Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Padrões climáticos da razão de mistura do ar em Minas Gerais/Brasil

Edicarlos Pereira de Sousa¹, Adriana de Souza Costa², Célia Campos Braga³, José Ivaldo Barbosa de Brito³,
Madson Tavares Silva⁴

¹Professor do Instituto de Formação de Educadores, Universidade Federal do Cariri, UFCA, Brejo Santo - CE, Brasil. Fone: (88) 3531-4833, e-mail: edicarlos.pereira@ufca.edu.br. (autor correspondente) ²Estudante de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Campina Grande - PB, Brasil, e-mail: adriana_scsouza@hotmail.com. ³Professores da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Campina Grande - PB, Brasil, e-mail: celiadca@hotmail.com, ivaldo@dca.ufcg.edu.br. ⁴Professor do Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN, Natal - RN, Brasil, e-mail: madson_tavares@hotmail.com.

Artigo recebido em 09/11/2015 e aceito em 24/12/2015

RESUMO

Padrões espaço-temporais da razão de mistura no estado de Minas Gerais serão definidos neste trabalho. Para isso, foram empregadas as técnicas multivariadas de Análise de Componentes Principais e de Agrupamentos aos dados mensais de razão de mistura de 39 estações climatológicas com 30 anos comuns de observações. O emprego da ACP mostrou a existência de dois padrões dominantes da razão de mistura que explicaram aproximadamente 98% da variância total dos dados. O primeiro, relacionado à maior concentração de umidade, mostra a atuação da ZCAS, dos sistemas frontais e influência orográfica. O segundo está associado ao ASAS. As três regiões homogêneas de razão de mistura, utilizando o método hierárquico de Ward, identificaram bem a sazonalidade dessa componente termodinâmica. Portanto, os resultados obtidos evidenciaram que as chuvas de verão e outono são influenciadas pelas ZCAS e pelos sistemas frontais. No inverno, esses sistemas enfraquecem e a intensidade das chuvas diminui na região. Palavras-chave: técnicas multivariadas, sistemas meteorológicos e variabilidade climática.

Weather patterns of air mixing ratio in Minas Gerais/Brazil

ABSTRACT

Space-time standards of mixing ratio in the state of Minas Gerais will be defined in this work. For this, we used multivariate techniques of Principal Component Analysis and Cluster Analysis to monthly data of mixing ratio of 39 weather stations with 30 years of common observations. The use of PCA showed the existence of two dominant patterns of mixing ratio that accounted for approximately 98% of the total variance. The first, related to higher moisture concentration, shows the performance of the SACZ, of the frontal systems and orographic influence. The second is associated with Subtropical Anticyclone of the South Atlantic (SASA). The three homogeneous regions of mixing ratio, using the hierarchical method of Ward, identified seasonality of this thermodynamic component. Therefore, the results showed that the summer rains and autumn are influenced by SACZ and the frontal systems. In winter, these systems weaken and the intensity of rainfall decreases in the region.

Keywords: multivariate techniques, weather systems and climate variability.

Introdução

O clima é definido como sendo uma resposta natural aos fenômenos oceânico-atmosféricos que atuam ao longo do tempo numa ciências atmosféricas, a climatologia se preocupa em investigar as causas e as relações físicas existentes entre os diferentes fenômenos climáticos que ocorrem na superfície da Terra. Dentre eles, citam-se, por exemplo, a ocorrência de secas, inundações, ondas de calor e fenômenos El Niño/ENSO, dentre outros. Além disso, as

determinada região, estando, portanto, relacionado à orografia, à distribuição dos continentes e oceanos e à posição latitudinal. No âmbito das alterações climáticas podem decorrer também de intempéries e/ou atividades humanas. Nas diferentes regiões do globo, o clima se caracteriza por apresentar variações sazonais importantes nos diversos parâmetros meteorológicos que são responsáveis por grandes impactos ao meio-ambiente. Em diversos setores da nossa sociedade,

a exemplo da agropecuária, comércio e turismo, é importante conhecer o comportamento de determinadas variáveis meteorológicas que caracterizam o clima, a saber: precipitação, umidade relativa e temperatura do ar. As variações sazonais e interanuais dessas variáveis são notáveis.

Com a maior parte de seu território inserido nas latitudes baixas, o Brasil possui uma extensa costa oceânica cujo interior está sujeito aos efeitos da continentalidade nos períodos de estiagem. Observa-se também uma variabilidade sazonal de algumas variáveis climatológicas. Entre elas, está o vapor d'água que tem papel essencial no balanço de energia próximo à superfície e é fundamental no ciclo hidrológico. Sendo um ótimo absorvedor de radiação infravermelha, desempenha papel de agente termorregulador, impedindo que a camada de ar mais próxima ao solo seja resfriada em excesso durante a noite e, além disso, representa a maior fonte de energia latente da atmosfera tropical (Vianello e Alves, 1991).

