses de DEF (abril a outubro), 5 meses de EXC (janeiro a março e novembro a dezembro) e 6 meses secos (abril a setembro), conforme Figura 12.

Figura 12 – Localização e características climáticas médias (pluviotérmicas e do balanço hídrico climatológico) do subtipo climático 1.1.3.2.3 em Minas Gerais, entre os anos de 1998 e 2017.



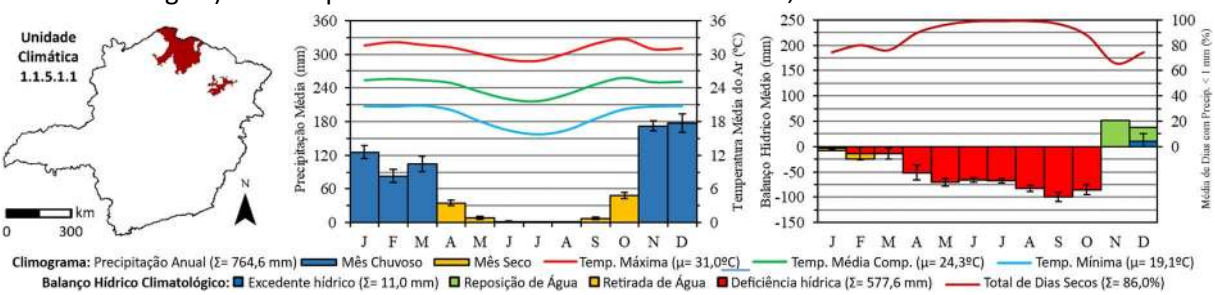
Fonte: adaptado de ANA (2023) e INMET (2023). Elaborado pelos autores.

3.5 Depressão do Médio São Francisco (Setentrional) e da Depressão Ocidental e Chapadas Meso-Orientais do Jequitinhonha

A unidade 1.1.5.1.1 é uma região climática de área *core* (seca e quente) situada na Macrorregião Centro-Norte. Possui 26.980 km² (4,6% e 3ª menor área) e altitude de 502 m (2ª menor).

A precipitação média anual é de 764,6 mm (1ª menor) e o total médio de dias secos no ano é de 86% (1º maior). As médias térmicas anuais são de 31,0°C para máxima (2ª maior), de 24,3°C para a média compensada (2ª maior) e de 19,1°C para a mínima (1ª maior), que correspondem a amplitude térmica média anual de 11,9°C. As médias anuais de ETP e ETR são, respectivamente, de 1.304,4 mm (2ª maior) e de 751,8 mm (2ª menor), que contribuem para as médias acumuladas de -552,6 mm de DEF (1ª maior) e de 12,9 mm de EXC (1ª menor), totalizando o saldo hídrico de -539,7 mm de déficit ao longo do ano (1º menor). Os índices médios do BHC são de 42,3 para o Ia (1º maior), de 1 para o Ih (1º menor) e de -24,4 para o Im (1º menor). Constata-se que há em média 10 meses de DEF (janeiro a outubro), 1 mês de EXC (dezembro) e 7 meses secos (abril a outubro), conforme Figura 13.

Figura 13 – Localização e características climáticas médias (pluviotérmicas e do balanço hídrico climatológico) do subtipo climático 1.1.5.1.1 em Minas Gerais, entre os anos de 1998 e 2017.



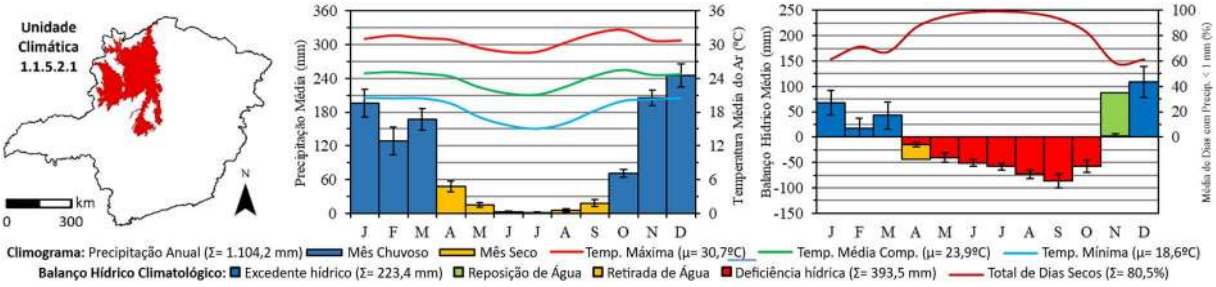
Fonte: adaptado de ANA (2023) e INMET (2023). Elaborado pelos autores.

3.6 Depressão, Chapadas e Patamares Ocidentais do Alto e Médio São Francisco

A unidade 1.1.5.2.1 é uma região de transição climática (seca e quente) situada na Macrorregião Centro-Norte. Possui 71.555 km² (12,2%) e altitude média de 596 m.

