



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Padrões de precipitação mensal na mesorregião metropolitana de Belém: uso do CMORPH e componentes principais

Marcos Ronielly da Silva Santos¹, Maria Isabel Vitorino², Célia Campos Braga³, Jeferson Inayan de Oliveira Souto⁴, Maurício do Nascimento Moura⁵, Pedro Pereira Ferreira Júnior⁶

¹Gestor Ambiental, Mestrando em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 01, Guamá, CEP 66075-110, Belém, Pará. (91) 98139-6557. mronielly.mr@gmail.com.br (autor correspondente). ²Dra. em Meteorologia, Professora Associada I, Departamento de Meteorologia, Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 01, Guamá, CEP 66075-110, Belém, Pará. (91) 982145137. vitorino@ufpa.br. ³Dra. em Recursos Naturais, Professora Associada IV, Unidade Acadêmica de Pesquisa Atmosférica, Universidade Federal de Campina Grande, Rua Agripino Veloso, 882, Bairro Universitário, CEP 58429-900, Campina Grande, Pernambuco. (83) 99990-1771. celia.ufcg@gmail.com. ⁴Meteorologista, Departamento de Geociências, Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 01, Guamá, CEP 66075-110, Belém, Pará. (91) 99203-2615. inayan@outlook.com. ⁵Doutorando em Ciências Ambientais, Departamento de Geociências, Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 01, Guamá, CEP 66075-110, Belém, Pará. (91) 98341-7758. mauriciomoura90@gmail.com. ⁶Doutorando em Ciências Ambientais, Departamento de Geociências, Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 01, Guamá, CEP 66075-110, Belém, Pará. (91) 98152-5457. ferreirajunior_pp@yahoo.com.br.

Artigo recebido em 14/09/2016 e aceito em 20/10/2016

RESUMO

O estudo objetiva identificar e analisar os principais padrões espaço-temporal da precipitação na mesorregião metropolitana de Belém, e associá-los aos sistemas meteorológicos precipitantes e não precipitantes que atuam na região, tendo como referência a precipitação mensal estimada em pontos de grades de 8/8 km, para o período de Jan/2000 a Dez/2010. Empregou-se a técnica do Cmorph para a estimativa de precipitação e o método de Análise fatorial em Componentes Principais (ACP). As estimativas obtidas pelo Cmorph mostraram de forma satisfatória a sazonalidade e variabilidade da chuva na região. A ACP determinou a existência de um gradiente de precipitação nos três principais modos pluviométricos, que explicam 89% da variância total dos dados. O primeiro modo, explica 78% dos dados, evidenciando a sazonalidade do período chuvoso e menos chuvoso, sendo influenciado diretamente pela atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). O segundo modo, explica 6% dos dados e está associado a eventos locais e de mesoescala, tal como a circulação de brisa e linhas de instabilidade. O terceiro modo é explicado por 5% dos dados, e elucida a influência da atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), associada à penetração de sistemas frontais oriundos da região S/SE do Brasil. Os padrões da precipitação mensal estão associados à variabilidade climática dos eventos ENOS e de Dipolo do Atlântico, e seu conhecimento torna-se uma ferramenta para as políticas públicas locais, prevenindo a sociedade da vulnerabilidade climática.

Palavras-chave: precipitação, análise de componentes principais, CMORPH, Amazônia.

Monthly precipitation patterns in the Belém metropolitan mesoregion: use of CMORPH and main components

ABSTRACT

The study aims to identify and analyze the main patterns spatiotemporal rainfall in the metropolitan middle region of Belém, and associate them with precipitating and non-precipitating weather systems operating in the region, with reference to the monthly rainfall estimated at points of grids 8 / 8 km, for the period of Jan / 2000 to Dec / 2010. It used to Cmorph technique for estimating rainfall and factor analysis method in Principal Components (ACP). Estimates obtained by Cmorph showed satisfactorily seasonality and variability of rainfall in the region. ACP has determined the existence of a precipitation gradient in three main ways precipitation, which explains 89% of the total variance. The first mode explains 78% of the data, showing the seasonal rainy and less rainy season, being directly influenced by the performance of the Intertropical Convergence Zone (ITCZ). The second mode explains 6% of the data and is associated with local events and mesoscale such as breeze and circulation lines and instability. The third way is explained by 5% of the data, and elucidates the influence of the performance of the South Atlantic Convergence Zone (SACZ) associated with the penetration of frontal systems from the region S / SE Brazil. The patterns of monthly precipitation are associated with climate variability of ENSO events and Dipole of the Atlantic, and their knowledge becomes a tool for local public policies, preventing society from climate vulnerability.

Keywords: precipitation, principal component analysis, CMORPH, Amazon.

Introdução

As chuvas na região amazônica ocorrem predominantemente no verão do hemisfério sul, influenciadas por sistemas atmosféricos de diferentes escalas espaço temporais, dentre eles destacam-se os sistemas de grande e mesoescala, tais como, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), as Linhas de Instabilidades (LI's), Sistemas Convectivos de Mesoescala Circulares (SCMC's) e as circulações de brisas (Molion, 1987; Cohen et. al., 1995; Camponogara, 2011; Sodré et. al., 2015). Além disso, o clima regional é também influenciado por mecanismos oceano-atmosfera, como a Oscilação do Atlântico Norte (OAN), Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), El Niño Oscilação Sul (ENOS) que contribuem para a pluviometria da região (Barnston e Livezey, 1987; Mantua et al., 1997).

O clima da Amazônia apresenta uma característica intrínseca, no que tange a presença de um amplo espectro de variação no tempo e espaço da atividade convectiva tropical e da precipitação, as quais se tornam as variáveis climáticas mais importantes e pesquisadas da região (Marengo et al., 2001; Souza et al., 2009). A Amazônia tem uma precipitação média anual de aproximadamente 2.300mm, com acumulados mensais para a região que inclui o estado do Pará, definida por Amanajás e Braga (2012) de aproximadamente 380 mm no período chuvoso (Dezembro a Maio) e 70 mm no período menos chuvoso (Junho a Novembro), caracterizando a sazonalidade da chuva regional (Fisch et al., 1998).

Levando em consideração que a área de estudo, apresenta elevadas taxas de precipitação, buscou-se utilizar métodos mais adequados que fossem capazes de analisar e subsidiar os estudos sobre a distribuição local da chuva, pois os estudos atuais da precipitação são apenas baseados em pluviômetros que são insuficientes frente à vasta extensão territorial do estado do Pará (Moraes et al., 2005). Outro fator importante é que a precipitação induzida pela brisa fluvial em direção ao interior do continente não esta sendo contabilizada nas medições dos pluviômetros das estações automáticas nem das convencionais (Fitzjarrald et al., 2008; Cohen et al., 2014).