Os padrões climáticos de Minas Gerais são bem diversificados, seja como resposta de seus aspectos topográficos, sua posição geográfica e, principalmente, os aspectos dinâmicos da atmosfera, que incluem os sistemas meteorológicos de micro, meso e grande escalas, que atuam direta ou indiretamente no regime pluvial, como a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Sistemas Frontais, principais responsáveis pela precipitação pluvial e o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul e o Vórtice Ciclônico de Ar Superior que, dependendo das suas posições, ocasionam grandes períodos de estiagens (Minuzzi et al., 2007).

Estudos meteorológicos que envolvem quantidade significativa de dados de observações (estações meteorológicas) normalmente demandam a aplicação de técnicas estatísticas apropriadas. Uma das mais utilizadas e que apresenta bons resultados em diferentes áreas do conhecimento científico é a análise multivariada, pois permite trabalhar simultaneamente com um grande número de variáveis, preservando o máximo possível as informações originais dessas variáveis (Ceballos e Braga, 1995; Esteban et al., 2006). Na análise multivariada existem diversos métodos com diferentes finalidades e sua escolha depende, obviamente, da pretensão do pesquisador. Entre os mais usados nas ciências atmosféricas estão as Análises de Componentes Principais (ACP) e de Agrupamentos (AA), uma vez que tais métodos fornecem bons resultados quando aplicados adequadamente.

Ellouze et al. (2009) estudaram a variabilidade espacial e temporal das características das chuvas no sul da Tunísia. Análise de Componentes Principais e vários métodos de regressão foram utilizados em doze estações (1930-2000) para descobrir a natureza da distribuição das chuvas e as variáveis dominantes relacionadas com a sua variabilidade. Foi utilizada a rotação Varimax e o critério de Kaiser para melhor descrever as componentes principais. Na série mensal, três componentes principais foram encontradas, explicando 69% da variância total dos dados. A variabilidade da precipitação mostrou-se dependente das condições sazonais. Por outro lado, os padrões espaciais anuais foram regidos principalmente pela topografia e influência costeira, apresentando também três componentes principais que, desta vez, explicaram 90% da variabilidade da chuva. Quatro regiões são delineadas com base na projeção sobre o plano fatorial, mostrando a influência da topografia e da sazonalidade sobre a variabilidade da precipitação anual no sul da Tunísia.

Richman e Adrianto (2010) reduziram e regionalizaram um conjunto de dados de Pressão ao Nível do Mar (PNM) da América do Norte e Europa utilizando Análises de Componentes Principais e de Agrupamento, respectivamente. O agrupamento não hierárquico k-means mostrou-se mais preciso em relação aos métodos hierárquicos. Os resultados encontrados sugeriram que, inequivocamente, a classificação da PNM mostrou-se coerente a partir da AA.

Amanajás (2011) empregou o método da ACP para encontrar os principais padrões climatológicos de precipitação na Amazônia oriental, relacionando-os com os mecanismos climáticos dos oceanos Pacífico e Atlântico tropicais. Os resultados obtidos pela ACP mostraram a existência de três padrões pluviométricos bem definidos que explicaram aproximadamente 92% da variância total dos dados. O padrão dominante definiu áreas de chuva que são influenciadas pela atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). O segundo padrão espacial relacionou os eventos de mesoescala, tais como as linhas de instabilidade que favorecem a ocorrência de chuvas na região entre maio e agosto. E o terceiro padrão espacial evidenciou a influência da ZCAS, sistema atuante no final da primavera e início do verão, bem como de sistemas de escala local.

Escobar e Seluchi (2012) realizaram uma classificação dos campos de pressão atmosférica ao nível médio do mar sobre a América do Sul, durante as estações de verão e inverno, utilizando

a técnica de Análise de Componentes Principais numa série de dados de reanálise do NCEP para o período 1985-2010. Os resultados destacaram cinco padrões de circulação que representam aproximadamente 80% dos casos analisados. Durante o verão, a Baixa do Chaco (BCH), localizada entre o norte da Argentina, Paraguai, Mato Grosso do Sul e o sul da Bolívia, está associada principalmente com dois padrões sinóticos. A Baixa do Noroeste da Argentina (BNOA) está associada apenas com um padrão sinótico, similar ao campo médio sazonal. Já no inverno, a BCH não aparece, confirmando seu caráter térmico, gerada principalmente pela liberação de calor latente, produto da convecção observada na área de atuação deste sistema. A BNOA também está associada apenas com um padrão sinótico durante essa estação. Este padrão é similar ao obtido no verão, porém representando menor porcentagem de variância e relacionado principalmente com perturbações sinóticas.

Assim, com base nas técnicas de análise multivariada de ACP e AA, o presente trabalho visa analisar a distribuição espacial e temporal dos dados de razão de mistura do ar no estado de Minas Gerais, utilizando técnicas de análise multivariada na determinação de padrões de similaridade dessa variável meteorológica.

