

IMPACTOS DAS MUDANÇAS DE USO DA TERRA E DOS EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS EM SISTEMAS HIDROLÓGICOS DA AMAZÔNIA ORIENTAL - BACIA DO RIO CAPIM (PA-MA)

IMPACTS OF LAND USE CHANGE AND EXTREME WEATHER EVENTS ON HYDROLOGICAL SYSTEMS IN EASTERN AMAZON - CAPIM RIVER BASIN (PA-MA)

IMPACTOS DE LOS CAMBIOS DE USO DE LA TIERRA Y DE LOS EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS EN SISTEMAS HIDROLÓGICOS DE LA AMAZONIA ORIENTAL - CUENCA DEL RÍO CAPIM (PA-MA)

Dênis José Cardoso Gomes

Universidade Federal do Pará (UFPA) – Faculdade de Meteorologia
Rua Augusto Corrêa, 01, Guamá, CEP 66075-110, Belém, Pará
deniss.feg@gmail.com

Aline Maria Meiguins de Lima

Universidade Federal do Pará (UFPA) – Faculdade de Meteorologia
Rua Augusto Corrêa, 01, Guamá, CEP 66075-110, Belém, Pará.
ameiguins@ufpa.br

João de Athaydes Silva Junior

Universidade Federal do Pará (UFPA) – Faculdade de Meteorologia
Rua Augusto Corrêa, 01, Guamá, CEP 66075-110, Belém, Pará.
athaydes@ufpa.br.

Edivaldo Afonso de Oliveira Serrão

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) – Programa de Pós-Graduação em Meteorologia
Rua Aprígio Veloso, 882, CEP 58109-970, Campina Grande, Paraíba.
oliveiraserrao@gmail.com

RESUMO

A bacia do rio Capim (NE do estado Pará) compõe a região de maior produção econômica do estado; sua relevância justificou a necessidade do estudo de seu comportamento hidrológico considerando a variabilidade climática (eventos de La Niña e El Niño) e a influência das formas de uso e cobertura da terra (LULC – *land use and land cover*). Foram adotados os dados oriundos do GPCC (Global Precipitation Climatology Centre) e de precipitação pluviométrica, distribuição das vazões e cotas da ANA (Agência Nacional das Águas). Os dados de LULC foram obtidos do projeto TerraClass 2014 (INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Para análise de eventos extremos foi adotado o seguinte critério: La Niña (2011), El Niño (2015) e a série histórica como. Os resultados obtidos indicaram: maior sensibilidade aos efeitos de La Niña; as sub-bacias mais afetadas localizam-se nas cabeceiras (Alto Capim, Ararandeuá, Cauaxi e Surubijú); Agosto, Setembro e Outubro - trimestre menos chuvoso; Fevereiro, Março e Abril - trimestre mais chuvoso; máximo e mínimo de precipitação (média mensal) – 448,7 mm e 7,1 mm; vazões máximas e mínimas (média mensal) – acima de 850 m³/s e abaixo de 300 m³/s; a distribuição pluviométrica varia de sudeste (menores índices - maior alteração na paisagem associada as formas de LULC) para o noroeste (maiores índices); o melhor estado de

conservação está no Alto Capim e no Médio-baixo curso do rio Surubijú. Logo, as sub-bacias de cabeceira apresentaram uma maior vulnerabilidade (cerca de 9000 km² de área alterada - 24% do total da área da bacia), com uma correlação positiva com a variabilidade da precipitação pluviométrica e do regime de vazões.

Palavras chave: La Niña e El Niño; sustentabilidade hídrica; vulnerabilidade.

ABSTRACT

The Capim River basin (NE area of Pará state) is part of the region with the largest state economy; its relevance justified the study of hydrological behavior considering climatic variability (La Niña and El Niño events) and the land use and land cover (LULC) influence. The data base was: the satellite rainfall - GPCC (Global Precipitation Climatology Center); rainfall precipitation, river discharge and river level - ANA (National Water Agency); and LULC data - the TerraClass 2014 project (INPE - National Institute of Space Research). In hydrological analysis of extreme rainfall events, the following criteria were adopted: La Niña (2011), El Niño (2015) and the neutral year (2013). The results indicated: high sensitivity to the effects of La Niña; the most affected sub-basins are located in the headwaters (Upper Capim, Ararandeuá, Cauaxi and Surubijú); August, September and October - less rainy quarter; February, March and April - rainier quarter; maximum and minimum precipitation (monthly average) - 395 mm and 34 mm; maximum and minimum flows (monthly average) - 1000 m³/s and 323 m³/s; the rainfall distribution varies from southeast (lower indices - higher change in the landscape associated with LULC forms) to the northwest (higher indices); the best state of conservation is in the Upper Capim and in the Middle-low course of the river Surubijú. Therefore, the headwaters sub-basins presented a greater vulnerability (about 9000 km² of altered area - 24% of total area of the basin), with a positive correlation with the rainfall variability and the flow regime.

Keywords: La Niña and El Niño; water sustainability; vulnerability.

RESUMEN

La cuenca del río Capim (NE del estado Pará) compone la región de mayor producción económica del estado; su relevancia justificó la necesidad del estudio de su comportamiento hidrológico considerando la variabilidad climática (eventos de La Niña y El Niño) y la influencia de las formas de uso y cobertura de la tierra (LULC - land use and land cover). Se adoptaron los datos provenientes del GPCC (Global Precipitation Climatology Centre) y de precipitación pluviométrica, distribución de los caudales y cuotas de la ANA (Agencia Nacional de las Aguas). Los datos de LULC fueron obtenidos del proyecto TerraClass 2014 (INPE - Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales). Para el análisis de eventos extremos se adoptó el siguiente criterio: La Niña (2011), El Niño (2015) y la serie histórica como. Los resultados obtenidos indicaron: mayor sensibilidad a los efectos de La Niña; las sub-cuencas más afectadas se localizan en las cabeceras (Alto Capim, Ararandeuá, Cauaxi y Surubijú); Agosto, septiembre y octubre - trimestre menos lluvioso; Febrero, marzo y abril - trimestre más lluvioso; máximo y mínimo de precipitación (promedio mensual) - 448,7 mm e 7,1 mm; caudales máximos y mínimos (media mensual) - por encima de 850 m³ / s y por debajo de 300 m³/s; la distribución pluviométrica varía de sureste (menores índices - mayor alteración en el paisaje asociada a las formas de LULC) hacia el noroeste (mayores índices); el mejor estado de conservación está en el Alto Capim y en el Medio-bajo curso del río Surubijú. Por lo tanto, las subcuencas de cabecera presentaron una mayor vulnerabilidad (cerca de 9000 km² de área alterada - 24% del total del área de la cuenca), con una correlación positiva con la variabilidad de la precipitación pluviométrica y del régimen de caudales.

Palabras clave: La Niña e El Niño. Sostenibilidad hídrica. Vulnerabilidad.

1. INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica é definida como um conjunto de terras limitadas por uma rede de drenagem direcionada para um ponto determinado exutório (TARGA et al., 2012). Vittala et al. (2008) reiteram que bacias hidrográficas são unidades importantes para a administração dos recursos hídricos e para o planejamento ambiental, sendo caracterizadas como unidades de planejamento administrativo para fins de conservação dos recursos naturais. Ambos os contextos indicam a necessidade de entender a oferta hídrica da bacia e quais os fatores que mais interferem nesta.

O estudo do ciclo hidrológico e da resposta hidrológica de uma bacia hidrográfica estão associados à inter-relação complicada entre vários componentes hidrológicos, tais como precipitação, evaporação, transpiração, infiltração e escoamento; onde tanto o clima como a mudança de uso da terra têm implicações adversas no sistema hidrológico natural, os fatores que impulsionam tais mudanças incluem a altitude, inclinação, distância do rio, coeficiente de erosão do solo, distância das principais estradas, distância de uma área construída e densidade populacional (DWARAKISH; GANASRI, 2015; YAN et al., 2016).

Na obtenção de informações quanto à disponibilidade potencial de água deve-se avaliar o balanço hídrico climatológico (que tem como elementos de saída as informações sobre evapotranspiração real, excedente hídrico, déficit hídrico e disponibilidade hídrica), este representa a contabilização das entradas e saídas de água em um volume de solo vegetado, resultante do princípio de conservação de massa (CECÍLIO et al., 2012). As alterações do clima e do uso da terra são fatores-chave que podem modificar os regimes de fluxo e a disponibilidade de água; desde o Século XX, acredita-se que a variabilidade climática tenha conduzido a mudanças nos padrões de precipitação global, alterando assim o ciclo global da água e resultando na redistribuição temporal e espacial das vazões (YIN et al., 2017).