Neste contexto, propõe-se a utilização da técnica do CPC MORPHing technique (CMORPH), que consiste numa estimativa de precipitação, dada pela leitura de micro-ondas passivas por satélite geoestacionário - esses dados são estimados e espacializados sob áreas que não possuem estações e/ou pluviômetros de medição superficial. O uso da chuva estimada por satélite

como dado de entrada de modelos hidrológicos é uma alternativa para fornecer previsões de vazões em bacias com monitoramento de superfície esparsa e/ou de baixa qualidade (Araújo, 2007; Joyce, et al., 2004).

Para a identificação de regiões homogêneas e padrões pluviométricos de chuva têm sido frequentemente desenvolvido e aplicado diferentes metodologias, que se baseiam nas técnicas da análise multivariada, que são ferramentas eficazes para a obtenção de regionalizações das características climáticas locais da precipitação, evidenciando possíveis eventos extremos (Green et al., 1993; Grimm, 2011). A análise de Componentes Principais (ACP) é capaz de indicar regiões e períodos com maiores e menores índices de chuva, fornecendo um melhor entendimento dos padrões de variabilidade espaço-temporal dos dados, que muitas vezes não ficam evidentes quando se trabalha apenas com seus valores médios ou sazonais (Amanajás e Braga, 2012).

Estudos de fenômenos naturais relacionados à distribuição de precipitação, principalmente quando se apresentam de forma de eventos extremos, geram nas sociedades inúmeras implicações, muitas vezes de caráter catastrófico e/ou desastres naturais, que repercutem negativamente na qualidade de vida das populações (Zanella et al., 2009). O excesso da precipitação, correlacionado a outros fatores do meio biofísico, podem ocasionar enchentes, escorregamentos de barreiras, alagamentos, e quando são escassas podendo resultar em secas, assoreamento dos rios, entre outros, que afetam os setores produtivos, econômicos, sociais e ambientais (Souza et al., 2012).

Neste contexto, o presente estudo objetiva identificar e analisar os principais padrões da precipitação mensal na mesorregião metropolitana de Belém, associando-os sistemas atmosféricos precipitantes e não precipitantes que atuam na região. Assim como, mostrar a importância para futuros trabalhos que visem relacionar os padrões de chuva com a vulnerabilidade socioambiental, tendo em vista que a área de estudo tem o maior índice pluviométrico e urbano do Estado do Pará.

Material e métodos

Caracterização da Área de Estudo

A mesorregião metropolitana de Belém está localizada no Nordeste do Estado do Pará, na latitude de $0^{\circ}39'49,72''\text{S}$ e longitude de $47^{\circ}17'03,41''\text{W}$, aproximadamente a 150 km da costa atlântica brasileira, banhada pela Baía do Marajó. (Figura 1). A região apresenta um clima

quente úmido, com totais anuais de precipitação entorno de 2.000 a 3.000 mm e baixa elevação topográfica, caracterizando-a como uma das regiões mais chuvosas da Amazônia (Figuerola et al., 1990; Sodré et al., 2013).

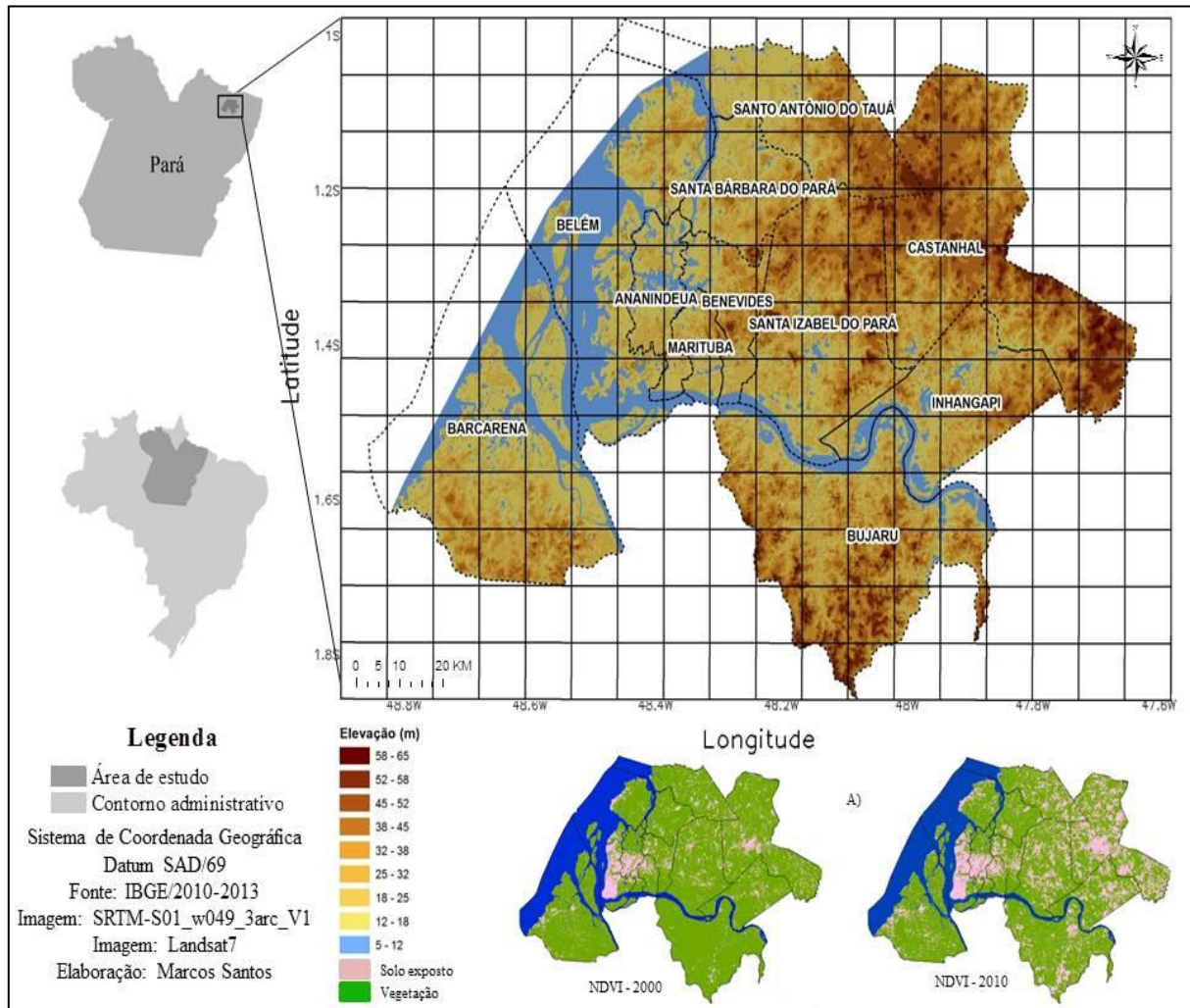


Figura 1. Localização, topografia e NDVI da mesorregião metropolitana de Belém pelo CMORPH.