Material e métodos

Localizado na região sudeste do Brasil, o estado de Minas Gerais fica entre $14^{\circ}13'58''$ e $22^{\circ}54'00''$ de latitude sul e entre $39^{\circ}51'32''$ e

$51^{\circ}02'35''$ a oeste de Greenwich. Limita-se com São Paulo (sul e sudeste), Rio de Janeiro (sudeste), Mato Grosso do Sul (oeste), Goiás e Distrito Federal (noroeste), Espírito Santo (leste) e Bahia (norte e nordeste) (MINAS GERAIS, 2014). O clima apresenta uma diversificação muito grande, devido às condições topográficas, altitudes dominantes, continentalidade, latitude e longitude (Costa et al., 1998).

Em seus estudos, Alvares et al. (2013) perceberam a presença de clima Aw (tropical com inverno seco) a noroeste do estado, abrangendo áreas mais baixas, depressões e planaltos da bacia do rio São Francisco. O clima As (tropical com verão seco) também foi observado no norte de Minas Gerais, especialmente sobre a Serra do Espinhaço (região de Montes Claros) e nas planícies do São Francisco. Além disso, destacou-se também a ocorrência de climas Cwa (inverno seco e verão quente) e Cwb (inverno seco e verão moderadamente quente) na maior parte do sul e na porção central.

A associação dos diversos fatores físico-climáticos no território mineiro cria paisagens distintas, favorecendo o estabelecimento de diferentes formas de vegetação. De acordo com o IBGE (2014), basicamente três biomas predominam no estado: Cerrado, na porção central-ocidental (57%), Mata Atlântica, na região oriental (41%) e Caatinga, no setor norte (2%). A Figura 1 mostra o estado de Minas Gerais, no mapa do Brasil.

Figura 1. Localização da região de estudo: estado de Minas Gerais, Sudeste do Brasil.

Os dados utilizados foram séries mensais de Pressão, Temperatura, Umidade Relativa e Precipitação para um período comum de 30 anos (1961-1990) de 39 estações climatológicas selecionadas do Instituto Nacional de

Meteorologia (INMET). O período estudado justifica-se por constituir-se a última normal climatológica disponível, uma vez que o trabalho visa discutir aspectos climatológicos na região pesquisada.

A fundamentação básica deste estudo foi aplicar técnicas estatísticas que fossem capazes de reduzir dados observacionais, deformando-os minimamente. Assim como nos modelos de regressão, o propósito da ACP é explicar a variável dependente e, para isso, as CPs que têm alta correlação são retidas (Bouroche e Saporta, 1982; Richman, 1986; Marques e Mendes Marques, 2005).

O vapor d'água exerce uma importante função no balanço radiativo e no ciclo hidrológico. Assim, o conhecimento de sua variabilidade é essencial para estudos climáticos. A variabilidade na sua distribuição influencia o resfriamento radiativo líquido da troposfera, podendo levar ao desenvolvimento de zonas de convergência (Sherwood et al., 2010). A distribuição vertical da umidade afeta a evaporação de superfície e os fluxos de calor latente que contribuem para a formação de convecção. Além disso, é um importante gás de efeito estufa que tem um impacto significativo sobre o clima global (Trenberth e Fasullo, 2009).

A disposição dos dados da matriz de entrada foi no Modo-T. Este modo permite obter a evolução dos principais modos de circulação, possibilitando analisar a trajetória e o comportamento dos sistemas sinóticos sobre determinadas áreas. Neste sentido, tal modo foi utilizado neste trabalho no intuito de compreender as variações espaciais e sazonais na concentração do vapor d'água, utilizando como parâmetro de entrada a razão de mistura. Barbieri et al. (2013) acreditam que, sendo uma variável conservativa, a razão de mistura permite quantificar com mais exatidão o aumento ou a redução no teor de vapor da atmosfera. Os valores de razão de mistura foram obtidos pela equação (1):

$$r = 0,622 \cdot \frac{e_a}{p - e_a} \quad (1)$$

em que r é a razão de mistura (g/kg); p é a pressão atmosférica (mb) e e_a representa a pressão real de vapor d'água (mb) descrita de acordo com a equação a seguir:

$$e_a = UR \times e_s(T) \quad (2)$$

onde UR, dada em porcentagem, representa a umidade relativa e a pressão de saturação do vapor (e_s), função da temperatura T ($^{\circ}\text{C}$), é proveniente da equação de Tetens (Vianello e Alves, 1991):

$$e_s(T) = 6,1078 \times 10^{\left(\frac{7,5 \cdot T}{237,3 + T}\right)}, T \geq 0^{\circ}\text{C} \quad (3)$$

$$e_s(T) = 6,1078 \times 10^{\left(\frac{9,5 \cdot T}{265,5 + T}\right)}, T < 0^{\circ}\text{C} \quad (4)$$

Normalmente quando se pretende trabalhar com um grande número de variáveis, busca-se recorrer a técnicas estatísticas de análise multivariada. A técnica da Análise em Componentes Principais é um ramo da análise multivariada que possibilita levantar questões específicas e precisas de considerável complexidade em cenários naturais. Isso viabiliza a condução de pesquisas teoricamente importantes e a avaliação dos efeitos de variações paramétricas que naturalmente ocorrem no contexto em que elas normalmente aparecem (Santos, 2013).