A precipitação média anual é de 1.104,2 mm e o total médio de dias secos no ano é de 80,5%. As médias térmicas anuais são de 30,7°C para máxima (3ª maior), de 23,9°C para média compensada (3ª maior) e de 18,6°C para mínima (3ª maior), que correspondem a amplitude térmica média anual de 12,1°C (3ª maior). As médias anuais de ETP e ETR são, respectivamente, de 1.248,5 mm (3ª maior) e de 866,4 mm, que contribuem para as médias acumuladas de -382,2 mm de DEF (2ª maior) e de 237,8 mm de EXC, totalizando o saldo hídrico de -144,4 mm de déficit ao longo do ano. Os índices médios do BHC são de 30,5 para o Ia (3º maior), de 19,3 para o Ih e de 1,0 para o Im. Constata-se que durante o ano há em média 7 meses de DEF (abril a outubro), 5 meses de EXC (janeiro a março e novembro a dezembro) e 6 meses secos (abril a setembro), conforme apresentado na Figura 14.

Figura 14 – Localização e características climáticas médias (pluviotérmicas e do balanço hídrico climatológico) do subtipo climático 1.1.5.2.1 em Minas Gerais, entre os anos de 1998 e 2017.



Fonte: adaptado de ANA (2023) e INMET (2023). Elaborado pelos autores.

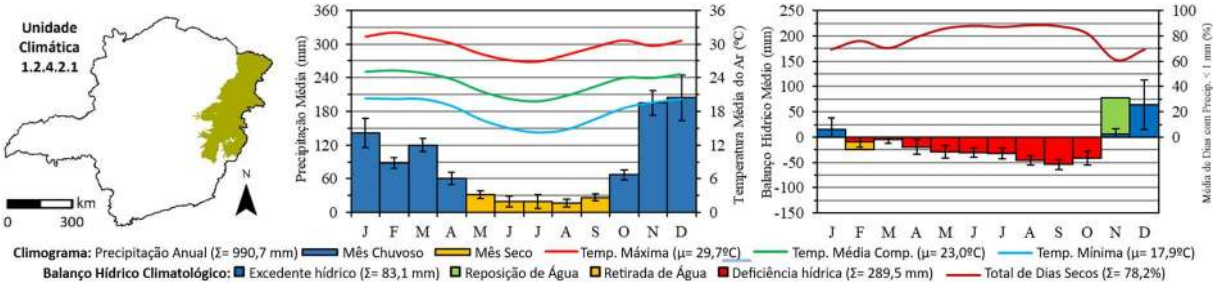
3.7 Depressões, Serras, Patamares e Planaltos do Leste de Minas Gerais

A unidade 1.2.4.2.1 é uma região de transição climática (seca e tendente a quente) situada na Macrorregião Leste. Possui 75.660 km² (12,9% e 2ª maior área) e altitude média de 461 m (1ª menor).

A precipitação média anual é de 990,7 mm e o total médio de dias secos no ano é de 78,2%. As médias térmicas anuais são de 29,7°C para máxima, de 23°C para média compensada e de 17,9°C de mínima, que correspondem a amplitude térmica média anual de 11,8°C. As médias anuais de ETP e ETR são, respectivamente, de 1.173,5 mm e de 904 mm,

que contribuem para as médias acumuladas de -269,5 mm de DEF e de 87,9 mm de EXC (3ª menor), totalizando o saldo hídrico de -181,6 mm de déficit ao longo do ano. Os índices médios do BHC são de 22,6 para o Ia, de 7,9 para o Ih (3º menor) e de -5,7 para o Im (3º menor). Constata-se que durante o ano há em média 9 meses de DEF (fevereiro a outubro), 3 meses de EXC (novembro a janeiro) e 5 meses secos (maio a setembro), conforme apresentado na Figura 15.

Figura 15 – Localização e características climáticas médias (pluviotérmicas e do balanço hídrico climatológico) do subtipo climático 1.2.4.2.1 em Minas Gerais, entre os anos de 1998 e 2017.



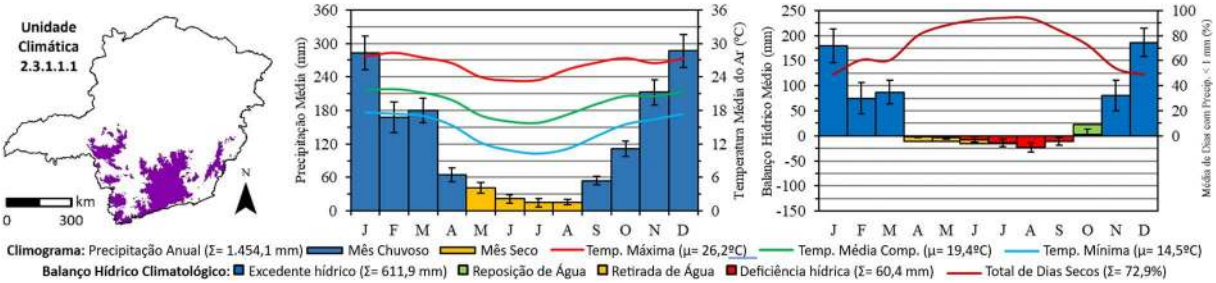
Fonte: adaptado de ANA (2023) e INMET (2023). Elaborado pelos autores.

3.8 Serras e Planaltos do Centro-Sul de Minas Gerais

A unidade 2.3.1.1.1 é uma região climática de área *core* (úmida e de temperatura fria) situada na Macrorregião Centro-Sul e Noroeste. Possui 73.901 km² (12,6% e 3ª maior área) e altitude média de 1.065 m (1ª maior).

