

VARIABILIDADE E REGIONALIZAÇÃO DOS ANOS-PADRÃO DE PLUVIOSIDADE NA REGIÃO DE UNAÍ-MG

Aion Angelu Ferraz Silva¹; Carlos Henrique Jardim²

Resumo: Este artigo analisa a variabilidade espacial e temporal dos anos-padrão de pluviosidade na região de Unaí, noroeste do estado de Minas Gerais, Brasil. Foram utilizados os dados pluviométricos de 100 estações da ANA e 22 estações do INMET, entre os anos de 1995/1996 e 2014/2015, para compreender a distribuição têmporo-espacial da pluviosidade e determinar os anos-padrão pela técnica do Desvio-padrão (especializados pelos polígonos de Thiessen). Os resultados propiciaram compreender a espacialização das classes de ano-padrão de cada estação, possibilitando identificar padrões regionais de pluviosidade nos anos avaliados. Conforme a análise e interpretação das informações, foram definidos os seguintes anos-padrão: Seco (2014/2015); Seco/Tendente a Seco (1995/1996, 1997/1998, 2000/2001, 2007/2008 e 2013/2014); Habitual (2001/2002, 2002/2003, 2008/2009 e 2009/2010); Habitual/Tendente a Chuvoso (2005/2006); Chuvoso/Tendente a Chuvoso (2010/2011); Chuvoso (1996/1997, 2003/2004 e 2006/2007); e Misto (1998/1999, 1999/2000, 2004/2005, 2011/2012 e 2012/2013). A análise dos mapas (regional) e das estações pluviométricas no transecto (local) possibilitaram relacionar a influência das teleconexões (ENOS/ODP) na explicação de parte das flutuações da variabilidade regional das chuvas, principalmente dos padrões extremos, como nos quatro anos mais secos e no segundo e quarto anos mais chuvosos (2006/2007 e 2010/2011), mas sem conseguir diferenciar a influência de suas fases.

Palavras-Chave: ENOS; teleconexões; cartografia climática.

INTRODUÇÃO

A organização das sociedades é influenciada de diversas maneiras e intensidades pelos aspectos ligados as variações do tempo e do clima, como por exemplo, na dependência de seus insumos ou nos impactos resultantes dos eventos extremos de chuva. Dentre as atividades humanas que estão ligadas as características climáticas locais e regionais, destacam-se a agricultura, o abastecimento hídrico (consumo humano e geração de energia), o turismo, as indústrias, os transportes, os meios urbanos e rurais, etc. (AYOADE, 2003). Desse modo, torna-se fundamental racionalizar o uso e ocupação do território através de planejamentos estratégicos (ambiental, regional, hídrico, urbano, agrícola etc.) que visem a tomada de decisões diante das adversidades inerentes ao sistema climático, ao possibilitar a adoção de medidas mitigadoras que atenuem os potenciais impactos negativos advindos da manifestação extrema dos seus elementos, sobretudo da temperatura e precipitação

Uma das principais técnicas utilizadas na Climatologia Geográfica para identificar padrões da variabilidade climática local/regional é a segmentação e classificação dos totais pluviométricos acumulados no decorrer de um lapso temporal, denominado de “período-padrão” (escalas mensal ou sazonal) ou “ano-padrão” (escala anual). Essa técnica possibilita identificar o regime pluviométrico de um determinado espaço, apontando as condições que resultam nos padrões de normalidade e/ou excepcionalidade da precipitação ao longo do tempo. A segmentação da pluviometria baseia-se na

¹ Doutorando em Geografia, IGC/UFMG, aion.silva@ifmg.edu.br

² Professor Associado, Depto. Geografia IGC/UFMG, dxhenrique@gmail.com

definição de classes conforme as suas características quantitativas, levando em consideração a recorrência, a amplitude (mínimos e máximos), a dispersão e a distribuição (simétricos ou assimétricos) estatística dos dados.

De modo geral, as classes quantitativas geradas a partir do agrupamento da precipitação são categorizadas de forma qualitativa, ao discretizar os dados pluviométricos conforme a intensidade e frequência dos fenômenos, mas que tendem a generalizar os aspectos: os eventos que ocorrem com maior regularidade são distinguidos por estarem dentro ou próximo da média estatística dos dados, sendo denominados como períodos Normais ou Habituais; os totais acumulados de chuva que estão estatisticamente situados entre os intervalos de classe Habitual/Normal e os dados extremos são classificados como dados intermediários, sendo definidos como períodos Secos (desvios negativos) ou Chuvosos (desvios positivos); e os quantitativos pluviométricos que estão próximos aos limites superior e inferior do conjunto de dados, considerados eventos intensos e vinculados à adversidade pluviométrica (Muito Chuvoso ou Muito Seco), além de serem caracterizados como fenômenos de recorrência mais rara.

O uso de diferentes métodos estatísticos para um mesmo conjunto de dados resultará em distintas propostas de classificação e sistematização dos agrupamentos em subconjuntos, mas que sempre visam expressar as classes que categorizam a intensidade das chuvas ao longo do tempo. Essas diferentes classificações estão relacionadas à definição dos limiares quantitativos de segmentação interclasses, que influenciarão na quantidade de agrupamentos e resultarão em distintas distribuições de frequências absoluta e relativa em cada divisão dos dados.

Dentre as técnicas estatísticas comumente usadas pela Climatologia Geográfica para a definição dos anos-padrão, destacam-se: a fórmula de Sturges (1926, apud GERARDI, 1981), o Desvio-padrão em relação à média (SANT'ANNA NETO, 1990), o Desvio Percentual das Precipitações (TAVARES, 1976), a Análise de Agrupamento (JÁCOMO, 2011), o Quantis (PINKAYAN, 1966) e o Box Plot (GALVANI; LUCHIARI, 2012).

O estudo de Zandonadi (2009) sobre o regime temporal e espacial das chuvas na bacia hidrográfica do Paraná propôs a definição de anos-padrão para os totais pluviométricos acumulados anualmente de 96 estações da Agência Nacional de Águas (ANA), entre 1976 e 2005. Foi utilizado como critério de segmentação da pluviosidade as técnicas de Sturges e Quartil, as quais contemplaram 8 classes quantitativas que, ao final, foram sintetizadas em 4 classes qualitativas (Seco, Habitual, Chuvoso e Misto).

Sant'Anna Neto (1990) aplicou o método dos anos-padrão para determinar quais episódios seriam mais representativos na gênese pluvial da zona costeira paulista entre os anos de 1967 e 1986. Foram utilizadas as técnicas de análise de agrupamento e coeficiente de variação para delimitar 5 classes de pluviosidade: Secos, Tendências Secas, Habituais ou Normais, Tendências Chuvosas e Chuvosos.

Schneider et al. (2012), propuseram a segmentação das variações pluviométricas da porção centro sul do estado de Mato Grosso do Sul, nas escalas sazonal e anual, pela técnica de "Desvio Percentual das

Precipitações Sazonais”, definindo três classes de intensidade (Seco, Habitual e Chuvoso) entre os anos de 1980 e 2009.

A técnica de Desvio-padrão em relação à média foi utilizada por Sant’Anna Neto (1995) no estudo sobre a distribuição espacial e a evolução temporal da pluviosidade no estado de São Paulo, entre os anos de 1941 e 1993. O autor definiu cinco classes de anos-padrão: Seco, Tendente a Seco, Habitual, Tendente a Chuvoso e Chuvoso.

A definição de padrões anuais de chuva pela técnica dos Quantis foi aplicado por Almeida et al (2013) para as microrregiões geográficas do Brejo e Cariri paraibano, ao utilizarem os totais pluviais entre os anos de 1960 e 2010 para classificar 5 subconjuntos de dados, conforme os seguintes percentis: Muito Seco (<15%), Seco (entre 15% e 35%), Normal (entre 35% e 65%), Chuvoso (entre 65% e 85%) e Muito Chuvoso (>85%).

