

Avaliação da seca de 2005 na Amazônia: uma análise da calha do rio Solimões

Edivaldo Afonso de Oliveira Serrão¹, Cleber Assis dos Santos² e Aline Maria Meiguins de Lima³

- 1 Graduando em Meteorologia pela Universidade Federal do Pará- UFPA. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase Técnico em Agrimensura pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará- IFPA. Brasil. E-mail: oliveiraserrao@gmail.com
- 2 Graduado em Ciências Naturais com habilitação em Física pela Universidade do Estado do Pará e Especialista em Agricul-turas Amazônicas e Desenvolvimento Agroambiental pelo Núcleo de Ciências Agrárias e Desenvolvimento Rural - NCADR da UFPA. Atualmente cursando Meteorologia pela Universidade Federal do Pará. Brasil. E-mail: cleber_ufpa@yahoo.com.br
- 3 Graduação em Geologia pela Universidade Federal do Pará (1998), especialização em Gestão Normativa de Recursos Hídri-cos pela Universidade Federal da Paraíba (2007), mestrado em Geotecnia pela Escola de Engenharia de São Carlos da Uni-versidade de São Paulo (2000) e doutorado em Desenvolvimento Socioambiental pelo Núcleo de Altos Estudos Amazônicos da Universidade Federal do Pará (2007). Professora da Universidade Federal do Pará, Brasil. E-mail: alinemei-guins@gmail.com

RESUMO: A Bacia Amazônica, com uma área estimada de 6.110.000 km², sofre influência de diversos sistemas atmosféricos. Estes podem ser agrupados em 3 tipos: convecção diurna resultante do aquecimento da superfície e condições de larga-escala favoráveis; linhas de instabilidade originadas na costa N-NE do litoral do Atlântico; e aglomerados convectivos de meso e larga escala, associados com a penetração de sistemas frontais na região S/SE do Brasil e interagindo com a região Amazônica. A consequência direta destes pode ser observada nas variações de nível d'água verificadas nas bacias hidrográficas componentes. A presente proposta teve por objetivo realizar uma análise espacial da precipitação durante o período chuvoso e menos chuvoso, do ano de 2005, na calha do rio Solimões, marcado por uma das maiores secas na Amazônia, associando aos sistemas atmosféricos atuantes nessa região e causadores desta estiagem severa. Os resultados obtidos ilustram que o médio-baixo curso do rio Solimões, foi o mais afetado no período pela redução da precipitação, com valores próximos a 104 mm período de (julho-dezembro); esta precipitação pode ser vinculada aos fenômenos do ENOS fase positiva e do dipolo do Atlântico positivo, que são fortes moduladores da precipitação na Amazônia.

Palavras-chave: Precipitação. Bacia Amazônica. Solimões.

The 2005 drought in the Amazon: an analysis of the channel of the Solimões river

ABSTRACT: The Amazon Basin, with an estimated area of 6.11 million square kilometers, is influenced by several weather systems. These can be grouped into three types: daytime resulting convection heating surface and favorable large-scale conditions; instability lines originated on the coast north-northeast of the Atlantic coast; and convective clusters of meso and large scale associated with the penetration of frontal systems in the S / SE region of Brazil and interacting with the Amazon region. The direct consequence of these can be seen in the watermark level variations observed in river basins components. This proposal aimed to perform a spatial analysis

of rainfall during the rainy season and less rainy, the year 2005 in the channel of the Solimões River, marked by a major drought in the Amazon by linking to atmospheric systems active in this region and causing this severe drought. The results illustrate that the medium-lower course of the Solimões River, was the most affected in the period by reduced rainfall, with values near 104 mm period (July to December); this precipitation may be linked to the phenomena of ENSO positive phase and the positive Atlantic dipole, which are strong modulators of rainfall in the Amazon.

Keywords: Rainfall. Amazon Basin. Solimões.