A mesorregião é composta por onze (11) municípios que compreendem uma área de aproximadamente 6.890,336 km² e concentra 35% da população em apenas 1% de todo território estadual, com população estimada em 2.554.874 habitantes e densidade demográfica de 370,7 hab/km². Neste subespaço tem sido registrados nos últimos 20 anos, as mais elevadas taxas de ocupação humana na Amazônia, podendo se constatar pelo normalized difference vegetation index (NDVI), um crescimento da exposição do solo e perda da vegetação na porção norte e leste da área estudada. (Figura 1A), (Brasil, 2015; Castro, 2003).

Dados utilizados

Utilizou-se dados mensais de precipitação (mm), no período jan – 2000 á dez - 2010, em 216 pontos de grade 8X8 Km distribuídos na mesorregião metropolitana de Belém, por meio da técnica conhecida como CPC MORPHing technique (CMORPH). A pluviometria mensal foi obtida a partir da soma dos dados de meia em meia hora, disponível no National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/precip/global_CMORPH/30min_8km. A estimativa da precipitação seguiu a metodologia descrita por Joyce, et al., (2004).

Neste estudo utilizou-se o CMORPH por ser tratar de método bastante utilizado em estudos climatológicos para áreas com escassez de dados. O CMORPH é um produto muito eficaz para análise de precipitação, pois agrega fatores como: a) ser baseado em sensores de micro-ondas passivas de diversos satélites polares, b) ter boa flexibilidade no acoplamento de outras fontes a partir do microondas, c) ser um método acurado e testado há algum tempo em países como: EUA e Austrália, d) ter resoluções espacial e temporal adequados para a escala da área de estudo, e e) pela sua operacionalidade na distribuição e atualização mensal dos dados na NOAA, permitindo comparações com futuras pesquisas (Araújo et al., 2007).

Para comparação da metodologia empregada entre a técnica do CMORPH e ACP, retiraram-se os valores máximos e mínimos de cada CP, a fim de verificar a acurácia de ambas as técnicas. Posteriormente comparou-se também o Índice de Oscilação Sul (IOS), para associar os anos de ENOS com os fatores e componentes da ACP. Para tanto se utilizou as diferenças médias de pressão ao nível médio do mar entre Tahiti e Darwin, baseado em uma análise mensal, com valores em períodos mais longos. Esta foi uma forma de definir os valores, alto e baixo do IOS, relacionados às fases, fria (La Niña, IOS +) e quente (El Niño, IOS -) do fenômeno ENOS, com base nos dados de Ropelewsky e Jones (1987), sugeridos pela pesquisa de Moura (2014).

Análise Fatorial em componentes Principais - ACP

A análise fatorial em componentes principais consiste em reduzir de forma eficiente um grande número de variáveis, em um número restrito de variáveis, conversando às informações que contenham a maior parte da variância presente nos dados originais. Este método descreve os dados contidos numa matriz em que os p caracteres são medidos em n indivíduos. Seu princípio matemático consiste em fazer a transformação linear e ortogonal T das variáveis iniciais X sobre o critério de maximizar as variâncias de T entre as variáveis X.

Então se obteve os módulos dominantes da variabilidade pluviométrica sobre a mesorregião metropolitana de Belém, através do método estatístico de Análise de Componentes Principais (ACP) nos dados mensais de precipitação, usando programas software apropriados. Neste caso foram retidas, as três primeiras componentes que explicaram 89% da variação total dos dados. A

escolha do número de CPs foi baseada no critério de truncamento de Kaiser, que considera como mais significativos os autovalores, que são superiores a sua unidade. A ACP foi empregada com base na matriz de correlação dos dados e de maneira não rotacionada, tendo o teste de significância de seus coeficientes baseados na esfericidade de Bartlett e KMO (Wilks, 2006).

De acordo com trabalhos de Amanajás e Braga (2012) existem dois tipos de ACP utilizados para analisar a variável observada tanto no tempo quanto no espaço, são respectivamente Modo-T e Modo-S. Neste estudo utilizou-se o Modo S para obter correções espaciais (ponto de grade) e CPs temporais da precipitação mensal. Isto significa que a variável estatística analisada corresponde às séries temporais de uma variável meteorológica (precipitação) que pode ser considerada contínua no espaço e no tempo.

Neste sentido organizou-se uma matriz de dados Z ($n \times k$), onde as n linhas correspondem as medias mensais de precipitação, entre janeiro de 2000 a dezembro de 2010 (132 meses/linhas), e as k colunas correspondem aos 216 pontos de grade definidos pela técnica do CMORP, ou seja, a matriz original corresponde a 132 valores temporais e 216 valores espaciais (132x216). Os resultados das três primeiras CPs foram organizados em uma planilha em Excel, que permitiu a criação de gráficos mensais e anuais do comportamento médio da precipitação. Em seguida fez-se a espacialização dos principais fatores comuns da precipitação.

Resultados e discussão

A seguir são apresentados e analisados os principais fatores comuns espaciais e temporais obtidos a partir da aplicação da ACP aos dados mensais de estimativa de precipitação do CMORPH. As três primeiras Componentes Principais (CPs) explicaram 89% da variância total dos dados mensais de precipitação para toda área estudada.

A Fig. 2a ilustra a variabilidade média temporal dos três primeiros fatores da CP que explica 89% da variância dos dados. O primeiro fator, corresponde a 78% da variância total dos dados, apresentando contribuições positivas superiores a 1 nos meses de fevereiro e março (período chuvoso), sendo março o mês mais chuvoso e negativos inferiores a -1 no período de novembro mês menos chuvoso da região amazônica.

O segundo fator temporal da CP que explica 6% da variância total dos dados, com

valores negativos e positivos oscilando entre -0,5 e 0,5 em quase todos os meses, significando contribuições temporais da segunda CP em torno da média. O aumento do índice de precipitação para este período pode estar associada a maior frequência das linhas de instabilidade que ocorrem entre abril e junho, conforme os estudos de Alcântara, et al., (2011), para a região amazônica.