A precipitação média anual é de 1.454,1 mm (2ª maior) e o total médio de dias secos no ano é de 72,9% (1º menor). As médias térmicas anuais são de 26,1°C para máxima (1ª menor), de 19,4°C para média compensada (1ª menor) e de 14,5°C para mínima (1ª menor), que correspondem a amplitude térmica média anual de 11,6°C. As médias anuais de ETP e ETR são, respectivamente, de 899,1 mm (1ª menor) e de 838,3 mm, que contribuem para as médias acumuladas de -60,8 mm de DEF (1ª menor) e de 615,8 mm de EXC (1ª maior), totalizando o saldo hídrico de 555,0 mm acumulados ao longo do ano (1º maior). Os índices médios do BHC são de 6,6 para o Ia (1º menor), de 69,2 para o Ih (1º maior) e de 65,2 para o Im (1º maior). Conforme Figura 16, no ano há em média 6 meses de DEF (abril a setembro), 6 meses de EXC (janeiro a março e outubro a dezembro) e 4 meses secos (maio a agosto).

Figura 16 – Localização e características climáticas médias (pluviotérmicas e do balanço hídrico climatológico) do subtipo climático 2.3.1.1.1 em Minas Gerais, entre os anos de 1998 e 2017.



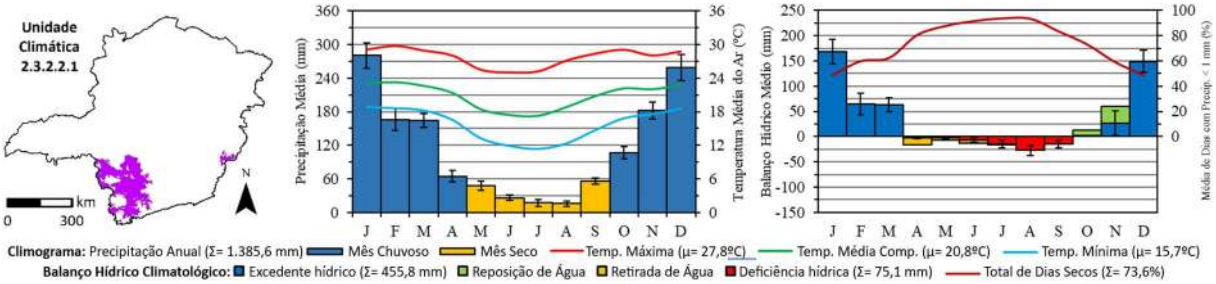
Fonte: adaptado de ANA (2023) e INMET (2023). Elaborado pelos autores.

3.9 Serras e Planaltos do Sudoeste de Minas Gerais e das Serras da Mantiqueira (Oriental)

A unidade 2.3.2.2.1 é uma região de transição climática (úmida e de temperatura tendente a fria) situada na Macrorregião Centro-Sul e Noroeste. Possui 38.710 km² (6,6%) e altitude média de 842 m.

A precipitação média anual é de 1.385,6 mm e o total médio de dias secos no ano é de 73,6% (2º menor). As médias térmicas anuais são de 27,8°C para máxima (3ª menor), de 20,8°C para média compensada (3ª menor) e de 15,7°C para mínima (3ª menor), que correspondem a amplitude térmica média anual de 12,1°C. As médias anuais de ETP e ETR são, respectivamente, de 983,9 mm (3ª menor) e de 913,9 mm, que contribuem para as médias acumuladas de -70,1 mm de DEF (2ª menor) e de 471,7 mm de EXC (3ª maior), totalizando o saldo hídrico de 401,6 mm acumulados ao longo do ano (3º maior). Os índices médios do BHC são de 7,0 para o Ia (2º menor), de 48,2 para o Ih (3º maior) e de 44,0 para o Im (2º maior). Constata-se que durante o ano há em média 6 meses de DEF (abril a setembro), 6 meses de EXC (janeiro a março e outubro a dezembro) e 5 meses secos (maio a setembro), conforme apresentado na Figura 17.

Figura 17 – Localização e características climáticas médias (pluviotérmicas e do balanço hídrico climatológico) do subtipo climático 2.3.2.2.1 em Minas Gerais entre, os anos de 1998 e 2017.



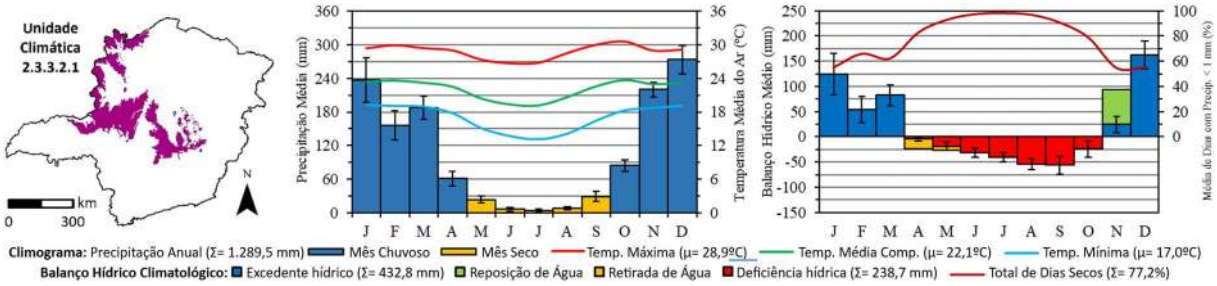
Fonte: adaptado de ANA (2023) e INMET (2023). Elaborado pelos autores.

