



## **REGIONALIZAÇÃO HIDROCLIMATOLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TAPAJÓS**

### **HYDROCLIMATIC REGIONALIZATION OF THE TAPAJÓS RIVER WATERSHED**

### **REGIONALIZACIÓN HIDROCLIMATOLÓGICA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO TAPAJÓS**

Cleber Assis dos Santos

Universidade Federal do Pará ó Graduando em Meteorologia

Laboratório de Modelagem e Estudos Hidroambientais, Rua Augusto Corrêa, 01, CEP: 66075-110, Belém, Pará  
cleber\_ufpa@yahoo.com.br

Ivinny Barros de Araujo

Universidade Federal do Pará ó Graduando em Geologia

Laboratório de Modelagem e Estudos Hidroambientais, Rua Augusto Corrêa, 01, CEP: 66075-110, Belém, Pará  
ivinny\_barros@gmail.com

Romero Thiago Sobrinho Wanzeler

Universidade Federal do Pará ó Graduando em Meteorologia

Laboratório de Instrumentos Meteorológicos de Observação, Rua Augusto Corrêa, 01, CEP: 66075-110, Belém, Pará  
romero-thiago@hotmail.com

Edivaldo Afonso de Oliveira Serrão

Universidade Federal do Pará ó Graduando em Meteorologia

Laboratório de Modelagem e Estudos Hidroambientais, Rua Augusto Corrêa, 01, CEP: 66075-110, Belém, Pará  
oliveiraserrao@gmail.com

Monique Helen Cravo Soares Farias

Universidade do Estado do Pará ó Mestranda em Ciências Ambientais

Centro de Ciências Naturais e Tecnologia, Tv. Dr. Enéas Pinheiro, 2626, CEP: 66095-015, Belém - PA  
adm.moniquefarias@gmail.com

Aline Maria Meiguins de Lima

Universidade Federal do Pará ó Profª Dra do Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais

Laboratório de Modelagem e Estudos Hidroambientais, Rua Augusto Corrêa, 01, CEP: 66075-110, Belém, Pará  
alinemiguins@gmail.com

#### **RESUMO**

O principal objetivo deste trabalho foi avaliar a relação chuva-cota-vazão para a bacia do rio Tapajós e sua relação com os sistemas climáticos que influenciam no seu comportamento. Utilizou-se as médias mensais dos dados fluviométricos do acervo hidroclimatológico da Agência Nacional de Águas e dados mensais de precipitação do período de 1981 à 2010 provenientes do GPCC (Global Precipitation Climatology Center). As médias de precipitação variaram entre 1474 mm até 2512 mm, onde as cabeceiras da bacia hidrográfica do rio Tapajós apresentam os menores valores e a região central da bacia os maiores valores de precipitação. A sub bacia hidrográfica que mais contribui para a vazão no rio Tapajós é a sub bacia do rio Juruena, com uma vazão anual média de 4655 m<sup>3</sup>/s. A sub bacia do rio Teles Pires tem uma contribuição anual média de 3667 m<sup>3</sup>/s. A contribuição destes afluentes e outros afluentes do Médio Baixo Tapajós, totalizam na estação fluviométrica de Itaituba a vazão anual média de 12259 m<sup>3</sup>/s. Os dados de cota fluviométrica mostram que os maiores valores estão na foz do rio Teles Pires (700 cm/ano), seguido da foz do rio Juruena (623 cm/ano) e do rio Tapajós na estação de Itaituba (545 cm/ano).

**Palavras-chave:** Cota, vazão, precipitação pluviométrica, sistemas meteorológicos, bacia hidrográfica do rio Tapajós.

## ABSTRACT

The main objective of this study was to assess the rain-quota-flow relation for the Tapajós watershed and its relation with climate systems that influence their behavior. Were used the monthly averages of fluviometric data from hydroclimatic collection of the National Agency of Water and precipitation monthly datas of the period of 1981 at 2010 from GPCC (Global Precipitation Climatology Center). The averages of precipitation ranged between 1474 mm to 2512 mm, where the headwaters of the Tapajós River watershed presented the lowest values and the central part of the watershed, the highest precipitation values. The sub watershed that most contributes to the flow in Tapajós River is the sub watershed of Juruena River, with an average annual flow of 4655 m<sup>3</sup>/s. The sub watershed of the Teles Pires River has an average annual contribution of 3667 m<sup>3</sup>/s. The contribution of these tributaries and other tributaries of the medium low Tapajós River, totaling in fluviometric station from Itaituba the average annual flow of 12259 m<sup>3</sup>/s. The fluviometric quota data show that the highest values are in the mouth of Teles Pires River (700 cm/year), followed by the mouth of Juruena River (623 cm/year) and the Tapajós River Station in Itaituba (545 cm/year).

**Keywords:** Cota, flow, rainfall, meteorological systems, watershed Tapajos River.

## RESUMEN

El principal objetivo de este estudio fue evaluar la relación lluvia-cuota-caudal de la Cuenca del Tapajós y su relación con los sistemas climáticos que influyen en su comportamiento. Para ello se ha utilizado el promedio mensual de datos fluviométricos del colección hidroclimatológico de la Agencia Nacional del Agua y los datos de precipitación mensual a partir del período 1981-2010 de GPCC (Global Precipitation Climatology Center). La precipitación media oscila entre 1474 mm a 2512 mm, en la cabecera de la cuenca del río Tapajós tienen los valores más bajos y la región central de la cuenca los valores de precipitaciones mayores. La subcuenca hidrográfica que más contribuye al caudal de lo río Tapajós es la subcuenca del río Juruena, con el caudal medio anual de 4655 m<sup>3</sup>/s. La subcuenca del río Teles Pires tiene una aportación media anual de 3667 m<sup>3</sup>/s. La contribución de estos afluentes y otros afluentes del Médio Baixo Tapajós pueden llegar al caudal medio anual de 12259 m<sup>3</sup>/s en la estación fluviométrica de Itaituba. Los datos de cuota fluviométrica muestran que los valores más altos se encuentran en la desembocadura del río Teles Pires (700 cm/año), seguido de la desembocadura del río Juruena (623 cm/año) y del río Tapajós en la estación de Itaituba (545 cm/año).

**Palabras clave:** Cuota, caudal, precipitación pluviométrica, sistemas meteorológicos, Cuenca hidrográfica del Río Tapajós.

## 1. INTRODUÇÃO

A bacia do rio Tapajós é afluente da margem direita do rio Amazonas, representa uma bacia federal (por drenar mais de um Estado) e de importante contribuição para manutenção dos ecossistemas amazônicos, configurando também áreas de diferentes potenciais à exploração dos recursos naturais. Com aproximadamente 1.260.000 habitantes (IBGE, 2010), detém 6% do território brasileiro e conta com 25% do potencial hidrelétrico da Amazônia, que responde por 70% do potencial nacional (BRASIL, 2005).

Esta bacia hidrográfica destaca-se pelo potencial energético (hidroeletricidade), abastecimento de água para o consumo humano e dessedentação de animais. Sendo um exemplo da função social das águas como um bem de consumo final ou intermediário na quase totalidade das atividades humanas (SANTOS et al., 2010), que deve ser utilizado pelo homem para sua sobrevivência e melhoria de suas condições econômicas, sociais e comunitárias (TUCCI, 2008).

A realização de estudos hidrológicos em bacias hidrográficas vem da necessidade de se compreender os processos que controlam o movimento da água e os impactos de mudanças do uso da terra sobre a quantidade e qualidade da água (WHITEHEAD; ROBINSON, 1993); a regionalização da informação hidrológica possibilita suprir as deficiências de informações e compor o perfil de funcionamento das bacias,

fornecendo valores quantitativos de vazão e/ou variação de nível.

A regionalização consiste num conjunto de ferramentas que explora ao máximo as informações existentes, visando à estimativa das variáveis hidrológicas em locais sem dados ou insuficientes, podendo ser usada para melhor explorar amostras pontuais e, em consequência, melhorar as estimativas de variáveis (TUCCI, 2001).

Dois dos componentes essenciais na regionalização hidrológica são a cota fluviométrica e vazão de referência. Segundo Porto (2000), o estudo da vazão é essencial para o planejamento e execução das obras envolvendo recursos hídricos, tais como barragens, canais, sistemas de drenagens e muitos outros. Segundo Tucci (2001), a estimativa da vazão máxima torna-se importante para o controle de inundações e dimensionamento de obras hidráulicas. Para Silveira et al. (2003), as vazões mínimas são importantes em estudos de disponibilidade hídrica, pois é na ocorrência destas vazões que a disponibilidade de água é considerada crítica para atender todas as demandas.

Machado et al. (2010), consideram que as chuvas influenciam na infraestrutura e nos recursos naturais dentro das cidades, podendo ocorrer eventos como enchentes, erosões e consequente danificação de obras. A precipitação pluviométrica é um dos elementos mais irregulares espacial e temporalmente; e causa impactos em diversas atividades humanas (SILVA et al., 2009).

A sazonalidade dos rios, alternando entre períodos de águas altas (cheias) e águas baixas (secas) produz espacialidades distintas no cenário amazônico. A constante circulação de pessoas e bens pelos rios é afetada diretamente por essa sazonalidade, presumindo assim, que as populações que habitam as margens dos rios e que deles dependem para a execução de suas atividades diárias, busquem adaptar-se a estas mudanças (SAMPAIO et al., 2012).

Diante do exposto, este trabalho objetiva fazer a regionalização hidroclimatológica de precipitação pluviométrica e cota e vazão fluviométrica na bacia hidrográfica do rio Tapajós definindo assim a sazonalidade interanual dos aspectos hídricos.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A bacia hidrográfica do rio Tapajós está localizada entre as coordenadas de 02°14'38" e 14°55'44"/Sul e 53°49'34" e 60°7'48"/Oeste. Seus dois principais afluentes são os rios Juruena e Teles Pires ou São Manuel. Drena uma área de aproximadamente 492 mil km<sup>2</sup> dividida entre os estados do Amazonas (3%), Pará (38%) e Mato Grosso (59%); com 45 sedes municipais localizadas no Pará (18%) e no Mato Grosso (82%) (Figura 1). O rio Tapajós possui uma extensão de aproximadamente 146 km e drena uma área de aproximadamente 131 mil km<sup>2</sup>, distribuído entre os estados do Amazonas e Pará.