1 INTRODUÇÃO

A região Amazônica localizada no centro-norte da América do Sul, recobre 9 estados brasileiros e mais 8 países da América do Sul, possui precipitação média de aproximadamente 2300 mm/ano, embora tenham regiões (na fronteira entre Brasil, Peru, Colômbia e Venezuela) em que o total anual atinge 3500 mm (VAL et al., 2010). Uma das principais características de regiões tropicais-equatoriais, como a Amazônia, são as variações das precipitações em escalas interanuais e interdecadais (MARENGO et al., 2011). Conhecer o comportamento espacial da precipitação torna-se fundamental para a gestão dos recursos hídricos, assim como o desenvolvimento e o planejamento urbano (FILHO et al., 2013).

Em 2005, uma grande parte da bacia amazônica ocidental experimentou a seca mais grave dos últimos 40 anos e uma das mais intensas dos últimos cem anos (MARENGO et al., 2008). As razões que explicam seu regime de precipitação, além de sua localização geográfica e extensão territorial é a combinação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT); processos de convecção organizada associados à Zona de Convergência do Atlântico Sul

(ZCAS); eventos de Linhas de Instabilidade (LI); aquecimento ou resfriamento anômalo da temperatura da superfície do mar no Pacífico tropical, fenômenos conhecidos respectivamente como El Niño e La Niña (FISCH et al., 1998). E nos últimos 10 anos a configuração do Dipolo do Atlântico vem afetando a distribuição da precipitação na bacia Amazônica (MARENGO, 2009; ALCÂNTARA, 2011).

Samanta et al. (2010) descrevem a seca de 2005 como uma ocorrência de El Niño-Oscilação Sul (ENOS) diferenciada dos episódios de 1983 e 1998, que foram severos na região sudoeste da Amazônia, com menor reflexo nas porções central e oriental. Gloor et al. (2013) ao compararem a vazão do rio Amazonas, o registro da precipitação e a variação da temperatura da superfície do mar observaram que a variabilidade interanual no registro hidrológico tende a apresentar uma correlação negativa com a variabilidade interanual da superfície do mar, citando como exemplo os eventos de seca de: 1995, 1998, 2005 e 2010.

Marengo et al. (2011) e Espinoza et al. (2012) complementam que as fases de El Niño são associadas com as anomalias negativas da precipitação no norte da bacia Amazônica, enquanto

que as fases de La Niña estão relacionadas as anomalias positivas e as maiores vazões. Sena et al. (2012) destaca que os rios mais afetados pela seca de 2005 na bacia Amazônica foram: Juruá, Solimões, Negro, Uatumã, Purus, Tefé e Madeira.

Conhecer a distribuição espacial da precipitação possibilita avaliar o comportamento desta variável aplicada a modelagem hidrológica de bacias hidrográficas incluindo: transporte de poluentes, dinâmica de rios, estimativa de perdas de solo, disponibilidade hídrica para cultivos e ventos extremos como enchentes e estiagem (KEENAN et al., 2014). A utilização de técnicas de espacialização, disponíveis nos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), facilita a verificação de como as precipitações se distribuem no espaço, bem como a associação com diferentes fatores do ambiente (TAYLOR, 1991; MAZZINI; SCHETTINI, 2009).

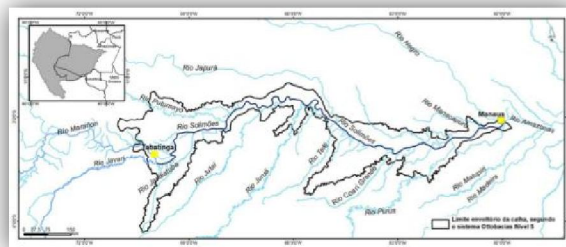
Com base nestes aspectos o objetivo deste trabalho foi realizar uma análise espacial da precipitação em relação ao período chuvoso e menos chuvoso, no ano de 2005, marcado por uma das maiores secas na Amazônia, aplicando técnicas de geoprocessamento na calha do rio Solimões identificando os sistemas atmosféricos causadores desta estiagem severa.