A variação sazonal da vazão, segundo Porporato (2011), pode ser associada à própria dinâmica natural do sistema climático reinante na bacia, com dois períodos distintos relacionados à distribuição espaço-temporal e altura de lâminas precipitadas, bem como das condições geológicas e pedo-geomorfológicas presentes; sendo estes aspectos vinculados as mudanças de uso e cobertura da terra, ou seja, em como as atividades antrópicas são capazes de intervir nesta dinâmica. Santos et al. (2015) e Nóbrega (2016) atribuem que a alta movimentação de pessoas e recursos (matéria-prima) pelos rios é atingida diretamente por sua sazonalidade, levantando a hipótese de que as populações que fazem as margens do rio seu habitat e dependem do mesmo para suas atividades como alimentação, procurem um meio de adaptar-se a tais mudanças.

O processo de ocupação do território brasileiro é marcado, historicamente, pela intensa exploração de seus recursos naturais e supressão da vegetação nativa, voltadas para diversas atividades antrópicas, com destaque para agropecuária e expansão da urbanização (FERREIRA; SANTOS, 2016); assim, monitorar as alterações na paisagem da região Amazônica é um fator de primordial importância no controle e planejamento racional de utilização do uso da terra e dos recursos hídricos, em função do avanço da ocupação do espaço físico.

A bacia do rio Capim, que faz parte de uma importante região hidrográfica da Amazônia Oriental (Região Hidrográfica Costa Atlântica Nordeste, Resolução n. 04/2008 do CERH-PA), encontra-se na porção que concentra a maior parte da população do estado do Pará, bem como as maiores taxas de crescimento econômico. Tais fatores, tem gerado impactos na paisagem, como por exemplo, o avanço do desmatamento e supressão da vegetação ripária.

Neste contexto, faz-se necessário avaliar o modelo do comportamento hidrológico da bacia do rio Capim e sua relação com as formas de uso e cobertura da terra, para identificação das condições que interferem no equilíbrio de seu balanço hídrico. Quando avaliado o comportamento da sazonalidade das vazões do rio Capim, com o uso do solo ao longo da bacia,

é provável levantar a hipótese que possivelmente estejam ocorrendo alterações nos padrões naturais de infiltração da água no solo, bem como o escoamento superficial, refletindo em pulsos com maiores magnitudes tanto das cheias, quanto das vazantes.

Conforme Targa et al. (2012) no processo de escoamento de água proveniente de precipitações máximas, ocorre a interação entre fatores como o uso e cobertura do solo, a declividade e a forma da bacia hidrográfica. Neste cenário, a maior alteração da superfície de uma bacia, pode causar a impermeabilização do solo, diminuição da infiltração e aumento do escoamento superficial favorecendo a ocorrência de cheias e inundações (PETCHPRAYOON et al., 2010; YAN et al., 2016).

Deste modo, a compreensão da dinâmica hídrica do rio Capim é essencial para o planejamento e gestão dos recursos hídricos, em ações de revitalização de nascentes e áreas de preservação permanente, recuperação de áreas degradadas, disseminação de técnicas de manejo do solo e água em áreas agrícolas, uso racional, abastecimento humano, dentre outros.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 - Localização da área de estudo

A bacia do rio Capim está localizada na região nordeste do estado do Pará, fazendo parte da Região Hidrográfica Costa Atlântica Nordeste (divisão hidrográfica estadual, Resolução n. 04/2008 do CERH-PA). (Figura 1). A configuração política – administrativa da bacia do rio Capim é representada por 7 municípios (São Domingos do Capim, Aurora do Pará, Ipixuna do Pará, Paragominas, Goianésia do Pará, Dom Eliseu e Rondon do Pará) perfazendo 90,42% da bacia e 10 municípios localizados em suas bordas, totalizando 5,7% da mesma, o restante representa a porção em território Maranhense (3,88%). Destes 7 municípios, 2 (Paragominas e Dom Eliseu) apresentam sua sede fora da bacia e mais de 50% de seu território na bacia.

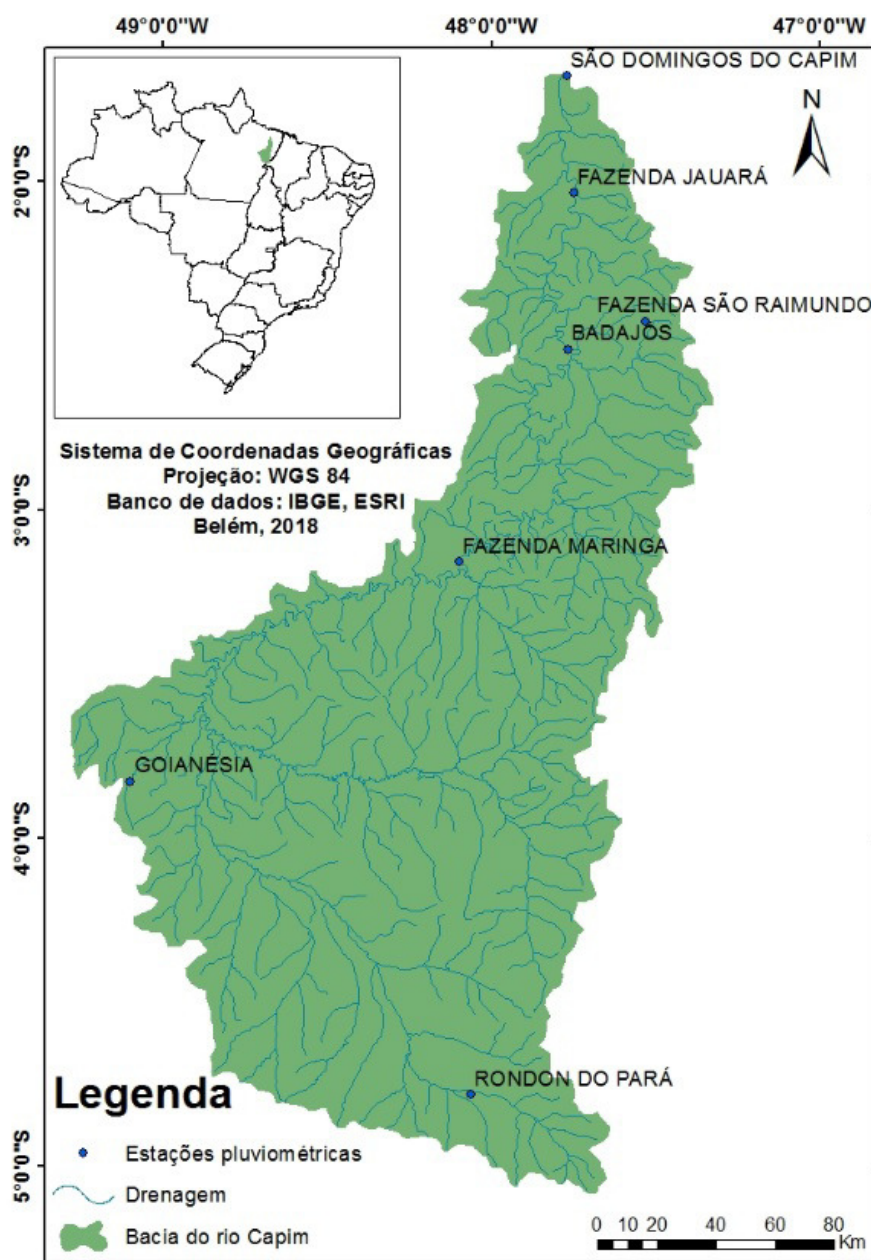


Figura 1 - Bacia hidrográfica do rio Capim

2.2 - Simulação do comportamento hidrológico da bacia e análise de uso e cobertura da terra

No desenvolvimento da base de informações foram empregados:

a) Dados de precipitação pluviométrica: oriundos do GPCC (Global Precipitation Climatology Centre - <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/gpcc-global-precipitation-climatology-centre>) - Precipitação Total V7 e V4, dados de Monitoramento (1,0°x1,0°) do total mensal (período 1981-2010): todos os produtos GPCC, referem-se a conjuntos de dados de precipitação em grades, com base em medidores para a superfície terrestre global, encontram-se disponíveis em resoluções espaciais de 1,0° x 1,0° e 2,5° x 2,5° (apenas mensalmente) por latitude e longitude, correspondendo a um banco de dados de precipitação mensal do mundo com mais de 97.000 estações; a versão a partir de 2015 pode apresentar 2,5° x 2,5°, 1,0° x 1,0°, 0,5° x 0,5° e 0,25° x 0,25° de resolução. Os produtos mensais de análise de precipitação do GPCC são

baseados em anomalias das normais climatológicas das estações, que são espacialmente interpoladas usando um robusto método de interpolação empírico (SPHEREMAP); este leva em conta: (i) as distâncias das estações até ao ponto da grade (para um número limitado de estações mais próximas); (ii) a distribuição direcional das estações em relação ao ponto da grade (para evitar sobreposição); e (iii) os gradientes de campo de dados no ambiente de ponto de grade. O Produto de Reanálise de Dados tem uma precisão muito maior, pois baseia-se em todas as estações (em tempo real e não em tempo real) da base de dados do GPCC (PASSOW, 2010; BECKER et al., 2013; SERRÃO et al., 2016).

b) Dados hidrológicos e estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA): foram adotadas as estações fluviométricas Badajós (Cód. 31700000, 1972-2007) e Faz. Maringá (Cód. 31680000, 1983-2006), estas foram importadas utilizando o sistema Hidroweb disponibilizado pela ANA. E 45 estações pluviométricas localizadas nos municípios componentes e do em torno da bacia, período de 1985 a 2015. A divisão em sub-bacias hidrográficas é a mesma adotada por Lima (2007).

c) Base cartográfica: disponibilizada pela Agência Nacional de Águas (<http://www.ana.gov.br>) através do sistema Hidroweb: rede de drenagem e limites de bacias hidrográficas (Sistema de Otto Bacias).

d) Processamento dos dados de precipitação pluviométrica.

e) Formas de uso e cobertura da Terra: os dados foram extraídos do Projeto TerraClass 2014 (EMBRAPA/INPE), cenas: PA - 222 (61, 62, 63), 223 (61, 62, 63) e 224 (62, 63); MA - 222 (61, 62, 63), 222 (64) e 223 (63, 64).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 - Caracterização da precipitação pluviométrica na bacia do rio Capim: adotando a série do GPCC

Segundo os dados do GPCC a distribuição da precipitação na bacia apresenta uma variação de sudeste (menores índices) para noroeste (maiores índices); com a distribuição estatística da Figura 2 e Tabela 1. Sendo Agosto-Setembro-Outubro o trimestre menos chuvoso e Fevereiro-Março-Abril o mais chuvoso; com máximo de 395 mm e mínimo de 34 mm (média mensal).