3.10 Depressão, Chapadas, Patamares e Planaltos Orientais do Alto e Médio São Francisco e das Serras do Espinhaço Mineiro (Meso-Meridional)

A unidade 2.3.3.2.1 é uma região de transição climática (úmida e de temperatura média) situada na Macrorregião Centro-Sul e Noroeste. Possui 77.420 km² (13,2% e maior área) e altitude média de 844 m.

A precipitação média anual é de 1.289,5 mm e o total médio de dias secos no ano é de 77,2%. As médias térmicas anuais são de 28,9°C para a máxima, de 22,1°C para a média compensada e de 17°C de mínima, que correspondem a amplitude térmica média anual de 11,9°C. As médias anuais de ETP e ETR são, respectivamente, de 1073,2 mm e de 842,1 mm, que contribuem para as médias acumuladas de -231,1 mm de DEF e de 447,4 mm de EXC, totalizando o saldo hídrico de 216,3 mm acumulados ao longo do ano. Os índices do BHC na escala anual são de 21,3 para o Ia, de 42,1 para o Ih e de 29,3 para o Im. Constata-se que durante o ano há em média 7 meses de DEF (abril a outubro), 5 meses de EXC (janeiro a março e novembro a dezembro) e 5 meses secos (maio a setembro), conforme Figura 18.

Figura 18 – Localização e características climáticas médias (pluviotérmicas e do balanço hídrico climatológico) do subtipo climático 2.3.3.2.1 em Minas Gerais, entre os anos de 1998 e 2017.



Fonte: adaptado de ANA (2023) e INMET (2023). Elaborado pelos autores.

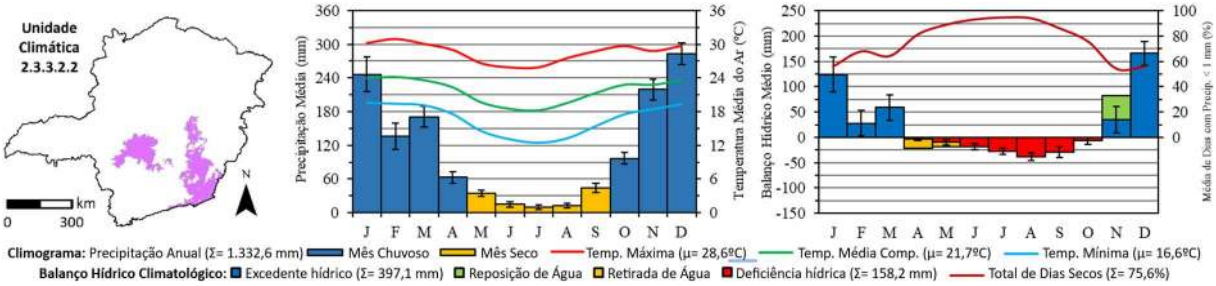
3.11 Depressão do Alto São Francisco, da Depressão do Paraíba do Sul e das Serras e Planaltos do Sudeste de Minas Gerais

A unidade 2.3.3.2.2 é uma região de transição climática (úmida e de temperatura média) situada na Macrorregião Centro-Sul e Noroeste. Possui 52.786 km² (9,0%) e altitude média de 650 m.

A precipitação média anual é de 1.332,6 mm e o total médio de dias secos no ano é de 75,6%. As médias térmicas anuais são de 28,6°C para máxima, de 21,7°C para média compensada e de 16,6°C de mínima, que correspondem a amplitude térmica média anual de

12,0°C. As médias anuais de ETP e ETR são, respectivamente, de 1.052,2 mm e de 920,2 mm (3ª maior), que contribuem para as médias acumuladas de -131,9 mm de DEF (3ª menor) e de 412,3 mm de EXC, totalizando o saldo hídrico de 280,4 mm acumulados. Os índices médios do BHC são de 12,5 para o Ia (3º menor), de 39,7 para o Ih e de 32,3 para o Im. Conforme Figura 19, no ano há em média 7 meses de DEF (abril a outubro), 5 meses de EXC (janeiro a março e novembro a dezembro) e 5 meses secos (maio a setembro).

Figura 19 – Localização e características climáticas médias (pluviotérmicas e do balanço hídrico climatológico) do subtipo climático 2.3.3.2.2 em Minas Gerais, entre os anos de 1998 e 2017.