2 MATERIAIS E MÉTODO

A sistemática empregada adotou a delimitação de calha de rio Solimões, derivada das sub bacias definidas como de "Ordem 5" segundo o Sistema Ot-

tobacias (de acordo com o proposto na Resolução CNRH n. 30/2002). Neste trabalho foram utilizados os dados de precipitação na calha do rio Solimões no período de 2000 a 2012, a partir dos dados produto do sensor 3B43V6 do TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) disponibilizados pela NASA através do Laboratório de Sensoriamento Remoto Aplicado à Agricultura e Floresta (LAF/INPE). Dados temperatura da superfície do mar (TSM) através de boias do Niño 3 e 4 (5°N,-5°S); (150°,-90°W) e (5°N,-5°S) (160°W,-150°W) respectivamente no período (1982-2013) oriundos do Earth System Research Laboratory/National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

Figura 1: Localização da área de estudo, ao longo do rio Solimões, entre as cidades de Tabatinga e Manaus, a partir da definição das sub-bacias drenantes de ordem 5, segundo a classificação de Ottobacias



Fonte: Elaborado pelos autores

Estes dados foram tratados no software Microsoft Excel para: (a) análise de consistência tendo sido executados procedimentos de cálculo dos valores médios de precipitação mensal no período chuvoso (Janeiro - Junho) e menos chuvoso (Julho - Dezembro) e cálculo do acumulado de precipitação

sendo a soma total dos valores mensais de precipitação para o ano de 2005; (b) cálculo dos valores médios de TSM, cálculo das anomalias de TSM utilizando a equação (1)

$$(AP; AN) = MD \pm DP$$

Onde AP é anomalia positiva; AN, anomalia negativa; MD, média; e DP, desvio padrão. Para anomalias positivas adiciona-se (DP a MD), e anomalias negativas subtrai-se (DP de MD). O software Arc Gis foi usado para a elaboração da cartografia resultante, realizando o procedimento de interpolação, empregando o operador de interpolação Inverso do Quadrado da Distância (IDW).

Para isso atribuiu-se para cada estação pluviométrica o valor de precipitação calculado, e gerou-se por interpolação a distribuição da precipitação em torno da calha do rio Solimões. A partir disto pôde-se identificar as regiões de maior e menor distribuição pluvial para estação chuvosa e estação menos chuvosa.

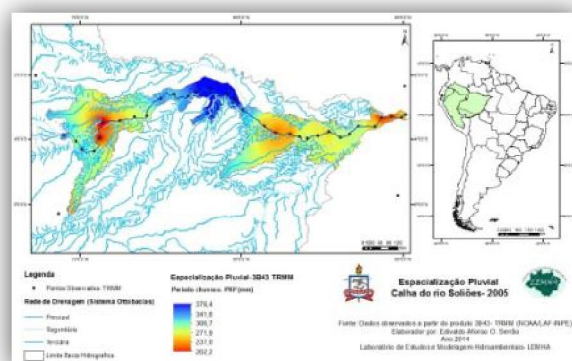
Na identificação dos sistemas atmosféricos atuantes na Amazônia, utilizou-se os Boletins Climanálise e imagens de satélite (ambos disponibilizados pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC do INPE). A partir disto, pode-se fazer uma avaliação dos sistemas que atuaram e desfavoreceram a precipitação na Amazônia e especificamente na calha do rio Solimões.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Distribuição da precipitação no período mais chuvoso

A distribuição dos valores de precipitação no entorno da calha do rio Solimões durante o período mais chuvoso (Janeiro - Junho) varia entre 204,2 mm a 376,4 mm (Figura 2). A espacialização da precipitação distribui-se de forma irregular com uma acentuação na porção central, que climatologicamente coincide com uma área de máximos de precipitação registrados para a América do Sul. Contudo, observa-se que os valores de precipitação ficaram a baixo da média climatológica para a bacia amazônica no mesmo período. Esta irregularidade na precipitação se dá pelos mecanismos atmosféricos (El Niño e Dipolo do atlântico) que atuaram neste período, especialmente no ano de 2005, quando se evidenciou uma das maiores secas na Amazônia (LEWIS et al., 2011).

Figura 2: Espacialização da precipitação na calha do rio Solimões para o ano de 2005, período chuvoso (Jan- Jun).

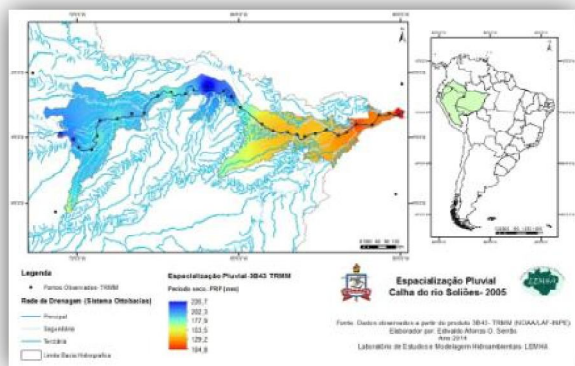


Fonte: Elaborado pelos autores.

