



## EFEITO DA SECA SOBRE O BALANÇO HÍDRICO NA BACIA DO RIO XINGU

---

Charles Caioni

Doutor em Ecologia e Conservação pela Universidade Estado de Mato Grosso, Alta Floresta/MT, Brasil, (charlescaione@hotmail.com)

Recebido em: 15/06/2021 – Aprovado em: 15/07/2021 – Publicado em: 30/07/2021  
DOI: 10.18677/Agrarian\_Academy\_2021A4

---

### RESUMO

A bacia do Rio Xingu possui uma vasta área, onde a abundância de água permite a existência de uma elevada biodiversidade e produção agrícola. Entretanto, eventos de secas tem tornado mais frequentes, ocasionando assim prováveis efeitos no balanço hídrico local e regional. Nessa perspectiva focamos em avaliar o efeito da seca sobre o balanço hídrico estimado (a partir de diferentes combinações de produtos e em diferentes escalas) na Bacia do Rio Xingu. O balanço hídrico da bacia foi estimado a partir dos produtos CHIRPS (*Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations*), 3B42\_TRMM (*sensor Tropical Rainfall Measuring Mission-TRMM*), MOD16A2 (*sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer-MODIS*) e GRACE (*Gravity Recovery and Climate Experiment*). A intensidade representada pelo MCWD (Déficit Hídrico Climatológico Máximo) foi estimada a partir do produto 3B42\_TRMM. A seca demonstrou ocasionar a redução do saldo do balanço hídrico em todas as estimativas realizadas, entretanto, o efeito foi maior para a combinação TRMM, GRACE e MOD16 (col. 005), possivelmente devido ao TRMM também ser um produto de entrada para estimar o MCWD. Estimativas realizadas com o produto MOD16 coleção 005 também demonstraram maior sensibilidade a seca. Esse resultado reforça outros estudos que indicam que essa coleção é mais adequada para a região amazônica. Nossa análise espacial revelou que o efeito da seca é diferente ao longo da bacia, sendo esse maior no médio Xingu para estimativas realizadas a partir dos produtos GRACE, TRMM e MOD16 (col. 005).

**PALAVRAS-CHAVE:** Bacia hidrográfica, déficit hídrico, serviços ecossistêmicos.

# EFFECT OF THE DROUGHT ON THE WATER BALANCE IN THE XINGU RIVER BASIN

## ABSTRACT

The Xingu River basin has a vast area, where the abundance of water allows for the existence of high biodiversity and agricultural production. However, drought events have become more frequent, thus causing likely effects on the local and regional water balance. From this perspective, we focus on evaluating the effect of drought on the estimated water balance (from different combinations of products and at different scales) in the Xingu River Basin. The water balance of the basin was estimated from CHIRPS (*Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations*), 3B42\_TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission-TRMM* sensor), MOD16A2 (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer-MODIS* sensor) and GRACE (*Gravity Recovery and Climate* sensor). Experiment). The intensity represented by the MCWD (*Maximum Climatological Water Deficit*) was estimated from the product 3B42\_TRMM. Drought has been shown to reduce the water balance balance in all estimates made, however, its effect was greater for the combination TRMM, GRACE and MOD16 (col. 005), possibly because TRMM is also an input product to estimate the MCWD. Estimates made with the product MOD16 collection 005 also showed greater sensitivity to drought. This result reinforces other studies that indicate that this collection is more suitable for the Amazon region. Our spatial analysis revealed that the effect of drought is different throughout the basin, being this greater in the middle Xingu for estimates made from GRACE, TRMM and MOD16 products (col. 005).

**KEYWORDS:** Hydrographic basin, water deficit, ecosystem services.

## INTRODUÇÃO

A Bacia Amazônica, o maior sistema fluvial do planeta (FERREIRA *et al.*, 2020), com uma área de 6,1 milhões de km<sup>2</sup>, é reconhecida mundialmente pela abundante floresta tropical e disponibilidade hídrica além de prestar importantes serviços ambientais por meio de suas florestas (MATSCHULLAT *et al.*, 2019; XU *et al.*, 2019). Um dos seus principais afluentes é o Rio Xingu, caracterizado por suas águas claras e por sua ampla área de drenagem, 509.685 km<sup>2</sup> (ILHA *et al.*, 2019). A elevada disponibilidade de água na bacia do Rio Xingu permite a existência de uma ampla diversidade de fauna e flora (SOUSA; ELMOOR-LOUREIRO, 2018; FITZGERALD, *et al.*, 2018), ao mesmo tempo que auxilia na movimentação da economia nacional, mediante a elevada produção de *commodities*, como soja, milho e carne bovina (OLIVEIRA *et al.*, 2020).

A bacia do Rio Xingu é umas das principais unidades hidrográficas que constitui a Bacia Amazônica. Presente no Sudeste Amazônico, estudos têm demonstrado que o balanço hídrico pode ser influenciado não apenas por mudanças de uso da terra que tem se intensificado nas últimas décadas, mas também pela ocorrência de secas (DALAGNOL *et al.*, 2017). Isso porque as chuvas representam a principal entrada de água no sistema, e com sua interrupção (decorrente de secas severas ou prolongadas), há uma drástica redução no saldo do balanço hídrico.