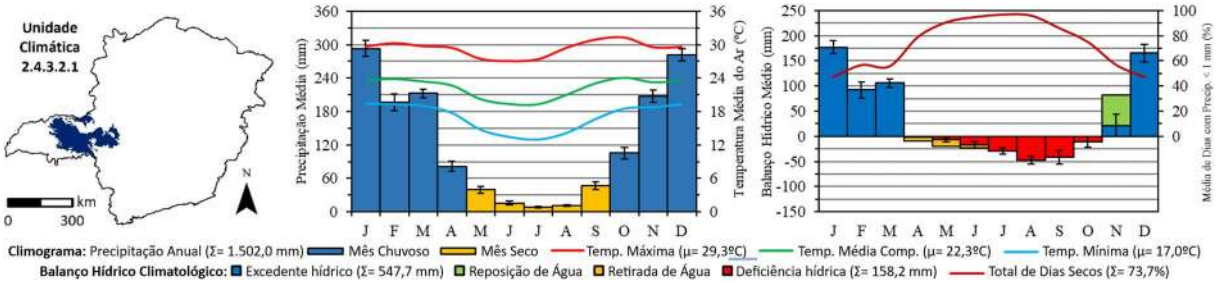
Fonte: adaptado de ANA (2023) e INMET (2023). Elaborado pelos autores.

3.12 Planaltos Orientais do Triângulo Mineiro

A unidade 2.4.3.2.1 é uma região de transição climática (úmida e de temperatura média) situada na Macrorregião Oeste. Possui 30.499 km² (5,2%) e altitude média de 825 m.

A precipitação média anual é de 1.502 mm (1ª maior) e o total médio de dias secos no ano é de 73,7% (3º menor). As médias térmicas anuais são de 29,3°C para máxima, de 22,3°C para média compensada e de 17°C de mínima, que correspondem a amplitude térmica média anual de 12,2°C (2ª maior). As médias anuais de ETP e ETR são, respectivamente, de 1.089,8 mm e de 938,4 mm (2ª maior), que contribuem para as médias acumuladas de -151,4 mm de DEF e de 563,6 mm de EXC (2ª maior), totalizando o saldo hídrico de 412,2 mm acumulados ao longo do ano (2º maior). Os índices médios do BHC são de 13,7 para o Ia, de 52,2 para o Ih (2º maior) e de 44,0 para o Im (3º maior). Constata-se que durante o ano há em média 7 meses de DEF (abril a outubro), 5 meses de EXC (janeiro a março e novembro a dezembro) e 5 meses secos (maio a setembro), conforme apresentado na Figura 20.

Figura 20 – Localização e características climáticas médias (pluviotérmicas e do balanço hídrico climatológico) do subtipo climático 2.4.3.2.1 em Minas Gerais, entre os anos de 1998 e 2017.



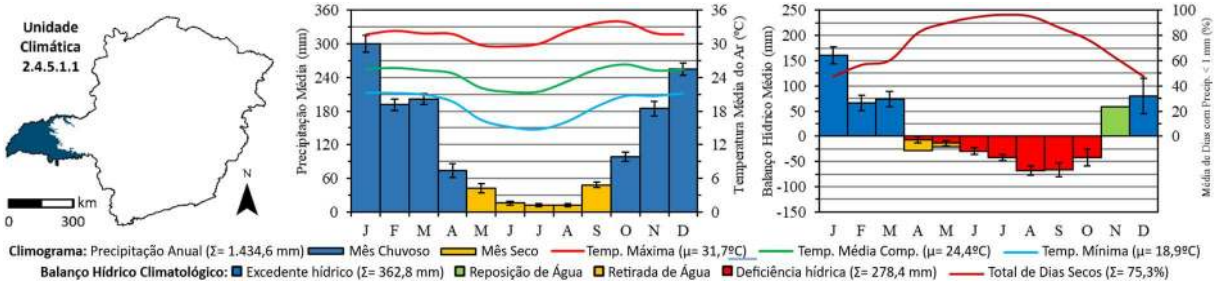
Fonte: adaptado de ANA (2023) e INMET (2023). Elaborado pelos autores.

3.13 Planaltos Ocidentais do Triângulo Mineiro

A unidade 2.4.5.1.1 é uma região climática de área *core* (úmida e de temperatura quente) situada na Macrorregião Oeste. Possui 34.604 km² (5,9%) e altitude média de 513 m (3ª menor).

A precipitação média anual é de 1.434,6 mm (3ª maior) e o total médio de dias secos no ano é de 75,3%. As médias térmicas anuais são de 31,7°C para máxima (1ª maior), de 24,4°C para média compensada (1ª maior) e de 18,9°C para mínima (2ª maior), que correspondem a amplitude térmica média anual de 12,8°C (1ª maior). As médias anuais de ETP e ETR são, respectivamente, de 1.322,7 mm (1ª maior) e de 1.053,8 mm (1ª maior), que contribuem para as médias acumuladas de -268,9 mm de DEF e de 380,8 mm de EXC, totalizando o saldo hídrico de 111,9 mm acumulados ao longo do ano. Os índices médios do BHC são de 20,2 para o Ia, de 29,2 para o Ih e de 17,1 para o Im. Constata-se que durante o ano há em média 7 meses de DEF (abril a outubro), 4 meses de EXC (janeiro a março e dezembro) e 5 meses secos (maio a setembro), conforme apresentado na Figura 21.

Figura 21 – Localização e características climáticas médias (pluviotérmicas e do balanço hídrico climatológico) do subtipo climático 2.4.5.1.1 em Minas Gerais, entre os anos de 1998 e 2017.



Fonte: adaptado de ANA (2023) e INMET (2023). Elaborado pelos autores.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados neste artigo possibilitaram compreender melhor a complexa relação entre a variabilidade espacial média da precipitação, da temperatura do ar e do balanço hídrico climatológico no estado de Minas Gerais entre anos de 1998 e 2017.