O terceiro fator da CP que explica 5% da variância total dos dados, e apresenta contribuições positivas mais elevadas em março a junho e negativa de outubro a dezembro, esta CP evidencia o comportamento temporal de transição entre o período chuvoso e menos chuvoso, conforme encontrado no trabalho de Amanajás e Braga (2012).

A Figura 2b corresponde ao padrão espacial do primeiro fator temporal, com correlações positivas elevadas em quase toda a área estudada, as maiores correlações se encontram no setor norte/leste até o sudeste da região. Este padrão evidencia a atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), sistema de grande escala que atua nos trópicos, sendo a principal responsável pelas chuvas que ocorrem na região Amazônica, principalmente no período chuvoso (Molion, 2002).

As áreas de maior e menor precipitação verificada pelo CMORPH são confirmadas pelo padrão espacial das correlações, mostrando a existência de um dipolo de precipitação no sentido zonal leste/oeste, com maiores concentrações da pluviometria no setor leste da área estudada. Os sistemas de mesoescala como as linhas de instabilidade e a circulação de brisa também são responsáveis por gerar e distribuir as chuvas na região, correspondendo a 45% da precipitação no leste paraense (Cohen et al., 1989). Em escala local, a influência das brisas fluviais explica o núcleo de precipitação sobre o nordeste do Pará (Molion, 1993).

A configuração espacial do segundo padrão é apresentada na Fig. 2c tendo baixa

correlação em quase toda a região, com valores positivos superiores a 0,3 na porção sul e sudoeste da região e valores negativos menores que -0,2 na porção norte. Este padrão meridional é semelhante ao identificado por Moura, 2014, em seus estudos realizados para a Amazônia, evidenciando maiores índices de chuva na porção sul e o inverso na porção norte.

O dipolo de precipitação norte-sul pode estar associado a sistema de mesoescala com a maior propagação de linhas de Instabilidade do tipo SL1 e SL2 que percorrem o continente acima de 170 km da costa e de escala local citadas por Cohen et al., (1989), proveniente das mudanças de uso e cobertura do solo, verificando-se uma maior concentração de vegetação na porção sul da área estudada, conforme apresenta a figura 1A acima.

A Fig. 2d mostra o padrão espacial da terceira CP apresentando correlações positivas na porção oeste acima de 0,3 e negativos inferiores a -0,3 na porção leste da área estudada. Este padrão zonal também foi encontrado por Moura (2014) na análise espacial de precipitação para a Amazônia com o uso da ACP. Esta configuração espacial mostra que há uma concentração da precipitação na parte oeste da mesorregião, principalmente nos meses de maio a junho, podendo estar associado à presença de Microlinhas de Instabilidades Fluviais (MLF), verificada por Matos et. al. (2016) que se intensificam sobre a baía do Marajó, durante sua propagação para oeste.

Os sistemas locais, provenientes dos efeitos causados pela mudança de cobertura da superfície tem uma grande contribuição para a definição deste padrão, onde a porção oeste apresenta uma grande área coberta de água (baía do Marajó) e vegetação ainda preservada e a porção leste tem a maior ocupação e uso do solo, conforme verificada nas imagens de satélites dados pelo NDVI. (Figura 2).

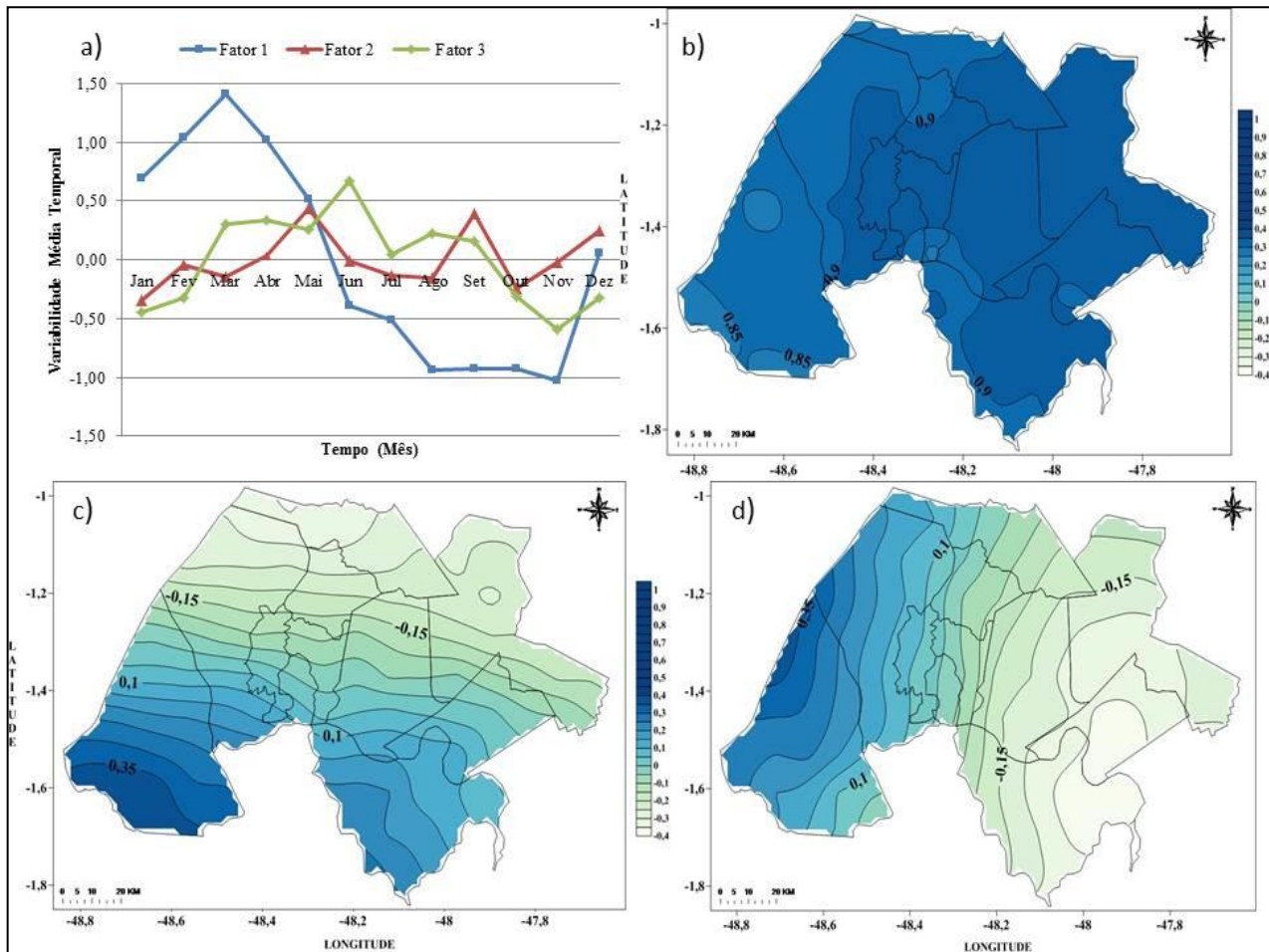


Figura 2. : (a) Variabilidade média temporal das três principais componentes principais, (b) Padrão espacial da CP1 com 78%, (c) Padrão espacial da CP2 com 6% e a (d) Padrão espacial da CP3 com 5% da variância total dos dados observados e significância estatística de 95%.