Segundo Kottek et al. (2006), a bacia hidrográfica do rio Tapajós apresenta duas tipologias climáticas dentro da classificação climática de Köppen-Geiger (Figura 2). Na sua parte superior (aproximadamente entre as coordenadas de 02°14'38" e 10°00'00"/Sul) seu clima é classificado como Am, se caracterizando pelo clima tropical de monção, com uma breve estação seca e com chuvas intensas durante o resto do ano, o mês mais frio tem temperatura média superior a 18°C e precipitação pluvial anual oscilando em torno de 2000 mm. Em sua parte inferior (aproximadamente entre as coordenadas de 10°00'00" e 14°55'44"/Sul) a climatologia classifica como sendo Aw, com chuvas de verão, característica climática de regiões de savana, podendo atingir 1800 mm/ano (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

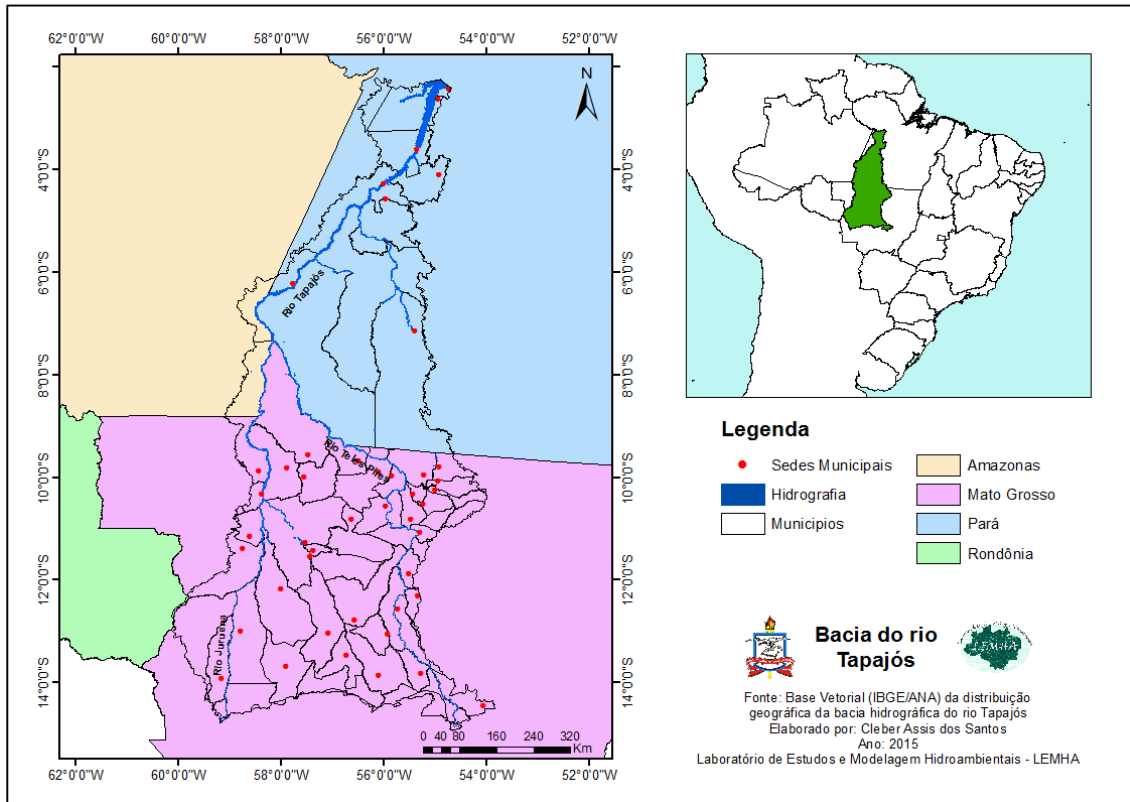


Figura 1 ó Distribuição geográfica da bacia hidrográfica do rio Tapajós.

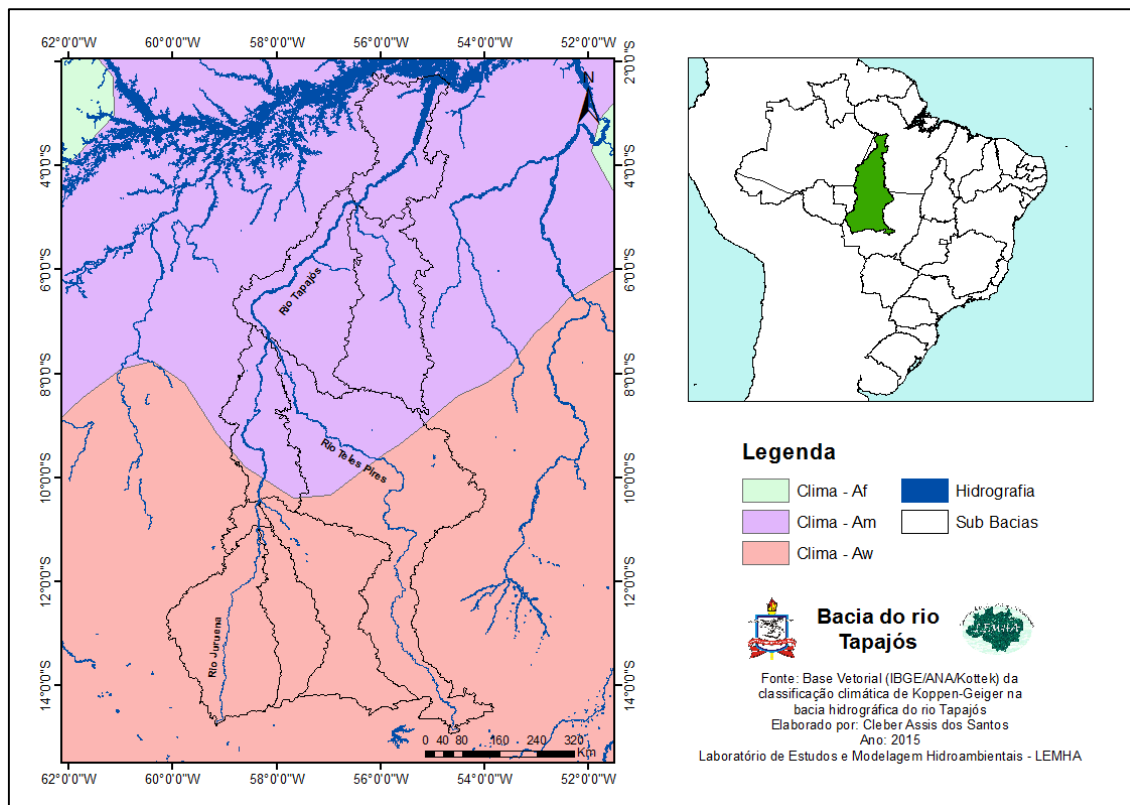


Figura 2 ó Climatologia de Koppen-Geiger da bacia hidrográfica do rio Tapajós.

Para a elaboração deste estudo utilizou-se as médias mensais dos dados fluviométricos do Sistema de Informações Hidrológica (Hidro Web) da Agência Nacional de Águas (ANA). Foram empregados: a caracterização hidrográfica; a análise de séries históricas; a definição de vazões e cotas fluviométricas máximas e mínimas; e as curvas chave e de permanência. A vazão máxima se refere aos valores extremos que podem produzir enchentes nas margens e a vazão mínima se caracteriza pelos menores valores de séries anuais (TUCCI, 2001). Segundo Garcez e Alvarez (1988), a curva chave é a correlação entre o nível de água (cota fluviométrica) e vazão numa seção de um rio (estação fluviométrica).

No tratamento estatístico e elaboração de gráficos, foram utilizados os programas Hidro 1.2 da ANA e o Microsoft Excel 2013. Para a elaboração dos mapas de localização geográfica, foi empregando o programa ArcMap 10.0.

A curva de permanência foi estabelecida com base em valores mensais, extraindo-se o valor de  $Q_{95}$ , que corresponde a 95% de permanência mensal das vazões na estação em estudo. No território nacional, cada Estado adota um critério para estabelecer a vazão de referência para outorga de direitos de uso da água (SILVA et al., 2006), onde estados do Pará (Diário Oficial nº. 31770 de 11/10/2010, Resolução nº 10 - CERH) e do Mato Grosso (Resolução nº 12, de 06/06/2007), adotam como referência a vazão de 95%. A curva de permanência relaciona a vazão ou o nível de um rio e a probabilidade de ocorrerem vazões maiores ou iguais ao valor da ordenada (TUCCI, 2001). Para Pinto et al. (2011), a curva de permanência permite visualizar de imediato a potencialidade natural do rio, destacando a vazão mínima e o grau de permanência de qualquer valor de vazão.

Objetivando a melhor visualização da regionalização de cota fluviométrica e vazão, esta bacia hidrográfica foi dividida em três sub bacias: sub bacia do rio Juruena; sub bacia do rio Teles Pires; sub bacia do Médio Baixo Tapajós. Foram utilizados dados históricos de três estações fluviométricas no baixo curso de cada sub bacia (Figura 3).

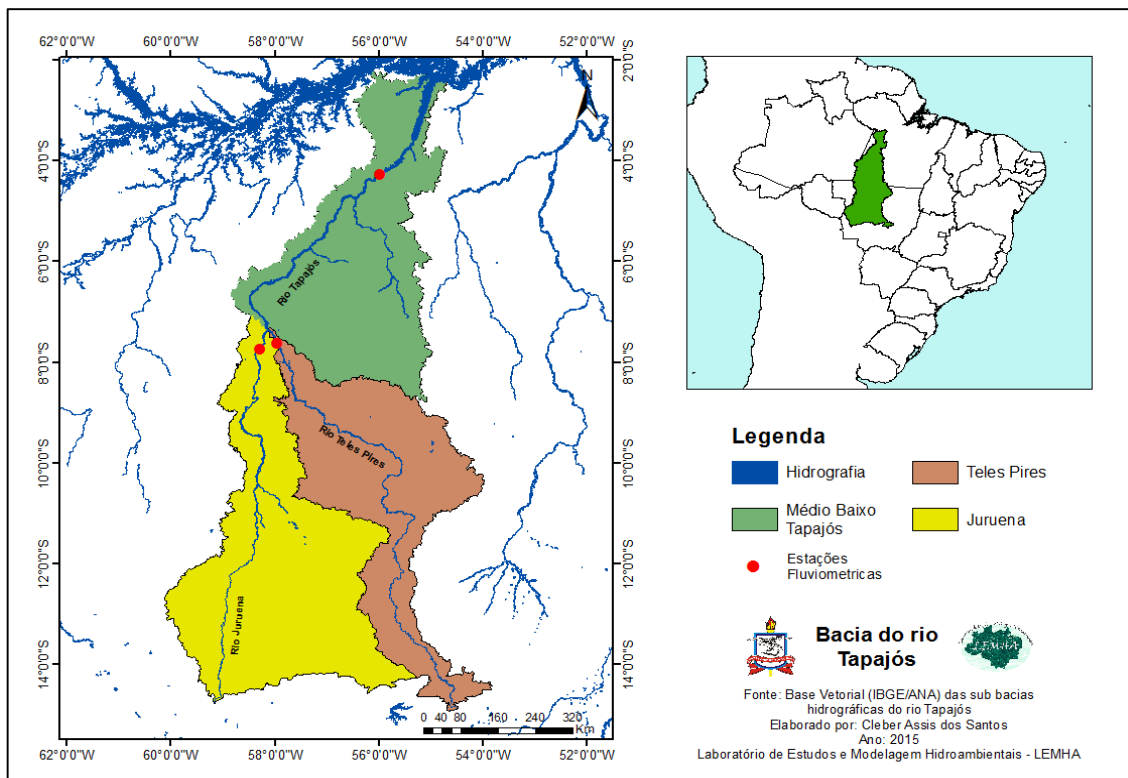


Figura 3 ó Principais sub bacias da bacia hidrográfica do rio Tapajós.