Outro método de distribuição dos totais pluviométricos em agrupamentos foi aplicada por Galvani e Luchiari (2012) para Piracicaba (SP), entre os anos de 1917 a 1994, ao utilizarem a técnica de Box Plot para definir cinco classes de precipitação através dos seguintes percentis: de 0% a 5% (Super Seco); de 5% a 25% (Seco); 25% a 75% (Normal); de 75% a 95% (Úmido); e 95 a 100% (Super Úmido). Essa técnica serviu de embasamento teórico e metodológico para que Silva et al. (2017) identificassem os padrões secos, normais, chuvosos e com ocorrência de eventos extremos para os municípios mineiros de Januária, Belo Horizonte e Sete Lagoas.

A Análise de Agrupamento Hierárquico, pertencente as técnicas de Análise Multivariada, visa diminuir a variabilidade entre os dados através da formação de grupos internamente homogêneos, mas que ao mesmo tempo devem possuir alta heterogeneidade em relação aos elementos dos outros grupos. Essa técnica foi utilizada por Jácomo (2011) para definir 3 classes de anos-padrão (Seco, Habitual e Chuvoso) para os dados de pluviosidade de 108 estações pluviométricas situadas na região oeste do estado de São Paulo, relativo aos anos de 1970 a 2000.

Uma discussão sobre as diferentes técnicas de classificação de anos-padrão por meio de análise estatística foi desenvolvida por Silvestre et al. (2013), ao utilizarem como exemplo as precipitações anuais da Estação Meteorológica da FCT/UNESP de Presidente Prudente (período de 1961 a 2010). Para fins de comparação, foram definidas 5 classes de pluviosidade pelas técnicas de Sturges, Box Plot (percentis de 5%, 25%, 75% e 95), Quantis (percentis de 15%, 35%, 65%, 85%), Desvio-padrão em relação à média e seis métodos de Agrupamento Hierárquico (Ligação Simples, Ligação Completa, Ligação Média, Ligação Mediana, Ligação de Centróides e Ward). Os autores concluem que não há um consenso sobre qual é a melhor técnica, devido as características estatísticas relacionadas a cada uma delas. Porém, eles apontam que as técnicas de Sturges, Desvio-padrão e os métodos de Agrupamentos Hierárquicos geram totais relativos de frequência que sintetizam a forma simétrica ou assimétrica da distribuição dos dados, diferentemente do que ocorre com as técnicas de Box Plot e Quantis, que tendem a produzir uma

distribuição simétrica das frequências observadas e relativas (não leva em consideração que a distribuição dos dados de origem possa ser assimétrica).

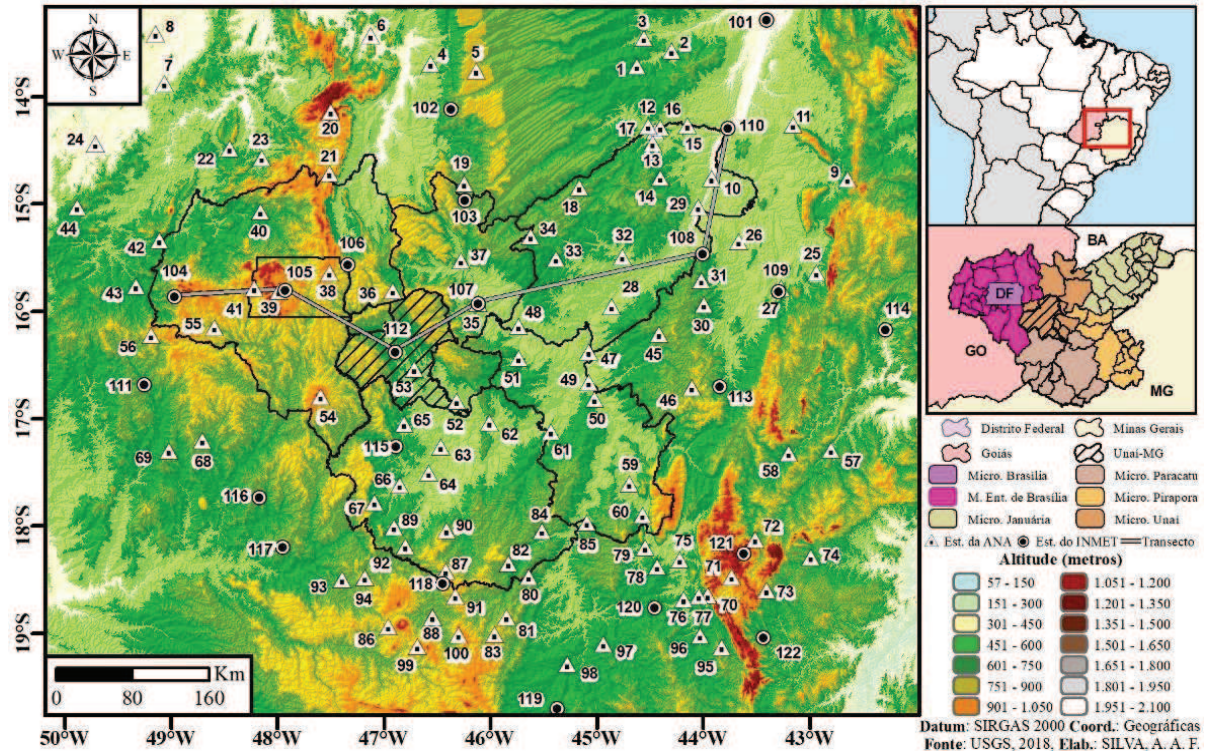
A diferenciação das classes de pluviosidade ao longo dos anos está diretamente vinculada com a variabilidade temporal das chuvas. Sob essa perspectiva, Mendonça e Danni-Oliveira (2007) e Sant'Anna Neto (2003) explicitam que as características geográficas estão correlacionadas à variabilidade do clima, cabendo destaque para a dinâmica da circulação das massas de ar ou sistemas atmosféricos, associada no processo de transferência e trocas de energia (calor) e matéria (umidade e material particulado) entre as diferentes regiões. Sob essa perspectiva Monteiro (1991) pondera, a partir da concepção de Max Sorre, que o clima deve ser compreendido pela série de estados da atmosfera em sua sucessão habitual, através da atuação de diferentes sistemas atmosféricos que influenciarão na gênese, duração, intensidade e impactos resultantes da variação dos elementos climáticos.

A configuração temporal e espacial da sucessão dos sistemas atmosféricos sofre influência de fatores climáticos dinâmicos em escalas hierarquicamente superiores, como por exemplo, a ciclicidade das anomalias na Temperatura da Superfície do Mar (TSM) que produzem alterações do clima na escala zonal. Cavalcanti e Ambrizzi (2009) explicam que esse fenômeno gera perturbações na pressão, no vento e na convecção tropical, alterando os padrões de circulação atmosférica e influenciando regiões distantes em relação a área de origem desses fenômenos (teleconexões).

Um exemplo de teleconexão amplamente reconhecida e relatada pela literatura científica das áreas da meteorologia e climatologia refere-se a anomalia da TSM na região equatorial e tropical do Oceano Pacífico associada ao El Niño - Oscilação Sul (ENOS) e a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP). Dias e Marengo (2002) explicam que o ENOS é um evento acoplado entre o oceano e a atmosfera de alta frequência (2 a 5 anos), composto por duas fases: El Niño (EN, aquecimento) e La Niña (LN, resfriamento). Sua duração é de 6 a 18 meses, gerando impactos na circulação atmosférica em diferentes localidades do planeta, inclusive no Brasil. A ODP é um evento cíclico de longa frequência, diretamente vinculado aos mecanismos de ocorrências e intensidade dos episódios de ENOS. Ela possui uma fase positiva ou quente e outra negativa ou fria, com periodicidade aproximada de 20 a 30 anos para cada fase (KAYANO; ANDREOLI, 2009), podendo intensificar e/ou atenuar os episódios de EN/LN quando atuam em conjunção.