Analogias dos padrões mensais entre as CPs e ENÓS

A análise das CPs mensais mostrou contribuições dos fatores temporais positivas e negativas, e que estão associadas aos mesmos padrões espaciais da distribuição de precipitação dadas pelo modelo CMORPH. Valores positivos são similaridades aos padrões da ACP e vice-versa, aferindo a eficiência da técnica utilizada que mostra a ortogonalidade das variáveis pelos fatores, conforme se verifica nas figuras abaixo.

Todavia ambos evidenciam com clareza a maior variância e representatividade mensal dos padrões temporal e espacial da precipitação regional analisada. A (Fig. 3a) ilustra a contribuição temporal da primeira CP apresentando o mês de março de 2003, com o maior peso temporal positivo (1,41) e o mês de novembro

de 2000, com maior peso temporal negativo (-1,03).

Visualiza-se na espacialização da imagem positiva (Fig. 3c) com dados do CMORPH uma concentração de intenso índice pluviométrico que varia de 500 a 700 mm de chuva mensal na porção nordeste e noroeste da mesorregião metropolitana de Belém.

Já a imagem negativa (Fig.3b) apresenta uma variação abaixo dos 100 mm mensais para toda a porção norte e boa parte do sul da área estudada. Ambas as imagens confirmam o padrão apresentado pela contribuição da primeira CP, vislumbrando um maior índice de chuva na porção leste da região e menor na porção oeste.

A primeira CP mostra um alto peso positivo de precipitação em Março de 2003, ano de atuação e influência da fase quente (IOS-) ou El Niño (quando provavelmente deveria reduzir a

chuva na região), isto mostra que existe outros eventos ou sistemas que modulam a chuva na região.

A CP 1 também evidência que o pico de menor condição de chuva ocorreu durante um ano de La Niña ou fase quente (IOS+) (quando se

deveria ser o oposto), concordando com a assertiva anterior que explicita a importância minuciosa de outros eventos que interferem na distribuição espacial e temporal da precipitação local e evidenciando maiores variabilidades espaciais na área de estudo.

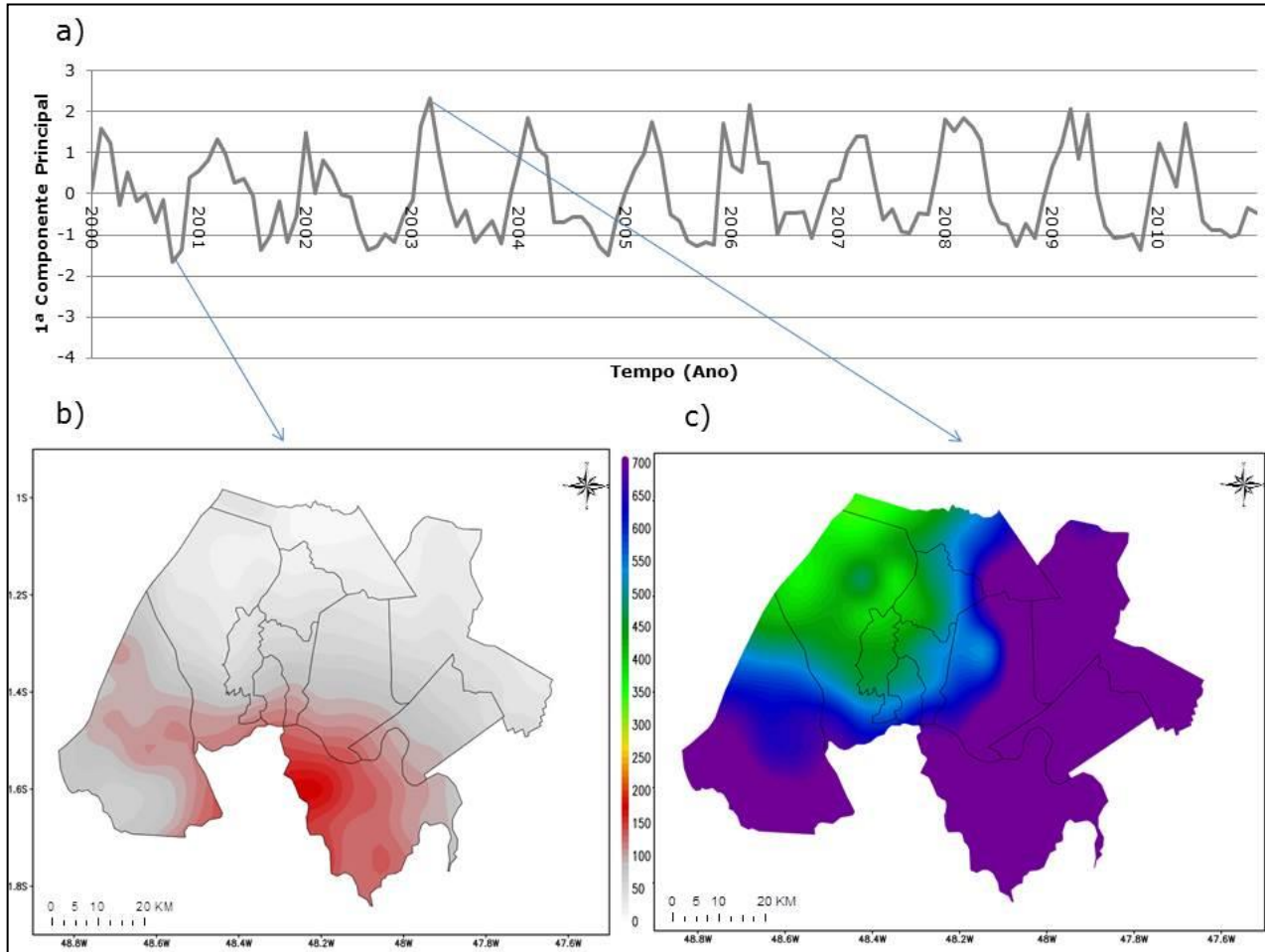


Figura 3. (a) variabilidade temporal da primeira CP, (b) distribuição mensal da precipitação com menor correlação do padrão dada pelo CMORPH, (c) distribuição mensal da precipitação com maior correlação do padrão dada pelo CMORPH.