Os dados mensais de precipitação pluviométrica do período de 1981 à 2010 são provenientes do GPCC (Global Precipitation Climatology Center), disponibilizados pelo NCEP/NCAR Reanalysis Project at the NOAA/ESRL Physical Sciences Division (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.gpcc.html>). Este produto contém os totais mensais sobre uma grade regular com uma resolução espacial de  $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$ ,  $1,0^{\circ} \times 1,0^{\circ}$  e  $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$  (para o estudo, foi utilizado a grade de  $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$ ) de latitude e longitude, com dados de 67200 estações de todo o mundo que têm durações recorde de 10 anos ou mais (a base de dados disponíveis no GPCC contam com dados monitorados de precipitação desde o ano de 1901 até os dias atuais) (KALNAY et al., 1996).

De posse dos dados de precipitação do GPCC elaborou-se a climatologia mensal e anual observada para 1981 a 2010. A precipitação foi dividida em uma grade de  $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$  e interpolada no ArcMap 10.0, pelo método de Krigagem. Segundo Jakob (2002) a Krigagem utiliza o dado tabular e sua posição geográfica para calcular as interpolações; Berveglieri (2011) considera que a Krigagem compreende um conjunto de técnicas geoestatísticas de ajuste usadas para aproximar dados pelo princípio que: fixado um ponto no espaço, os pontos no seu entorno são mais relevantes do que os mais afastados (princípio da primeira lei da geografia de Tobler (1972) os elementos (atributos) mais próximo possuem maior correlação entre si que os mais distante.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Regime pluviométrico

A partir dos dados de precipitação, foi possível realizar o zoneamento da média anual da precipitação pluviométrica acumulada na bacia hidrográfica do rio Tapajós (Figura 4).

As médias variaram entre 1474 mm até 2512 mm de precipitação, onde a região Sul da bacia hidrográfica do rio Tapajós apresenta os menores valores e a região Sul do Médio Baixo Tapajós, apresentando os maiores valores de precipitação média acumulada ao longo do ano, esses valores estão próximos aos encontrados por Santos et al. (2014), utilizando dados de precipitação pluviométricas provenientes da ANA no período de 1985 a 2012.

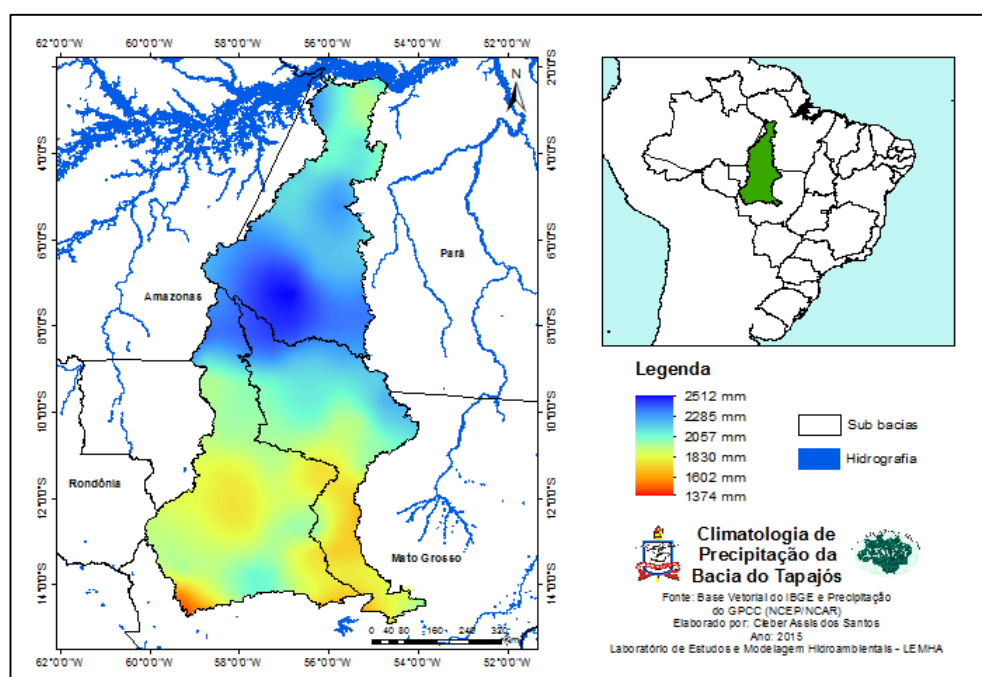


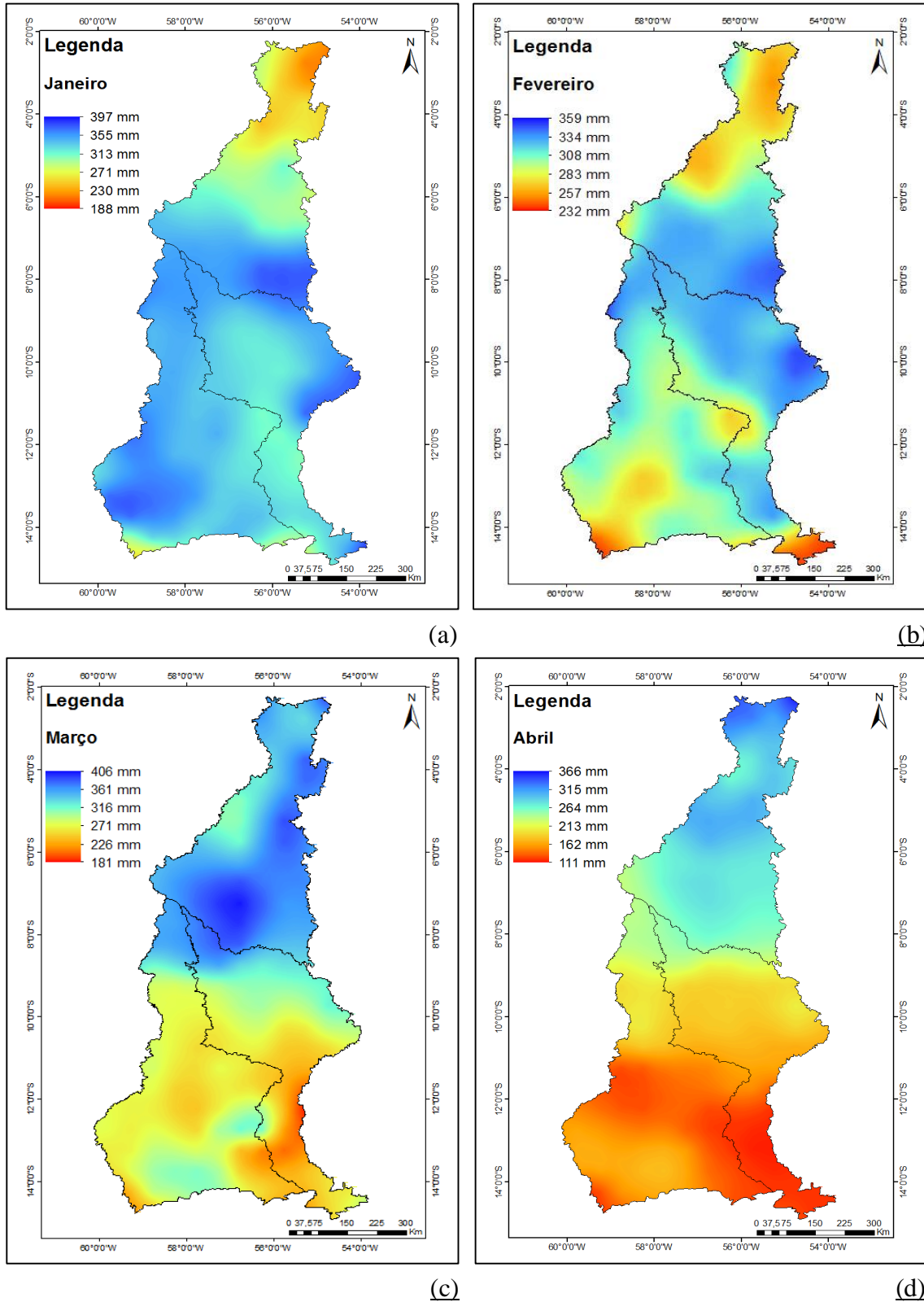
Figura 4 Média anual de precipitação pluviométrica na bacia do rio Tapajós.

Ao realizar a análise da precipitação durante a média acumulada de cada mês (Figuras 5, 6, 7), observa-se a possível influência de sistemas meteorológicos de mesoescala e escala sinótica que atuam na região amazônica. Dentre os sistemas, destacam-se dois principais: a ZCIT (Zona de Convergência Intertropical); e a ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul). Esses dois sistemas meteorológicos são fundamentais para definir a climatologia da região, elevando a precipitação na região de sua atuação.

A ZCIT atua diretamente na precipitação da região Norte do Brasil (REBOITA et al, 2010). Segundo Nobre et al. (2000), em anos chuvosos, o posicionamento da ZCIT pode atingir até 5° a 6° de latitude Sul. Carvalho (2011), aponta que a ZCIT está na sua posição mais austral nos meses de março e abril.