A técnica da ACP vem sendo utilizada, com bons resultados, em diversas aplicações meteorológicas (Green et al., 1993; Ceballos e Braga, 1995; Esteban et al., 2006). O método consiste em transformar p variáveis originais correlacionadas em componentes não correlacionadas ou ortogonais, tendo propriedades especiais em termos de variância. As novas componentes são funções lineares das variáveis originais e mostradas em ordem decrescente de importância, ou seja, a primeira componente é a combinação linear de importância máxima (Bouroche e Saporta, 1982; Marques e Mendes Marques, 2005).

Em síntese, a coleta básica de informações na análise fatorial é a matriz de dados (Pandžić, 1988). Em n observações existem m variáveis onde a matriz de dados normalizada tem média zero e variância um. A normalização de cada ponto de observação de uma determinada área ou região tem a mesma importância na determinação dos padrões espaciais e temporais. A matriz de correlação R foi dada por:

$$R = \frac{1}{n-1} (Z)(Z)^t \quad (5)$$

na qual R é uma matriz simétrica positiva de dimensão ($k \times k$), diagonalizável por uma matriz A , de mudança de base, denominada de matriz de autovetores. A matriz diagonal D , cujos elementos da diagonal principal são os autovalores de R , foi obtida por:

$$D = A^{-1}RA \quad (6)$$

Como os autovetores são ortogonais, a inversa de A (A^{-1}) é igual a sua transposta (A^t). Assim, as CPs $U_1, U_2, \dots, U_p$ foram obtidas por combinações lineares entre a transposta dos autovetores (A^t) e a matriz de observações (X), ou seja:

$$U = A'X \quad (7)$$

$$X = AU \quad (8)$$

Cada linha de U corresponde a uma CP que formam as séries temporais associadas aos autovalores. Os valores de X do n -ésimo local podem ser calculados por:

$$X_i = a_{j1}U_1 + a_{j2}U_2 + \dots + a_{jk}U_k + a_{np}U_p \quad (9)$$

A solução desta equação é única. Cada CP teve uma porção da variância total dos dados mensais de razão de mistura, mostradas por ordem decrescente dos autovalores mais significativos em A . Logo:

$$U_k = \sum_{j=1}^m a_{jk} X_k \quad (10)$$

Muitas vezes, os fatores extraídos não estão bem relacionados à grande maioria das variáveis. No entanto este relacionamento fica mais claro depois de feita a rotação dos fatores, aumentando o seu poder explicativo e facilitando a interpretação dos dados. Nesta pesquisa, a rotação ortogonal calculou novas componentes a partir da maximização da variância, onde as componentes originais passaram a ser rotacionadas através da redistribuição dos pesos entre as CPs . Com este procedimento, a concentração dos dados foi feita pela máxima variância e não pela característica normalizada da série temporal como ocorre no caso das CPs não rotacionadas (Richman, 1986; Wilks, 2006; Bezerra, 2007). Um dos métodos de rotação mais utilizados que maximiza a variância em cada componente é o Varimax, descrito pela seguinte equação:

$$\text{Var} = \sum_{j=1}^r \left(m \sum_{i=1}^m (a_{ij})^2 - \left(\sum_{i=1}^m a_{ij}^2 \right)^2 \right) / m^2 \quad (11)$$

em que r é o número de CPs que representam as informações físicas e m o número de variáveis.

A determinação das regiões homogêneas de razão de mistura em Minas Gerais foi realizada através das técnicas de análise de agrupamentos. Essa técnica objetiva descobrir a natureza complexa das relações multivariadas entre os dados investigados. A classificação das variáveis em grupos homogêneos e a identificação de suas características comuns possibilitam um melhor conhecimento e previsão do fenômeno em questão. A estrutura final dos grupos ou classes pode ser apresentada sob a forma de dendrograma ou árvore de classificação que representa uma síntese dos resultados.

Os dois métodos de classificação mais utilizados são o método hierárquico (em que a partição dos grupos se dá a partir de um mínimo de grupos não definidos inicialmente) e o não hierárquico (onde a partição dos grupos é produzida a partir de um número de grupos fixado *à priori*).

Em ambos os métodos, a classificação dos indivíduos em grupos distintos depende da medida numérica de similaridade ou de dissimilaridade (função de agrupamento) e de um critério matemático (Bouroche e Saporta, 1982; Everitt, 1993; Wilks, 2006; Pohlmann, 2007).

Nos métodos de agrupamento aglomerativos, todos os processos de hierarquização são similares, iniciando-se pela determinação da função de agrupamento. De acordo com Wilks (2006), esta função é usada como critério para medir a distância entre dois pontos x_i e x_j ou para estabelecer o quanto eles são parecidos. As medidas de similaridade ou de dissimilaridade mais utilizadas são os coeficientes de correlação e a distância euclidiana, por apresentarem facilidade de cálculo. A distância euclidiana entre dois indivíduos x_i e x_j é dada por:

$$d(x_i, x_j) = |x_i - x_j| = \left[\sum_{k=1}^n P_i (X_{ik} - X_{jk})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

em que x_{jk} representa os valores mensais dos locais x_i e x_j e P_i é o peso associado a cada indivíduo.