3.2 Distribuição da precipitação no período menos chuvoso

A análise da distribuição dos valores de precipitação no em torno da calha do rio Solimões na estação menos chuvosa, registrou valores entre 104,7 mm e 226,7 mm (Figura 3). Observa-se, que espacialmente a precipitação é menor no sentido da foz do rio em Manaus; e com maior intensidade próximo a montante.

Figura 3: Espacialização da precipitação na calha do rio Solimões para o ano de 2005, período menos chuvoso (Jul-Dez).



Fonte: Elaborado pelos autores.

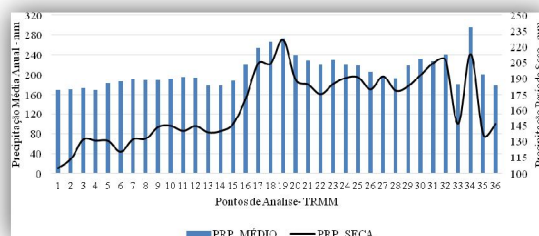
A ocorrência do fenômeno El Niño a partir de outubro de 2004, associado ao dipolo positivo no Atlântico tropical em 2005, trouxe como consequência a diminuição da precipitação na parte norte, sul e oeste da bacia Amazônica (MARENGO et al., 2011). Tomasella e Marengo (2011) concluíram que o “a-coplamento” destes mecanismos atmosféricos influenciaram desfavoravelmente as cheias e recargas dos rios da Amazônia ocidental durante o período chuvoso de dezembro 2004 até março 2005. Níveis tão baixos de pre-

cipitação acarretados pela interação destes mecanismos atmosféricos ocasionaram uma estiagem na bacia coletora a oeste (rio Solimões) influenciando diretamente no nível e vazão fluvial do rio Amazonas.

3.3 Níveis pluviométricos nos pontos de coleta através do satélite TRMM na calha do rio Solimões

Observou-se nas Figuras 2 e 3 que a precipitação na calha não é de forma contínua e gradual, mas sim intercalada com níveis de precipitação irregulares, o Gráfico 1, apresenta os níveis de precipitação no ano de 2005 e sua distribuição nos pontos de coleta ao longo da calha do rio Solimões e como esses níveis se comportaram no período menos chuvoso, já que este foi bem mais afetado em 2005 o que agravou a estiagem por coincidir com a estação seca na região.

Gráfico 1: Variabilidade da Precipitação por ponto de coleta através do satélite TRMM, na calha do rio Solimões – 2005 no período seco.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A precipitação nos pontos de observação no período seco é bem abaixo da média anual até o décimo quinto ponto de análise, a partir deste ponto a um acréscimo de precipitação entre os

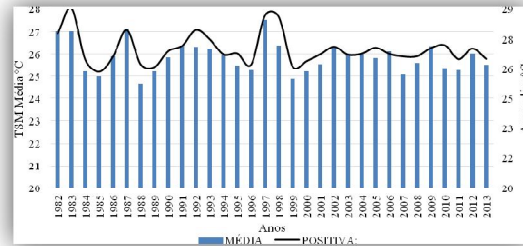
pontos (16° e 19°), estes pontos coincidem com a porção central da calha, está localizada as proximidades de uma das regiões de maiores índices de precipitação na América do Sul, compreendendo a extremidade do Estado do Amazonas fronteira com a Colômbia e Venezuela, tal conhecida como "*cabeça do cachorro*", com totais mensais de até 480 mm/mês.