O arcabouço teórico-metodológico adotado permitiu definir nova proposta de compartimentalização dos climas no espaço geográfico mineiro, através da delimitação de unidades que representam as intensidades gradativas dos atributos climáticos, sintetizados em: (I) duas regiões hídricas (porções meso-meridional úmida e meso-setentrional seca); (II) quatro macrorregiões climáticas (abarcando espacialmente as principais zonas climáticas do estado); (III) cinco regiões térmicas (áreas mais frias em locais de maior altitude, principalmente na porção centro-sul; áreas mais quentes em locais de menor altitude, sobretudo nas porções centro-norte, extremo oeste e leste/nordeste); (IV) duas tipologias (áreas *core*, com climas típicos; transição, com "climas intermediários" entre as áreas *core*); e (V) 13 subtipos climáticos (sete unidades secas e seis unidades úmidas, divididas em duas áreas frias, uma tendente a fria, seis com temperatura média, uma tendente a quente e três quentes, que se diferenciam em quatro áreas *core* e nove áreas de transição climática).

As unidades médias anuais identificadas são apenas o início de parte do entendimento da realidade climática de Minas Gerais. Ainda há um longo percurso que deverá ser percorrido a fim de compreender outras características climáticas regionais, por exemplo: (I) através da decomposição temporal, que permitirá mapear as áreas de abrangência e influência de unidades climáticas efêmeras e/ou regulares em diferentes escalas (sazonal, mensal e/ou por anos típicos [chuvosos, secos, quentes, frios ou habituais]); (II) pela identificação da gênese e sucessão dos sistemas atmosféricos e suas relações com as unidades climáticas, tendo em vista a influência indissociável dos mecanismos dinâmicos na variabilidade espacial e temporal do clima; (III) as influências entre os fatores dinâmicos de macroescala (El Niño-Oscilação Sul, Oscilação Decadal do Pacífico, Dipolo do Atlântico etc.) e/ou a identificação de possíveis tendências de alterações nos padrões de precipitação e temperatura nas unidades climáticas.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG, *campus* Sabará) pela concessão do afastamento para capacitação,

permitindo a realização de Residência Pós-Doutoral em Geografia no Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais (IGC/UFMG).

REFERÊNCIAS

AMANAJÁS, J. C. *et al*. Aplicação da análise fatorial em componentes principais a dados de precipitação no estado do Amapá. **Revista de Geografia (Recife)**, Recife, PE, v. 27, n. 1, p. 107-119, 2010. Disponível em: https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/revistageografia/article/view/228792. Acesso em: 20 mai. 2023.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Hidroweb**: rede hidrometeorológica nacional. Disponível em: www.snirh.gov.br/hidroweb/. Acesso em: 18 abr. 2023.

AOUAD, M. S. **Tentativa de classificação climática para o estado da Bahia**: uma análise quantitativa dos atributos locais associada a análise qualitativa do processo genético. Rio de Janeiro: IBGE; SUPREN, 1983. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=282355. Acesso em: 20 mai. 2023.

ASSIS, W. L. **O sistema clima urbano do município de Belo Horizonte na perspectiva têmporo-espacial**. 2010. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/MPBB-89XH5T. Acesso em: 20 mai. 2023.

BEZERRA, F. A. Análise Fatorial. *In:* CORRAR, L. J.; PAULO, E..; DIAS FILHO, J. M. (org.). **Análise multivariada para os cursos de administração, ciências contábeis e economia**. São Paulo: Atlas, 2007.

BISCARO, G. A. **Meteorologia agrícola básica**. Cassilândia: Unigraf, 2007.

BORSATO, V. **A dinâmica climática do Brasil e massas de ares**. Curitiba: Editora CRV, 2016.

CUNHA, A. M. *et al*. Espacialização da precipitação pluvial por meio de krigagem e cokrigagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 48, n. 9, p. 1179-1191, set. 2013. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000900001. Disponível em: https://www.scielo.br/j/pab/a/Br8tydpQHnGY9SQ55jpdPgK/. Acesso em: 20 mai. 2023.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994.

GOMES, P. C. C. O conceito de região e sua discussão. *In:* CASTRO, I. E.; P. C. C.; CORRÊA, R. L. **Geografia**: conceitos e temas. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malha territorial**. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html. Acesso em: 15 ago. 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de clima do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2002. Escala 1:5.000.000. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/climatologia/15817-clima.html. Acesso em: 15 ago. 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de unidades de relevo do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2006. Escala 1:5.000.000. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/informacoes-ambientais/15827-unidades-de-relevo.html. Acesso em: 15 ago. 2023.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas do Brasil 1981-2010**. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/normais. Acesso em: 27 out. 2022a.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas do Brasil 1991-2020**. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/normais. Acesso em: 27 out. 2022b.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de dados meteorológicos do INMET**. Disponível em: https://bdmep.inmet.gov.br/. Acesso em: 18 abr. 2023.

JAMOVI. **Jamovi**. Disponível em: https://www.jamovi.org/. Acesso em: 18 set. 2022.

JARDIM, C. H. **Proposta de síntese climática a partir do comportamento térmico e higrométrico do ar em áreas urbanas**. 2007. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007. Disponível em: https://hdl.handle.net/20.500.12733/1605008. Acesso em: 20 mai. 2023.