Essa situação é preocupante, visto que eventos extremos de seca embora sejam raros na Amazônia, tem se tornado mais freqüente nos últimos anos, sendo

registrado três (2005, 2010, 2015) somente nas últimas duas décadas. O evento de 2005 esteve relacionado ao aumento da temperatura superficial do oceano (SST) Atlântico que levou a alterações nos padrões de circulação do ar e consequentemente na precipitação (PAPASTEFANOU *et al.*, 2020). A seca de 2010 também esteve associada a SST, que movimentou a Zona de Convergência Intertropical (ITCZ) para o norte e assim reduziu a precipitação na Amazônia. Por fim, o evento de 2015 esteve relacionado ao aquecimento anormal das águas superficiais no Oceano Pacífico Tropical, fenômeno atmosférico-oceânico conhecido como El Niño (JIMENEZ *et al.*, 2018).

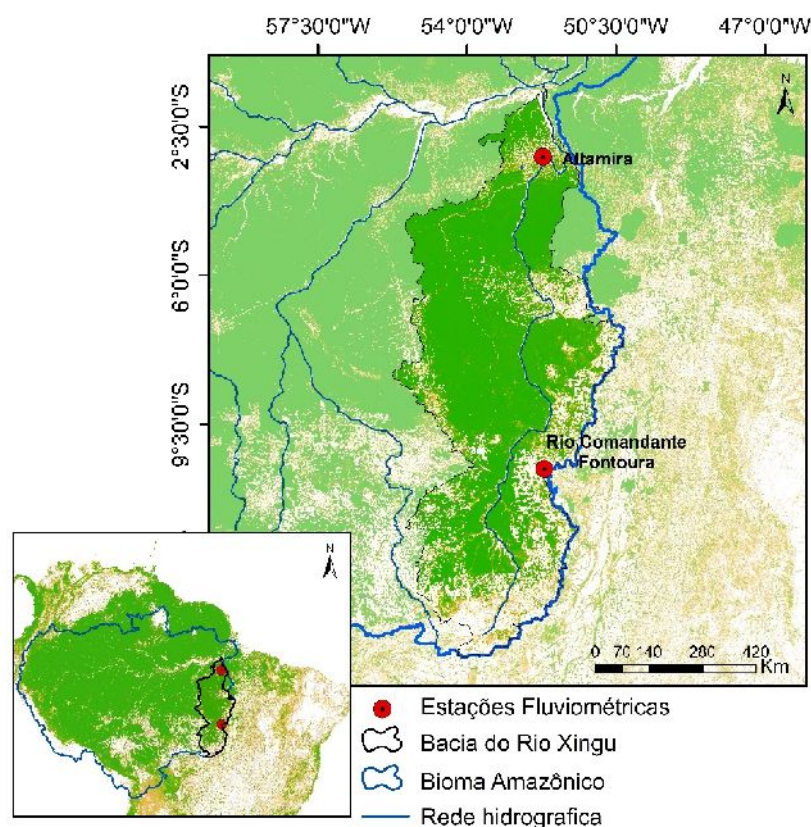
A redução da disponibilidade hídrica ocasionada pelas secas pode trazer tantos problemas ecológicos quanto econômicos. Por exemplo, estudos revelaram que embora muitas árvores na Amazônia possuam raízes profundas que possibilitam a obtenção de água em maiores profundidades do solo, sua capacidade de resistir ao déficit hídrico do solo possui um limite (MAEDA *et al.*, 2017). Assim, com o aumento da mortalidade das árvores há também uma redução no efeito tampão que esses indivíduos proporcionam a seca (CAIONI *et al.*, 2020), além de também contribuir para mudanças climáticas em grande escala, visto a grande quantidade de CO<sub>2</sub> que é emitido na atmosfera durante seu processo de decomposição (HUBAU *et al.*, 2020). Em aspectos econômicos é preciso mencionar que na bacia do Rio Xingu há uma elevada produção agrícola (OLIVEIRA *et al.*, 2020), assim a redução da disponibilidade hídrica pode não apenas inviabilizar o plantio em determinadas épocas do ano (safrinha), mas também levar a perda de muitos plantios já realizados. No alto Xingu, estudos já demonstram um prolongamento da estação seca em mais de sete dias (RIZZO *et al.*, 2020). Nessa conjectura objetivou-se avaliar o efeito da seca sobre o balanço hídrico estimado (a partir de diferentes combinações de produtos e em diferentes escalas) na Bacia do Rio Xingu.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de estudo

Foi avaliado o efeito da seca sobre o Balanço hídrico estimado (BHE) em duas escalas. As análises de pequena escala foram realizadas na sub-bacia do Rio Comandante Fontoura, enquanto as de média foram realizadas na bacia do Rio Xingu. A vazão média anual do Rio Xingu é de 8.000 m<sup>3</sup>/s, com sazonalidade anual associada ao regime de chuvas na região. A precipitação média anual na bacia é altamente sazonal (RIZZO *et al.*, 2020), variando de 1500 a 2400 mm, com estação seca pronunciada de maio a agosto, e estação chuvosa de novembro a fevereiro (HOFFMANN *et al.*, 2018, LUCAS *et al.*, 2020).