Nos métodos hierárquicos a obtenção dos grupos pode ser feita por cortes transversais no dendrograma, a partir do critério de agregação utilizado e do conhecimento prévio da região em estudo e nos não-hierárquicos se escolhe o número de grupos inicialmente (Bouroche e Saporta, 1982; Everitt, 1993). Nesta pesquisa, optou-se pelo agrupamento hierárquico de Ward por melhor se ajustar aos dados de razão de mistura.

Resultados e discussão

O regime pluviométrico em Minas Gerais sofre influência dos diferentes sistemas e/ou mecanismos atmosféricos, de modo que apresenta acentuada variabilidade espacial e temporal. A Figura 2 ilustra a variabilidade espacial dos totais médios anuais da precipitação para o período de 30 anos (1961-1990).

Os maiores valores da precipitação média anual são encontrados na região sul e sudoeste do estado, nos limites com São Paulo e Rio de Janeiro, e na mesorregião do Alto Parnaíba, cujos registros de pluviometria ultrapassam os 1500mm. Por outro lado, os menores índices pluviométricos médios, inferiores a 900mm, são observados na região nordeste mineira, na divisa com o sul da Bahia.

Figura 2. Climatologia da precipitação anual (mm/ano) observada, com base na média de 30 anos (1961-1990).

Destacam-se ainda alguns pequenos núcleos de mesma grandeza na região do município de Bambuí, no oeste de Minas Gerais. As áreas mais chuvosas são aquelas que sofrem influências da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), dos distúrbios ondulatórios de leste (ondas de leste) e de sistemas frontais provenientes do sudeste do Brasil, aliados a fatores de escala local, tais como brisas fluviais e topografia. As precipitações mais baixas são

decorrentes, basicamente, da menor influência dos sistemas atuantes no estado.

As Figuras 3(a) e 3(b) correspondem, respectivamente, à média de razão de mistura e ao mapa de Bacias Hidrográficas do estado de Minas Gerais. De modo geral, observa-se a importância da hidrografia que, muitas vezes, contribui para elevar os índices de umidade relativa, favorecendo o surgimento de precipitações isoladas e intensificando os sistemas de tempo transientes.

(a)

(b)

Figura 3. Carta média de razão de mistura (g/Kg) (a) e mapa das Bacias Hidrográficas (b) do estado de Minas Gerais (IBGE, 2014).

A amplitude da variabilidade espacial da razão de mistura não é muito grande. Numa análise conjunta das Figuras 2 e 3, e conforme já esperado, as regiões de menores índices pluviométricos apresentam também menores índices de umidade, como é o caso do centro-norte e o extremo oeste mineiro. A região sudeste destaca-se por apresentar uma extensa área úmida devido a influências do transporte de umidade do oceano Atlântico para o continente. Além disso, dois núcleos com maior concentração de vapor d'água podem ser destacados: um deles no sudoeste do estado, na região do conjunto de represas da Bacia do Rio Grande, e o outro sobre a represa Três Marias, na Bacia do São Francisco, mostrando a importância dessas bacias (fatores

locais) na disponibilidade de água na atmosfera local. Sistemas de curto prazo ocorrem geralmente no final da tarde e início da noite, quando células convectivas se desenvolvem em regiões de condições favoráveis (Novais, 2011).

As regiões tropicais são a parte do globo onde se concentra a maior quantidade de vapor d'água atmosférico, resultado de uma maior presença de forte atividade convectiva e ciclônica. Esta umidade, no entanto, não é uniformemente distribuída ao longo do ano. A Figura 4 ilustra a variabilidade sazonal média da razão de mistura no estado de Minas Gerais.

Figura 4. Variabilidade sazonal da razão de mistura do ar (em g/kg) nos meses de dezembro-março (a), março-junho (b), junho-setembro (c) e setembro-dezembro (d).

Observa-se que, apesar das variações, alguns núcleos persistem em todas as estações, associados a fatores locais. Os resultados mostram que o verão é a época do ano que possui maior disponibilidade de vapor d'água na atmosfera de Minas Gerais, com valores que superam 16g/kg,

conforme pode ser visto na Figura 4a. Isso é decorrente da atuação dos principais sistemas atmosféricos que provocam chuvas intensas na região sudeste (período chuvoso). Estudando a climatologia dinâmica de Minas Gerais, Vianello e Maia (1986) observaram que, nessa época,

apesar das linhas de instabilidade que atravessam o estado de noroeste para sudeste serem mais frequentes que as frentes frias, os máximos valores de precipitações são observados em locais de relevos acentuados (Diamantina, Ouro Preto, São João Del Rey, Araxá, etc.), o que demonstra a importância da topografia, associada aos altos índices de umidade relativa, induzindo precipitações isoladas e intensificando as linhas de instabilidades. Além disso, a maior disponibilidade de vapor d'água tem forte associação à Massa Tropical Atlântica (MTA) que exerce um importante papel na dinâmica daquele estado. Em seus estudos, Neto e Tommaselli (2009) mostraram que a MTA desempenha considerável influência na definição dos tipos climáticos, originando-se no centro de altas pressões subtropicais do Atlântico e possuindo, portanto, características de temperatura e umidade elevadas.