JARDIM, C. H.; GALVANI, E. Unidades topoclimáticas no Parque Nacional da Serra do Cipó. **Revista Brasileira de Climatologia**, Dourados, MS, v. 30, p. 219-245, jan./jun. 2022. DOI: https://doi.org/10.55761/abclima.v30i18.15190. Disponível em: https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/15190. Acesso em: 20 mai. 2023.

MACHADO, L. A. Classificação climática para Minas Gerais por meio do método de agrupamento não hierárquico de k-means. **Cadernos do Leste**, Belo Horizonte, MG, v. 14, n.14, p. 45-63, dez. 2014. DOI: https://doi.org/10.29327/249218.14.14-3. Disponível em: https://periodicos.ufmg.br/index.php/caderleste/article/view/13048. Acesso em: 20 mai. 2023.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia**: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Texto, 2009.

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada**: uma abordagem aplicada. Belo Horizonte: UFMG, 2005.

MONTEIRO, C. A. F. **A dinâmica climática e as chuvas no estado de São Paulo: estudo geográfico sob forma de atlas.** São Paulo: Instituto de Geografia - Universidade de São Paulo, 1973.

MONTEIRO, C. A. F. O estudo geográfico do clima. **Cadernos Geográficos,** Florianópolis, SC, n. 1, 1999. Disponível em: http://cadernosgeograficos.paginas.ufsc.br/files/2016/02/caderno-geografico-01.pdf. Acesso em: 20 mai. 2023.

MONTEIRO, C. A. F. A questão ambiental na Geografia do Brasil: a propósito da “validade”, “espacialização” e “pesquisa universitários”. **Cadernos Geográficos**, Florianópolis, SC, n. 5, p. 7-48, 2003. Disponível em: http://cadernosgeograficos.paginas.ufsc.br/files/2016/02/Cadernos-Geogr%C3%A1ficos-UFSC-N%C2%BA-05-A-Quest%C3%A3o-Ambiental-na-Geografia-do-Brasil-.-Maio-de-2003.pdf. Acesso em: 20 mai. 2023.

MORIASI, D. N. *et al*. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. **Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v. 50, n. 3, p. 885-900, mar. 2007. DOI: https://doi.org/10.13031/2013.23153. Disponível em: https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=23153. Acesso em: 20 mai. 2023.

NIMER, E. Um modelo metodológico da classificação de climas. **Revista Brasileira de Geografia** - **IBGE**, Rio de Janeiro, RJ, n. 4, ano 41, p. 59-89, out/dez. 1979. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/115/rbg_1979_v41_n4.pdf. Acesso em: 20 mai. 2023.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81099.pdf. Acesso em: 20 mai. 2023.

NIMER, E.; BRANDÃO, A. M. P. M. **Balanço hídrico e clima da região dos cerrados**. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv80951.pdf. Acesso em: 20 mai. 2023.

NOVAIS, G. T. **Classificação climática aplicada ao bioma cerrado**. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/26606. Acesso em: 20 mai. 2023.

NOVAIS, G. T. Classificação climática aplicada ao estado de Goiás e ao Distrito Federal, Brasil. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, GO, v. 40, n. 1, p. 1-29, 2021. DOI: https://doi.org/10.5216/bgg.v40i01.62297. Disponível em: https://revistas.ufg.br/bgg/article/view/62297. Acesso em: 20 mai. 2023.

NOVAIS, G. T.; BRITO, J. L. S.; SANCHES, F. O. Unidades climáticas do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba. **Revista Brasileira de Climatologia**, Dourados, MS, v. 23, p. 223-243, jul./dez. 2018. DOI: https://doi.org/10.5380/abclima.v23i0.58520. Disponível em: https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/14093. Acesso em: 20 mai. 2023.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Meteorologia agrícola**. Disponível em: www.esalq.usp.br/departamentos/leb/aulas/lce306/MeteorAgricola_Apostila2007.pdf. Acesso em: 4 ago. 2022.

PERIN, E. B. *et al*. Interpolação das variáveis climáticas temperatura do ar e precipitação: revisão dos métodos eficientes. **Revista Geografia**, Rio Claro, SP, v. 40, n. 2, p. 269-289, 2015. Disponível em: https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/11139. Acesso em: 20 mai. 2023.

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, RS, v.6, p. 133-137, 1998. Disponível em: https://www.sbagro.org/files/biblioteca/171.pdf. Acesso em: 20 mai. 2023.

ROSSATO, M. S. **Os climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia**. 2011. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, 2011. Disponível em: https://lume.ufrgs.br/handle/10183/32620. Acesso em: 20 mai. 2023.

SALVI, L. L. Tipologia climática do estado de São Paulo segundo técnicas de quantificação. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, SP, v. 3, p. 37-61, 1984. DOI: https://doi.org/10.7154/RDG.1984.0003.0003. Disponível em: https://revistas.usp.br/rdg/article/view/47085. Acesso em: 20 mai. 2023.