3.4 Análise sinótica e hidrometeorológica para a seca de 2005

3.4.1 Análise: causas e efeitos - El Niño

Avaliando as condições da evolução da temperatura da superfície do mar (1982-2013) na região do Niño 3 este tendo alta correlação com o Índice de Oscilação Sul (IOS) que é caracterizado por anomalias de pressão atmosférica na região de Darwin, norte da Austrália e Taiti (TRENBERTH, 1997; GLANTZ, 2001). No Gráfico 2, observa-se as anomalias positivas de TSM no Oceano Pacífico Equatorial. Em 1983, 1992, 1998, 2005 e 2010 todas entre 27°C a 29°C, sendo estas configurações de El Niño, onde 1998 foi classificado como El Niño forte, 2005 fraco e 2010 moderado; contudo em 2005 outro fenômeno acoplado oceano-atmosfera interferiu no regime de precipitação na Amazônia, o Dipolo do Atlântico, caracterizado na Figura 4.

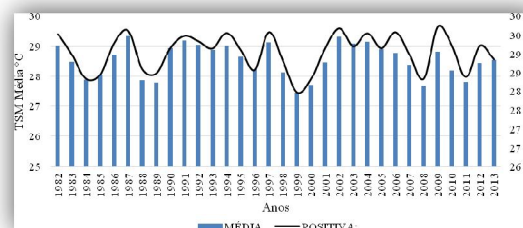
Gráfico 2: Evolução da temperatura da superfície do mar de Niño 3 (1982-2013).



Fonte: Elaborado pelos autores.

O Gráfico 3 apresenta as anomalias positivas (El Niño) no setor do Niño 4 acompanhando o Gráfico 2 nos anos de máximos destacados, observa-se ainda que em 2005 o Niño 4 apresenta valores superiores de anomalias em relação ao Niño 3. Geograficamente a região do Niño 4 está mais a oeste da América do Sul, logo pode-se associá-lo ao ramo ascendente da célula de Walker, concomitantemente seu ramo descendente estará sobre a Amazônia e nordeste brasileiro desfavorecendo a convecção local com isso diminuindo a precipitação nestes setores brasileiros, configuração clássica de El Niño (ARAÚJO et al, 2013).

Gráfico 3: Evolução da temperatura da superfície do mar de (1982-2013) Niño 4.



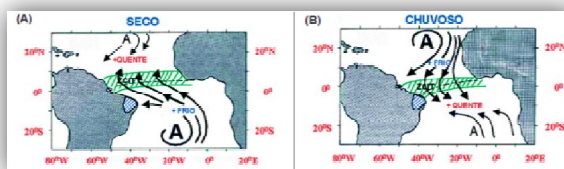
Fonte: Elaborado pelos autores.

3.4.2 Análise Sinótica oceano-atmosfera do Atlântico tropical a seca de 2005 (Dipolo do Atlântico)

O oceano Atlântico Tropical tem um papel fundamental na variabilidade do tempo e do clima em regiões ao leste dos Andes, particularmente sobre o Brasil, as regiões mais significativamente influenciadas pelas circulações atmosféricas e oceânicas do Atlântico Tropical são: o centro e o leste da Amazônia e nordeste brasileiro (MOLION et al., 1987; GIANNINI et al., 2004). Evidências observacionais, teóricas e resultados de modelos de circulação geral da atmosfera, implicam que as condições oceânicas e atmosféricas sobre a bacia do Atlântico Tropical influem fortemente na variabilidade interanual do clima sobre a América tropical, leste dos Andes (MARENGO et al., 2008).

O padrão dipolo no Atlântico Tropical acarreta em gradientes norte-sul de anomalias de TSM, estes afetam intensamente na posição latitudinal da ZCIT, modulando a distribuição sazonal de precipitação sobre o Atlântico Equatorial, na parte norte do nordeste do Brasil, até a parte central da Amazônia (MARENGO et al., 2008).

Figura 4: Padrões de circulação atmosférica e de anomalias de TSM no Atlântico Tropical Norte e Sul, durante anos secos (a) e chuvosos (b) no Norte e Nordeste. A área em verde representa a posição da ZCIT. A - representa a circulação das Altas subtropicais



Fonte: Nobre e Molion (1988)

O aumento da TSM no Atlântico Tropical Norte (entre 12°N e 20°N) tende a ocasionar maior evaporação e consequente redução da pressão no nível do mar (PNM). Nas proximidades da região dominada pela alta pressão semipermanente subtropical ocorre concomitantemente o enfraquecimento dos ventos alísios de nordeste, estes são provenientes do escoamento gerado pela circulação da alta subtropical norte (REBOITA et al., 2010).