Considerando a discussão, esse artigo propõe analisar a variabilidade espacial e interanual dos anos-padrão de pluviosidade para cinco microrregiões situadas no entorno do município de Unaí-MG, localizadas entre os estados do Distrito Federal, de Goiás e Minas Gerais (Figura 1). Essa região destaca-se no quadro econômico nacional por ser uma das maiores produtoras agrícolas do país, com destaque para o cultivo da soja que vem consolidando, intensificando e expandindo sua produção nos últimos 25 anos (IBGE-SIDRA, 2018). Mas o sucesso do cultivo ainda está fortemente vinculado a regularidade da distribuição intranual das chuvas durante o período de cultivo, com potencial de perda de produtividade pela falta/excesso de pluviosidade.

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo e das estações pluviométricas/meteorológicas.



A extensão territorial da área de estudo resulta num arranjo complexo de elementos geográficos em suas múltiplas características. Ab'saber (2003) explica de forma sintética que o quadro físico pode ser compreendido através: (a) das estruturas geológicas (composta de rochas cristalinas e sedimentares) que embasam fisionomias geomorfológicas com gradiente altimétrico superiores a 1.000 metros, com as maiores altitudes (quadrante oeste) compondo conjunto de paisagens de planaltos, serras, patamares e chapadas típicos da região do Brasil Central, recortadas por áreas deprimidas que possuem terraços e planícies fluviais de menor altitude, principalmente a depressão formada pela bacia hidrográfica do Rio São Francisco (quadrante leste); (b) da agregação das características topográficas e geomorfológicas que abrigam o alto curso de três das mais importantes bacias hidrográficas do país (São Francisco, Paraná e Araguaia-Tocantins); (c) da organização fitogeográfica, que possui como predominância a ocorrência de formações savânicas típicas do Cerrado brasileiro em suas variadas fitofisionomias, mas com a presença de mosaicos de formações oriundas da Caatinga nas porções norte e nordeste, devido às características pluviotérmicas na região serem de transição para o clima do semiárido brasileiro.

De acordo com IBGE (2002), as condições climáticas da região correspondem a zona Tropical do Brasil Central, com regime de pluviosidade sazonal bem definido (chuvoso e estiagem), contemplando três subunidades climáticas: à oeste e sul classificados como Subquente (média entre 15°C e 18°C em pelo menos 1 mês) e Semi-úmido (4 a 5 meses secos); as porções norte, central e leste são categorizados como Quente (média superior a 18°C em todos os meses) e Semi-úmido (4 a 5 meses secos); e no nordeste da microrregião de Januária é termicamente classificado como Quente e com regime característico de região Semi-árida (6 meses secos ou mais).

MATERIAIS E MÉTODOS

De acordo com Nimer (1989), os maiores volumes pluviométricos na região de estudo ocorrem entre a primavera e verão (outubro a março). Como esse trabalho visa compreender o regime temporal da pluviosidade, é necessário que a escala temporal adotada possibilite contemplar o comportamento sequencial do seu ritmo, ou seja, a partir dessa premissa não é possível adotar o ano civil (janeiro a dezembro) como recorte de análise. Desse modo, foi definido para fins de cômputo dos totais pluviométricos o período referente aos meses de julho a junho, com o intuito de abranger a distribuição das chuvas no decorrer de 12 meses seguidos.

Os dados pluviométricos da área de estudo e suas adjacências abrange os limites espaciais de 13°S a 20°S e 41°O a 51°O, os quais foram obtidos na escala diária para 71 estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2017) e 1.213 estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas e de outros órgãos conveniados (ANA, 2017).

Através do desenvolvimento de automatização de rotinas computacionais no *software* Microsoft Excel 2016[®], todas as 1284 estações foram avaliadas individualmente em relação a ocorrência de falhas na quantidade diária de dados mensais. Foi aplicado as normatizações de consistência de dados pluviométricos preconizados pela Organização Meteorológica Mundial (WMO, 1989), que estabelece o uso de séries temporais mensais que somente possuam todos os registros diários completos.

A partir dos critérios estabelecidos de sobreposição temporal e relevância espacial, foram aproveitadas 122 estações meteorológicas e pluviométricas (22 do INMET e 100 da ANA, Figura 1), correspondente aos anos de 1995/1996 a 2014/2015. A análise de consistência dos dados resultou em 39 estações que apresentaram os dados completos da série histórica e de 83 estações que necessitaram passar por variados graus de correções, totalizando 379 meses corrigidos ou 1,29% dos 29280 meses (122 estações ao longo de 20 anos).

Posteriormente, as estações foram agrupadas em relação a consistência dos seus dados brutos e de acordo com os quantitativos de erros mensais, ao definir como critério de seleção o limiar máximo de quatro falhas mensais dentro de um mesmo ano. As estações que ultrapassassem esse critério seriam automaticamente descartadas, pois o uso recorrente de técnicas de correção de falhas poderia gerar alterações significativas nos totais anuais acumulados e distorcer as análises.

A partir dos critérios de seleção dos dados foi possível avaliar o conjunto da melhor sobreposição temporal e espacial das estações, ao definir: (1) a maior quantidade de estações que possuíam a menor quantidade de erros; (2) o maior lapso temporal possível ao utilizar estações de importante representatividade espacial em relação ao contexto regional.

A metodologia aplicada nos testes para escolha da melhor técnica de correção dos dados mensais de chuva foi fundamentada nos critérios aplicados por Oliveira (2010). Após diversos testes realizados em estações na região que não apresentavam falhas nos dados, foi definida a Regressão Linear Múltipla

como método de correção de falhas. As estações corrigidas tiveram o apoio de no mínimo 3 estações adjacentes, as quais deveriam possuir proximidade espacial, altitude similar, coeficiente de correlação mínimo de 0,6 e, ao final, coeficiente de determinação mínimo de 0,9 após passarem pelo processo de validação e consistência dos dados pela metodologia da Dupla Massa (TUCCI, 2000).

Os dados de pluviosidade das 122 estações foram organizados e sintetizados na escala anual, além de serem avaliados por meio de técnicas de estatística descritivas de medidas de tendência central (média e mediana) e de dispersão (quartis, desvio-padrão e coeficiente de variação), os quais foram representados por gráficos de Box-Plot, total anual acumulado e desvio anual relativo à média (GERARDI, 1981).

A definição da técnica de agrupamento dos anos-padrão de pluviosidade foi estabelecida a partir da metodologia utilizada por Sant'Anna Neto (1995), através do uso do Desvio-padrão (s) em relação à média (\bar{x}). Foram adotadas cinco classes de segmentação de intensidade da pluviometria anual: Seco ($\leq \bar{x} - s$), Tendente a Seco ($>\bar{x} - s$ e $\leq \bar{x} - 0,5s$), Habitual ($>\bar{x} - 0,5s$ e $<\bar{x} + 0,5s$), Tendente a Chuvoso ($\geq \bar{x} + 0,5s$ e $<\bar{x} + s$) e Chuvoso ($\geq \bar{x} + s$).