**FIGURA 1.** Localização da bacia do Rio Xingu, no contexto da bacia Amazônica. A imagem foi obtida a partir de dados da ANA - Agência Nacional de Águas (ANA, 2011), organizados no programa ArcGIS Pro (ESRI, 2021).



Fonte: próprio autor.

### Obtenção de dados

Para avaliar o efeito da seca sobre o balanço hídrico estimado (a partir de diferentes combinações de produtos e em diferentes escalas) utilizou-se os seguintes produtos:

#### - Produto MOD16A2

Para a evapotranspiração foram utilizadas duas séries temporais de dados do produto MOD16A2. A primeira série composta da coleção 005 (resoluções espaciais de 0.5 km), compreendeu de 2002 a 2014. Enquanto, a segunda série composta da coleção 006 (resoluções espaciais de 0.5 km), compreendeu de 2002 a 2018.

O algoritmo MOD16 é baseado na equação de Pennan-Monteith, a qual utiliza dados de reanálise diária e média de oito dias de dados meteorológicos de sensoriamento remoto dinâmico, sobre propriedades vegetais, do próprio MODIS (MU *et al.*, 2011). A evapotranspiração do produto MOD16A2 é disponibilizada a cada oito dias, correspondendo a soma do mesmo período de oito dias. Para cobrir o território da bacia do Rio Xingu foram utilizados os tiles h12v09, h12v10, h13v10, h13v1. A soma das cenas analisadas em ambas as séries temporais (coleções 005 e 006) totalizaram 5670 imagens do produto MOD16A2.

#### - Precipitação (CHIRPS e TRMM)

Para a precipitação utilizamos dados de 2002 a 2018 dos produtos *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations* - CHIRPS (RIVERA *et al.*, 2018), e *Tropical Rainfall Measuring Mission* - TRMM (HUFFMAN *et al.*, 2007).

Utilizou-se o produto TRMM os dados do algoritmo 3B42, versão 7. O qual, estima a precipitação por meio da combinação de dados de satélites e estações meteorológicas. Nesse intuito, são utilizados diferentes sensores (microondas e infravermelho), bem como medidas de radiômetros. Os dados são compostos pela Técnica de Análise de Precipitação Multi-satélites (*TMPA – TRMM Multisatellite Precipitation Analysis*) (HUFFMAN *et al.*, 2007). Com resolução espacial de 0,25° e temporal de três horas, os dados cobrem a área entre as latitudes 50°N e 50°S e entre 180°W e 180°E.

A precipitação utilizada do produto CHIRPS foi a da versão 2.0, que possui resolução temporal e espacial de um dia e 0.05°, respectivamente. O CHIRPS foi desenvolvido de forma conjunta pelo Centro de Pesquisa Geológica dos Estados Unidos (USGS), Universidade da Califórnia, Santa Barbara (UCSB), Agência de Desenvolvimento Internacional dos Estados Unidos (USAID), *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e a *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Os dados do CHIRPS são estimados a partir da precipitação de estações de superfície de serviços regionais e nacionais de meteorologia, satélite geoestacionário quase-global no canal do infravermelho (IR) de duas fontes da NOAA, climatologia mensal de precipitação do CHPClim (*Climate Hazards Precipitation Climatology*); CPC (*Climate Prediction Center*) e NCDC (*National Centers for Environmental Information*); produto TRMM 3B42 (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) e campos de precipitação do modelo CFSv2 (*Climate Forecast System Version 2*).

#### - Balanço hídrico observado

Como balanço hídrico observado foram considerados os dados de vazão hídricas das estações fluviométricas Rio Comandante Fontoura e de Altamira-PA (ANA, 2021).

#### - Dados Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM)

Para a obtenção do modelo digital de elevação (MDE) foram utilizados dados da missão *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM) disponibilizados pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). O SRTM foi um projeto desenvolvido em conjunto entre a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e a *National Imagery and Mapping Agency* (NIMA), do departamento de defesa dos Estados Unidos, junto às agências *Deutschen Zentrum für Luft - und Raumfahrt* (DLR) e *Agenzia Spaziale Italiana* (ASI), com duração de 11 dias, em que foram obtidos dados topográficos sobre 80% da superfície terrestre entre os paralelos 60°N e 56°S (MUKUL *et al.*, 2017).

#### - Produto GRACE

Utilizaram-se dados do produto GRACE (*Gravity Recovery and Climate Experiment*) (Ward, 2004) para obter a água armazenada no solo entre os anos de 2003 e 2014. Lançado em 17/03/2002, o GRACE é resultado de um projeto conjunto entre a NASA dos Estados Unidos e o DLR da Alemanha. A partir de medidas precisas do campo gravítico é realizada a quantificação da água presente no solo. Estudo de validação demonstram consistência nos dados do GRACE para a bacia

Amazônica (FRAPPART; RAMILLIEN, 2018; KORNFIELD *et al.*, 2019; GERDENER *et al.*, 2020).