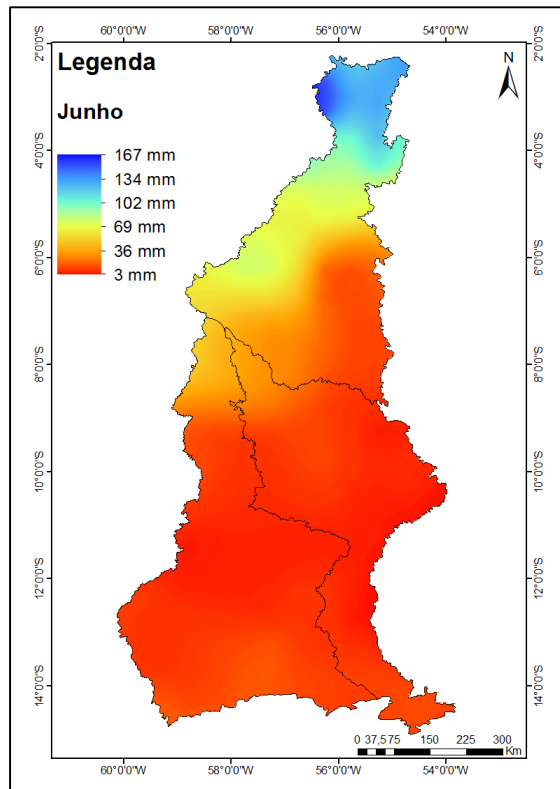
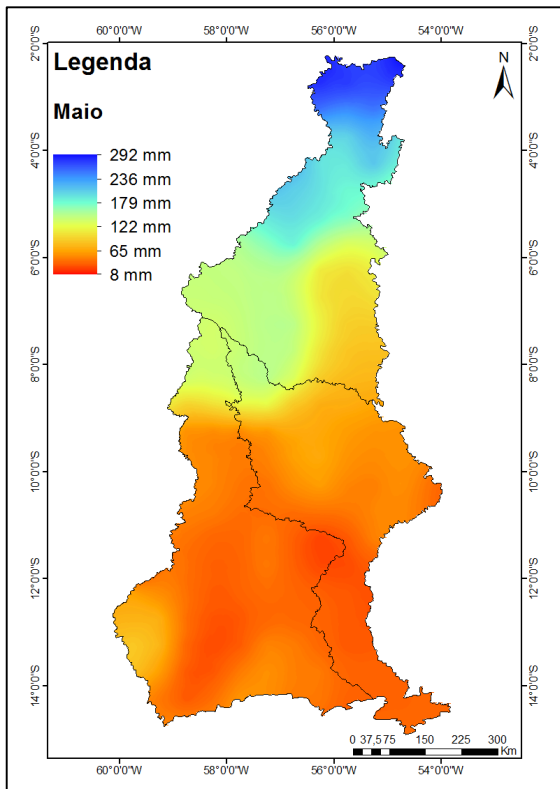
Segundo Quadro et al. (2012), a ZCAS atua principalmente nos meses de verão (21 de dezembro a 21 de março) no Hemisfério Sul, elevando os índices pluviométricos sobre a região de atuação. Climatologicamente, este fenômeno atua na América do Sul no sentido noroeste leste (NW-SE), se estendendo do Sul da Amazônia até o Sudeste do Brasil; tem atuação entre as regiões centro-oeste e sudeste do Brasil entre os meses de outubro a abril (primavera/verão estendido), gerando grande quantitativo de precipitação praticamente em todos os anos (CARVALHO; JONES, 2009).

Os resultados obtidos pela análise conjunta da distribuição da precipitação pluviométrica, demonstram que há dois principais sistemas meteorológicos precipitantes, que atuam no Tapajós, um de outubro a fevereiro (ZCAS) na região Sul da bacia hidrográfica do Tapajós e outro de março a maio (ZCIT) no Médio Baixo Tapajós, seguindo para a jusante da bacia hidrográfica. Nos meses entre abril a setembro, o sul da bacia hidrográfica, apresenta baixa pluviosidade, mostrando que nesse período, climatologicamente, há pouca ou nenhuma atividade de sistemas meteorológicos precipitantes.



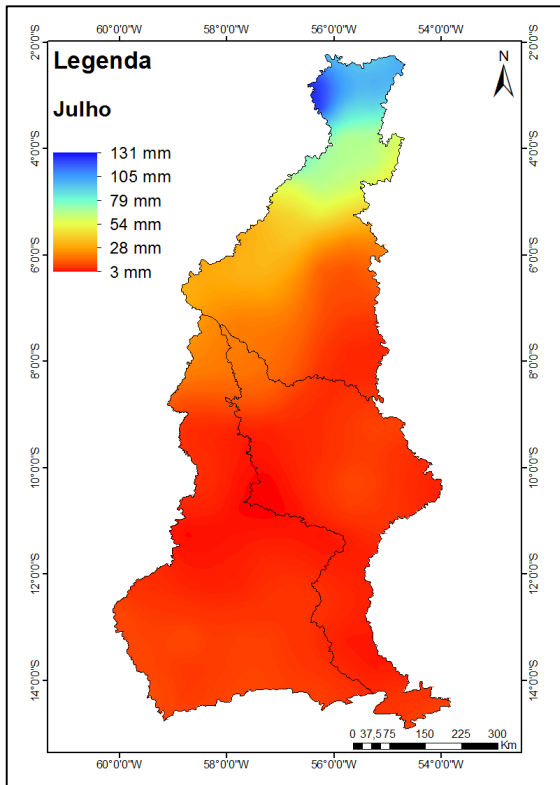
**Figura 5** Média mensal de precipitação pluviométrica na bacia do rio Tapajós (a)Janeiro; (b)Fevereiro; (c)Março; (d)Abril. Fonte: Base Vetorial do IBGE e Precipitação do GPCC.



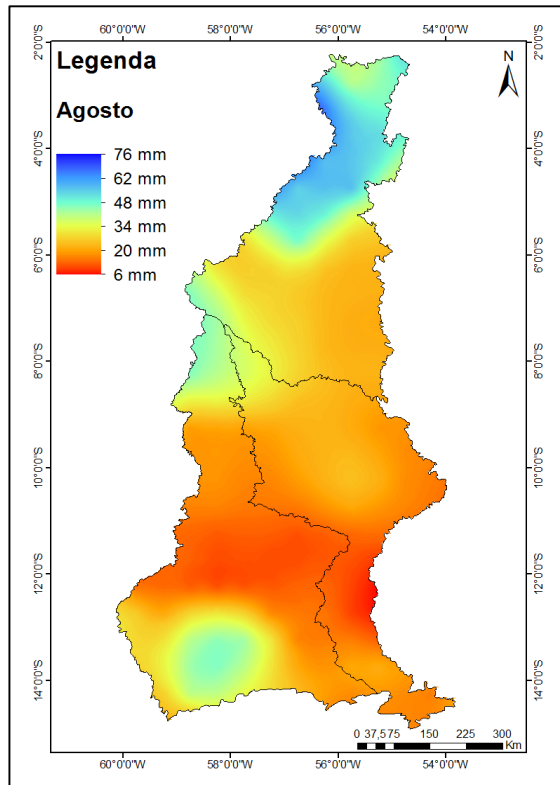


(a)

(b)

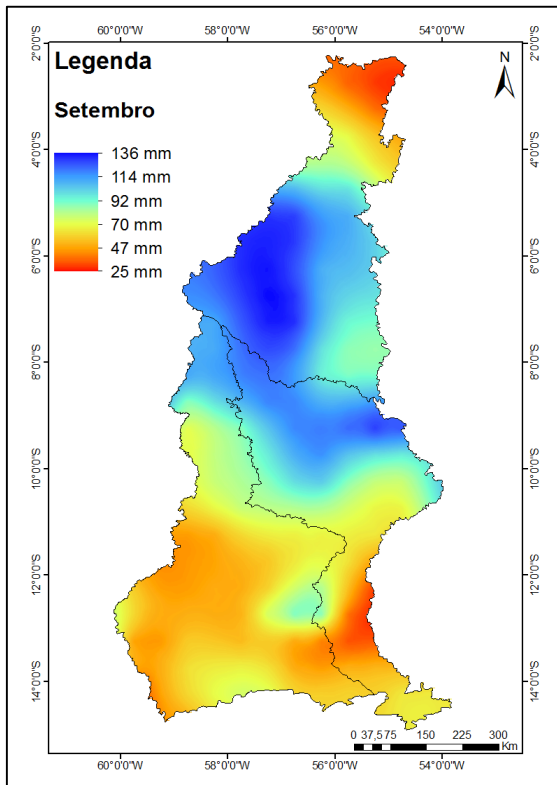


(c)

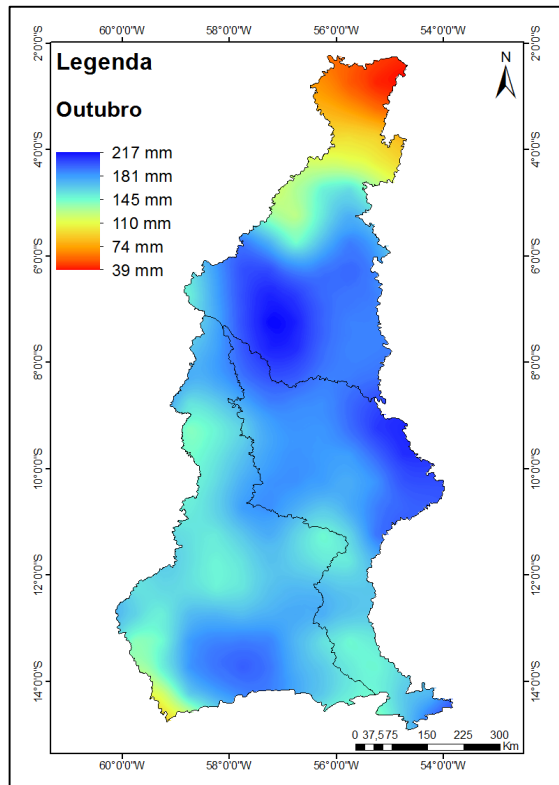


(d)

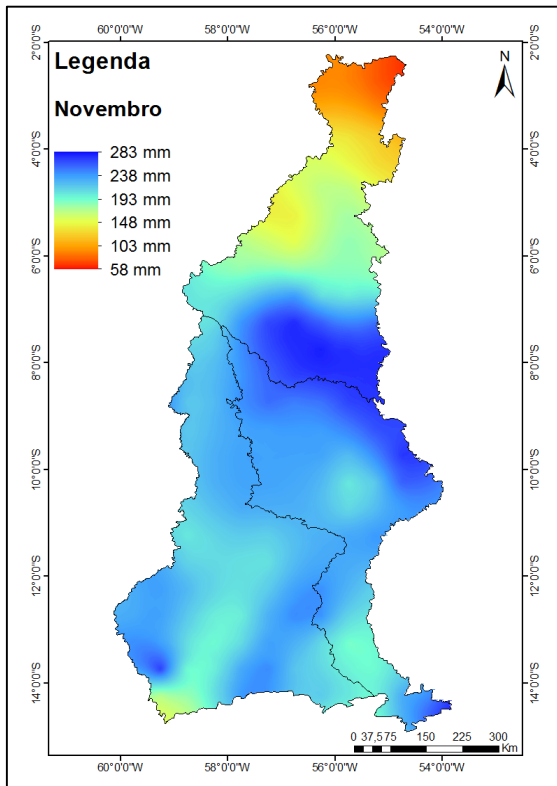
**Figura 6** Média mensal de precipitação pluviométrica na bacia do rio Tapajós (a)Maio; (b)Junho; (c)Julho; (d)Agosto. Fonte: Base Vetorial do IBGE e Precipitação do GPCC.