SANTOS, J. W. M. C. **Clima e produtividade da soja nas terras de cerrado do sudoeste de Mato Grosso**. 2002. Tese (Doutorado em Geografia), Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

SANTOS, J. W. M. C. Ritmo climático e sustentabilidade sócio-ambiental da agricultura comercial da soja no sudeste de Mato Grosso. **Revista do Departamento de Geografia (USP)**, São Paulo, SP, p. 61-82, 2005. DOI: https://doi.org/10.7154/RDG.2005.0017.0005. Disponível em: https://revistas.usp.br/rdg/article/view/47275. Acesso em: 20 mai. 2023.

SEDIYAMA, G. C.; MELO JÚNIOR, J. C.; F. Modelos para estimativa das temperaturas normais mensais médias, máximas, mínimas e anual no estado de Minas Gerais. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 6, n. 1, p. 57-61, jan./dez. 1998.

SILVA, A. A. F. **Variabilidade têmporo-espacial das chuvas e temperatura do ar nas microrregiões do entorno de Unaí, noroeste do estado de Minas Gerais: síntese climática e impactos na produção de soja**. 2020. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/34220. Acesso em: 20 mai. 2023.

SILVA, A. A. F.; JARDIM, C. H. Aplicação de técnicas de preenchimento de falhas de dados de pluviosidade mensal e anual para o noroeste do estado de Minas Gerais - Brasil. **Geografias**, Belo Horizonte, MG, v. 15, n.2, p. 83-106, jul./dez. 2017. DOI: https://doi.org/10.35699/2237-549X.2017.16058. Disponível em: https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/16058. Acesso em: 20 mai. 2023.

SILVA, A. A. F.; JARDIM, C. H. Proposta de delimitação de unidades climáticas a partir de técnicas estatísticas de análise multivariada para região de Unaí-MG. **REDE - Revista Eletrônica do PRODEMA**, Fortaleza, CE, v. 13, n. 1, p. 112-123, dez. 2019. DOI: Disponível em: http://www.revistarede.ufc.br/rede/article/view/587. Acesso em: 20 mai. 2023.

SILVESTRE, M. R.; BEZERRA, M. I. S. Modelos decomposição temporal e de regressão harmônica: uma comparação para a série mensal da temperatura mínima e máxima média de Presidente Prudente (SP). **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, RJ, v. 30, n. 4, p.

457-466, 2015. DOI: https://doi.org/10.1590/0102-778620130043. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbmet/a/MZb8T3BtWFFgRksGrcFjznL/. Acesso em: 20 mai. 2023.

SILVESTRE, M. R.; SANT'ANNA NETO, J. L.; FLORES, E. F. Critérios estatísticos para definir anos-padrão: uma contribuição à Climatologia Geográfica. **Formação (Presidente Prudente)**, Presidente Prudente, SP, v. 2, p. 23-53, 2013. DOI: https://doi.org/10.33081/formacao.v2i20.2360. Disponível em: https://revista.fct.unesp.br/index.php/formacao/article/view/2360. Acesso em: 20 mai. 2023.

SOUZA, L. R. *et al*. Determinação de padrões espaço-temporal e regiões homogêneas de precipitação pluvial no estado de Minas Gerais. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, Espírito Santo do Pinhal, SP, v. 8, n. 2, p. 265-280, abr./jun. 2011. Disponível em: http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=647. Acesso em: 20 mai. 2023.

TARIFA, J. R.; ARMANI, G. Os climas "naturais". *In:* TARIFA, J. R.; AZEVEDO, T. R. (orgs.) **Os climas na cidade de São Paulo**: teoria e prática. São Paulo: FFLCH-USP, 2001a.

TARIFA, J. R.; ARMANI, G. Os climas urbanos. *In:* TARIFA, J. R.; AZEVEDO, T. R. (orgs.) **Os climas na cidade de São Paulo**: teoria e prática. São Paulo: FFLCH-USP, 2001b.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, v.38, n. 1, p. 55-94, 1948. DOI: https://doi.org/10.2307/210739. Disponível em: https://www.jstor.org/stable/210739. Acesso em: 20 mai. 2023.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955.

TUCCI, C. E. M. (org.) **Hidrologia**: ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS / ABRH, 2012.

USGS. United States Geological Survey. **Earth Explorer**: SRTM. Disponível em: https://earthexplorer.usgs.gov/. Acesso em: 18 abr. 2023.

WMO, World Meteorological Organization. **Calculation of monthly and annual 30-year standard normals**. Geneva, 1989. (WMO. Technical document, n. 341; WCDP, n.10). Disponível em: https://posmet.ufv.br/wp-content/uploads/2017/04/MET-481-WMO-341.pdf. Acesso em: 20 mai. 2023.

WMO, World Meteorological Organization. **WMO guidelines on the calculation of climate normals**. Genebra, 2017. (WMO. Technical document, n. 1203). Disponível em: https://www.agroorbi.pt/livroagrometeorologia/DocsProg/Temas&ExercíciosExtraPorCapítulo/Cap1_Introdução/Docs/WMO%20Guidelines%20on%20the%20Calculation%20of%20Climate%20Normals_en.pdf. Acesso em: 20 mai. 2023.

ZAVATTINI, J. A. **As chuvas e as massas de ar no estado de Mato Grosso do Sul**: estudo geográfico com vista à regionalização climática. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009. Disponível em: http://hdl.handle.net/11449/109096. Acesso em: 20 mai. 2023.