- *Déficit Hídrico Climatológico Máximo (MCWD)*

A intensidade da seca de 2002 a 2014 foi estimada a partir do Déficit Hídrico Climatológico Máxim STAAL, A.; FLORES, B. M.; AGUIAR, A. P. D.; BOSMANS, J. H.; FETZER, I.; TUINENBURG, O. A. Feedback between drought and deforestation in the Amazon. **Environmental Research Letters**, v. 15, n. 4, p. 044024, 2020. Disponível em: <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab738e/meta> doi.org/10.1088/1748-9326> Acessado em: 13 abr. 2021.

Conforme equação abaixo (ANDERSON *et al.*, 2018; ESQUIVEL *et al.*, 2019; STAAL., 2020)

$$\begin{cases} CWDn = CWDn - 1 + Pn - ETn; \\ Max(CWDn) = 0; \\ CWD0 = CWD12; \\ MCWD = Min(CWD1 \dots CWD12) \end{cases}$$

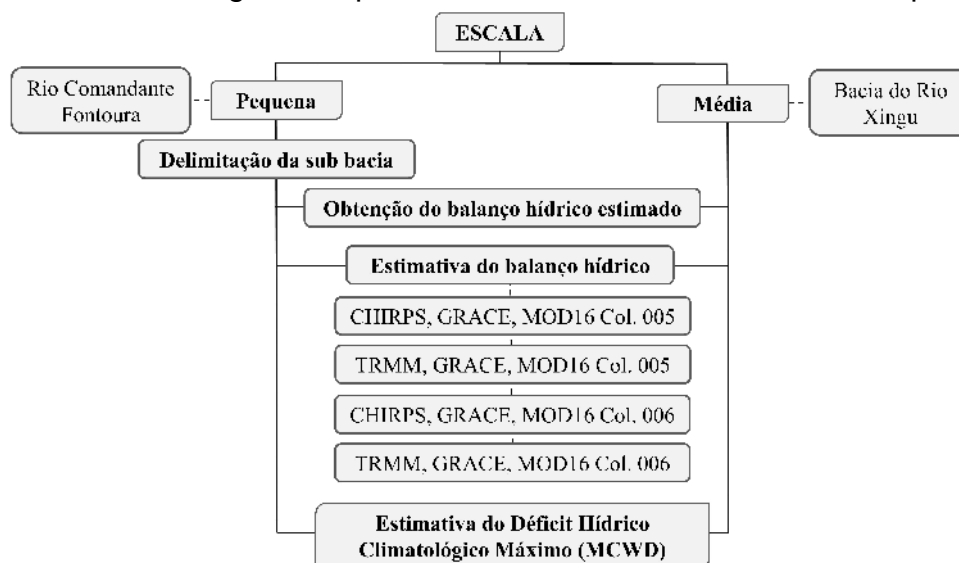
Onde:  $ETn$  representa a evapotranspiração,  $Pn$  a precipitação,  $CWD$  o déficit hídrico mensal e o  $MCWD$  o Déficit Hídrico Climatológico Máximo. Para a precipitação foram utilizados dados do satélite TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*).

Considerou-se que a evapotranspiração mensal na área foi de 100 milímetros, mediante esse valor emitido em florestas tropicais úmidas em condições normais (não seca) (MALHI *et al.* 2002). Se a precipitação mensal da floresta (pixel) for menor que 100 mm, a mesma entra em estado de déficit hídrico; caso contrário, o  $CWD$  é definido como zero. O  $MCWD$  consiste no valor mais negativo do déficit hídrico climatológico ( $CWD$ ), obtido ao longo do ciclo anual.

### Análises estatísticas

Neste estudo foram realizadas três análises (*i*) inicialmente, delimitou-se a área de drenagem (sub bacia) do Rio Comandante Fontoura; (*ii*) para em seguida estimar o balanço hídrico em pequena e média escala; (*iii*) e por último, avaliar o efeito da seca sobre o balanço hídrico estimado (Figura 2).

**FIGURA 2** – Diagrama representativo das análises adotadas no presente estudo.



Fonte: próprio autor.

- *Delimitando a área de drenagem da sub bacia*

A área de drenagem da sub bacia do Rio Comandante Fontoura foi obtida por meio de um modelo digital de elevação (MDE) criado no programa ArcGIS Pro (ESRI, 2021). O MDE foi gerado a partir de imagens SRTM (MUKUL *et al.*, 2017).

- *Estimativa do balanço hídrico em diferentes escalas*

Inicialmente calcularam-se as somas anuais das séries históricas de precipitação (TRMM e CHIRPS), evapotranspiração (MOD16) e água armazenada no solo (GRACE). Foram considerados: outubro como o mês de início e setembro como o mês de fim de cada hidoperíodo. Por último, estimou-se o balanço hidrológico em pequena e média escala por meio da equação 1.

$$Q = PPT - ET - S \quad (Eq.1)$$

Onde: Q representa o balanço hídrico, PPT a precipitação anual, ET a evapotranspiração e S a água armazenada no solo.