Na variabilidade temporal da segunda CP, conforme visualizada na (Fig. 4a) evidencia que o mês de Maio de 2001, apresenta o maior peso positivo do coeficiente temporal (2,49) e o mês de Fevereiro do ano de 2006, com o peso de (-2,93) considerado o maior negativo do coeficiente temporal (Fig. 4c).

Visualiza-se no mapa da imagem positiva que os maiores valores acumulados na região se encontram na porção sul e os menores na porção Norte, variando de 200 a 700 mm de chuva (Fig. 4b).

A imagem que representa o maior peso negativo apresenta o inverso, a parte mais chuvosa ao norte e menos chuvosa ao sul, com acumulados variando também entre 200 a 700 mm de chuva. Ademais é válido ressaltar que ambas as imagens mostram o padrão da precipitação no sentido norte-sul e o dipolo meridional da chuva.

Na observação da ACP 2 considerou-se que o El Niño de 2005 e 2006 influenciou na redução de chuva (durante o período chuvoso), considerando também os anos de 2009 e 2010 que apresentou as mesmas condições de chuva. Esta

redução de precipitação se dá mediante a atuação do El Niño na região.

Este fenômeno é causado pelo aquecimento das águas superficiais do oceano Pacífico e provoca pela circulação da célula de

Walter um ramo subsidente sobre o leste da Amazônia e nordeste brasileiro, inibindo a formação de nuvem e consequentemente de precipitação.

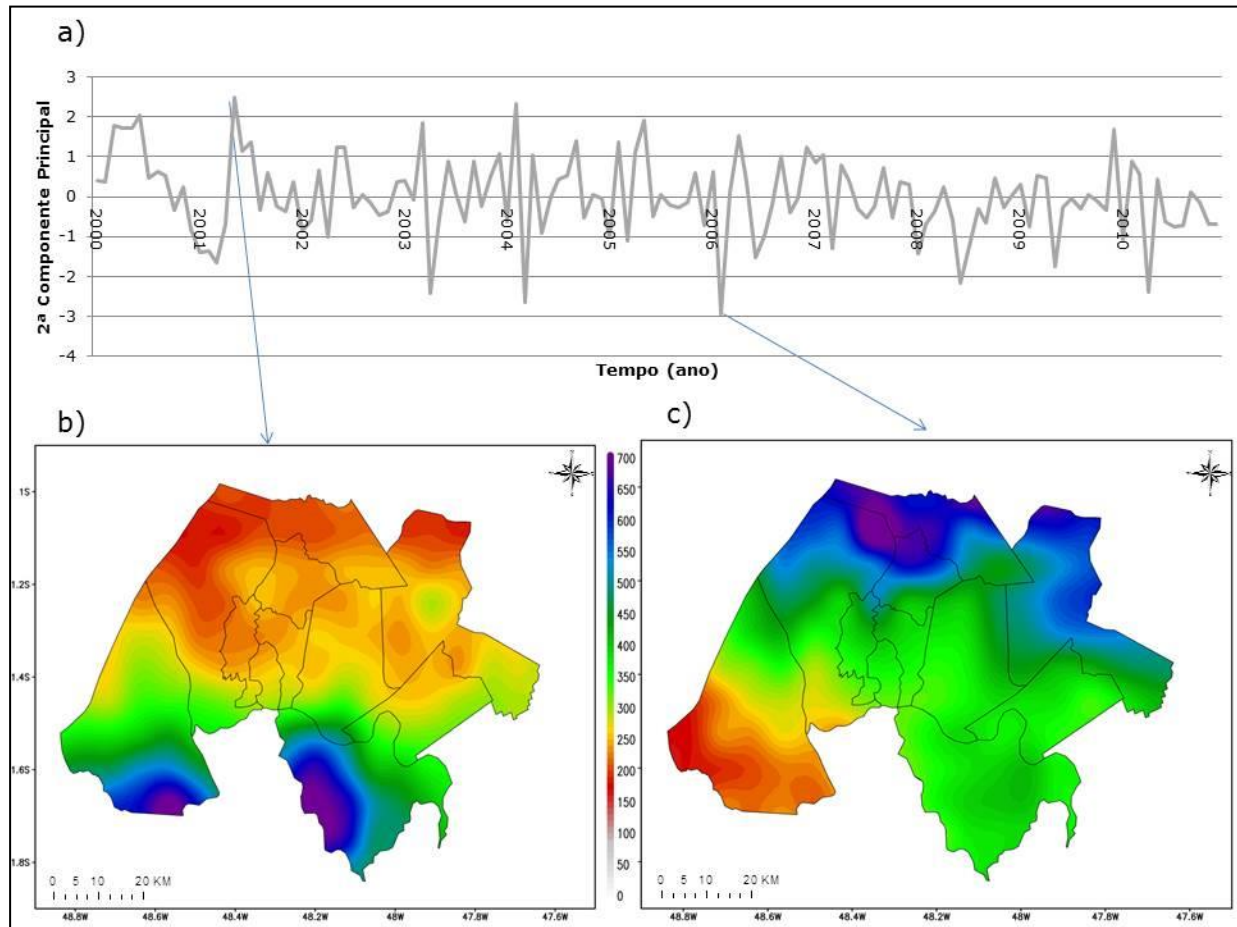


Figura 4. (a) Variabilidade temporal da segunda CP, (b) distribuição mensal da precipitação com maior correlação do padrão dada pelo CMORPH, (c) distribuição mensal da precipitação com menor correlação do padrão dada pelo CMORPH.

Para A variabilidade temporal da (Fig. 5a) reflete a terceira CP, verificando o mês com o maior peso positivo e negativo da série temporal analisada. Onde fevereiro de 2008, apresentou um peso positivo (2,71) do coeficiente temporal e o mês de janeiro do ano de 2002, com maior peso negativo (-3,52) do mesmo coeficiente.

Visualiza-se na imagem positiva que a técnica CMORPH estima um núcleo central e uma maior quantidade de precipitação para a porção oeste da região, variando entre 400 e 700 mm de chuva (Fig. 5c). Porém a imagem negativa

apresenta estimativa inversa, condensando grande parte da precipitação na porção leste da mesorregião metropolitana de Belém (Fig. 5b).