Entre março e setembro, o padrão de umidade diminui gradativamente e atinge os

menores valores de razão de mistura durante o inverno (Figuras 4b e 4c). Isso está associado a penetração do Anticiclone do Atlântico Sul que, nesse período, está mais posicionado sobre o continente. Neto e Tommaselli (2009) observaram que, com ventos de nordeste numa trajetória de centenas de quilômetros, esse anticiclone recebe aumento de temperatura e diminuição da umidade, ocasionadas pelas trocas térmicas entre a superfície e o ar da baixa troposfera (Massa Tropical Atlântica Continentalizada – MTAC). A partir da primavera, a umidade começa a se reestabelecer devido ao aquecimento da atmosfera (Figura 4d). A aplicação da ACP aos dados mensais de razão de mistura resultou na retenção dos dois primeiros fatores comuns temporais que explicaram 97,86% da variância total dos dados (Tabela 1).

Tabela 1. Valores próprios (autovalores) e porcentagens das variâncias explicada e acumulada da razão de mistura em Minas Gerais

CP	Fatores não rotacionados			Fatores rotacionados		
	Autovalor	Variância Explicada (%)	Variância Acumulada (%)	Autovalor	Variância Explicada (%)	Variância Acumulada (%)
1	11,44	95,32	95,32	5,99	49,94	49,94
2	0,30	2,54	97,86	5,75	47,92	97,86
3	0,12	1,02	98,88	...	...	...
4	0,05	0,46	99,34	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...
12	0,00	0,01	100,00	12	100	100

Optou-se pela rotação dos fatores porque esta representa melhor a variabilidade dos dados, pois a variância explicada por cada nova variável é mais homogênea. O primeiro fator comum que explica 49,94% da variância total da razão de mistura tem correlações positivas superiores a 0,8 nos meses de dezembro a fevereiro e correlações também significativas, da ordem de 0,75, nos meses de março, outubro e novembro (Figura 5). A configuração espacial associada a este fator comum evidencia contribuições positivas, com valores máximos superiores a 1,0 notadamente no extremo oeste, conforme pode ser visto na Figura 6(a). Embora com contribuições menores, é possível observar também valores positivos numa faixa meridional e na porção leste de Minas, nas proximidades com a divisa do Espírito Santo.

No verão, segundo Novais (2011), as massas oriundas do oceano Atlântico sofrem influências de correntes de leste e de nordeste e das baixas pressões verificadas sobre o continente, carregando umidade e calor para a atmosfera, assumindo um papel determinante na disponibilidade do teor de vapor d'água e nas características do clima tropical. Além disso, o período melhor correlacionado a esse fator (outubro-março) pode estar associado ao sistema ZCAS. Originada na Amazônia e transportada pelos jatos de baixos níveis até o sudeste do Brasil, a umidade que está aquecida pelas altas temperaturas dessa época favorece a convergência na superfície e, consequentemente, observa-se maior concentração de razão de mistura na porção central-norte.

Figura 5. Cargas fatoriais rotacionadas (correlações) para os dois fatores comuns temporais da razão de mistura que explicam 97,86% (49,94% e 47,92%) da variabilidade dos dados.

As contribuições negativas desse fator podem está relacionadas com a baixa umidade sobre a Serra do Espinhaço, prolongando-se até o extremo sul, sobre a Serra das Vertentes. Além disso, há um núcleo situado sobre as Serras da Canastra e da Barçaça. Desse modo, esse fator denota a influência da irregularidade topográfica com contribuições negativas, isto é, valores de

razão de mistura abaixo da média nas regiões montanhosas.

Na porção leste, o primeiro fator associa-se a ocorrência de frentes, onde se percebe valores positivos, porém pouco significativos. Os resultados obtidos corroboram com Reboita et al. (2010) que mostraram menor ocorrência de frentes no verão em virtude do enfraquecimento dos gradientes de temperatura do Hemisfério Sul.

Figura 6. Padrão espacial associado ao primeiro (a) e segundo (b) fatores comuns dos totais médios mensais da razão de mistura no estado de Minas Gerais.

O segundo fator comum temporal explica 47,92% da variância total da razão de mistura média, apresentando fortes correlações positivas superiores a 0,75 nos meses maio a agosto. A espacialização deste fator tem contribuições elevadas nas porções este e nordeste. Observam-

se também contribuições significativas, da ordem de 0,75, no oeste de Minas nos meses de inverno (Figura 6b). Nesse período, as contribuições negativas inferiores a -0,75 são encontradas na região sul e em pequenos núcleos no noroeste e centro-oeste do estado, nos quais a razão de mistura é baixa. Este padrão mostra claramente o

período mais seco, devido à queda de umidade provocada justamente pelo posicionamento do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, que nessa época do ano está mais intenso e deslocado para oeste, impedindo a chegada das frentes no sul de Minas Gerais. Em síntese, os padrões espaciais das duas CPs evidenciam a atuação dos sistemas meteorológicos que atuam na região nas diferentes épocas do ano, ou seja, chuvas abundantes no verão e parte do outono ocasionado pelas ZCAS, frentes, dentre outros, enquanto que, no inverno, os sistemas atuam em menor intensidade, provocando chuvas fracas, devido principalmente ao resfriamento da atmosfera, o que explica o cinturão de baixa razão de mistura que se forma de leste a oeste nesse período. A influência do sistema ASAS sobre o estado é acentuada, pois quando esse sistema adentra o continente impõe condições de estabilidade da atmosfera com pouca ou nenhuma nebulosidade e baixa precipitação,

caracterizando o período seco (Vianello e Maia, 1986).