- *Efeito da seca sobre o balanço hídrico estimado*

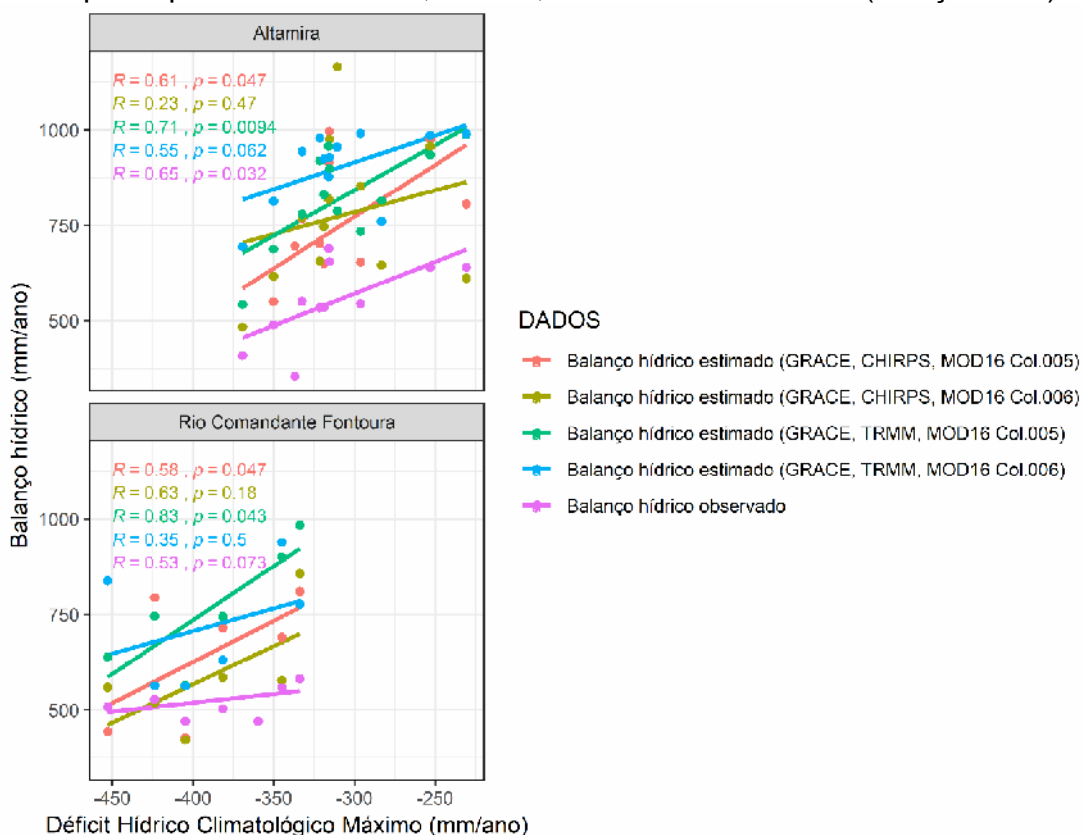
Por meio desta análise foi avaliada em pequena e média escala, o efeito da seca sobre o balanço hídrico estimado. Para isso, primeiramente extraíram-se os valores mensais do balanço hídrico (Q) e do Déficit Hídrico Climatológico Máximo (MCWD) contido dentro de cada unidade hidrográfica. Posteriormente, através do pacote raster R (HIJMANS *et al.*, 2014) realizou-se a média pixel mensal de cada variável, o que permitiu posteriormente realizar regressões lineares (especializada) entre os valores de Q (variáveis resposta) e MCWD (variável preditora). A regressão linear não espacializada (gráfica) foi construída a partir de valores únicos, obtidos por meio da média mensal dos pixels de cada variável presente dentro da área da bacia do Rio Xingu e da sub bacia do rio Comandante Fontoura.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A seca representada pelo MCWD demonstrou ocasionar significativas mudanças no balanço hídrico estimado. Contudo, a magnitude desse efeito tendeu a variar de acordo com a escala e os produtos utilizados (Figura 3). Por exemplo, na Sub bacia do Rio Comandante Fontoura aumentos de 100 mm no déficit hídrico resultou na redução de 280mm/ano no balanço hídrico estimado a partir do GRACE, TRMM e MOD16 col. 005. Para estimativas com o GRACE, CHIRPS e MOD16 Col. 005 essa redução foi menor, cerca de 220 mm/ano (Figura 3). Para toda a Bacia do Rio Xingu foi possível evidenciar maior efeito da seca em estimativas realizadas a partir das combinações CHIRPS, GRACE e MOD16 Col. 005 e TRMM, GRACE e MOD16 col. 005. Aumentos de 100 mm na intensidade da seca resultaram em decréscimos de 270 mm para estimativas com CHIRPS, GRACE e MOD16 Col. 005, e 240 mm/ano para o TRMM, GRACE e MOD16 Col. 005. Para o balanço observado essa redução ficou em torno de 170 mm/ano.



**FIGURA 3** Sensibilidade do balanço hídrico estimando a intensidade da seca. O déficit hídrico climatológico máximo (MCWD) foi calculado com base nos dados TRMM (HUFFMAN *et al.*, 2007) de 2002 a 2014, enquanto, o balanço hídrico foi estimado pelos produtos CHIRPS, TRMM, GRACE e MOD16ET (coleção 005).