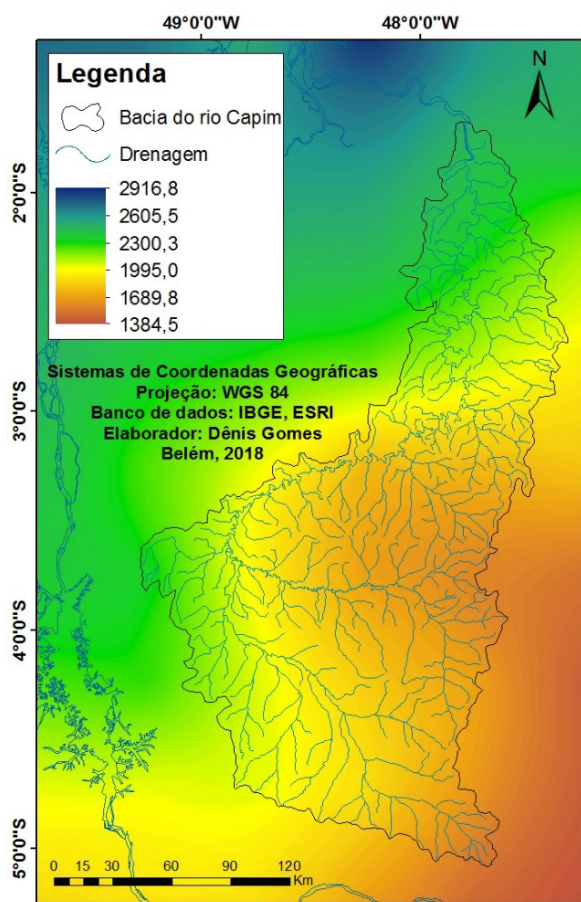


Figura 2 - Distribuição da precipitação na bacia segundo o GPCC (1981 a 2010 - acumulado anual).

Tabela 1. Estatística dos dados do GPCC: 1981 a 2010 (média mensal da precipitação).

Chuva(mm)	Média	Mediana	Mínimo	Máximo
JAN	268.2	263.3	162.9	398.0
FEV	316.6	308.6	174.9	504.3
MAR	395.0	403.1	214.2	578.7
ABR	339.1	353.2	163.4	504.0
MAI	222.6	228.7	62.9	356.8
JUN	110.7	91.2	12.0	238.2
JUL	81.6	54.1	6.3	194.5
AGO	50.2	39.5	6.3	152.6
SET	33.9	29.8	8.4	128.9
OUT	49.1	45.3	6.6	119.6
NOV	69.8	70.6	5.9	153.2
DEZ	142.6	146.2	48.8	226.1

Chuva (mm)	Percentil (25%)	Percentil (75%)	Desvio Padrão
JAN	226.3	311.9	52.9
FEV	264.5	367.6	69.3
MAR	357.5	442.2	72.6
ABR	282.6	394.2	79.6

MAI	142.0	299.3	86.9
JUN	31.7	186.9	75.0
JUL	18.6	149.4	65.6
AGO	14.1	75.9	39.2
SET	17.4	41.7	21.0
OUT	31.0	64.6	26.2
NOV	44.1	94.0	36.8
DEZ	104.6	186.0	50.8

Comparando-se com o obtido pelas estações da ANA (Figura 3), observa-se a mesma distribuição, porém com máximos menores que os obtidos pelo GPCC. Ressalta-se que os dados das estações vão de 1985 a 2015, abrangendo o último El Niño forte registrado

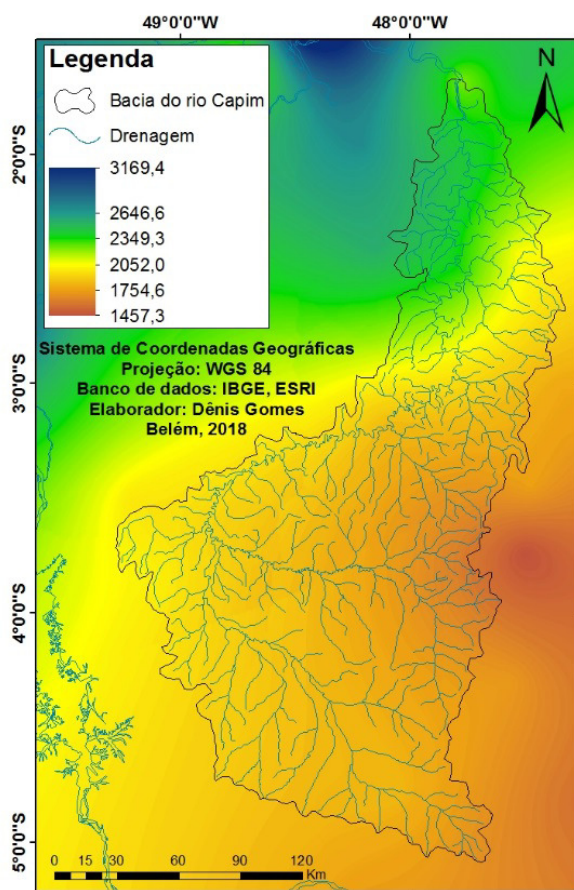


Figura 3 - Distribuição da precipitação na bacia segundo dados das estações da ANA (acumulado anual, 1985 a 2015).

3.2 - Caracterização da precipitação pluviométrica na bacia do rio Capim: ano de 2015

Para análise de eventos na bacia foi adotado o seguinte critério (Figura 4): La Niña - 2011, El Niño - 2015 e a série climatológica local. Este período justifica-se para posteriormente contextualizar com o mapeamento de uso e cobertura da terra na bacia que tem como ano base 2014. Assim os eventos próximos poderão ser analisados sob o mesmo contexto de paisagem. Segundo Marcuzzo e Romero (2013) as tendências dos altos índices de precipitação estão

associadas às anomalias de temperatura registradas em porções específicas do oceano Pacífico, provocando o aquecimento superficial das águas do Pacífico Equatorial ou o resfriamento, respectivamente denominados El Niño e La Niña; as alterações do comportamento climático, intensidade dos ventos alísios, precipitação, secas, cheias e frentes frias que atingem o Centro-sul Brasileiro, o Nordeste, e também a região Norte, representam o cenário que o El Niño e La Niña pode promover.

Limberger e Silva (2016) reforçam que dentre as anomalias de TSM (Temperatura da Superfície do Mar) destaca-se o El Niño - Oscilação Sul (ENOS), que apresenta influência nas chuvas da região amazônica, onde há uma correlação linear positiva da precipitação com o Índice de Oscilação Sul (IOS) aparentemente em quase toda a bacia amazônica, especialmente nas porções central e leste (onde localiza-se a bacia do rio Capim); sendo que a correlação máxima ocorre próximo à foz do rio Amazonas com valores maiores do que 0,7.