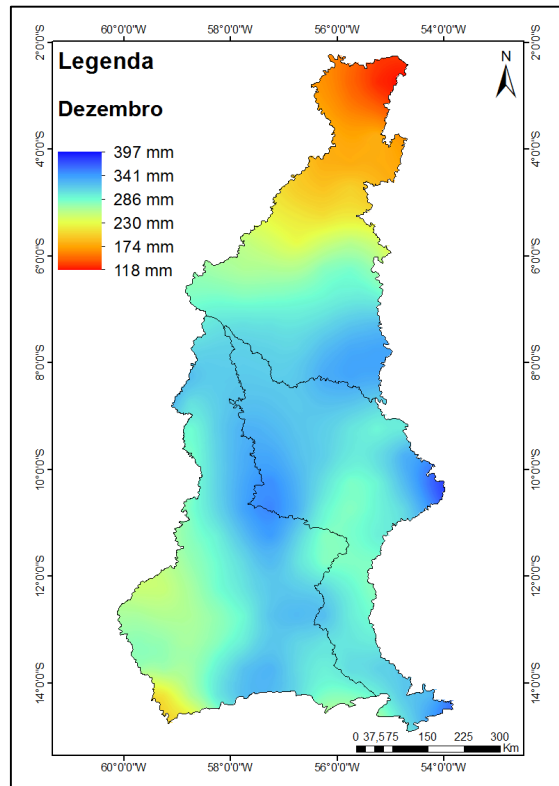
(a)



(b)



(c)



(d)

**Figura 7** Média mensal de precipitação pluviométrica na bacia do rio Tapajós (a)Setembro; (b)Outubro; (c)Novembro; (d)Dezembro. Fonte: Base Vetorial do IBGE e Precipitação do GPCC.

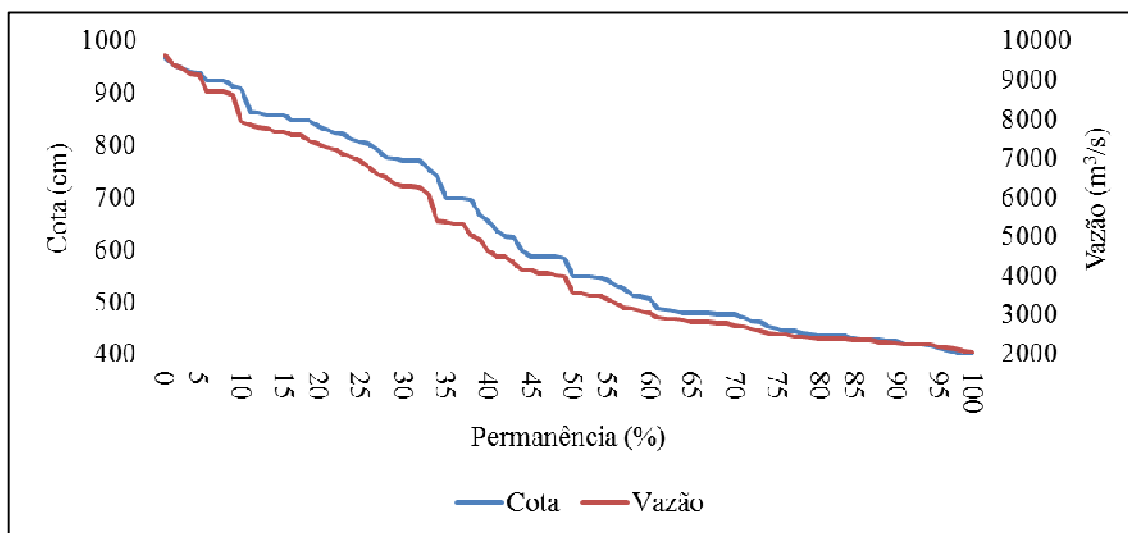
O sistema precipitante que mais atua na bacia hidrográfica é a ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul), com aproximadamente 5 meses (ONDJF) exercendo atividade na bacia, logo em seguida, vem a ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) com sua atuação mais ao Norte do Tapajós durante aproximadamente 3 meses (MAM). Entretanto, como mostrado na figura 4, a média do acumulado anual, apresenta a região do Médio Baixo Tapajós e Norte do Juruena e do Teles Pires, com maior quantidade de precipitação, mostrando que além da ZCIT e da ZCAS, a própria convecção que atua na floresta amazônica, auxilia no regime pluviométrico na bacia hidrográfica do rio Tapajós, como pode-se observar a influência nos meses junho a setembro, período em que em termos climatológicos, não há atividade da ZCIT e poucas atividades de ZCAS.

### 3.2. Cota e vazão fluviométrica

#### 3.2.1. Bacia hidrográfica do rio Juruena

Localizada entre as coordenadas de 07°03'28,8ö e 14°47'38,4ö/Sul e 55°15'10,8ö e 60°8'42ö/Oeste, tem como seus dois principais afluentes os rios do Sangue e Arinos. O rio principal possui uma extensão de 855 km e drena uma área de aproximadamente 160 mil km<sup>2</sup> dentro do estado do Mato Grosso.

A curva de permanência de cota e vazão para o posto fluviométrico da Foz do Juruena (Figura 8) no município de Apiacás ó MT (série histórica de 1987-1994), apresentou um valor de  $Q_{95}$  2203 m<sup>3</sup>/s (média anual de 4655 m<sup>3</sup>/s) e a cota em  $C_{95}$  foi de 412 cm (média anual de 623 cm). A foz do Juruena é a área onde ocorre a maior oferta fluviométrica (vazão) da bacia hidrográfica do rio Tapajós (SANTOS et al., 2014), em resposta à grande quantidade precipitada na região e a contribuição dos afluentes do rio Juruena.

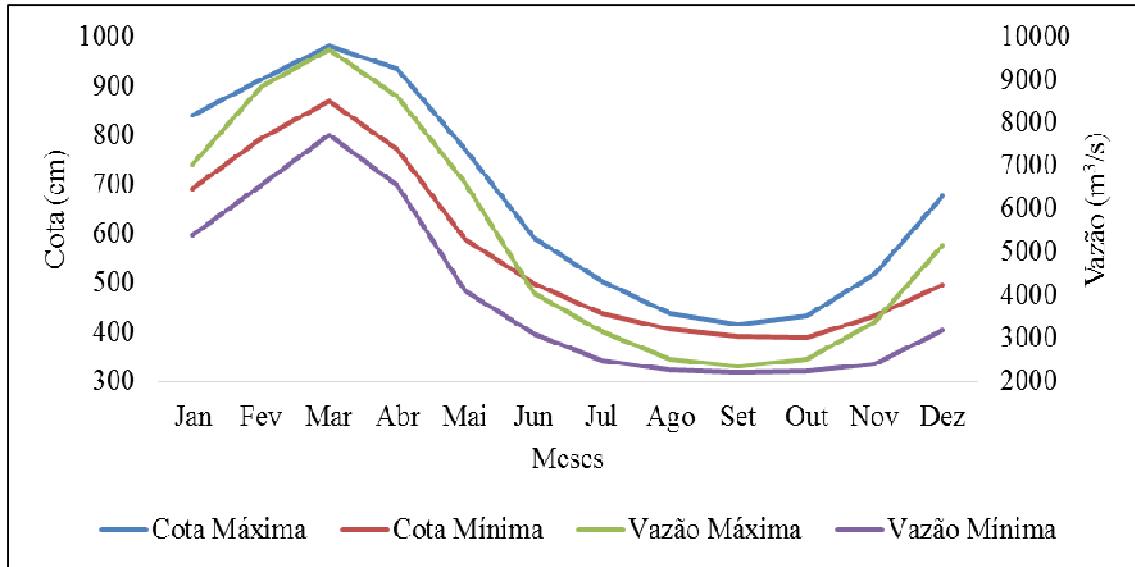


**Figura 8** Curva de permanência de cota e vazão na estação da Foz do Juruena.

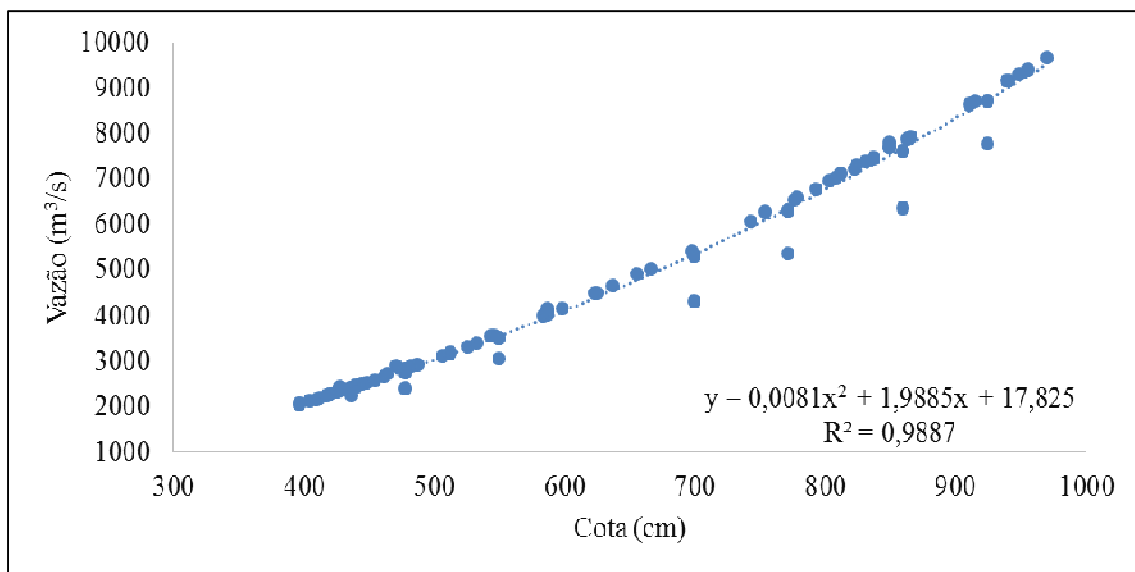
Verificou-se que tanto cota quanto vazão atingem seu valor máximo em março com 981 cm e 9683 m<sup>3</sup>/s respectivamente e o valor mínimo de cota e vazão ocorrendo em setembro com 392 cm e 2202 m<sup>3</sup>/s respectivamente (Figura 9a). A figura 9b mostra a curva chave, com alto coeficiente de ajuste ( $R^2=0,9887$ ), dos dados de cota fluviométrica e de vazão média mensal na estação da Foz do rio Juruena. Para Coe et al. (2002) a vazão da bacia do rio Juruena contribuiria com cerca de 58% do total da vazão que o rio Tapajós, o que destaca sua importância como principal contribuinte desta bacia.

Correlacionando tantos os valores de máxima e mínima de cota e vazão com os dados pluviométricos apresentados nas figuras 5, 6, 7, pode-se inferir que os valores máximos são em resposta a atuação da ZCAS, já que os valores de cota e vazão começam a elevar-se justamente no mês de outubro. Já os valores mínimos

são relacionados a falta de atuação de sistemas meteorológicos significativos de precipitação, iniciando justamente no mês de abril, onde os sistemas começam a enfraquecer.