Os resultados foram mapeados em ambiente digital de sistema de informação geográfica, sendo gerados os seguintes produtos: os dados anuais e da média de pluviosidade foram interpolados pelo método da Krigagem Ordinária Linear (PERIN et al, 2015), com definição da quantidade de classes e com o respectivo intervalo através da fórmula de Sturges (GERARDI, 1981); as informações dos anos-padrão foram espacializadas pela técnica dos polígonos de Thiessen (NASCIMENTO et al, 2015)

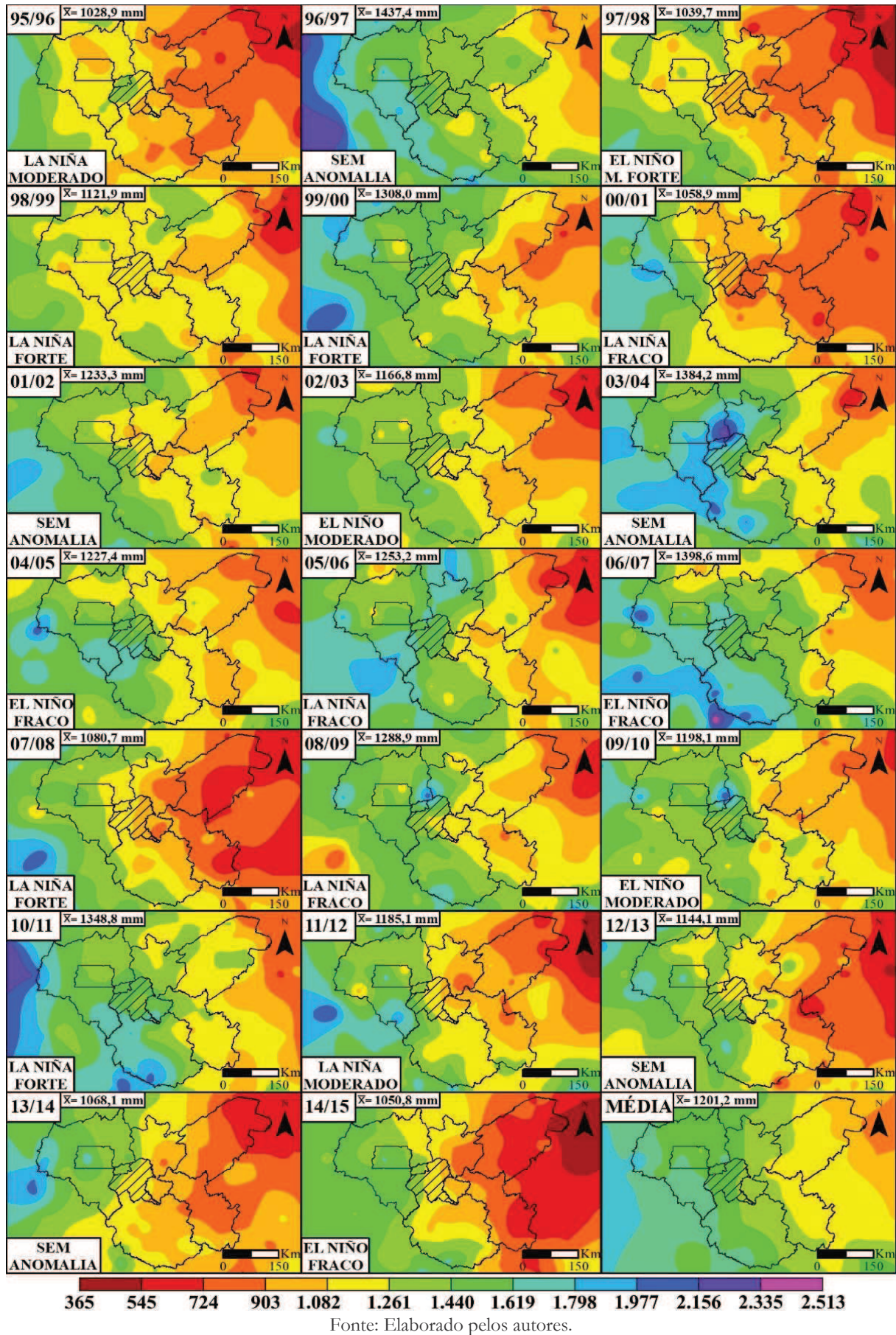
Os dados sobre a variabilidade mensal e anual de ocorrência e intensidade dos fenômenos ENOS e ODP, e das médias de anomalia da TSM do Oceano Pacífico foram obtidos no site da agência de Administração Oceânica e Atmosférica Nacional dos Estados Unidos (NOAA, 2018).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a análise estatística, a região possui 1.201,2 mm de precipitação média anual, apresentando desvio-padrão de 256,5 mm e coeficiente de variação de 15%, com amplitude máxima de 1.035,6 mm entre as estações Est. 9 (679,2 mm) e Est. 104 (1.714,8 mm). A espacialização das médias de precipitação anual (Figura 2) demonstra o gradiente pluvial na direção oeste/sudoeste (maiores volumes situados à oeste da microrregião do Entorno de Brasília) para leste/nordeste (região mais seca localizada a nordeste da microrregião de Januária).

A relação entre as maiores altimetrias e quantitativos pluviais à oeste (Figura 1) está pautada na dinâmica dos movimentos de convecção e advecção do ar na atmosfera, que ao encontrarem barreiras naturais formadas pela topografia mais elevada sofrem aumento de turbulência ao serem forçados a ascender. Desse modo, a orografia possui papel importante no processo de condensação do ar por resfriamento adiabático (descompressão ou expansão mecânica do ar), ao contribuir na gênese pluvial e nos maiores volumes precipitados em âmbito regional.

Figura 2 – Espacialização da precipitação anual e média (mm), entre 1995/1996 e 2014/2015.



Em contraposição, a diferença altimétrica entre áreas mais elevadas à oeste e as microrregiões de Paracatu, Unaí, Pirapora e Januária, evidencia a diminuição linear da precipitação rumo às áreas de menor altitude. Parte da explicação dessa redução da pluviometria está relacionada a maior dificuldade de atuação dos mecanismos formadores de nuvens, fruto do movimento descendente do ar das localidades mais elevadas (oeste, sul e leste) em direção as áreas deprimidas situadas na depressão do Rio São Francisco (vertente sotavento). Esse processo proporciona a elevação da temperatura do ar por aquecimento adiabático (compressão mecânica), resultando na diminuição da umidade relativa pelo aumento do ponto de saturação do ar (maior capacidade de absorção de vapor d'água pela atmosfera) que gera maior dificuldade de condensação e formação de nebulosidade, refletindo em parte das causas que geram a redução dos totais pluviométricos precipitados (AYOADE, 2007).

Concomitantemente à compreensão dos fatores estáticos do clima regional, é fundamental observar os aspectos vinculados à dinâmica da circulação atmosférica. A estação chuvosa, caracterizada pelo período compreendido entre a primavera e meados de outono, favorece a atuação espacial heterogênea das massas de ar responsáveis pela gênese pluvial regional. A discrepância entre os volumes pluviométricos encontrados (tanto em relação às médias como também na distribuição interanual) está vinculada aos limites máximos de abrangência de atuação desses sistemas em relação aos seus núcleos de formação.

De acordo com Borsato (2016), a área compreendida pela região de estudo encontra-se numa porção do território caracterizada pela alternância das estações secas e úmidas do Brasil Central, desencadeada pela transição de sistemas de circulação geral de origem equatorial (Massa Equatorial Continental [mEc]), tropical (Massa Tropical Atlântica [mTa] e Massa Tropical Continental [mTc]) e extratropical (Sistemas Frontais [SF] e da Massa Polar Atlântica [mPa]). O autor explica que a gênese pluvial na região no período do verão também recebe a contribuição da Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) e/ou da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), distintas pela duração da atuação (ZCOU menor que 4 dias/ZCAS a partir de 4 dias) mas similares pela configuração sinótica (arranjo espacial entre as massas de ar equatorial, tropical e extratropical, que formam uma banda de nebulosidade NO/SE entre a Amazônia e o Atlântico Subtropical). Por fim, o autor enfatiza o papel dos subsistemas atmosféricos originados no interior ou no limite das massas de ar, como as Linhas de Instabilidade (LI) e os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), que possuem importante contribuição na pluviosidade.