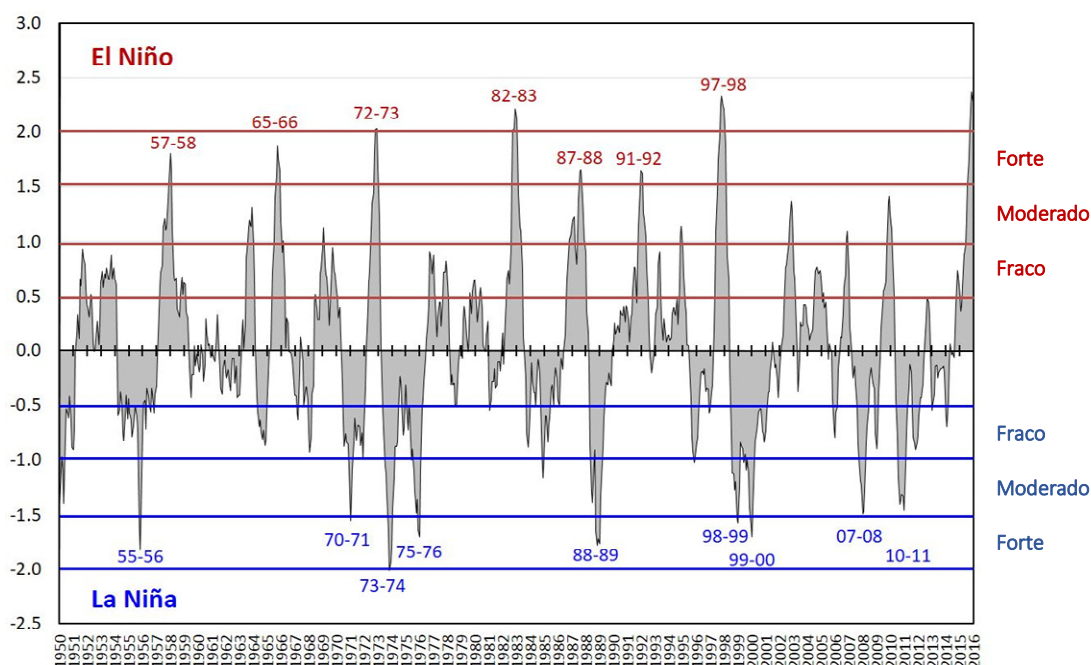


Figura 4 – Índice Oceânico de Niño; série histórica (1950 – 2016). Vermelho (El Niño), azul (La Niña); Classificação: Fraco, moderado, forte, muito forte. Fonte: NCEP/NOAA (2017) Adaptado.

O El Niño (EN) corresponde ao aquecimento anômalo da temperatura da superfície do mar (TSM) no oceano Pacífico Tropical central e leste, incluindo as vizinhanças da costa oeste da América do Sul (AS); a La Niña corresponde ao resfriamento anômalo da TSM no oceano Pacífico Tropical central e leste (PEREIRA et al., 2017). Esse fenômeno é explicado pelo deslocamento zonal da célula de Walker, onde a redução do movimento ascendente, propicia eventos de El Niño, e o enfraquecimento do ramo descendente os eventos La Niña, o que desencadeia, respectivamente, redução e aumento dos índices pluviométricos no norte-nordeste da América do Sul (SOUZA et al., 2004; LIMBERGER; SILVA, 2016).

A Figura 5 considera o resultado de apenas 3 estações posicionadas dentro da bacia do rio Capim. Onde observou-se a intensificação das chuvas no primeiro trimestre de 2015 (JFM), e no segundo trimestre (AMJ) há uma queda abrupta, principalmente, na transição de Maio para Junho, intercalando em altas e baixas de precipitação no terceiro e quarto trimestres

respectivamente. Analisando a precipitação mensal acumulada nos registros de cada estação pluviométrica, obteve-se os valores máximos de precipitação registrados que ocorreram no mês de março nas estações – 3152, 3291 e 3431, com valores de 448,3 mm, 442,5 mm e 459,4 mm, respectivamente, e os valores mínimos ocorreram no mês de Setembro com precipitações de 19,0 mm, 2,2 mm e 0,0 mm, nessas estações. Valores diferenciados dos verificados na Tabela 1. Com base na Figura 5, destaca-se que o El Niño ocorrido em 2015 foi um dos mais fortes registrados, podendo ter influenciado na precipitação da área da bacia do rio Capim (Figura 6).

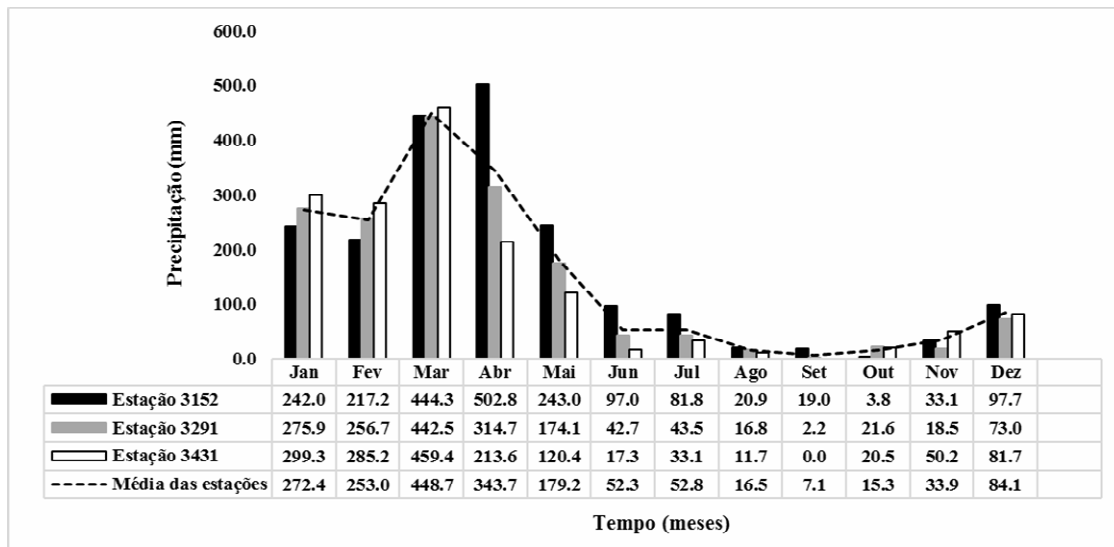


Figura 5 - Precipitação média mensal acumulada da bacia do rio Capim de 2015.

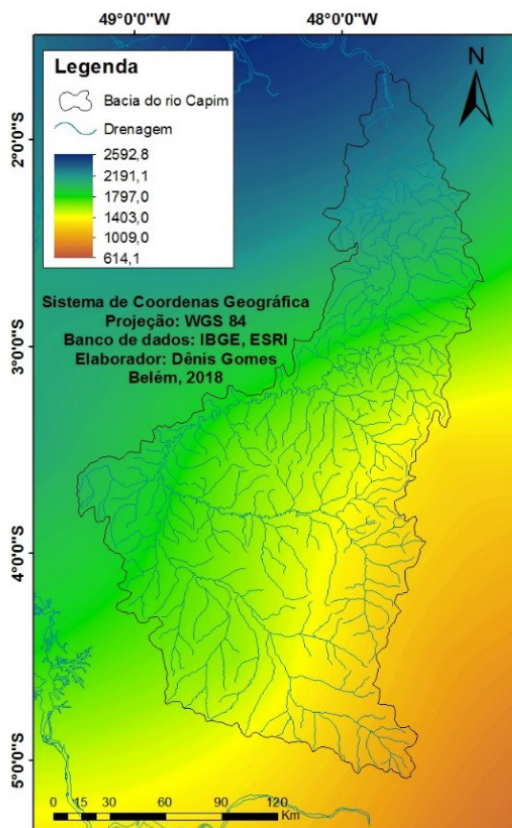


Figura 6 - Distribuição espacial da precipitação pluviométrica – ano 2015 (acumulado anual).

Tabela 2. Estatística dos dados: precipitação do ano 2015.

Chuva (mm)	Média	Mediana	Mínimo	Máximo
JAN	175.5	170.1	0.0	502.4
FEV	229.4	223.9	111.7	414.3
MAR	433.8	414.4	137.7	844.4
ABR	355.2	332.5	75.6	856.8
MAI	213.5	228.5	28.2	476.8
JUN	120.8	122.1	1.8	477.7
JUL	104.6	60.9	4.2	453.1
AGO	22.9	7.7	0.0	180.9
SET	14.5	1.0	0.0	118.2
OUT	12.8	4.8	0.0	92.9
NOV	23.7	5.1	0.0	163.4
DEZ	54.2	42.3	0.0	258.2

Chuva (mm)	Percentil (25%)	Percentil I (75%)	Desvio Padrão
JAN	81.9	253.0	117.3
FEV	187.9	274.1	72.2
MAR	346.4	491.4	134.5
ABR	264.6	418.1	148.6
MAI	111.8	284.1	113.2
JUN	30.8	178.0	101.0
JUL	29.8	173.8	99.7
AGO	0.0	33.6	34.5
SET	0.0	14.4	26.8
OUT	0.3	17.3	19.5
NOV	0.0	39.1	34.8
DEZ	9.1	81.2	57.8

Tabela 3. Estatística dos dados: ano 2015, análise de quartis, máximo e mínimos (média mensal).