No Atlântico Tropical Sul (entre a linha do Equador e 15°S) ocorrem anomalias negativas de TSM (a baixo da média), intensificando a alta subtropical do Atlântico Sul; e fortalecendo os ventos alísios de sudeste, ocasionados pela circulação da alta subtropical sul. Essa configuração do acoplamento oceano-atmosfera, gera a formação de um gradiente meridional de anomalias de TSM no sentido de sul para norte (Figura 4a); e com isso a faixa de baixa pressão equatorial a superfície, confluência dos ventos alísios (deslocado mais para norte, relativamente ao seu posicionamento médio) e totais pluvi-

ométricos abaixo da média sobre o norte-nordeste brasileiro e leste dos andes (BARROS; DOYLE, 1996).

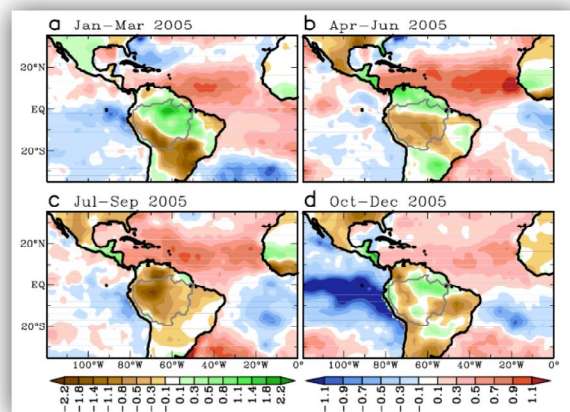
Na figura 4b ocorre o processo inverso, com a mudança na configuração desses sistemas atmosféricos, e favorecimento da precipitação na Amazônia e nordeste brasileiro. Ronchail et al. (2002) observou que as anomalias de precipitação ao norte e a leste da Amazônia estão associadas a anomalias de TSM no Pacífico Equatorial e do gradiente de TSM no Atlântico Tropical Norte e Sul. Ou seja, a ocorrência dos fenômenos do ENOS fase positiva e negativa, assim como ocorrência do dipolo do Atlântico positivo e negativo, são fortes moduladores da precipitação na Amazônia.

A seca de 2005 que afetou a Amazônia foi refletida nas vazões do rio Solimões, que tem a bacia coletora ao sul desta região, onde as chuvas têm sido muito baixas. A formação do dipolo positivo no Atlântico ocasiona o deslocamento ao norte dos ventos alísios de sudeste e toda a umidade que estes transportam na formação da ZCIT (ZENG et al., 2008).

A Figura 5 ilustra as anomalias observadas em quatro períodos de 3 meses de 2005, demonstrando a evolução da seca Amazônica. A seca foi mais severa entre julho e setembro, coincidindo com a estação seca na região; quando a precipitação foi reduzida. O diferencial neste ano é o curto evento frio do ENOS (La Niña) durante outubro-dezembro. Um contraste ao ano anterior com evento de EL Niño, fenômeno este que ramifica a célula de

Walker onde seu ramo descendente se estabelece sobre parte da Amazônia e nordeste brasileiro, inibindo a formação de nuvens, e consequentemente a precipitação nestas regiões (SERRÃO et al., 2013).

Figura 5: Evolução das anomalias de Temperatura da Superfície do Mar ($^{\circ}$ C) nos Oceanos Atlântico e Pacífico tropical e precipitação (mm) na Amazônia entre Janeiro a Dezembro de 2005.



Fonte: Zeng et al. (2008).

4 CONCLUSÕES

Os resultados observados a partir da variabilidade espacial da precipitação ao longo da calha do rio Solimões no ano de 2005, indicam uma influência do aquecimento anômalo da TSM no Atlântico tropical, acarretou na ocorrência do Dipolo do Atlântico em 2005. Este somado ao El Niño no mesmo ano, trouxe como consequência a redução do volume de precipitação nas regiões norte, oeste e sul da bacia Amazônica.