Todavia vale ressaltar que ambas as imagens comprovam o padrão e gradiente meridional da precipitação já definido anteriormente pela concentração de valores elevados na porção oeste da área pesquisada. O modo CP3 mostra que as maiores contribuições de chuva são influenciadas pela La Niña.

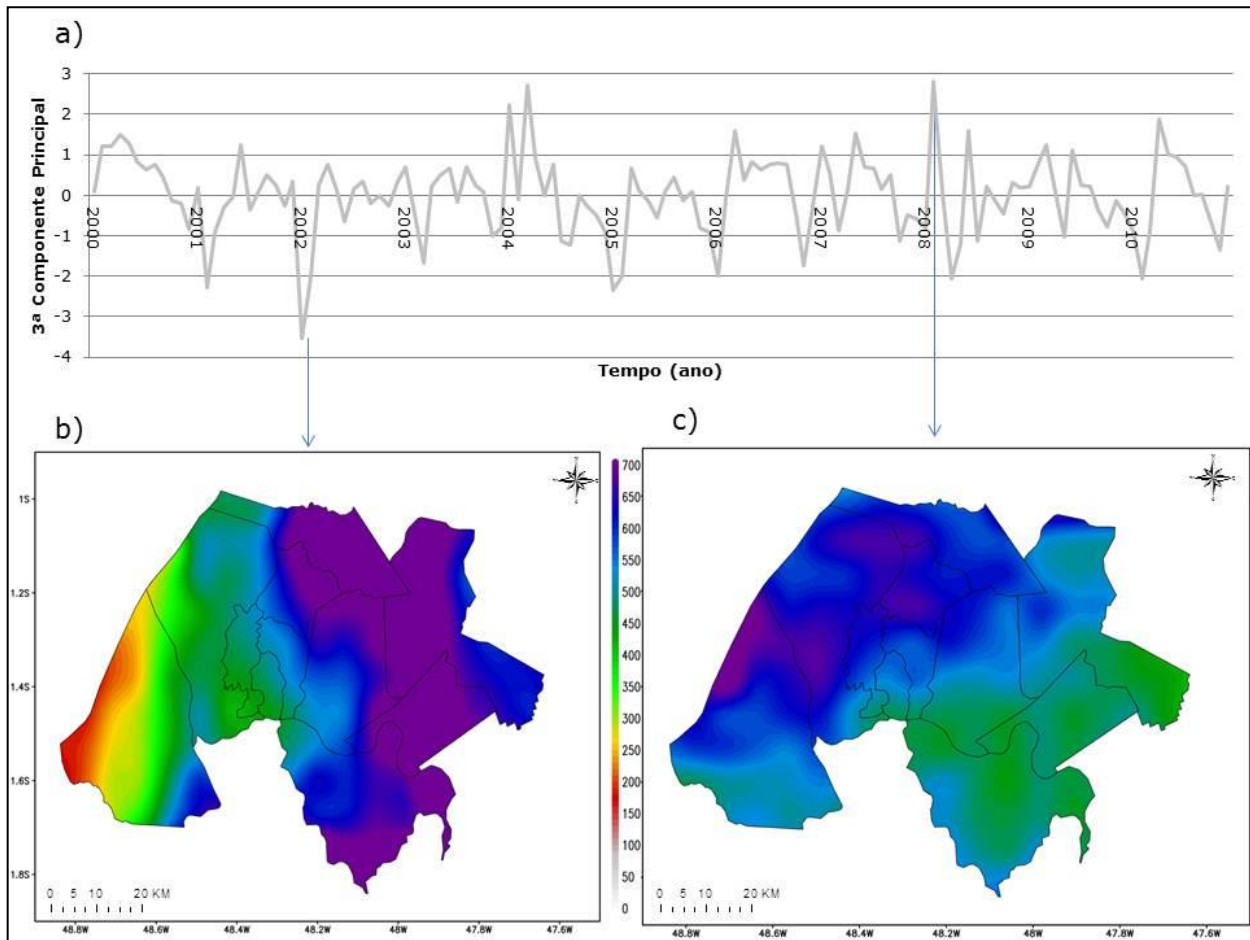


Figura 5. (a) variabilidade temporal da terceira CP, (b) distribuição mensal da precipitação com menor correlação ao padrão dada pelo CMORPH, (c) distribuição mensal da precipitação com maior correlação ao padrão dada pelo CMORPH.

Conclusões

A utilização da análise fatorial em componentes principais (ACP) aplicada aos dados de estimativa de chuva do CMORPH para a mesorregião metropolitana de Belém foi eficaz na indicação dos principais padrões de precipitação da região, bem como na definição dos períodos com maiores e menores índices de chuva. Os modos principais da CP refletem os efeitos causados pelos sistemas meteorológicos precipitantes e a influência dos ENOS, possibilitando, assim o entendimento dos mecanismos físicos geradores das chuvas.

Em conformidade com os resultados apresentados três padrões que definem a chuva na região, o primeiro evidencia a sazonalidade da precipitação, com os meses de maior e menor índice pluviométrico, sendo influenciado principalmente por sistemas precipitantes de grande escala.

O segundo padrão mostra uma contribuição de sistemas de mesoescala e escala local com a interação do uso e cobertura do solo, modulando seus pesos e correlações. No terceiro padrão ilustra os sistemas locais de precipitação induzidos principalmente pela cobertura da superfície.

Em geral verifica-se que os padrões de precipitação local sofrem influência de diversos sistemas precipitantes que contribuem para o quantitativo da precipitação local. Ademais é válido salientar que aos usos e mudanças de cobertura da superfície interferem principalmente na precipitação local, verificando a grande acurácia dos dados de alta resolução do Cmorph para estudos locais. E a técnica da ACP mostrou-se eficiente para a definição dos padrões espaço-temporal e correlação do fenômeno ENOS.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

(CAPES) pela concessão da bolsa; ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais (PPGCA); ao National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) pela disponibilidade de dados, e a Dra Célia Campos Braga pelo ensino metodológico.