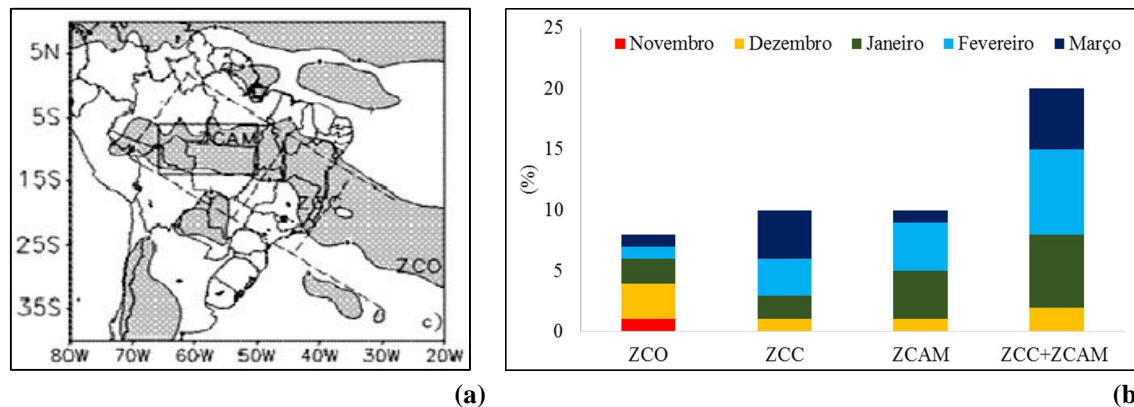
(a)



(b)

**Figura 9** ó (a) Máximas e mínimas de cota e vazão na estação da Foz do Juruena (média da série histórica de 1987-1994); (b) Curva chave na estação da Foz do Juruena, período de 1987 à 1994.

Vieira et al. (2014) indicam que a sul da bacia Amazônica (englobando a foz da bacia do rio Madeira e as cabeceiras do rio Tapajós ó rios Juruena e Teles Pires) são registrados 35,7% do total de ocorrências de eventos de ZCAS Amazônicas (ZCAM). Nos meses de Janeiro-Fevereiro-Março, que coincidem com os máximos de vazão e cota, existe a influência conjunta da ZCC (ZCAS Costeiras) e da ZCAM na região (Figura 10).



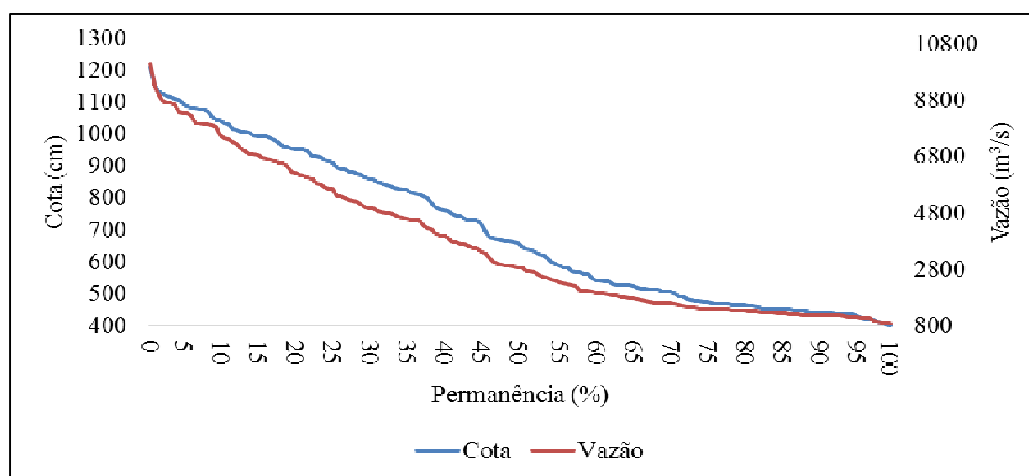
**Figura 10** (a) Padrões de anomalias de ROL dos episódios de ZCAS, significância estatística em 95% (linha de contorno): ZCAS oceânica (ZCO), ZCAS costeira (ZCC) e ZCAS Amazônica (ZCAM); (b) Classificação dos episódios de ZCAS no sul da Amazônia, segundo os meses de atuação (%). Fonte: Vieira et al. (2014).

### 3.2.2. Bacia hidrográfica do rio Teles Pires

Localizada entre as coordenadas de  $07^{\circ}18'54''$  e  $14^{\circ}56'24''$ /Sul e  $53^{\circ}57'43,2''$  e  $58^{\circ}07'55,2''$ /Oeste, tem como principais afluentes os rios Verde, Apiacá, São Benedito e Peixoto de Azevedo. O rio Teles Pires possui uma extensão de aproximadamente 1487 km e drena uma área de aproximadamente 117 mil km<sup>2</sup>, distribuído entre os estados do Mato Grosso e Pará.

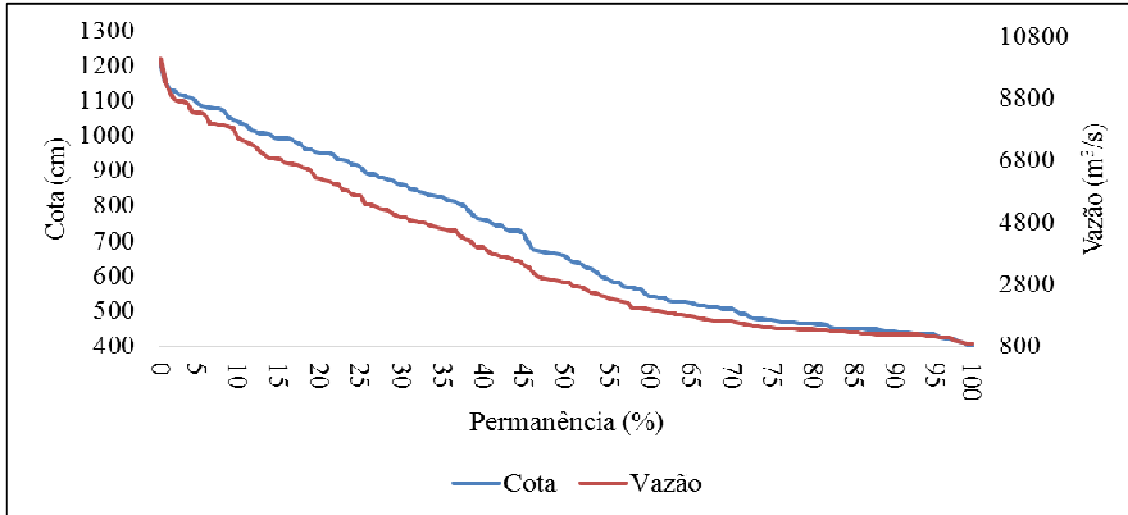
A figura 11a ilustra a curva de permanência de cota e vazão para o posto fluviométrico na foz do rio Teles Pires na estação fluviométrica de Três Marias no município de Aripuanã - MT (série histórica de 1995-2009). Verificou-se que a vazão em  $Q_{95}$  foi de 1106 m<sup>3</sup>/s (média anual de 3667 m<sup>3</sup>/s) e a cota em  $C_{95}$  foi de 430 cm (média anual de 700 cm).

No referente aos valores máximos e mínimos de cota e vazão para o posto fluviométrico de Três Marias (série histórica de 1995-2009), na foz do rio Teles Pires (Figura 11b), verificou-se que tanto cota como vazão atingem seu valor máximo em março com 1100 cm e 8354 m<sup>3</sup>/s respectivamente e o valor mínimo de cota e vazão ocorrendo em setembro com 428 cm e 1090 m<sup>3</sup>/s respectivamente. A figura 12 demonstra a curva chave, com alto coeficiente de ajuste ( $R^2=0,9991$ ), dos dados de cota fluviométrica e de vazão média mensal na foz do rio Teles Pires, na estação de Três Marias.



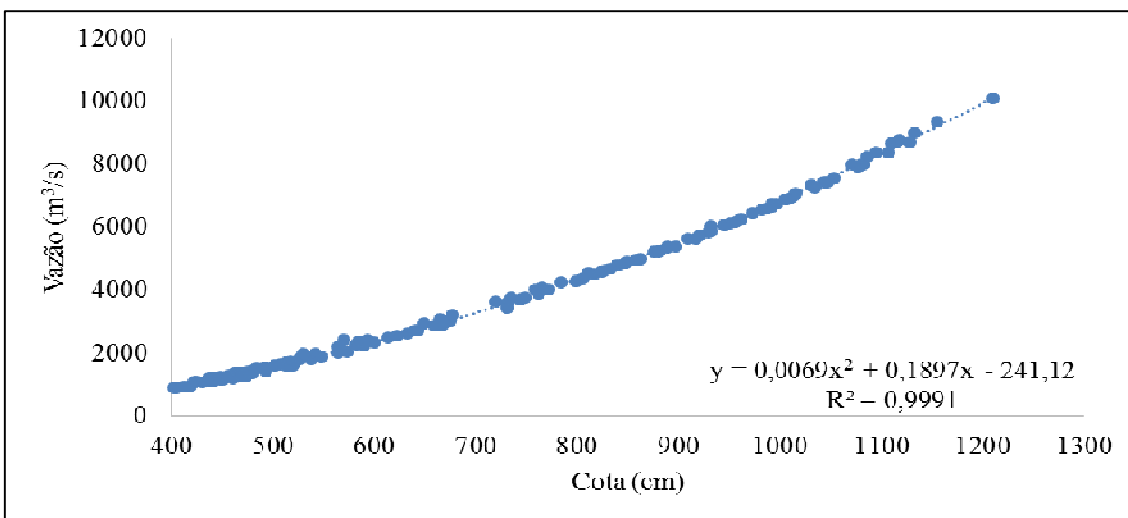
(a)

**Figura 11** (a) Curva de permanência de cota e vazão; (b) Máximas e mínimas de cota e vazão, na foz do rio Teles Pires.



(b)

**Figura 11** ó (a) Curva de permanência de cota e vazão; (b) Máximas e mínimas de cota e vazão, na foz do rio Teles Pires.



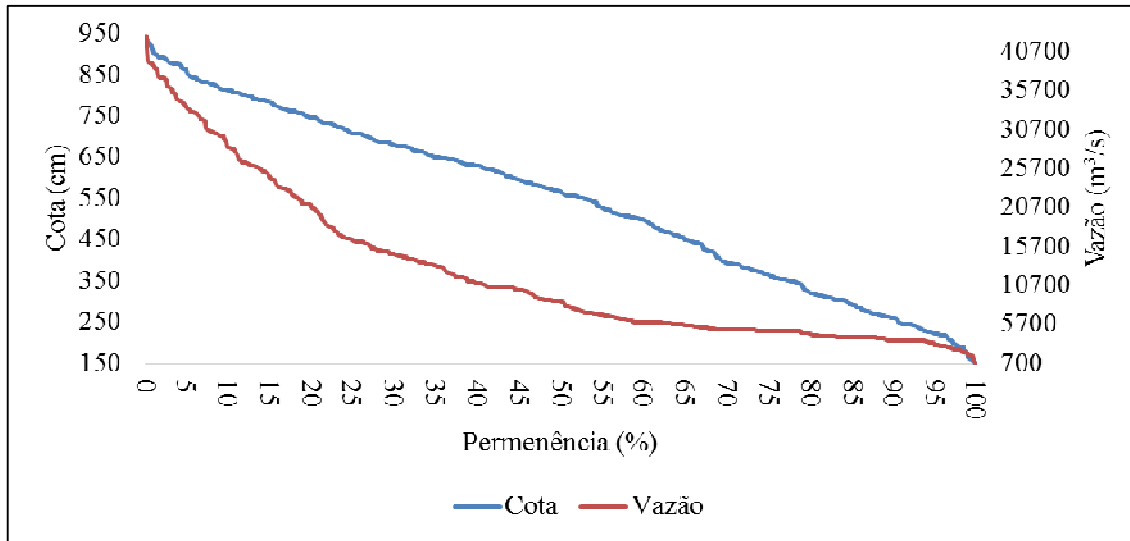
**Figura 12** ó Curva chave na foz do rio Teles Pires, período de 1995 à 2009.