A partir dos estudos desenvolvido por Alves (2009), Nunes et al (2009) e Borsato (2017), é possível inferir que a ocorrência e a configuração têmporo-espacial média de atuação das massas de ar no período chuvoso na região de estudo possuem as seguintes características:

- a) a sazonalidade climática do período proporciona o deslocamento do centro de ação da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) para menores latitudes dos hemisférios Norte/Sul, reduzindo

seu poder de atuação e influenciando diretamente na sua menor participação e abrangência nas áreas mais interioranas da porção ocidental do território brasileiro;

- b) o maior aquecimento do continente nessa época do ano gera núcleos de baixa pressão que possibilitam a expansão da atuação da mEc para regiões do norte Centro-Oeste do Brasil. Aliado as características sazonais da ASAS, o processo de advecção do ar proporciona o transporte de calor e umidade da região amazônica que, ao interagir com a orografia regional, resulta elevados volumes pluviométricos na porção ocidental;
- c) as localidades situadas nas porções sul e sudoeste estão sujeitas a maior recorrência de sistemas atmosféricos extratropicais, que propiciam maior variabilidade interanual da precipitação. O avanço da mPa (alta pressão) rumo às baixas latitudes favorece o estabelecimento de uma faixa de baixa pressão em sua vanguarda (SF), ocasionado pela ascensão forçada do ar quente e úmido que gera nebulosidade e pode resultar em precipitação (chuva frontal). Mas esse processo de pluvio gênese tende a ser atenuado ou até mesmo anulado em virtude do deslocamento da mPa do continente rumo ao Oceano Atlântico ou devido as condições barométricas (baixo gradiente de pressão) gerarem intenso processo de tropicalização, que ao deslocar-se pelo território sul-americano troca energia com a superfície e modifica seus atributos térmicos (frio) e hídricos (seco) originais. Essa descaracterização pode gerar a dissipação da mPa e o processo de frontólise dos SF antes mesmo de atuar nas porções meridionais da área de estudo. A ocorrência desse fato abre espaço para o predomínio de sistemas intertropicais que tendem a proporcionar totais pluviais reduzidos;
- d) a redução linear da pluviosidade no transecto SO-NE está vinculada a dois fatores principais da circulação atmosférica regional: (1) a predominância dos sistemas tropicais que favorecem o tempo seco, quente e com pouca nebulosidade, resultantes dos movimentos anticiclônicos das camadas superiores da atmosfera que inibem as correntes convectivas ascendentes (com destaque para mTa, que age com maior intensidade nas menores longitudes em razão da maior proximidade do núcleo de atuação do ASAS); (2) as características climáticas de continentalidade, que são acentuadas devido ao enfraquecimento gradual do poder de atuação dos sistemas equatoriais e extratropicais rumo a porção oriental da microrregião de Januária, restando às linhas de instabilidade tropicais o papel de maior responsável pela gênese pluvial (possuem menor capacidade de gerar episódios de alta pluviosidade e impactam nos baixos totais acumulados anualmente).

Com o intuito de analisar a variabilidade temporal da pluviosidade para cada uma das 122 estações, foi confeccionado um quadro síntese com as classes de intensidade dos anos-padrão, os gráficos de Box Plot (identificação da amplitude e distribuição estatística dos dados) e as estatísticas de dispersão interanual dos dados (desvio padrão e o coeficiente de variação). As linhas que representam as estações foram ordenadas para apresentar a amplitude da média pluvial entre as localidades, partindo das menores para as maiores pluviometrias (Figura 3).

A análise das informações contidas na Figura 3 (Desvio-padrão, Box Plot e Coeficiente de Variação) possibilitou identificar as medidas estatísticas do conjunto de dados pluviométricos das estações analisadas, com as informações básicas sintetizadas na Tabela 1. A variabilidade interanual das chuvas mostrou contrastes regionais muito acentuados, com o menor e maior valores ocorridos, respectivamente, em 1997/1998 e 2006/2007.

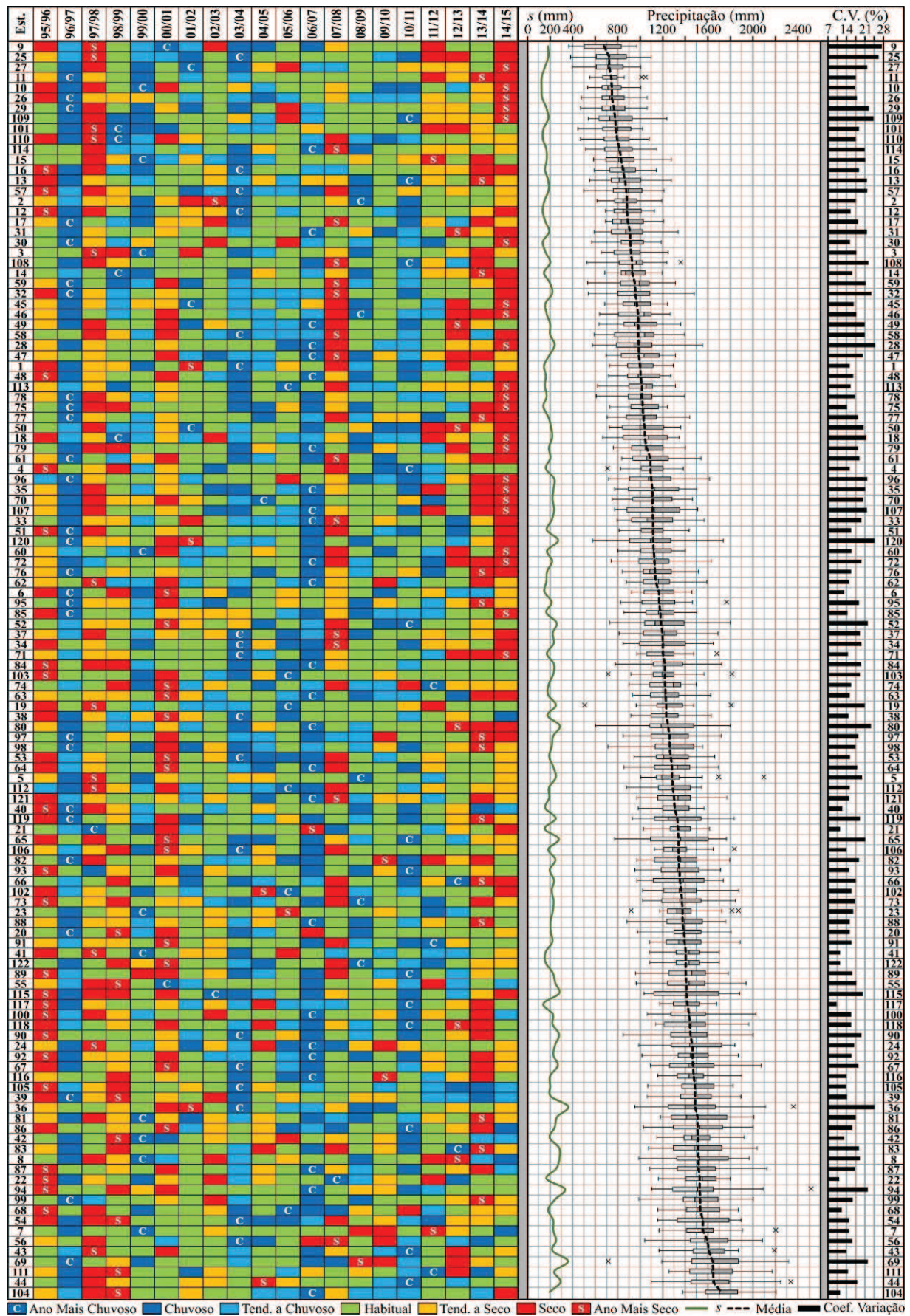
Tabela 1 – Resumo da análise estatística de medida central e dispersão anual dos dados