A determinação das regiões homogêneas de razão de mistura em Minas Gerais foi obtida pelo método de agrupamento hierárquico de Ward, pois dentre os métodos de hierarquização, este apresentou melhor coerência espacial com o regime de chuvas e, consequentemente, da razão de mistura na região. Os grupos foram obtidos a partir de cortes transversais no dendrograma baseados no critério de agrupamento e na inércia entre os grupos, sendo esta obtida pela soma dos quadrados dos desvios de cada ponto à média do grupo ao qual pertence (Figura 7). Logo, de acordo com o método de Ward aplicado aos fatores comuns temporais e espaciais mais significativos, o estado de Minas Gerais foi delimitado em três grupos homogêneos da razão de mistura.

Figura 7. Dendrograma obtido a partir do método aglomerativo hierárquico de Ward.

A espacialização de cada região homogênea de razão de mistura é mostrada a seguir. O estudo de Sistemas Frontais, ZCAS, ENOS, orografia, brisas lacustres e fluviais e

condições instantâneas são fundamentais nos modos de classificação do vapor d'água para a região pesquisada (Figura 8).

(a)

(b)

Figura 8. Regiões homogêneas de razão de mistura (a) e localização das estações climatológicas (b). Adaptado de Simielli (1991)

A região RH1 possui 7 estações, estendendo-se de oeste a noroeste e em parte do nordeste e extremo este do estado. Esta região apresenta relevo cuja altitude varia entre 200 e 500m e engloba áreas mineiras formadas por vales: Parnaíba, Rio Grande, São Francisco, Jequitinhonha e Mucuri. A RH1, representada por características das depressões mineiras, reúne áreas de climas variando de quente úmido a quente semiúmido, com período seco entre três e cinco meses.

A RH2 está situada na região central mineira e se estende de norte a sul, sendo formada por 25 estações. Este grupo está localizado na porção mais elevada do estado, com picos que ultrapassam os 2000m de altitude (Pico do Itambé). O clima apresenta um contraste acentuado, variando do quente semiúmido ao quente semiárido. Nesta RH, ao norte do estado, têm-se municípios que ficam até seis meses com baixo teor de umidade na atmosfera local (Figura 8).

Por fim, a técnica utilizada mostrou a presença de microclimas no norte e sul do estado, possivelmente ocasionados por condições físicas locais, tais como influência orográfica, vegetação e hidrografia. Totalizando sete estações, a RH3 necessitaria de um acréscimo na densidade de estações a fim de se ter uma maior consistência climatológica dessa região, detectando também efeitos mais específicos. Uma sugestão seria utilizar dados de reanálise do NCEP, assim como dados de estações dos estados vizinhos.

Conclusões

A análise fatorial em componentes principais, aplicada aos dados de razão de mistura em Minas Gerais, mostrou que os dois primeiros fatores comuns explicaram 97,86% da variância total dos dados mensais. A análise temporal e espacial desses fatores permitiu identificar sistemas atmosféricos que influenciam na quantidade de vapor d'água (umidade) da região, possibilitando compreender melhor os mecanismos físicos geradores das chuvas.

O primeiro fator mostrou altas correlações da razão de mistura nos meses de outubro a março, na parte oeste do estado, e está associado à atuação de ZCAS, frentes e aspectos orográficos que, por sua vez, são geradores de chuvas na região. O segundo fator mostrou que as maiores contribuições ocorreram no inverno e está relacionado à baixa umidade provocada pelo deslocamento do Anticiclone Tropical na direção do continente, situando-se sobre o estado de

Escobar, G.C.J., Seluchi, M.E., 2012. Classificação sinótica dos campos de pressão

Minas, excetua-se, neste caso, o cinturão leste-oeste influenciado pelos Sistemas Frontais. As três regiões homogêneas de razão de mistura, utilizando o método hierárquico de Ward, identificaram bem a sazonalidade dessa componente termodinâmica. Isto é, regiões mais úmidas e menos úmidas foram evidenciadas nas diferentes épocas do ano, assim como a atuação de sistemas meteorológicos que inibem ou favorecem a concentração do vapor d'água na região sudeste de modo geral.

Agradecimentos

Os dois primeiros autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (Capes) pela concessão de bolsa de estudos.