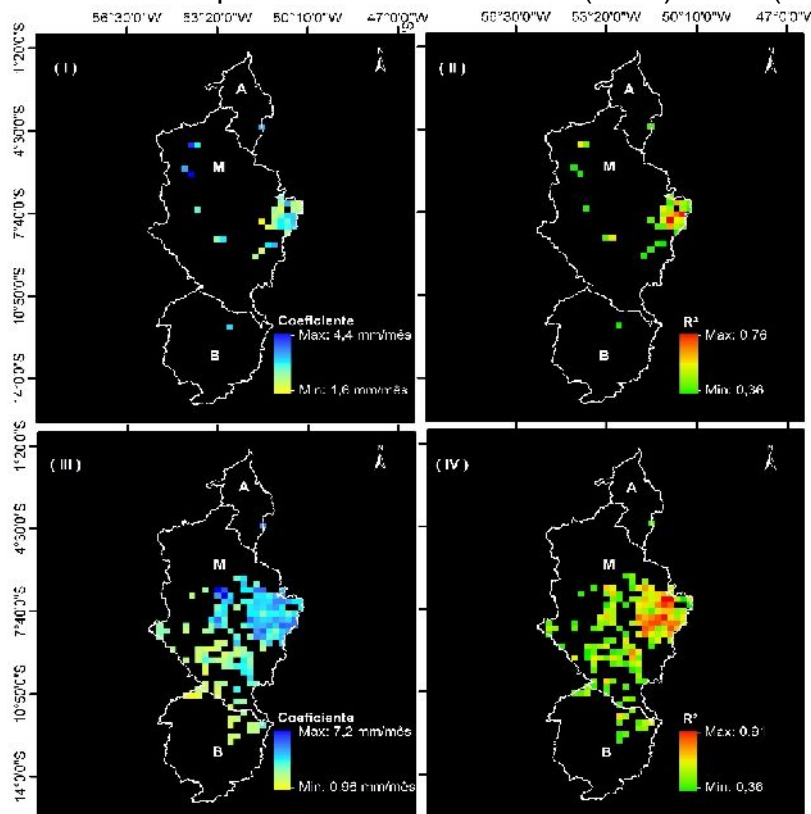
Fonte: próprio autor.

A maior sensibilidade à seca no balanço hídrico estimado com os produtos TRMM, GRACE e MOD16 (col. 005) pode estar relacionada ao fato do MCWD também ter como entrada os dados do 3B42\_TRMM. Entretanto, ao considerar as diferentes escalas, evidencia-se que essa relação é ainda maior em média escala (Bacia do Rio Xingu), em decorrência da resolução das imagens. Tanto ao nível de bacia quanto de sub bacia, todas as estimativas realizadas com MOD16ET (col. 005) apresentaram maior sensibilidade a seca. Isso devido ao fato de contrariamente à coleção 006, há baixa ausência de informações nas imagens que cobrem o sudeste Amazônico, e assim, em consequência uma maior acurácia nas estimativas realizadas com esse produto.

Essa análise especializada revelou que o efeito da seca (representado pelo MCWD) sobre o balanço hídrico é diferente ao longo da bacia do Rio Xingu, sendo maior no médio Xingu e menor no baixo Xingu (Figura 4). O balanço hídrico estimado no Médio Xingu também demonstrou relação com a seca, onde aumentos de 100 mm no déficit hídrico resultaram em decréscimos de 335 mm/ano no balanço estimado com o GRACE, TRMM e MOD16ET (coleção 005), e 257 mm/ano no balanço estimado com o GRACE, CHIRPS e MOD16ET (coleção 005) (Tabela 1).



**FIGURA 4.** Mapas do efeito da seca representado pelo MCWD sobre o balanço hídrico estimado em média escala (A = Alto Xingu, M = Medio Xingu, B = Baixo Xingu). Segue representado os pixels onde a relação foi significativa ( $p < 0.05$ ). Nos mapas I e II o balanço hídrico foi obtido a partir dos produtos GRACE, CHIRPS e MOD16ET (Col. 005), enquanto, nos mapas III e IV, utilizou-se os produtos GRACE, TRMM e MOD16ET (Col. 005). A delimitação das regiões do Xingu (representado por A, M e B) foi obtida e adaptada dos dados da ANA (2021) e ISA (2012).



Fonte: próprio autor.

**TABELA 1.** Efeito da seca sobre o balanço hídrico nas diferentes regiões da Bacia do Rio Xingu.

Regiões do Xingu	Coefficiente	R <sup>2</sup>	Produtos utilizados para a estimativa do balanço hídrico
Alto	2.97	0.37	GRACE, CHIRPS e MOD16 (col. 005)
Médio	2.57	0.48	GRACE, CHIRPS e MOD16 (col. 005)
Baixo	3.20	0.39	GRACE, CHIRPS e MOD16 (col. 005)
Alto	1.83	0.47	GRACE, TRMM e MOD16 (col. 005)
Médio	3.35	0.55	GRACE, TRMM e MOD16 (col. 005)
Baixo	4.71	0.40	GRACE, TRMM e MOD16 (col. 005)

## CONCLUSÕES

A seca (presentado pelo MCWD) demonstrou ocasionar significativas mudanças no balanço hídrico estimado, sobretudo para estimativas do balanço hídrico realizadas a partir dos produtos TRMM e MOD16 coleção 005. Também foi constatado maior sensibilidade à seca para estimativas do balanço hídrico realizadas em média escala. O efeito da seca no balanço hídrico estimado tende a

ser diferente na bacia, sendo esse mais forte no médio Xingu e mais fraco no baixo Xingu.