Ano	Precipitação (mm)				Desvio Padrão (mm)	Coeficiente de Variação (%)
	Mínima	Média	Máxima	Amplitude		
1995/1996	465,7	1.028,9*	1.771,6	1.305,9	255,9	24,9
1996/1997	804,2**	1.437,4**	2.313,6	1.509,4	311,3	21,7
1997/1998	364,9*	1.039,7	1.773,2	1.408,3	308,4	29,7
1998/1999	596,3	1.121,9	1.573,6*	977,3*	215,2*	19,2*
1999/2000	671,8	1.308,0	2.201,2	1.529,4	296,8	22,7
2000/2001	603,5	1.058,9	1.936,7	1.333,2	287,2	27,1
2001/2002	583,8	1.233,3	1.894,8	1.311,0	294,7	23,9
2002/2003	478,6	1.166,8	1.697,5	1.218,9	253,8	21,8
2003/2004	591,2	1.384,2	2.353,6	1.762,4	317,1	22,9
2004/2005	602,2	1.227,4	2.083,3	1.481,1	277,7	22,6
2005/2006	555,7	1.253,2	1.895,2	1.339,5	322,4	25,7
2006/2007	646,0	1.398,6	2.512,7**	1.866,7**	367,7**	26,3
2007/2008	515,8	1.080,7	2.040,9	1.525,1	327,7	30,3
2008/2009	650,0	1.288,9	2.097,2	1.447,2	310,7	24,1
2009/2010	612,8	1.198,1	2.113,2	1.500,4	261,6	21,8
2010/2011	647,9	1.348,8	2.331,7	1.683,8	346,7	25,7**
2011/2012	394,1	1.185,1	2.167,6	1.773,5	335,4	28,3
2012/2013	494,9	1.144,1	2.036,6	1.541,7	325,0	28,4
2013/2014	551,7	1.068,1	2.010,3	1.458,6	314,5	29,4
2014/2015	396,3	1.050,8	1.901,1	1.504,8	361,3	34,4
Média (mm)	561,4	1.201,1	2.035,3	1.473,9	304,6	25,5
Amplitude (mm)	439,3	408,5	939,1	889,4	152,5	15,2
*Ano da Mínima	1997/1998	1995/1996	1998/1999	1998/1999	1998/1999	1998/1999
**Ano da Máximo	1996/1997	1996/1997	2006/2007	2006/2007	2006/2007	2010/2011

Fonte: Elaborado pelos autores

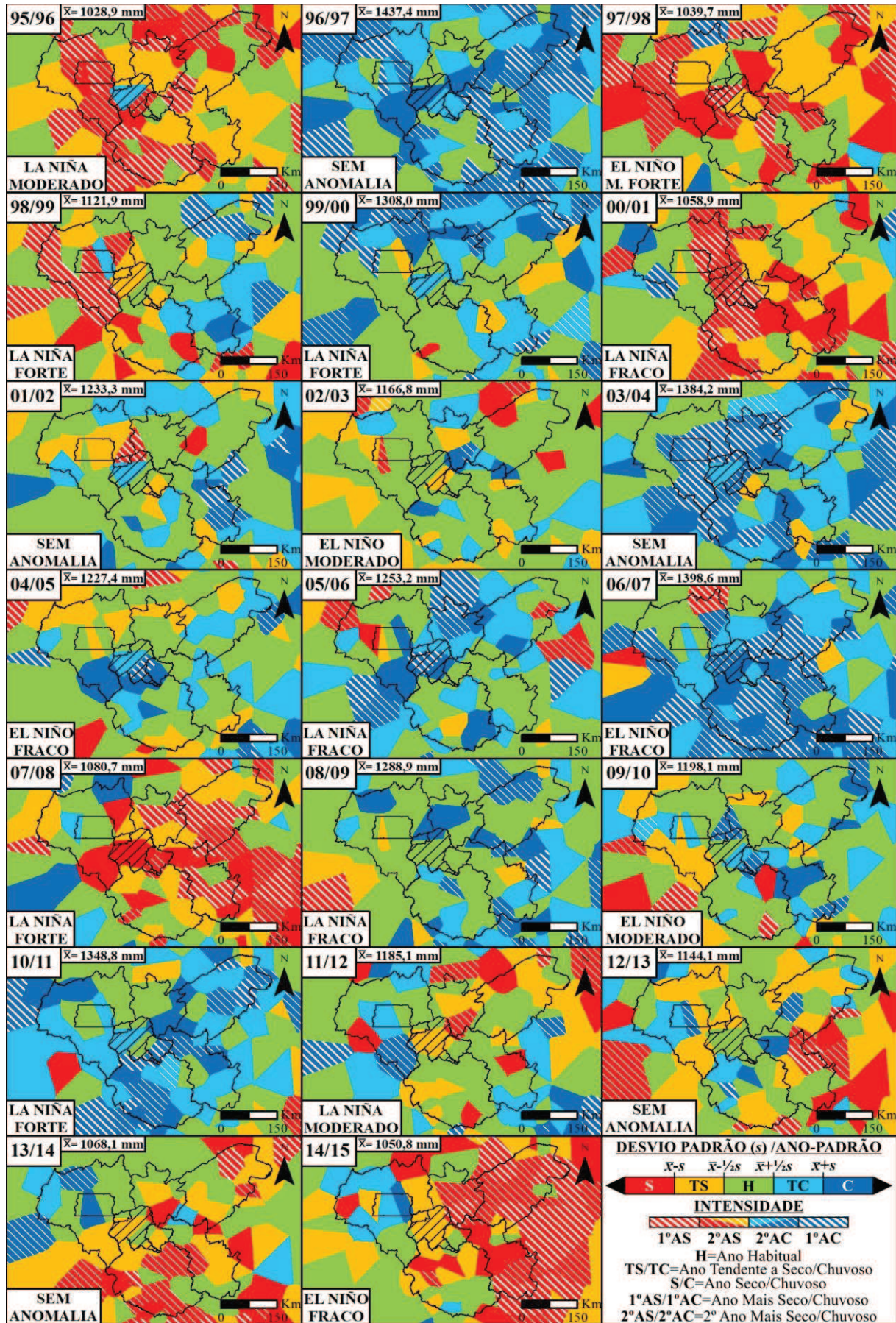
A Figura 4 apresenta o mapeamento dos anos-padrão que estão contidos na Figura 3, demonstrando a distribuição geográfica das respectivas classes de agrupamento da pluviosidade ao longo do tempo. Também foram destacadas as médias anuais de pluviosidade regional, as ocorrências de episódios de ENOS e os dois anos (10%) com os maiores e menores totais pluviométricos anuais de cada estação, objetivando a identificação espacial de períodos correspondentes a intensos episódios de pluviosidade e a relação com as teleconexões.

Figura 3 – Anos-padrão, Desvio-padrão (s), Box Plot e Coeficiente de Variação da pluviosidade.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 4 – Espacialização dos anos-padrão, entre 1995/1996 e 2014/2015.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A análise dos gráficos de Box Plot (Figura 3) indicou a ocorrência de 22 anos extremos (*outliers*) de valores mínimos (cinco estações) e máximos (quatorze estações), correspondendo a 0,07% do total de anos analisados. Também foi verificado o comportamento da distribuição estatística do conjunto dos dados de pluviosidade para cada localidade, ao identificar que 21,3% das estações possuem padrão simétrico (Estações 11, 114, 32, 28, 1, 78, 35, 70, 107, 120, 72, 6, 95, 34, 63, 97, 112, 65, 102, 88, 115, 117, 54, 43, 69 e 111). Foram definidos 2.440 anos-padrão, correspondendo a seguinte distribuição: 15% de anos Secos, 17% de anos Tendentes a Seco, 37% de anos Habituais, 14% de anos Tendentes a Chuvoso e 16% de anos Chuvosos.