Chuva (mm)	Mínimo	Máximo	Quartil (25%)	Quartil (50%)
JAN	0.0	502.4	81.9	170.1
FEV	111.7	414.3	187.9	223.9
MAR	137.7	844.4	346.4	414.4
ABR	75.6	856.8	264.6	332.5
MAI	28.2	476.8	111.8	228.5
JUN	1.8	477.7	30.8	122.1
JUL	4.2	453.1	29.8	60.9
AGO	0.0	180.9	0.0	7.7
SET	0.0	118.2	0.0	1.0
OUT	0.0	92.9	0.3	4.8
NOV	0.0	163.4	0.0	5.1
DEZ	0.0	258.2	9.1	42.3

Chuva (mm)	Quartil (75%)	Variação	Quartil (variação)
JAN	253.0	502.4	171.1
FEV	274.1	302.6	86.2
MAR	491.4	706.7	145.0
ABR	418.1	781.2	153.5
MAI	284.1	448.6	172.3
JUN	178.0	475.9	147.2
JUL	173.8	448.9	144.0
AGO	33.6	180.9	33.6
SET	14.4	118.2	14.4
OUT	17.3	92.9	17.0
NOV	39.1	163.4	39.1
DEZ	81.2	258.2	72.1

3.3 - Comportamento das vazões

A vazão de um rio é o resultado da precipitação que ocorre sobre a sua bacia, o balanço hídrico no solo, evapotranspiração e o escoamento pela bacia, rios, canais e reservatórios (TUCCI, 2013). As análises realizadas tomaram como base 3 momentos na bacia: 2011 (La Niña), 2015 (El Niño) e a série histórica da vazão. Neste caso, foram considerados os valores médios do trimestre menos chuvoso (Agosto-Setembro-Outubro), que indicaram nos testes realizados (análises de correlação chuva x vazão) serem os mais sensíveis a tais variações. De acordo com os dados obtidos da ANA (Figura 7), em 2011 (La Niña), observa-se um aumento da vazão acerca de 17,6 % na estação de Badajós (jusante) em relação a série histórica observada, tomando está para efeitos comparativos com anos de ENOS. No entanto, constatou-se uma considerável diminuição de 28 % na vazão do rio Capim devido ao baixo volume de precipitação provocada pelo forte El Niño registrado no ano 2015, apontando uma vazão média de 572 m³/s. Na estação Maringá (Figura 8) devido a ocorrência do fenômeno da La Niña, houve um acréscimo na vazão em torno de 15 % em relação ao seu comportamento padrão, que registrou

uma vazão média de 448 m³/s. Quanto ao ano de 2015, a presença do El Niño acarretou em uma redução na vazão de 23,1 %. Considerando a relação vazão e precipitação observa-se que a Estação de Badajós localizada a jusante da Estação da Faz. Maringá, já próximo a área de influência das marés, ainda prolonga o efeito das chuvas até abril-maio. Indicando um período de recarga do sistema de cerca de um mês.

Guedes et al. (2013), Macêdo et al. (2013) e Santos et al. (2016a) discutem a variabilidade do regime de vazões, onde os eventos extremos caracterizados por fenômenos de vazantes/cheias foram marcados por intensas anomalias de precipitação (negativas - El Niño, positivas - La Niña) em uma escala de tempo basicamente interanual; e que se complementaram com níveis baixos (altos) do estoque de água continental numa escala de tempo diferencialmente interdecadal. Loureiro et al. (2015) destacam que quando essa variabilidade é conhecida, os eventos extremos que são responsáveis (ou que agravam) por situações de estiagens e inundações, além de influenciarem nos usos múltiplos das águas (ex.: irrigação, hidroeletricidade e outros projetos envolvendo recursos hídricos) podem ser previstos.

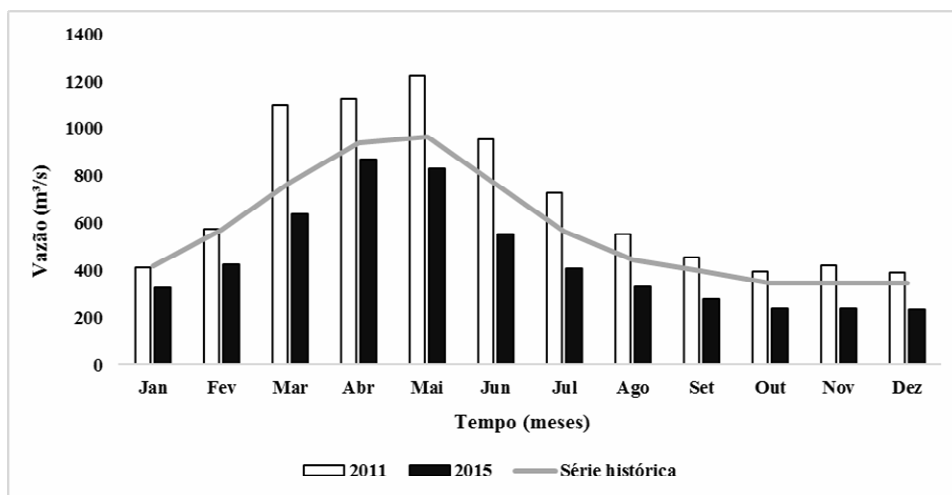


Figura 7 - Distribuição da vazão – acumulada mensal da estação Badajós.

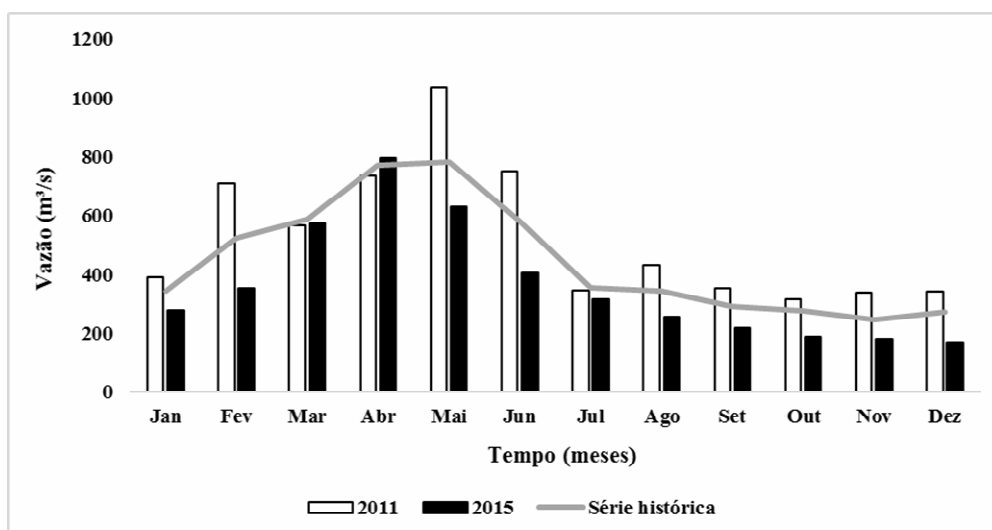


Figura 8 - Distribuição da vazão – acumulada mensal da estação Maringá.

3.4 - Comportamento das cotas

A distribuição espacial da precipitação interfere diretamente no regime hidrológico da bacia Amazônica e o comportamento dos períodos de cheias e secas dos níveis ou cotas dos rios. Tal ideia se confirma quando Santos et al. (2016b) e Franco et al. (2015) indicam as oscilações da cota mensal ao comparar os anos que ocorreram ENOS (El Niño e La Niña) com a média climatológica, o aumento da cota do rio Xingu iniciando em novembro até atingir o auge da cheia sazonal, a partir do mês de abril o nível fluviométrico do rio começa a descer progressivamente chegando a mínima da cota em setembro.

Considerando a relação cota e precipitação observa-se que existe uma influência dos ENOS no nível do rio Capim. A Figura 9 mostra um aumento de 15,4% na cota da estação Badajós no ano de 2011 correspondente a La Niña ocorrida neste período, em relação a série histórica que registrou a média de sua cota acerca de 484 cm. No ano de 2015 (El Niño), ocorreu uma baixa de aproximadamente 18,3% em seu nível em comparação aos padrões da cota. Guedes et al. (2013), Marcuzzo e Romero (2013) e Loureiro et al. (2015) destacam a influência do El Niño na redução das chuvas e a ocorrência da La Niña no aumento da pluviosidade na região Amazônia, discutindo seu efeito na variabilidade do comportamento de cotas e vazões. Na estação Maringá, em 2011, observa-se tal instabilidade (Figura 10) e um aumento significativo da cota com uma média de 6,9 % acima do comportamento padrão do nível, por causa do fenômeno da La Niña registrado. No ano de 2015 observa-se a redução de cerca de 14,3 % do nível das cotas do rio Capim em comparação com a série histórica.