## REFERÊNCIAS

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2019. **Sistema de informações hidrológicas**. Disponível em: < <https://www.gov.br/ana/pt-br>>. Acessado em: 15 jan. 2021.

ANDERSON, L. O.; RIBEIRO NETO, G.; CUNHA, A. P.; FONSECA, M. G.; MENDES DE MOURA, Y.; DALAGNOL, R.; DE ARAGÃO, L. E. O. E. C. Vulnerability of Amazonian forests to repeated droughts. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 373, n. 1760, p. 20170411, 2018. Disponível em: <<https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rstb.2017.0411>  
<https://doi.org/10.1098/rstb.2017.0411>>. Acessado em: 16 maç. 2021.

CAIONI, C.; SILVÉRIO, D. V.; MACEDO, M. N.; COE, M. T.; BRANDO, P. M. Droughts Amplify Differences Between the Energy Balance Components of Amazon Forests and Croplands. **Remote Sensing**, v. 12, n. 3, p. 525, 2020. Disponível em: < <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/3/525>. 10.3390/rs12030525> Acesso em: 15 jun. 2020.

DALAGNOL, R.; BORMA, L. D. S.; MATEUS, P.; RODRIGUEZ, D. A. Assessment of climate change impacts on water resources of the Purus Basin in the southwestern Amazon. **Acta Amazonica**, v. 47, n. 3, p. 213-226, 2017. Disponível em:< [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0044-59672017000300213&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0044-59672017000300213&script=sci_arttext). doi.org/10.1590/1809-4392201601993> Acessado em: 13 abr. 2021.

ESQUIVEL, A.; BAKER, T. R.; DEXTER, K. G.; LEWIS, S. L.; BRIENEN, R. J.; FELDPAUSCH, T. R.; PHILLIPS, O. L. Compositional response of Amazon forests to climate change. **Global Change Biology**, v. 25, n. 1, p. 39-56, 2019. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcb.14413>  
<https://doi.org/10.1111/gcb.14413>>. Acessado em: 11 dez. 2020.

ESRI, ArcGIS. 10.8. **ArcGIS Pro**, 2021. Disponível em: <<https://www.esri.com/en-us/arcgis/trial?rsource=%2Fsoftware%2Farcgis%2Farcgis-for-desktop%2Ffree-trial>>. Acessado em: 11 dez. 2020.

FERREIRA, L.; MAROTTA, G. S.; MADDEN, E. H.; HORBE, A. M.; SANTOS, R. V.; COSTA, J. M. Vertical displacement caused by hydrological influence in the Amazon Basin. **Journal of Geophysical Research: Solid Earth**, v. 126, n. 3, p. e2020JB020691, 2020. Disponível em: <[https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2020JB020691?casa\\_token=7fvofi\\_wKIkAAAAA%3Af19cVefT1JwgcjVOb7WppTyydMhMSPQ6SIImDLU5tSjRcpGmy8b0iHrOAQSn6gx3wLAlp2lhUzfSzbItNg](https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2020JB020691?casa_token=7fvofi_wKIkAAAAA%3Af19cVefT1JwgcjVOb7WppTyydMhMSPQ6SIImDLU5tSjRcpGmy8b0iHrOAQSn6gx3wLAlp2lhUzfSzbItNg). doi.org/10.1029/2020JB020691>. Acessado em: 28 abr. 2021.

FITZGERALD, D. B.; PEREZ, M. H. S.; SOUSA, L. M.; GONÇALVES, A. P.; PY-DANIEL, L. R.; LUJAN, N. K.; LUNDBERG, J. G. Diversity and community structure

of rapids-dwelling fishes of the Xingu River: Implications for conservation amid large-scale hydroelectric development. **Biological conservation**, v. 222, p. 104-112, 2018. Disponível em: <[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006320717315008?casa\\_token=wWsbwb-M0AAAAA:5UpXMJ7XgpjmHish1ljVm65j5boY0UD\\_wLj2kFGOD3EpC0r1-5P814ac8j31si46bgnDRnQC2zGo](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006320717315008?casa_token=wWsbwb-M0AAAAA:5UpXMJ7XgpjmHish1ljVm65j5boY0UD_wLj2kFGOD3EpC0r1-5P814ac8j31si46bgnDRnQC2zGo)> doi.org/10.1016/j.biocon.2018.04.002> Acessado em: 13 abr. 2021.