O mapeamento das classes de anos-padrão (Figura 4) proporcionou a identificação de padrões espaciais relacionados aos aspectos de intensidade da pluviosidade. Essa regionalização possibilita inferir a existência de anomalias na frequência normal de sucessão dos sistemas atmosféricos responsáveis pela gênese pluvial. Essa característica torna-se evidente ao comparar os anos com as menores (1995/1996, 1997/1998, 2014/2015, 2000/2001 e 2007/2008) e maiores (1996/1997, 2006/2007, 2003/2004, 2010/2011 e 1999/2000) médias pluviométricas da região. O Quadro 1 sintetiza a frequência relativa de ocorrência das classes de intensidade de anos-padrão e, também, apresenta a definição do ano(s)-padrão predominante para cada período.

Quadro 1 – Frequência relativa (%) e as classes de ano(s)-padrão predominante.

Classes de Ano-padrão	95/96	96/97	97/98	98/99	99/00	00/01	01/02	02/03	03/04	04/05	05/06	06/07	07/08	08/09	09/10	10/11	11/12	12/13	13/14	14/15
Chuvoso (C)	0,0	57,4	1,6	5,7	27,0	3,3	12,3	4,9	41,0	12,3	13,9	50,8	4,9	25,4	8,2	35,2	9,8	5,7	4,1	3,3
T. Chuv. (TC)	1,6	23,0	1,6	10,7	23,0	3,3	18,0	9,8	28,7	21,3	18,0	18,0	4,9	18,9	14,8	23,8	16,4	12,3	4,9	5,7
Habitual (H)	29,5	19,7	26,2	36,1	42,6	29,5	52,5	55,7	26,2	44,3	54,1	25,4	33,6	47,5	55,7	32,0	41,8	38,5	33,6	20,5
T. Seco (TS)	30,3	0,0	31,1	28,7	6,6	28,7	12,3	21,3	4,1	17,2	7,4	3,3	23,8	6,6	14,8	7,4	19,7	27,0	21,3	29,5
Seco (S)	38,5	0,0	39,3	18,9	0,8	35,2	4,9	8,2	0,0	4,9	6,6	2,5	32,8	1,6	6,6	1,6	12,3	16,4	36,1	41,0
CLASSE DE ANO(S)-PADRÃO PREDOMINANTE																				
Ano-Padrão	S/TS	C	S/TS	M	M	S/TS	H	H	C	M	H/TC	C	S/TS	H	H	C/TC	M	M	S/TS	S

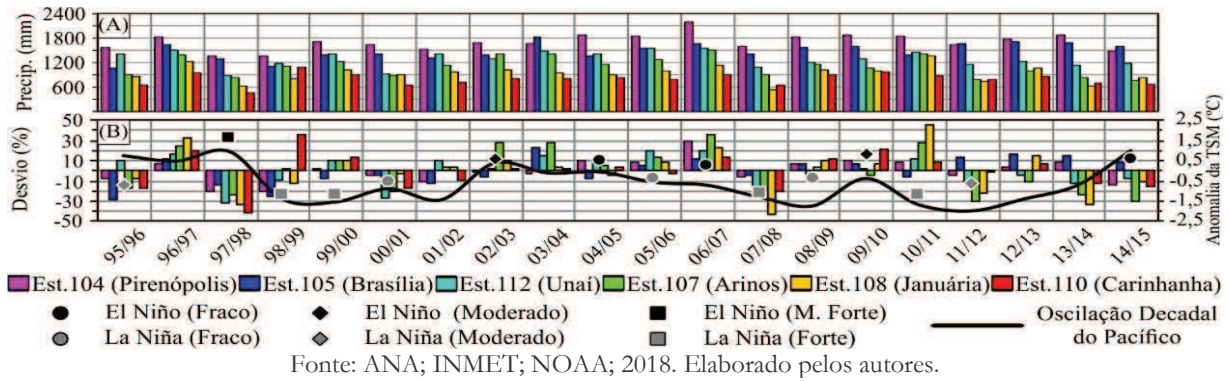
Fonte: Elaborado pelos autores.

O ano(s)-padrão predominante foi definido pela interpretação das informações quantitativas e qualitativas (Figuras 3 e 4 e do Quadro 1), com a adição da classe Misto (M) para definir os períodos que possuem mais de duas classes de anos-padrão. Ao final foram classificados os seguintes anos: Seco (2014/2015); Seco/Tendente a Seco (1995/1996, 1997/1998, 2000/2001, 2007/2008 e 2013/2014); Habitual (2001/2002, 2002/2003, 2008/2009 e 2009/2010); Habitual/ Tendente a Chuvoso (2005/2006); Chuvoso/Tendente a Chuvoso (2010/2011); Chuvoso (1996/1997, 2003/2004 e 2006/2007); e Misto (1998/1999, 1999/2000, 2004/2005, 2011/2012 e 2012/2013).

Ao reduzir a escala espacial de análise, do regional para o local, as características da pluviometria para as estações situadas no transecto analisado (Figura 1) evidenciam o mesmo gradiente formado pelos mapas anuais da Figura 2, entre as porções oeste/leste da área de estudo (Figuras 5). Também é possível

verificar a correspondência entre as fases frias e quentes da ODP com a ocorrência dos eventos ENOS (exceto pelos anos de: 1995/1996, fase quente da ODP com ocorrência de LN; e 2006/2007 e 2009/2010, com EN na fase fria da ODP).

Figura 5 - Transecto da pluviosidade (A) acumulada e (B) desvio em relação à média.



Mas a diferenciação espacial e temporal da intensidade dos volumes pluviométricos precipitados na região de estudo está intrinsecamente atrelada a influência dos fatores dinâmicos do clima, sobretudo pela configuração formada pela participação dos sistemas atmosféricos em seu encadeamento sequencial. A partir desse princípio, Monteiro (1991) explica que variabilidade pluvial está atrelada às características caóticas e dinâmicas do sistema climático, determinadas pelas configurações de tipos de tempo que proporcionam maiores ou menores quantitativos pluviais locais e/ou regionais, que variam ao longo do tempo e espaço.

Sob essa perspectiva, Grimm (2009) afirma que o ENOS possui um fator primordial na variabilidade interanual da pluviosidade no Brasil, sobretudo em relação aos extremos pluviométricos, fruto de perturbações dos padrões de circulação geral da atmosfera no continente da América do Sul. Esse fenômeno é mais nítido na primavera, quando os desvios da pluviosidade possuem forte correlação de teleconexão como Oceano Pacífico Tropical.

Dias e Marengo (2002) contribuem nessa discussão ao enfatizarem a existência de poucos estudos que identificaram anomalias positivas de chuva durante os eventos de EN, sendo mais comum a influência de seca nesses períodos. Os autores e Grimm (op. cit.) complementam que a LN não apresenta uma resposta clara de anomalia igual ao EN, mas identificam sua capacidade de proporcionar maior tendência de frentes frias em regiões de menor latitude do nordeste brasileiro (contribuindo para chuvas acima da normalidade para localidades habitualmente secas), além de apontarem indícios de seca durante a primavera e verão no nordeste da região Centro-Oeste.

Ao buscar correlacionar as informações da pluviosidade regional (Figuras 3 e 4 e o Quadro 1) com as anomalias da TSM do Oceano Pacífico (Figura 5), verifica-se importante afinidade entre os padrões de intensidade da pluviosidade com os eventos de ENOS. Essa relação possui maior repercussão nos anos-padrão Seco e/ou Tendente a Seco (1995/1996, 1997/1998, 2000/2001, 2007/2008,

2014/2015) e, em menor proporção, para as classes de anos Tendente a Chuvoso e/ou Chuvoso (2006/2007, 2010/2011).

Ao realizar essa mesma comparação entre as teleconexões e os dados pluviiais do transecto (Figura 5) é possível verificar a relação entre os eventos de ENOS com os maiores desvios negativos (1995/1996, 1997/1998, 1998, 1999, 2000/2001, 2007/2008, 2013/2014 e 2014/2015) e positivos (2006/2007 e 2010/2011) da pluviosidade.