A aplicação de SIGs demonstra ser uma eficaz ferramenta, eficiente, prática e útil para o cálculo e espacialização da precipitação estudada, assim como

a interpolação desses dados e zoneamento dos mesmos. A ferramenta de interpolação IDW mostrou-se útil na identificação de zonas de altos e baixos índices pluviométricos, possibilitando até determinar a variabilidade dessa precipitação para os locais onde não se dispõe de informações meteorológicas coletadas.

Observou-se que para a estação chuvosa os valores de precipitação são da ordem de magnitude maior que o período menos chuvoso, concomitante com a climatologia. Com tudo este padrão alterou-se no ano de 2005, com valores de precipitação inferior à normal climatológica para a região. A Amazônia sofreu uma de suas maiores estiagens no ano de 2005, levantando grandes questionamentos no âmbito ambiental e social, já que "*os rios da Amazônia também são suas estradas*". Verifica-se que a Amazônia e seus sistemas hidrológicos necessitam de monitoramento contínuo, e assim auxiliando na prevenção e mitigação de eventos extremos.

REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA, C. R. Linha de instabilidade da Amazônia: estudo de caso e importância das características do perfil do vento na sua formação e desenvolvimento. **Ciência & Natura**, v. 33, n. 2, p. 197-226, 2011.
- ARAÚJO, R. G.; ANDREOLI, R. V.; CANDIDO, L. A.; KAYANO, M. T.; SOUZA, R. A. F. A influência do evento El Niño - Oscilação Sul e Atlântico Equatorial na precipitação sobre as regiões norte e nordeste da América do Sul. **Acta Amazônica**, v. 43, n. 4, p. 469-480, 2013.
- BARROS, V., DOYLE, M. Precipitation trends in Southern South América to the east of the Andes. **Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies**. Report nº 26, p. 76-80, 1996.
- ESPINOZA, J. C.; RONCHAIL, J.; GUYOT, J. L.; JUNQUAS, C.; DRAPEAU, G.; MARTINEZ, J. M. From drought to flooding: understanding the abrupt 2010–11 hydrological annual cycle in the Amazonas River and tributaries. **Environmental Research Letters**, v. 7, n. 2, p. 1-7, 2012.
- FILHO, H. C. C.; STAINKE, T. E.; STAINKE, V. A. Análise espacial da precipitação na bacia do lago Paranoá: comparação de métodos de interpolação. **Revista Geonorte**, v.1, n. 5, p. 336-345, 2013
- FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta Amazônica**, v. 22, n. 2, p. 101-126, 1998.
- GIANNINI, A.; SARAVANAN, R.; CHANG, P. The preconditioning role of Tropical Atlantic Variability in the development of the ENSO teleconnection: implications for the prediction of Nordeste rainfall. **Climate Dynamics**, v. 22, n. 8, p. 839-855, 2004.
- GLANTZ M.H. 2001. **Currents of Change. Impacts of El Niño and La Niña on Climate and Society**. Second Edition. Cambridge, University Press. 2001. 252p
- GLOOR, M.; BRIENEN, R. J. W.; GALBRAITH, D.; FELDPUSCH, T. R.; SCHÖNGART, J.; GUYOT, J.-L.; ESPINOZA, J. C.; LLOYD, J.; PHILLIPS, O. L. Intensification of the Amazon hydrological cy-