O comportamento sazonal na foz do Teles Pires é similar ao que ocorre no rio Juruena, justificado pela influência da ZCAS nas duas sub bacias, entretanto os valores de cota fluviométrica do rio Teles Pires são ligeiramente maiores, e sua vazão é menor, com diferença aproximada de 1200 m<sup>3</sup>/s para o mesmo período no Juruena.

O diferencial quanto a variação de nível, foi um dos aspectos que contribuíram para o aproveitamento hidrelétrico do rio Teles Pires. A usina de Teles Pires (entre os municípios de Paranaíta/MT e Jacareacanga/PA), iniciou suas obras em agosto/2011, com um potencial previsto de 1.820 megawatts (MW) de energia, que mesmo funcionando a usina a fio d'água, representa uma energia suficiente para atender a cerca de 5 milhões de habitantes (SANTOS, 2013).

### 3.2.3. Bacia hidrográfica do Médio Baixo Tapajós

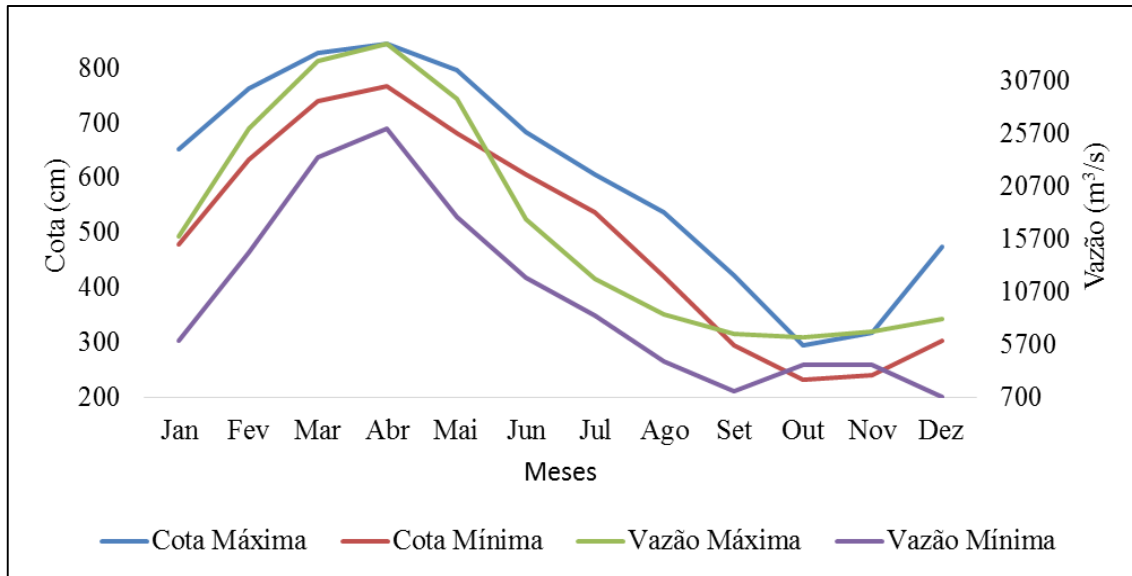
O Médio Baixo Tapajós localiza-se entre as coordenadas de  $02^{\circ}13'40,8''$  e  $08^{\circ}47'38,4''$ /Sul e  $54^{\circ}40'26,4''$  e  $58^{\circ}51'32,4''$ /Oeste; onde, além do rio Teles Pires e Juruena, ocorrem como seus principais afluentes são os rios Crepori, Jamanxim e Arapiuns. A figura 13 apresenta a curva de permanência de cota fluviométrica e vazão para o posto fluviométrico do município de Itaituba ó PA, no rio Tapajós (série histórica de 1975-1995). Verificou-se que a vazão em  $Q_{95}$  foi de  $3279 \text{ m}^3/\text{s}$  (média anual de  $12259 \text{ m}^3/\text{s}$ ) e a cota em  $C_{95}$  foi de  $224 \text{ cm}$  (média anual de  $545 \text{ cm}$ ).



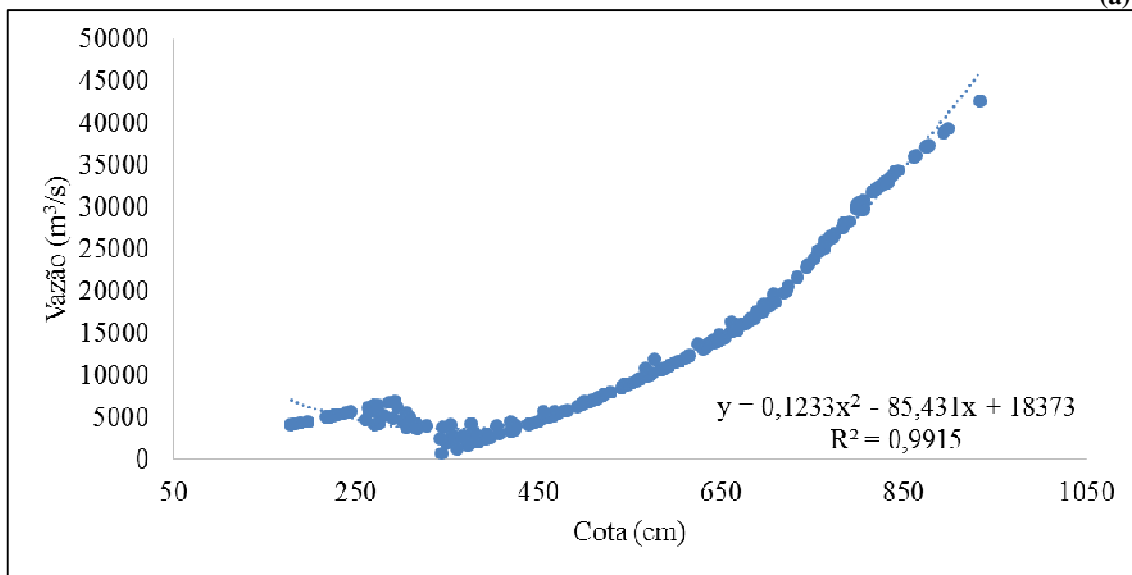
**Figura 13** ó Curva de permanência de cota e vazão no rio Tapajós.

Os valores máximos e mínimos de cota e vazão indicam que tanto cota como vazão atingem seu valor máximo em abril com  $845 \text{ cm}$  e  $34233 \text{ m}^3/\text{s}$  respectivamente, o valor mínimo de cota ocorre em outubro com  $232 \text{ cm}$  e o valor mínimo de vazão ocorre em setembro com  $1303 \text{ m}^3/\text{s}$  (Figura 14a). A figura 14b mostram a curva chave, com alto coeficiente de ajuste ( $R^2=0,9915$ ), dos dados de cota fluviométrica e de vazão média mensal do rio Tapajós na estação de Itaituba.

A curva chave da estação fluviométrica de Itaituba apresenta erros entre os meses de agosto a dezembro, quando a vazão no posto atinge aproximadamente  $7000 \text{ m}^3/\text{s}$ . Segundo Piscoya et al. (2013), devido a problemas de equipamento, erros do observador (falsas leituras de cotas pelo observador, erros de cópia, erro de metro, erro de complemento e leitura errônea de cotas negativas, etc.) ou problemas na alimentação no baco de dados, podem levar a inconsistência dos dados.



(a)



(b)

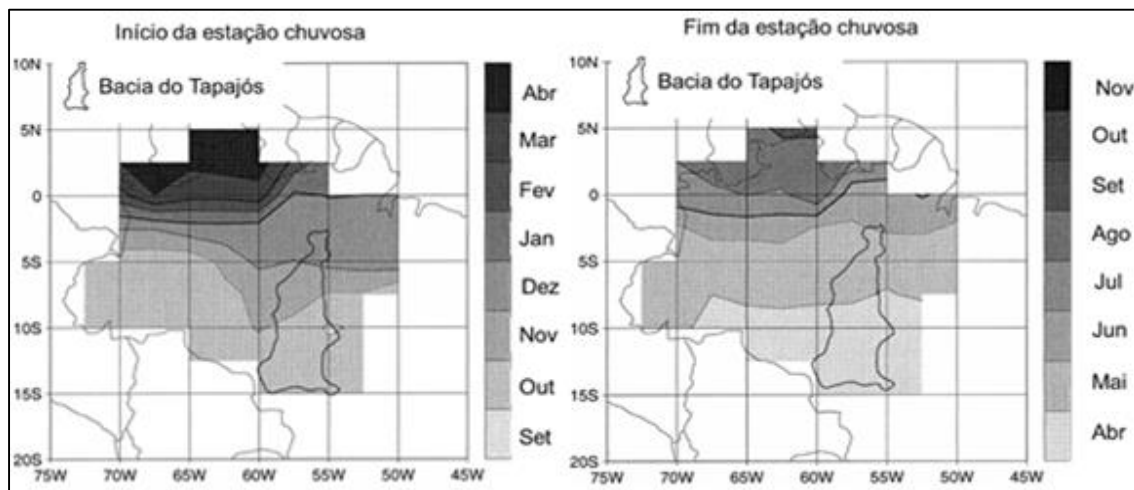
**Figura 14** ó (a) Máximas e mínimas de cota e vazão no rio Tapajós (série histórica de 1975-1995); (b) Curva chave do rio Tapajós na estação de Itaituba, período de 1975 à 1995.

Os valores máximos em abril, ocorrem principalmente devido atuação da ZCIT, que provoca maior quantidade de precipitação no período que vai de março a maio e também pela contribuição das sub bacias do Juruena e Teles Pires, que apresentam uma defasagem de aproximadamente um mês até chegar ao posto fluviométrico de Itaituba.

Sena et al. (2012) consideram que a ZCIT é muito ativa no processo de precipitação da região, pela influência de sua posição vinculada às águas quentes do Atlântico Equatorial no Hemisfério Sul, que age diretamente no aumento das chuvas nos estados do Amazonas, Pará, Amapá, Maranhão e Piauí.