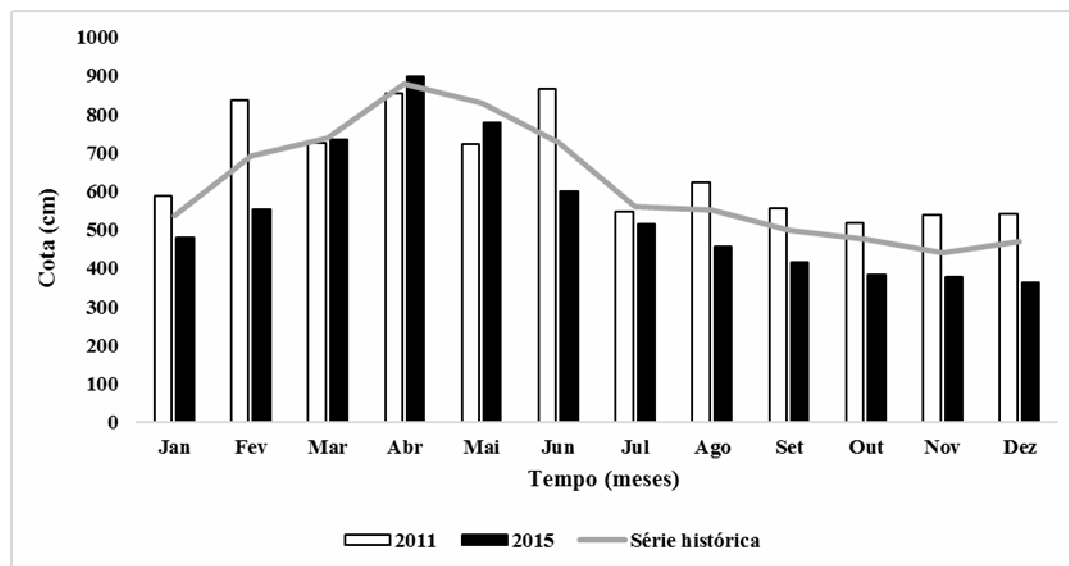


Figura 10 - Distribuição da cota – acumulada mensal da estação Maringá.

O monitoramento do regime pluviométrico relacionando com a cota e vazão das mais variadas bacias hidrográficas são de suma importância para a sociedade como alerta a defesa civil para áreas riscos de alagamentos, enxurradas e divulgação de informações para fins de pesquisa. A quantificação do volume de água incidente em uma determinada bacia hidrográfica num intervalo de tempo desejado é fundamental para a previsão e alerta de inundações (RIBEIRO; LIMA, 2011). Nesta situação, é preciso caracterizar os eventos pluviométricos que ocasionam as cheias, compreendendo a influência da distribuição espacial e temporal das chuvas e do volume precipitado na vazão. A compreensão dos efeitos da precipitação num rio é um fator de grande importância para estudos de previsão e controle de inundações, além da determinação do potencial hídricos para usos consuntivos e não-consuntivos (TUCCI, 2013).

3.5 - Uso e cobertura da terra da bacia do rio Capim

Na atualidade, o acelerado processo de desenvolvimento da sociedade tem deixado profundas marcas na superfície terrestre, exigindo desta forma, e com a mesma velocidade em que processam essas transformações, a investigação de forma sistemática de possíveis de possíveis alterações da interferência do homem sobre o ambiente (LEITE; ROSA, 2012). As formas de cobertura da terra são atribuídas, segundo Foresman et al. (1997), aos aspectos biofísicos, ligados as variações biogeográficas do clima, topografia e fatores edáficos; já as formas de uso da terra seriam vinculadas ao arranjo das atividades humanas com base na propriedade da terra, políticas de zoneamento e práticas de gestão apropriadas.

A bacia do rio Capim, segundo Lima (2007), apresenta como principais unidades hidrográficas os segmentos do Alto Capim, Médio Capim e Baixo Capim e as bacias hidrográficas afluentes dos rios Ararandeuá, Cauaxi, Ipixuna, Potiritá e Surubijú (Figura 11). A Tabela 4 apresenta a distribuição em termos de área.

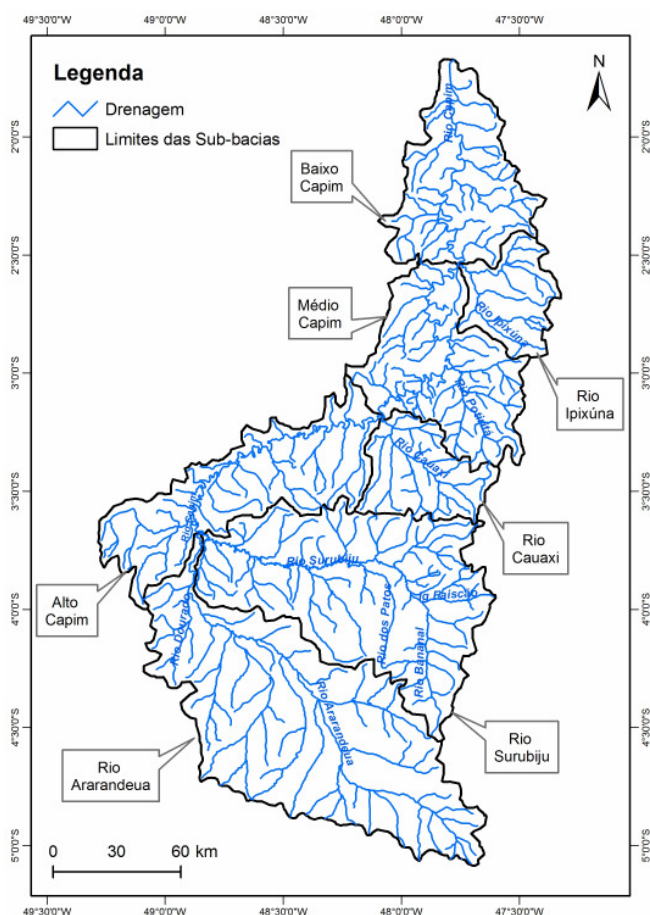


Figura 11 - Divisão hidrográfica da bacia do rio Capim.

Tabela 4. Principais unidades hidrográficas da bacia do rio Capim.

Sub-bacias	Área (km ²)
Alto Capim	5092,61
Ararandeuá	10746,40
Baixo Capim	4166,38
Cauaxi	2200,03
Ipixuna	1801,54
Médio Capim	2836,41
Potiritá	1787,02
Surubijú	8631,72

Considerando a classificação proposta pelo projeto TerraClass (2014), observam-se as categorias: Agricultura Anual, Área desflorestada, Área não observada (fragmento não classificado por estar coberto por nuvens), Outros (fragmentos não identificados quanto a natureza), Área urbana, Campos, Floresta, Hidrografia, Mosaico de ocupações, Área Urbana, Pasto (incluindo pasto com solo exposto, pasto sujo, pasto limpo e regeneração com pasto) e Vegetação secundária (Figura 13). Onde o total por classe de uso e cobertura da terra (Tabela 5) das principais categorias de conservação (Floresta e Vegetação Secundária) superam as de alteração (Agricultura Anual, Pasto, Área desflorestada, Mosaico de ocupações e Área Urbana): 22035,05 km² e 13042,88 km² respectivamente. Porém, como ilustrado na Figura 12, o melhor estado de conservação da bacia, localiza-se no Alto Capim e no Médio-baixo curso do rio Surubijú. De forma geral, as cabeceiras apresentam uma maior alteração. Sendo a atividade de pasto a de maior destaque em toda a bacia (Figura 13).

 Tabela 5. Quantitativo em área (km²) das classes de uso e cobertura da terra.

Área (km ²)/ Sub-bacias	Alto Capim	Baixo Capim	Cauaxi	Araran- deua	Total (km ²)
Agricultura Anual	34,17	0,66	44,71	242,22	802,36
Pasto	1333,35	1736,28	422,14	4976,39	11807,40
Área desflorestada	4,80	1,43	0,00	37,29	54,81
Mosaico de ocupações	25,53	157,76	3,53	58,00	330,19
Área urbana	14,21	4,41	0,00	24,21	48,12
Floresta	3026,65	788,31	1418,47	3660,24	16691,86
Vegetação secundária	522,87	799,87	246,91	1705,43	5329,44
Campos	0,02	2,77	0,00	0,00	13,75
Hidrografia	32,37	17,17	0,61	15,95	104,11
Área não observada	98,62	105,18	63,64	26,64	1401,94
Outros	0,00	552,51	0,00	0,00	677,95
Área (km ²)/Sub-bacias	Ipixuna	Médio Capim	Potiritá	Surubijú	Total (km ²)
Agricultura Anual	46,72	34,24	95,48	304,15	802,36
Pasto	816,49	567,37	432,71	1522,68	11807,40
Área desflorestada	0,39	4,48	0,58	5,85	54,81

Mosaico de ocupações	12,67	38,77	9,28	24,65	330,19
Área urbana	3,07	2,13	0,00	0,09	48,12
Floresta	359,11	1756,46	579,57	5103,04	16691,86
Vegetação secundária	377,85	309,87	385,43	981,21	5329,44
Campos	0,31	10,65	0,00	0,00	13,75
Hidrografia	0,07	27,56	0,56	9,82	104,11
Área não observada	115,15	84,88	260,65	647,17	1401,94
Outros	69,68	0,00	22,74	33,01	677,95