- cle over the last two decades. **Geophysical Research Letters**, v. 40, n. 9, p. 1729–1733, 2013.
- KEENAN, R. J. Climate change impacts and adaptation in forest management: a review. **Annals of Forest Science**, v. 72, n. 2, p. 145-167, 2014.
- LEWIS, S. L.; BRANDO, P. M.; PHILLIPS, O. L.; VAN DER HEIJDEN, G. M. F.; NEPSTAD, D. The 2010 Amazon Drought. **Science**, v. 331, n. 6017, p. 554, 2011.
- MARENGO J. A.; NOBRE. C.; TOMASELLA, J.; OYAMA, M.; OLIVEIRA, G. S.; OLIVEIRA, R.; CAMARGO, H.; ALVES, L. M.; BROWN, I. F. The drought of Amazônia in 2005. **Journal of Climate**, n. 21, p. 495-516, 2008.
- MARENGO, J. A. Long-term trends and cycles in the hydrometeorology of the Amazon basin since the late 1920s. **Hydrological Processes**, v. 23, n. 22, p. 3236-3244, 2009.
- MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.; ALVES, L. M.; SOARES. W. R.; RODRIGUEZ, D. A. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. **Geophysical Research Letters**, v. 38, p. 1-5, 2011.
- MAZZINI, P. L. F.; SCHETTINI, C. A. F. Avaliação de metodologias de interpolação espacial aplicadas a dados hidrográficos costeiros quase-sinóticos. Braz. **Journal of Aquatic Science Technology**, v. 13, n. 1, p. 53-64, 2009.
- MOLION, L. C. B. Climatologia Dinâmica da região Amazônica: mecanismos de precipitação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 2, p. 107-117, 1987.
- NOBRE, C. A.; MOLION., L. C. B. The climatology of droughts and drought prediction. *In*: PARRY, M. P.; CARTER, T. R.; KONIJN, N. T. (org) **Impacts of Climatic Variations on Agriculture**, v. 2 - Assessments in semi-arid regions. Springer Netherlands, 1988, 764p.
- NOBRE, P.; SHUKLA, J. Variations of sea surface temperature, wind stress and rainfall over the tropical Atlantic and South America. **Journal of Climate**, v. 9, p. 2464-2479, 1996.
- PHILLIPS, O. L. et al. Drought Sensitivity of the Amazon Rainforest. **Science**, v. 323, p. 1344- 1347, 2009.
- REIBOTA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185 - 204, 2010.
- RONCHAIL, J.; COCHONNEAU, G.; MOLINIER, M.; GUYOT, J. L.; GORRETI, A.; GUIMARÃES, V.; DE OLIVEIRA, E. Interannual rainfall variability in the Amazon Basin and sea surface temperatures in the equatorial Pacific and the tropical Atlantic Oceans. **International Journal of Climatology**, v. 22, p.1663-1686, 2002.
- SAMANTA, A.; GANGULY, S.; HASHIMOTO, H.; DEVADIGA, S.; VERMOTE, E.; KNYAZIKHIN, Y.; NEMANI, R. R.; MYNENI, R. B. Amazon forests did not green-up during the 2005 drought. **Geophysical Research Letters**, v. 37, n. L05401, p. 1-5, 2010.
- SENA, J. A.; DEUS, L. A. B.; FREITAS, M. A. V.; COSTA, L. Extreme Events of Droughts and Floods in Amazonia: 2005 and 2009. **Water Resources**

Management, v. 26, p. 1665-1676, 2012.

SERRÃO, E. A. O.; SANTOS, C. A.; AMORIM, V. P.; WANZELER, R. T. S.; LIMA, A. M. M.; ROCHA, E. J. P. Variabilidade da distribuição espacial de intensidade pluviométrica na calha do rio Solimões: uma análise para o ano de 2010. *In: Simpósio de Estudos e Pesquisas em Ciências Ambientais na Amazônia*, 2, 2013, Belém. **Anais**. Belém, p. 447-455, 2013.

TAYLOR, D. R. F. **Geographical Information Systems**: The microcomputer and modern cartography. Oxford-England: Pergamon Press, 251 p, 1991.

TOMASELLA, J.; MARENGO, J. A. A seca de 2010 na Amazônia. **Science**, v. 331, n. 6017, p. 532, 2011.

TRENBERTH, K. E. The Definition of El Niño. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78, n. 12, 2771-2777, 1997.

VAL, A. L.; ALMEIDA-VAL, V. M. F.; FEARNSIDE, P. M.; SANTOS, G. M.; PIEDADE, M. T. F.; JUNK, W.; NOZAWA, S. R.; SILVA, S. T.; DANTAS, F. A. C. **Amazônia**: recursos hídricos e sustentabilidade. *In: BICUDO, C. E. M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B. (org) Águas do Brasil: análises estratégicas*. São Paulo-SP: Instituto de Botânica, 2010, 224 p.

ZENG, N.; YOON, J. H.; MARENGO, J. A.; SUBRAMANIAM, A.; NOBRE, C. A.; MARIOTTI, A.; NEELIN, J. D. Causes And Impacts Of The 2005 Amazon Drought. **Environmental Research Letters**, v. 3, n. 14, p. 002, 2008.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Artigo recebido em 01 de janeiro de 2015.

Aceito em 23 de julho de 2015.