Porém, não fica evidente uma relação entre as fases de EN e LN (incluindo também a proporção das suas intensidades) com os padrões regionais de pluviosidade (Figura 2) e dos anos-padrão (Figuras 3 e 4), como também na amplitude dos desvios da pluviosidade na escala local (Figura 5).

A possível diferenciação da influência entre os episódios de EN ou de LN é dificultada pela falta de padrões distintos de comportamento da pluviosidade nos anos de ocorrência desses fenômenos. Esse fato pode ser comprovado ao comparar anos distintos de mesma intensidade de ENOS, por exemplo, os EN de fraca intensidade nos anos 2006/2007 e 2014/2015, que geraram distintos totais pluviométricos e de padrões espaciais de anos-padrão contrastantes para região. A mesma situação ocorreu nos eventos de LN de forte intensidade dos anos de 2007/2008 (baixa pluviosidade) e 2010/2011 (alta pluviosidade), que afetaram de modo antagônico todo o contexto da pluviosidade regional. Portanto, os resultados demonstraram não ser possível categorizar e diferenciar a influência das duas fases do ENOS na área de estudo, pois elas agem de modo aleatório na intensidade dos desvios da pluviosidade em diferentes anos e localidades, fato também observado por Dias e Marengo (2002) e Mendonça e Danni-Oliveira (2007).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As diferenciações pluviométricas da região de Unai no período chuvoso são decorrentes dos fatores estáticos do clima (altitude, latitude e continentalidade) e participação dos sistemas atmosféricos. As áreas de maior pluviosidade no quadrante oeste relacionam-se com a topografia elevada e com a maior ocorrência entre mEc e/ou incursões dos SF em menor proporção, em contraposição às áreas de menor pluviosidade do quadrante leste, de altitudes mais baixas e com predominância de atuação dos sistemas tropicais (mTa e mTc).

A análise conjunta das Figuras 2, 3, 4 e 5 possibilitou relacionar os padrões regionais e locais de precipitação com as classes de agrupamento dos anos-padrão. Nota-se uma afinidade entre os anos de ocorrência de ENOS e os períodos de anos-padrão com episódios severos de pluviosidade (secos e chuvosos). Entretanto, não foi possível determinar relação clara de causa e efeito entre a intensidade dos desvios das anomalias e as fases de aquecimento ou resfriamento do ENOS com as classes de anos-padrão, especificamente aos maiores ou menores volumes pluviométricos observados no período analisado, exigindo maior detalhamento da pesquisa no tocante à participação das massas de ar.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. **Os domínios de Natureza no Brasil**: potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.
- ALMEIDA, H. A.; FREITAS, R. C.; SILVA, L. Determinação de períodos secos e chuvosos em duas microrregiões da Paraíba através da técnica dos Quantis. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 30, p. 217-232, 2013.
- ALVES, L. M. Clima da região centro-oeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N.J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. (Org.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 236-241.
- ANA. **Hidroweb**: sistema de informações hidrológicas. Disponível em: <www.snirh.gov.br/hidroweb/> Acesso em: 18 jan. 2018.
- BORSATO, V. **A dinâmica climática do Brasil e massas de ares**. Curitiba: Editora CRV, 2016.
- BORSATO, V. A dinâmica atmosférica no centro sul do Brasil e a estacionalidade. **Geoinfó: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia**, Maringá, v. 9, n. 2, 3-27, 2017.
- CAVALCANTI, I. F. A.; AMBRIZZI, T. Teleconexões e suas influências no Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N.J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. (Org.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 317-335.
- DIAS, P. L. S.; MARENGO, J. A. Águas atmosféricas. In: REBOUÇAS, A. et al. (Org.). **Águas doces no Brasil**: capital ecológico, uso e conservação. 2. ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2002. p. 65-117.
- GALVANI, E.; LUCHIARI, A. Critérios para classificação de anos com regime pluviométrico normal, seco e úmido. In: _____; LIMA, N. G. B. (Org.). **Climatologia aplicada**: resgate aos estudos de caso. 1. Ed. Curitiba: CRV, 2012. p. 4-29.
- GERARDI, L. H. O.; SILVA, B. C. M. N. **Quantificação em geografia**. São Paulo: Difel, 1981.
- GRIMM, A. M. Variabilidade interanual do clima no Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N.J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. (Org.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 353-374.
- IBGE. **Mapa de climas do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE; 2002. Escala 1:5.000.000.
- IBGE-SIDRA. **Sistema IBGE de Recuperação Automática**: produção agrícola municipal (PAM). Disponível em: <www.sidra.ibge.gov.br> Acesso em: 18 mar. 2018.
- INMET. **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa**. Disponível em: <www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/> Acesso em: 18 jan. 2018.
- JÁCOMO, C. A. **Modelos geostatísticos espaço-tempo aplicados a dados pluviométricos no oeste do estado de São Paulo**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Cartográfica) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.
- KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V. Variabilidade decenal e multidecenal. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N.J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. (Org.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009a. p. 375-383.

- MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia**: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Texto, 2007.
- MONTEIRO, C. A. F. **Clima e excepcionalismo**: conjecturas sobre o desempenho da atmosfera como fenômeno geográfico. Florianópolis: UFSC, 1991.
- NASCIMENTO, D. T. F.; NETO, J. M. S.; NUNES, L. C. Definição dos anos-padrão para o estudo da pluviometria do estado de Goiás e do Distrito Federal. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities Research Medium**, Ituiutaba, v. 6, n. 1, 272-290, 2015.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1989.
- NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration. **Teleconnections**. Disponível em: <www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/> Acesso em: 20 jul. 2018.
- NUNES, L. H.; VICENTE, A. K.; CANDIDO, D. H.; Clima da região sudeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N.J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. (Org.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 243-257.
- OLIVEIRA, L. F. C., et al. Comparação de metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação pluvial anual. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 11, p.1186-1192, ago. 2010.
- PINKAYAN, S. **Conditional probabilities of occurrence of Wet and Dry Years Over a Large Continental Area**. Colorado: State University, Boulder-Co, 1966. (Hidrology papers, n. 12).
- SANT'ANNA NETO, J. L. **Ritmo Climático e a gênese das chuvas na Zona Costeira Paulista**. 1990. Dissertação (Mestrado em Geografia). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- SANT'ANNA NETO, J. L. **As chuvas no estado de São Paulo**: contribuição ao estudo da variabilidade e tendência da pluviosidade na perspectiva da análise geográfica. 1995. Tese (Doutorado em Geografia) Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- SANT'ANNA NETO, J. M. Da complexidade física do universo ao cotidiano da sociedade: mudança, variabilidade e ritmo climático. **Terra Livre**, São Paulo, v. 1, n. 20, 51-63, 2003.
- SILVA, M. R.; MOURA, F. P.; JARDIM, C. H. O diagrama de caixa (Box Plot) aplicado à análise da distribuição temporal das chuvas em Januária, Belo Horizonte e Sete Lagoas, Minas Gerais-Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, p. 23-40, 2017.
- 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)**, v. 2, p. 23-53, 2013.
- SCHNEIDER, H.; SILVA, C. A.; SANTOS, V. A. A escolha de anos padrão como base para identificação do regime das chuvas na porção centro sul de Mato Grosso do Sul. **Revista Geonorte**, Edição Especial 2, v. 1, n. 5, p. 262-270, 2012.
- TUCCI, C. 2000. (Org.) **Hidrologia – ciência e aplicação**. Editora da Universidade, ABRH, Porto Alegre.
- WMO, World Meteorological Organization. **Calculation of monthly and annual 30-year standard normals**. Geneva, 1989. (WMO. Technical document, n. 341; WCDP, n.10).