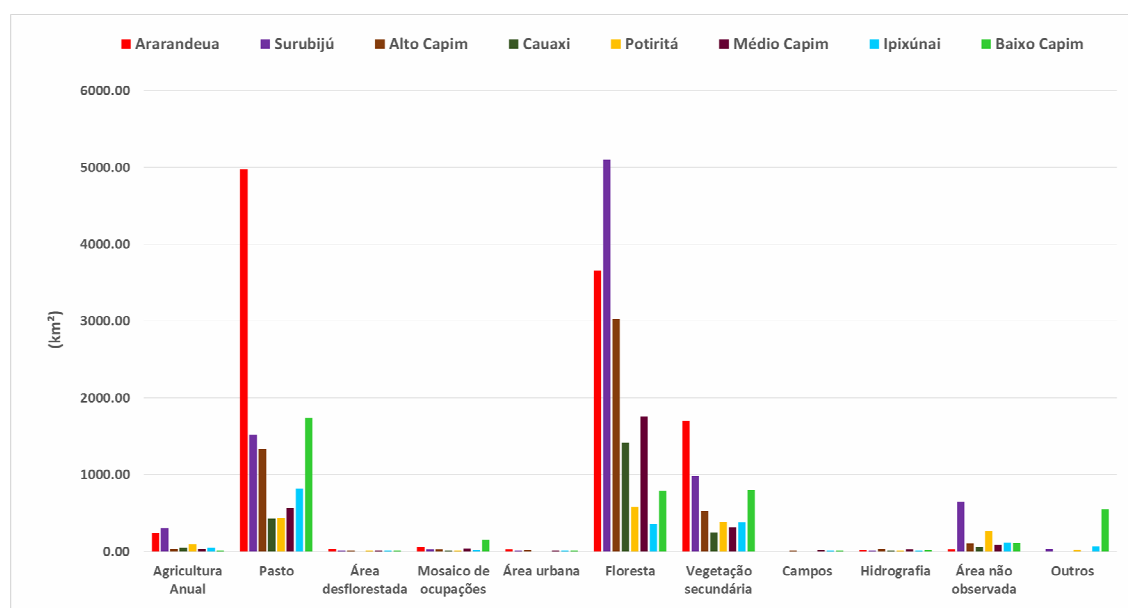


Figura 13 - Classes de uso e cobertura da terra da bacia do rio Capim e sua distribuição espacial.

Quando se observa a distribuição percentual, verifica-se que áreas de importante contribuição como a bacia do rio Ararandeuá e a área de foz (Baixo Capim) apresentam quase a metade de sua área totalmente alterada pelas formas de uso da terra (Tabela 5). Segundo a avaliação dos dados de vazão e cota da estação da Faz. Maringá, observa-se que esta foi sensível ao efeito dos ENOS. Como ela recebe a contribuição das principais bacias afluentes em área (Ararandeuá e Surubijú) e localiza-se já no limite com o Médio curso do rio Capim, as variações obtidas (Tabela 5) já são sentidas de forma significativa, vindo apenas a receber um incremento a montante na estação de Badajós, que já marca o limite da área de influência de maré na bacia.

A relação deste comportamento com as formas de uso e ocupação pode ser justificada pelo grau de alteração decrescente das cabeceiras das bacias afluentes em direção ao rio Capim, ou seja, este concentra-se na faixa das drenagens de nascente, sendo mais intenso na sub-bacia do rio Ararandeuá. O incremento de 30% do efeito geral das vazões, pode ser associado tanto ao potencial de escoamento superficial quanto a menor perda por interceptação pela cobertura vegetal e infiltração. Destaca-se que esta região (Alto Capim, Ararandeuá, Cauaxi e Surubijú) apresenta cerca de 9000 km² de área alterada (Agricultura Anual, Pasto, Área desflorestada, Mosaico de ocupações e Área Urbana), que representa cerca de 24% do total da área da bacia.

Tabela 5. Resposta segundo os dados hidrológicos.

ENOS x variação observada	Estação Badajós (Baixo Capim)	Estação Faz. Maringá (Limite entre o Alto e Médio Capim)
2011 (La Niña)		
Cota	(+)15,4%	(+)6,9%
Vazão	(+)17,6%	(+)15%
2015 (El Niño)		
Cota	(-)18,3%	(-)14,3%
Vazão	(-)28%	(-)23,101 %

Tali e Kanth (2013) afirmam que as alterações resultantes das formas de uso da terra, acarretam em modificações nas taxas de escoamento superficial, evaporação e infiltração, pela maior exposição do solo aos efeitos da radiação solar e perdas de solo por erosão. Desta forma, a bacia do rio Capim torna-se mais vulnerável em seu alto curso, que é responsável pela principal contribuição para a manutenção das vazões existentes. A distribuição da precipitação pluviométrica, também contribui para influenciar o quadro instalado de uso e cobertura da terra, uma vez que as maiores variações no regime de chuvas também encontram-se nas cabeceiras.

Lei e Zhu (2017) e Petchprayoon et al. (2010) indicam que importantes variáveis que influenciam as relações de precipitação-vazão podem ser creditados as formas de uso e cobertura da terra, incluindo as mudanças detectáveis em terras urbanas, florestadas e agrícolas. Apesar da diversidade de estudos (MACHADO et al., 2010; FILHO et al., 2012; ALEXAKIS et al., 2014; DIAS et al., 2015; DWARAKISH; GANASRI, 2015; GUZHA et al., 2015) as relações entre os impactos das formas de uso e cobertura da terra sobre a hidrologia das bacias hidrográficas, ainda não são conclusivas. Guzha et al. (2018) argumentam que o funcionamento da bacia hidrográfica e sua relação com as áreas de cobertura vegetal é bem conhecido, não se aplicando a mesma lógica para as bacias hidrográficas com padrões fragmentados e dinâmicos de uso da terra, onde há o aumento da incerteza nas correlações entre a assinatura hidrológica observada e as manchas de uso identificadas.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados observados permitiram caracterizar o comportamento da precipitação pluviométrica na bacia do rio Capim, sua distribuição mensal e espacial. E observar a relação do comportamento da chuva com as vazões. Indicando que existe uma relação desta com a manutenção da sustentabilidade hídrica. Observou-se variações nos regimes de cotas e vazões nos anos de 2011 (La Niña), 2013 (sem influência de ENOS) e 2015 (El Niño). A maior alteração foi influenciada pelo evento de La Niña na cota e vazão da jusante da estação de Badajós. Entretanto, os efeitos menores do El Niño podem ser entendidos como definidores do comportamento da variação de nível e vazões associadas.

As formas de uso e cobertura da terra influenciam na intensidade destes fenômenos, uma vez que as maiores variações observadas, coincidem com a ocorrência de extensas áreas com percentuais e distribuição espacial heterogêneos quanto a cobertura vegetal e as áreas alteradas com atividades do setor produtivo e mosaico de ocupações. A evolução desta paisagem na bacia pode comprometer no futuro a sustentabilidade hídrica voltada ao atendimento dos usos múltiplos das águas, notadamente nas áreas de abastecimento humano, dessedentação animal e produção agropecuária-industrial, vinculadas aos setores alimentício e mineração.