Referências

- Alcântara, C. R.; Silva Dias M. A. F.; Souza, E. P.; Cohen, J. C. P., 2011. Verification of the role of low level jets in Amazon squall lines. *Atmospheric Research*. 100, 36-44.
- Araújo, A. N.; Guetter. A. K., 2007. Validação da Chuva Estimada por Satélite "CMORPH" na Modelagem Hidrológica do Alto Iguaçu. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. 12, 189-198.
- Amanajás, J. C.; Braga, C. C., 2012. Padrões Espaço-Temporal Pluviométricos na Amazônia Oriental utilizando Análise Multivariada. *Revista Brasileira de Meteorologia*. 27, 423-434.
- Barnston, A. G.; Livezey, R. E., 1987. Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. *Climate analysis center*. 115, 1083-1126.
- Brasil. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo demográfico. Brasília, 2010. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 20 setembro. 2015
- Camponogara, G.; Silva Dias, M. A. F., 2011. Precipitação diária e estrutura vertical da atmosfera em Belém-PA. *Ciência e Natura. Espec*, 263-266.
- Castro, E., 2003. Geopolítica da água e novos dilemas a propósito da Amazônia e seus recursos naturais. In: Luis E. Aragon; Miguel Clüsener-Godt (Orgs.) *Problemática do Uso Local e Global da Água da Amazônia*. NAEA Belém.
- Cohen, J. C. P.; Silva Dias, M. A. F.; Nobre, C. A., 1989 Aspectos climatológicos das linhas de instabilidades da Amazônia. *Climanálise*. 4, 34-39.
- Cohen, J. C. P.; Silva Dias, M. A. F.; Nobre C. A., 1995. Environmental conditions associated with Amazonian squall lines: a case study. *Monthly Weather Review*. 123, 3163-3174.
- Cohen, J. C. P.; Fitzjarrald, D. R.; Oliveira, F. A. F.; Saraiva, I.; Barbosa, I. R. S.; Gandu, A. W., 2014. Radar -observed spatial and temporal rainfall variability near the Tapajos-Amazon confluence. *Revista Brasileira de Meteorologia*. 29, 23-30.
- Figueroa, S. N.; Nobre, C. A., 1990. Precipitations distribution over Central and Western Tropical South América. *Climanálise. Boletim de Monitoramento e Análise Climática*. 5, 36-45.
- Fisch, G.; Marengo, J. M.; Nobre, C. A., 1998. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. *Acta Amazônica*. 28, 101-126.
- Fitzjarrald, D. R.; Sakai, R. K.; Moraes, O. L. L.; Oliveira, R. C.; Azevedo, O. C.; Matthew, J., 2008. Spatial and temporal rainfall variability near the Amazon-Tapajós confluence. *JGR: Biogeosciences*. 113, 1-17.
- Grimm, A. M., 2011. Interannual climate variability in South America: impacts on seasonal precipitation, extreme events, and possible effects of climate change. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. 25, 537-554.
- 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.
- Joyce, R. J.; Janowiak, J. E.; ARKIN, P.A.; XIE, P., 2004. CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. *Journal of Hydrometeorology*. 5, 487-503.
- Marengo, J. A.; Liebmann, B.; Kousky, V. E.; Filizola, N. P.; Wainer, L. C., 2001. Onset and End of the Rainy Season in the Brazilian Amazon Basin. *Journal of Climate*. 14, 833-852.
- Mantua, N. J.; Hare, S. R.; Zhang, Y.; Wallace, J. M.; Francis, R. C., 1997. Pacific inter-decadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 78, 1069 – 1079.
- Matos, A. P.; Cohen, J. C. P., 2016. Circulação de brisa e a banda de precipitação na margem leste da baía do Marajó. *Ciência e natura*. 38, 21 – 27.
- Molion, L. C. B., 1987. On the dynamic climatology of the Amazon basin and associated rain-producing mechanisms. In: *The Geophisiology of Amazonia Vegetation and Climate Interactions*. New York, John Wiley and Sons.
- Molion, L. C. B. Amazonia rainfall and its variability. 1993 In: *Hydrology and water manegement in the humid tropics*. BONELL, M.; HUFSCHEMIDT, M. M.; GLADWELL, J. S. (eds.). *International Hydrology Series*, Cambrigde University Press, Cambrigde, Reino Unido.

- Molion, L. C. B.; Bernardo, S. O., 2002. Uma Revisão da Dinâmica das Chuvas no Nordeste Brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*. 17, 1-10.
- Moura, M. N., 2014 Padrões climáticos de precipitação e a produção de soja na Amazônia. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). Belém, UFPA.
- Moraes, B. C.; Costa, J. M. N.; COSTA, A. C. L.; Costa, M. H., 2005. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. *Acta Amazônica*. 35, 207-214.
- Sodré, G. R. C.; Rodrigues, L. L. M., 201. Comparação Entre Estimativa da Precipitação Observada Pela Técnica CMORPH e Estações Meteorológicas do INMET em Diferentes Regiões do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*. 6, 301 – 307.
- Sodré, G. R. C.; Vitorino, M. I. ; Cohen, J. C. P.; MORAES, B. C., 2015. Estudo observacional da convecção de mesoescala em diferentes superfícies no estado do Pará. *Revista Brasileira de Geografia Física*. 8, 45-55.
- Ropelewski, C.F. and Jones, P.D., 1987: An extension of the Tahiti-Darwin Southern Oscillation Index. *Monthly Weather Review*. 115, 2161-2165.
- Souza, E. B.; Lopes, M. N. G; Rocha, E. J. P.; Souza, J. R. S.; Cunha, A. C.; Silva, R. R.; Ferreira, D. B. S.; Santos, D. M.; Carmo, A. M. C.; Sousa, J. A.; Guimarães, P. L; Mota. M. A. S.; Makino, M; Senna, R. C.; Sousa, A. M. L.; Mota, G. V.; Kuhn, P. A. F.; Souza, P. F. S.; Vitorino, M. I., 2009. Precipitação sazonal sobre a Amazônia oriental no período chuvoso: observações e simulações regionais com o regcm3. *Revista Brasileira de Meteorologia*. 24, 111-124.
- Souza, W. M.; Azevedo, P. V.; Araújo, L. E., 2012. Classificação da Precipitação Diária e Impactos Decorrentes dos Desastres Associados às Chuvas na Cidade do Recife-PE. *Revista Brasileira de Geografia Física*. 02, 250-268.
- Wilks, D. S., 2006. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. 2. ed. London, Academic Press.
- Zanella, M. E.; Sales, M. C. L.; Abreu, N. J. A., 2009. Análise das precipitações diárias intensas e impactos gerados em Fortaleza, Ceará. *Revista GEOUSP - Espaço e Tempo*, São Paulo. 25, 53 – 68. M.G., Savage, M.J., 2008. Comparison of estimates of daily solar radiation from air temperature range for application in crop simulations. *Agricultural and Forest Meteorology* 148, 401-416.