Referências

- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22, 711-728.
- Amanajás, J.C., 2011. Interação entre padrões pluviométricos na Amazônia Oriental e Temperatura da Superfície do Mar dos Oceanos Pacífico e Atlântico Tropicais. Dissertação (Mestrado). Campina Grande, UFCG.
- Barbieri, L.F.P., Correia, M.F., Braga, C.C., Gonçalves, W.A., Moura, M.S., 2013. Desempenho de Método de Estimativa da Temperatura Média Diária: Um Estudo em Áreas com Forte Pressão Antrópica. *Revista Brasileira de Geografia Física* 4, 857-874.
- Bezerra, F.A., 2007. Análise Fatorial, in: Corrar, L.J., Paulo, E., Dias Filho, J.M., (Org.), *Análise Multivariada*. Atlas, São Paulo.
- Bouroche, J-M., Saporta, G., 1982. *Análise de Dados*. Zahar Editores, Rio de Janeiro. Tradução Marcus Panchel.
- Ceballos, J.C., Braga, C.C., 1995. Missing data assessment in a solarimetric network. *International Journal of Climatology* 15, 325-340.
- Costa, M.R.C., Hermann, G., Martins, C.M., Lins, L.V., 1998. *Biodiversidade em Minas Gerais: um Atlas para sua Conservação*. Fundação Biodiversitas, Belo Horizonte.
- Ellouze, M., Azri, C., Abida, H., 2009. Spatial variability of monthly and annual rainfall data over Southern Tunisia. *Atmospheric Research* 93, 832-839.

atmosférica na América do Sul e sua relação com as Baixas do Chaco e do Noroeste

- Argentino. *Revista Brasileira de Meteorologia* 3, 365-375.
- Esteban, P., Martin-Vide, J., Mases, M., 2006. Daily atmospheric circulation catalogue for western Europe using multivariate techniques. *International Journal of Climatology* 26, 1501-1515.
- Everitt, B., 1993. *Cluster Analysis*, 3 ed. Heinemann Educational Books, London.
- Green, M.C., Flocchini, R.G., Myrup, L.O., 1993. Use of temporal principal component analysis to determine seasonal periods. *Journal of Applied Meteorology* 32, 986-995.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2014. Mapas de Biomas e de Vegetação. Disponível: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso: 11 fev. 2014.
- Marques, J.M., Mendes Marques, M.A., 2005. As componentes principais no descarte de variáveis em um modelo de regressão múltipla. *Revista FAE* 1, 93-101.
- MINAS GERAIS (Estado). Portal do Governo de Minas Gerais. Disponível: <http://www.mg.gov.br/governomg/portal/c/governomg/conheca-minas>. Acesso: 11 fev. 2014.
- Minuzzi, R.B., Sediya, G.C., Barbosa, E.M., 2007. Climatologia do comportamento do período chuvoso da Região Sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia* 3, 338-344.
- Neto, J.L.S., Tommaselli, J.T.G., 2009. O tempo e o clima de Presidente Prudente. FCT/UNESP, Presidente Prudente.
- Novais, G.T., 2011. Caracterização climática da mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba e do entorno da Serra da Canastra. Dissertação (Mestrado). Uberlândia, UFU.
- Pandžić, K., 1988. Principal component analysis of precipitation in the Adriatic-Pannonian area of Yugoslavia. *International Journal of Climatology* 8, 357-370.
- Pohlmann, M.C., 2007. Análise de Conglomerados, in: Corrar, L.J., Paulo, E., Dias Filho, J.M., (Orgs.), *Análise Multivariada*. Atlas, São Paulo.
- Reboita, M.S., Gan, M.A., Rocha, R.P., Ambrizzi, T., 2010. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia* 2, 185-204.
- Richman, M.B., 1986. Rotation of principal components. *Journal of Climatology* 6, 293-335.
- Richman, M.B., Adrianto, I., 2010. Classification and regionalization through kernel principal component analysis. *Physics and Chemistry of the Earth* 35, 316-328.
- Santos, S.R.Q., 2013. Determinação de regiões homogêneas do índice de precipitação normalizada (SPI) no Estado do Pará por meio da análise multivariada. Dissertação (Mestrado). Campina Grande, UFCG.
- Sherwood, S.C., Ingram, W., Tsushima, Y., Satoh, M., Roberts, M., Vidale, P.L., O’Gorman, M., 2010. Relative humidity changes in a warmer climate. *Journal of Geophysical Research* 115, D09104.
- Simielli, M.E., 1991. *Geoatlas*. Ática, São Paulo.
- Trenberth, K.E., Fasullo, J.T., 2009. Global warming due to increasing absorbed solar radiation. *Geophysical Research Letters* 36, L07706.
- Vianello, R.L., Maia, L.F.P.G., 1986. Estudo preliminar da climatologia dinâmica do estado de Minas Gerais. *Revista Informe Agropecuário* 138, 6-8.
- Vianello, R.L., Alves, A.R., 1991. *Meteorologia básica e aplicações*. Imprensa Universitária da UFV, Viçosa.
- Wilks, D.S., 2006. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*, 2 ed. Academic Press, London.