REFERÊNCIAS

- ALEXAKIS, D. D.; GRILLAKIS, M. G.; KOUTROULIS, A. G.; AGAPIOU, A.; THEMISTOCLEOUS, K.; TSANIS, I. K.; MICHAELIDES, S.; PASHIARDIS, S.; DEMETRIOU, C.; ARISTEIDOU, K.; RETALIS, A.; TYMVIOS, F.; HADJIMITSIS, D. G. GIS and remote sensing techniques for the assessment of land use change impact on flood hydrology: the case study of Yialias basin in Cyprus. **Nat. Hazards Earth Syst. Sci.**, v. 14, p. 413-426, 2014.
- BECKER, A.; FINGER, P.; MEYER-CHRISTOFFER, A.; RUDOLF, B.; SCHAMM, K.; SCHNEIDER, U.; ZIESE, M. A description of the global land-surface precipitation data products of the Global Precipitation Climatology Centre with sample applications including centennial (trend) analysis from 1901-present. **Earth Syst. Sci. Data**, v. 5, p. 71-99, 2013.
- CECÍLIO, R. A.; SILVA, K. R.; XAVIER, A. C.; PEZZOPANE, J. R. M. Método para a espacialização dos elementos do balanço hídrico. **Pesq. agropec. bras.**, v. 47, n. 4, p.: 478-488, 2012.
- DIAS, L. C. P.; MACEDO, M. N.; COSTA, M. H.; COE, M. T.; NEILL, C. Effects of land cover change on evapotranspiration and streamflow of small catchments in the Upper Xingu River Basin, Brazil. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 4B, p. 108-122, 2015.
- DWARAKISH, G. S.; GANASRI, B. P. Impact of land use change on hydrological systems: a review of current modeling approaches. **Cogent Geoscience**, v. 1, p. 1-18, 2015.
- FERREIRA, M. D. P.; COELHO, A. B. Desmatamento recente nos Estados da Amazônia Legal: uma análise da contribuição dos preços agrícolas e das políticas governamentais. **Rev. Econ. Sociol. Rural**, v. 53, n. 1, p. 91-108, 2015.
- FILHO, G. M. M.; ANDRADE, R. S.; ZUKOWSKI JUNIOR, J. C.; MAGALHAES FILHO, L. N. L. Modelos hidrológicos: conceitos e aplicabilidades. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 6, n. 2, p. 35-47, 2012.
- FORESMAN, T. W.; PICKETT, S. T. A.; ZIPPERER, W. C. Methods for spatial and temporal land use and land cover assessment for urban ecosystems and application in the greater Baltimore-Chesapeake region. **Urban Ecosystems**, v. 1, p. 201-216, 1997.
- FRANCO, V. S.; SOUZA, E. B.; PINHEIRO, A. N.; DIAS, T. S. S.; AZEVEDO, F. T. M.; SANTOS, J. C. C. Evolução mensal da cota fluviométrica do Rio Xingu em Altamira-PA associada ao El Niño e La Niña. **Ciência e Natura**, v. 37, p. 104-109, 2015.
- GUEDES, A. E. D. S.; CÂNDIDO, L. A.; SANTO, A. R. S. E. Variabilidade do estoque de água continental e sua relação com as cheias e vazantes extremas na Amazônia. **Ambi-Água**, v. 8, n. 2, p. 88-99, 2013.
- GUZHA, A. C.; NÓBREGA, R. L. B.; KOVACS, K.; REBOLA-LICHTENBERG, J.; AMORIM, R. S. S.; GEROLD, G. Characterizing rainfall-runoff signatures from micro-catchments with contrasting land cover characteristics in southern Amazonia. **Hydrological Processes**, v. 29, p. 508-521, 2015.
- GUZHA, A. C.; RUFINO, M. C.; OKOTH, S.; JACOBS, S.; NÓBREGA, R. L. B. Impacts of land use and land cover change on surface runoff, discharge and low flows: Evidence from East Africa. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 15, p. 49-67, 2018.
- KROLOW, I. R. C.; PELLEGRINI, A.; ALVAREZ, J. W. R.; KROLOW, D. R. V.; TROIAN, A.; SANTOS, D. R.; REICHERT, J. M. Fenômenos El Niño e La Niña em duas bacias hidrográficas na mesorregião centro ocidental rio-grandense: assentamento alvorada. **Revista Nera**, n. 37, p. 296-297, 2017.
- LEI, C. ZHU, L. Spatio-temporal variability of land use/land cover change (LULCC) within the Huron River: Effects on stream flows. **Climate Risk Management**, v. 19, 2017.
- LEITE, E. F.; ROSA, R. Análise do uso, ocupação e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Formiga, Tocantins. **Revista Eletrônica de Geografia**, v. 4, n. 12, p. 90-106, 2012.
- LIMA, A. M. M. **O planejamento estratégico e a gestão da oferta hídrica baseados no estudo da paisagem, na bacia do Rio Capim – PA**. 2007. 313 f. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Pará, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Belém-PA.
- LIMBERGER, L.; SILVA, M. E. S. Precipitação na bacia amazônica e sua associação à variabilidade da temperatura da superfície dos oceanos Pacífico e Atlântico: uma revisão. **GeoUSP**, v. 20, n. 3, p. 657-675, 2016.
- LOUREIRO, G. E.; FERNANDES, L. L.; ISHIHARA, J. H. Spatial and temporal variability of rainfall in the Tocantins-Araguaia hydrographic region. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 37, n. 1, p. 89-98, 2015.
- MACÊDO, M. N. C.; DIAS, H. C. T.; COELHO, F. M. G.; ARAÚJO, E. A.; SOUZA, M. L. H.; SILVA, E. Precipitação pluviométrica e vazão da bacia hidrográfica do Riozinho do Rôla, Amazônia Ocidental. **Ambi-Água**, v. 8, n. 1, p. 206-221, 2013.
- MACHADO, R. L.; CEDDIA, M. B.; CARVALHO, B. F.; CRUZ, E. S.; FRANCELINO, M. R. Spatial variability of maximum annual daily rain under different return periods at the Rio de Janeiro State, Brazil. **Bragantia**, v. 69, p. 77-84, 2010.
- MARCUZZO, F. F. N.; ROMERO, V. Influência do El Niño e La Niña na precipitação máxima diária do estado Goiás. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 4, 429-440, 2013.

- NOAA. **The Oceanic Niño Index (ONI)**. Disponível em: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-variability-oceanic-ni%C3%B1o-index>. 2017.
- NÓBREGA, R. S. A hydrological-modeling study of the impact of land use/land cover and climate change on runoff in a watershed in the western Brazilian Amazonia. **GEAMA - The Journal of environment**, v. 2, n. 2, p. 106-120, 2016.
- PASSOW, M. J. TRMM - Tropical Rainfall Measuring Mission: Bringing remote sensing of precipitation into your classroom. **Terra e Didática**, v. 6, n. 1, p.: 3-8, 2010.
- PEREIRA, H. R.; REBOITA, M. S.; AMBRIZZI, T. Características da Atmosfera na Primavera Austral Durante o El Niño de 2015/2016. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 2, p. 293-310, 2017.
- PETCHPRAYOON, P.; BLANKEN, P. D.; EKKAWATPANIT, C.; HUSSEIN, K. Hydrological impacts of land use/land cover change in a large river basin in central-northern Thailand. **International Journal of Climatology**, v. 30, n. 13, p. 1917-1930, 2010.
- PORPORATO, A. Hydrology: melting to the max. **Nature**, 470, 439, 2011.
- Precipitação na bacia amazônica e sua associação à variabilidade da temperatura da superfície dos oceanos Pacífico e Atlântico: uma revisão (PDF Download Available). Available from: https://www.researchgate.net/publication/314714412_Precipitacao_na_bacia_amazonica_e_sua_associacao_a_variabilidade_da_temperatura_da_superficie_dos_oceanos_Pacifico_e_Atlantico_uma_revisao [accessed Jan 23 2018].
- RIBEIRO, C. B. M.; LIMA, R. N. Simulação de inundações urbanas a partir da integração de técnicas de geoprocessamento à modelagem hidráulica e hidrológica. *Revista de Geografia*, v. 2, n. 1, p. 1-9, 2011.
- SANTOS E SILVA, C. M.; LUCIO, P. S.; SPYRIDES, M. H. C. Distribuição espacial da precipitação sobre o Rio Grande do Norte: estimativas via satélite e medidas por pluviômetros. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 3, p. 337-346, 2012.
- SANTOS, C. A.; LIMA, A. M. M.; FRANCO, V. S.; ARAUJO, I. B.; MENEZES, J. F. G.; GOMES, N. M. O. Distribuição espacial da precipitação na bacia hidrográfica do rio Xingu. **Nucleus**, v. 13, p. 81A-88A, 2016a.
- SANTOS, C. A.; LIMA, A. M. M.; SERRÃO, E. A. O.; FARIAS, H. C. S.; WANZELER, R. T. S.; ARAUJO, I. B. Modelo de previsão fluviométrica para o rio Xingu na cidade de Altamira-PA. *Revista Internacional de Ciências*, v. 06, n. 02, p. 230-243, 2016b.
- SANTOS, C. A.; ARAUJO, I. B.; WANZELER, R. T. S.; SERRÃO, E. A. O.; FARIAS, H. C. S.; LIMA, A. M. M. Regionalização hidroclimatológica da bacia hidrográfica do rio Tapajós. **Revista Geografia Acadêmica**, v. 9, n. 1, 2015.
- SERRÃO, E. A. O.; WANZELER, R. T. S.; SANTOS, C. A.; GONÇALVES, L. J. M.; LIMA, A. M. M.; ROCHA, E. J. P. Avaliação estatística entre as estimativas de precipitação da constelação GPM com satélite TRMM: uma análise a bacia hidrográfica do rio Solimões. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, p. 256-275, 2016.
- SERRÃO, E.; SANTOS, C.; WANZELER, R.; LIMA, A. Avaliação da seca de 2005 e 2010 na Amazônia: Análise de bacia hidrográfica do rio Solimões. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 9, n. 2, p. 5-20, 2015.
- SOUZA, E. B.; AMBRIZZI, T.; COELHO, C. A. S. Two ENSO episodes with reversed impacts on the regional precipitation of northeastern South America. **Meteorológica**, v. 29, n. 1/2, p. 5-16, 2004.
- superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil. **Ambi-Agua**, v. 7, n. 2, p. 120-142, 2012.
- TALI, P. A.; KANTH, T. A. Impact of land use/land cover change on runoff regime of the Upper Jhelum catchment. **Revista de geomorfologie**, v. 15, p. 29-37, 2013.
- TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DINIZ, H. D.; DIAS, N. W.; MATOS, F. C. Urbanização e escoamento
- TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2013, 943 p.
- VITTALA, S. S.; GOVINDAIAH, S.; GOWDA, H. H. Prioritization of sub-watersheds for sustainable development and management of natural resources: Na integrated approach using remote sensing, GIS and sócio-economic data. **Current Science**, v. 95, n. 3, p. 345-354, 2008.
- YAN, R.; GAO, J.; LI, L. Modeling the hydrological effects of climate and land use/cover changes in Chinese lowland polder using an improved WALRUS model. **Hydrology Research**, v. 47, p. 34-98, 2016.
- YIN, J.; HE, F.; XIONG, W. Y.; QIU, G. Y. Effects of land use/land cover and climate changes on surface runoff in a semi-humid and semi-arid transition zone in northwest China. **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, v. 21, p. 183-196, 2017.