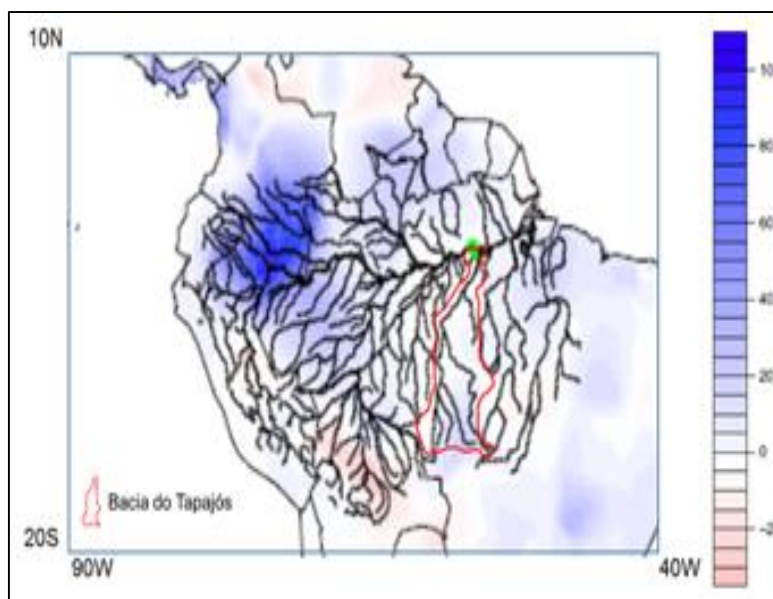
A partir do mês de abril, os valores de cota e vazão começam a reduzir, em resposta a falta de atuação de sistemas precipitantes na bacia, alcançando os menores valores em outubro (Figura 15). Liebmann e Marengo (2001) e Trenberth (2011) destacam que as possíveis razões para as variações da tendência de precipitação na Amazônia são as mudanças de recirculação de água na atmosfera vinculadas a ZCIT, as fases associadas do El Niño (anomalias negativas) e as de La Niña (anomalias positivas) de precipitação, ambas influenciando na variabilidade das vazões.





**Figura 15** ó Início e fim da estação chuvosa na Amazônia. Fonte: Liebmann e Marengo, 2001.

Para Gloor et al. (2013) nos últimos anos a redução do volume de chuvas na Amazônia pode estar impactando na vazão dos rios, principalmente na porção sudoeste da bacia (alto rio Madeira) onde ocorrem as maiores defasagens (-20 mm/mês) (Figura 16). A bacia do Tapajós aparece em uma área com uma baixa variabilidade entre os dois períodos destacados (2001 a 2009 e 1981 a 1990) demonstrando que em 3 décadas pouco se alterou, porém sem o mesmo efeito positivo para a recarga hídrica, observado na região noroeste (+80 mm/mês).



**Figura 16** ó Diferença da média da precipitação (mm/mês) na Amazônia, considerando 2 períodos ( $x_i - y_i$ ):  $x_i = 2001$  a 2009; e  $y_i = 1981$  a 1990. Fonte: Gloor et al., 2013.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A bacia hidrográfica do rio Tapajós apresenta três principais sub divisões: a sub bacia do rio Juruena; a sub bacia do rio Teles Pires; a sub bacia do Médio Baixo Tapajós. A atuação de sistemas meteorológicos de mesoescala e de escala sinótica, são importantíssimos no comportamento de cota e vazão fluviométrica na bacia hidrográfica do rio Tapajós. Desses sistemas, os principais contribuintes para a precipitação dentro da bacia, são a ZCIT e ZCAS, que atuam principalmente durante o verão e o outono Austral.

A sub bacia hidrográfica que mais contribui para a vazão no rio Tapajós é a sub bacia do rio Juruena, com uma vazão anual média de 4655 m<sup>3</sup>/s, isso ocorre principalmente devido sua área de captação pluviométrica ser maior que a área de captação do Teles Pires. A sub bacia do rio Teles Pires tem uma contribuição anual média de 3667 m<sup>3</sup>/s. A contribuição destes afluentes e outros afluentes do Médio Baixo Tapajós, totalizam na estação fluviométrica de Itaituba a vazão anual média de 12259 m<sup>3</sup>/s.

Os dados de cota fluviométrica mostram que os maiores valores estão na foz do rio Teles Pires (com média anual de 700 cm), seguido da foz do rio Juruena (com média anual de 623 cm) e do rio Tapajós na estação de Itaituba (com média anual de 545 cm).

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Pará pela concessão de bolsa para a pesquisa.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERVEGLIERI, A.; MENEGUETTE, M.; PITERI, M. A. Aplicação do interpolador krigagem em modelos digitais de terrenos, comparando-se os casos de isotropia e anisotropia. In: **XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2011, Curitiba. XV SBSR, 2011. p. 7222-7229.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Agência Nacional de Águas (ANA). **Aproveitamento do potencial hidráulico para geração de energia. Cadernos de Recursos Hídricos**. Brasília: ANA, 2005, 92p.

CARVALHO, L. M. V. de; JONES, C. Zona de convergência do atlântico sul. In: **CAVALCANTI, I. F. A. (Org.)**. Tempo de clima no Brasil. São Paulo: Oficina de textos, 2009. p. 95-125.

CARVALHO, M. A. V. **Variabilidade da largura e intensidade da zona de convergência intertropical atlântica: aspectos observacionais e de modelagem**. 2011. 154 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

COE, M. T.; COSTA, M. H.; BOTTA, A.; BIRKETT, C. Long-term simulations of discharge and floods in the Amazon Basin. **Journal of Geophysical Research**, v. 107, n. D20, p. 11/1-11/17, 2002.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1988, 291p.

GLOOR, M.; BRIENEN, R. J. W.; GALBRAITH, D.; FELDPAUSCH, T. R.; SCHÖNGART, J.; GUYOT, J.-L.; ESPINOZA, J. C.; LLOYD, J.; PHILLIPS, O. L. Intensification of the Amazon hydrological cycle over the last two decades. **Geophysical Research Letters**, v. 40, p. 1-5, 2013.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010**. Brasília: IBGE, 2010.

JAKOB, A. A. E. A Krigagem como método de análise de dados demográficos. In: **XIII Encontro Nacional de Estudos Populacionais**, 2002, Ouro Preto (MG). Anais do XIII Encontro Nacional de Estudos Populacionais, 2002.

KALNAY, E.; KANAMITSU, M.; KISTLER, R. et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 77, p. 437-470, 1996.

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World map of the Koppen-Geiger climate

classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, n. 3, p. 259-263, 2006.

LIEBMANN, B.; MARENGO, J. A. Interannual Variability of the Rainy Season and Rainfall in the Brazilian Amazon Basin. **Journal of Climate**, v. 14, n. 22, p. 4308-4318, 2001.

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.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. Climatologia: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: **Oficina de Textos**, 2007. 206 p.

NOBRE, P.; MELO, M. L. D.; SANTANA, S. C. ; MELO, A. B. C. . Estudo Climatológico da Posição da ZCIT no Atlântico Equatorial e sua Influência sobre o Nordeste do Brasil. In: **XI Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 2000, Rio de Janeiro. XI Congresso Brasileiro de Meteorologia.

PINTO, N. L. S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S. Hidrologia Básica. São Paulo. Ed. **Edgard Blücher**, 2011, 278p.

PISCOYA, R.C.C.C.; LOPES, W. T. A.; LEMOS, G.M.; SILVA, L. R. S.; SILVA, M.C.A.M. Análise de consistência de dados fluviométricos de estações de monitoramento da ANA localizadas nas sub-bacias hidrográficas 10 (Rios Solimões, Javari e Itaquaí) e 11 (rios Solimões, Içá e Jandiatuba). In: **XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2013, Bento Gonçalves. Água Desenvolvimento Econômico e Socioambiental, 2013.

PORTO, R. M. Hidráulica Básica. São Carlos-SP: **Escola de Engenharia de São Carlos**, USP, 2000, 519 p.

QUADRO, M. F. L.; SILVA DIAS, M. A. F.; HERDIES, D. L.; GONCALVES, L. G. G. Análise Climatológica da Precipitação e do Transporte de Umidade na Região da ZCAS Através da Nova Geração de Reanálises. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, p. 152-162, 2012.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; DA ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de Precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, p. 185-204, 2010.

SAMPAIO, F. P. R.; AGUIAR, D. G.; FILIZOLA JUNIOR, N. P.; SCHOR, T. Níveis fluviométricos e o custo de vida em cidades ribeirinhas da Amazônia: O caso de Manacapuru e Óbidos. In: **Symposium SELPER 2012 Earth Observation for a Green Co-developed World**, 2012, Caiena. Symposium SELPER 2012 Earth Observation for a Green Co-developed World, 2012.

SANTOS, A. A. C. UHE Teles Pires: a nova fronteira de energia em plena floresta amazônica. **Grandes Construções**, n. 42, p. 14-20, 2013.

SANTOS, A. M.; GALVÍNCIO, J. D.; MOURA, M. S. B. Os recursos hídricos e as mudanças climáticas: discursos, impactos e conflitos. **Revista Geográfica Venezuelana**, n. 51, p. 59-68, 2010.

SANTOS, C. A.; SERRAO, E. A. O.; GONCALVES, L. J. M.; WANZELER, R. T. S.; LIMA, A. M. M. Zoneamento da distribuição da precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do rio tapajós. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, p. 3092-3106, 2014.

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.

SILVA, A. M.; OLIVEIRA, P. M.; MELLO, C. R.; PIERANGELI, C. Vazões mínimas e de referência para outorga na região do Alto Rio Grande, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, p. 374-380, 2006.

SILVA, G. M. **A Zona de Convergência do Atlântico Sul e a Precipitação Pluvial do Município de Vila Velha (ES): repercussões sobre as inundações**. Monografia (Graduação do Curso de Geografia), Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória 2013.

SILVA, L. L. Influência das precipitações na produtividade agrícola no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 454-461, 2009.

SILVEIRA, G. L.; SILVA, C. E.; IRION, C. A. O.; CRUZ, J. C.; RETZ, E. F. Balanço de Cargas Poluidoras pelo Monitoramento Quali-quantitativo dos Recursos Hídricos em Pequena Bacia Hidrográfica. In: **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 1. 2003. p.5-11.

TRENBERTH, K. E. Changes in precipitation with climate change. **Climate Research**, v. 47, p. 123-138, 2011.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos avançados**, v. 22, n. 63, p.1-16, 2008.

TUCCI, C. E. M. Regionalização de vazões. In: **TUCCI, C. E. M (Org.) Hidrologia: Ciência e Aplicação**. ARBH, Porto Alegre, 2ªed., p.573-620, 2001.

VIEIRA, S. O.; OLIVEIRA, N. V.; SATYAMURTY, P.; ANDREOLI, R. V. Aplicação do método Fuzzy na classificação da zona de convergência do Atlântico Sul no sul da Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 4, p. 621-631, 2014.

WHITEHEAD, P. G.; ROBINSON, M. Experimental basin studies: an international and historic perspective of forest impacts. **Journal de Hydrology**, v. 145, p. 217-230, 1993.