FRAPPART, F.; RAMILLIEN, G. Monitoring groundwater storage changes using the *Gravity Recovery and Climate Experiment* (GRACE) satellite mission: A review. **Remote Sensing**, v. 10, n. 6, p. 829, 2018. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2072-4292/10/6/829>> doi.org/10.3390/rs10060829> Acessado em: 12 jun. 2021.

GERDENER, H.; ENGELS, O.; KUSCHE, J. A framework for deriving drought indicators from the *Gravity Recovery and Climate Experiment* (GRACE). **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 24, n. 1, p. 227-248, 2020. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2072-4292/10/6/829>> doi.org/10.3390/rs10060829> Acessado em: 12 jun. 2021.

HIJMANS, R. J.; VAN ETEN, J.; ETEN, J.; MATTIUZZI, M. V.; SUMNER, M.; GREENBERG, J. A.; LAMIGUEIRO, O. P.; RACINE, E. B.; SHORTRIDGE, A. raster: Geographic data analysis and modeling. **R package version**, v. 2, p.15, 2014. Disponível em: <<https://rdr.io/cran/raster/>>. Acessado em: 05 fev. 2021.

HOFFMANN, E. L.; DALLACORT, R.; CARVALHO, M. A. C.; YAMASHITA, O. M.; BARBIERI, J. D. Variabilidade das chuvas no Sudeste da Amazônia paraense, Brasil (Rainfall variability in southeastern Amazonia, Paraense, Brazil). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 4, p. 1251-1263, 2018. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/234327>> acessado em: 12 jun. 2021.

HUBAU, W.; LEWIS, S. L.; PHILLIPS, O. L.; AFFUM-BAFFOE, K.; BEECKMAN, H.; CUNÍ-SANCHEZ, A.; ZEMAGHO, L. Asynchronous carbon sink saturation in African and Amazonian tropical forests. **Nature**, v. 579, n. 7797, p. 80-87, 2020. Disponível em: <[https://www.nature.com/articles/s41586-020-2035-0?fbclid=IwAR2T\\_uRfWy4pUP\\_u0\\_MZTbyl1TEZovKAn49LzyzVCbSsljU0X2yjysRL9ag](https://www.nature.com/articles/s41586-020-2035-0?fbclid=IwAR2T_uRfWy4pUP_u0_MZTbyl1TEZovKAn49LzyzVCbSsljU0X2yjysRL9ag)> doi.org/10.5521/Forestplots.net/2019\_1>. Acessado em: 13 abr. 2021.

HUFFMAN, G. J.; BOLVIN, D. T.; NELKIN, E. J.; WOLFF, D. B.; ADLER, R. F.; GU, G.; HONG, Y.; BOWMAN, K. P. STOCKER, E. F. The TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales. **Journal of hydrometeorology**, v. 8, n. 1, p. 38-55, 2007. Disponível em: <[https://journals.ametsoc.org/view/journals/hydr/8/1/jhm560\\_1.xml](https://journals.ametsoc.org/view/journals/hydr/8/1/jhm560_1.xml)> doi.org/10.1175/JHM560.1>. Acessado em: 11 set. 2020.

ILHA, P.; ROSSO, S.; SCHIESARI, L. Effects of deforestation on headwater stream fish assemblages in the Upper Xingu River Basin, Southeastern

Amazonia. **Neotropical Ichthyology**, v. 17, n. 1, 2019. Disponível em: <[https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1679-62252019000100201&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1679-62252019000100201&script=sci_arttext). doi.org/10.1590/1982-0224-20180099> Acessado em: 13 abr. 2021.

ISA - INSTITUTO SÓCIO AMBIENTAL. 2012. **De olho na bacia do Xingu**. Série Cartô Brasil Socioambiental. São Paulo (SP): Instituto Socioambiental. Disponível em: <<https://www.socioambiental.org/pt-br/o-isa/publicacoes/de-olho-na-bacia-do-xingu>>. Acessado em: 15 jan. 2021.

JIMENEZ, J. C.; BARICHIVICH, J.; MATTAR, C.; TAKAHASHI, K.; SANTAMARÍA-ARTIGAS, A.; SOBRINO, J. A. MALHI, Y. Spatiotemporal patterns of thermal anomalies and drought over tropical forests driven by recent extreme climatic anomalies, **Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.**, v. 373, n. 1760, p. 20170300, 2018. Disponível em: <<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstb.2017.0300>. doi:10.1098/rstb.2017.0300>. Acessado em: 21 abr. 2021.

KORNFELD, R. P.; ARNOLD, B. W.; GROSS, M. A.; DAHYA, N. T.; KLIPSTEIN, W. M.; GATH, P. F.; BETTADPUR, S. GRACE-FO: the *Gravity Recovery and Climate Experiment* follow-on mission. **Journal of spacecraft and rockets**, v. 56, n. 3, p. 931-951, 2019. Disponível em: < <https://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/1.A34326> doi.org/10.2514/1.A34326>. Acessado em: 11 jun. 2021.

LUCAS, E. W. M.; SOUSA, F. D. A. S. D.; SILVA, F. D. D. S.; ROCHA JÚNIOR, R. L. D.; ATAIDE, K. R. D. P. Previsões de Vazões Mensais na Bacia Hidrográfica do Xingu-Leste da Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, n. AHEAD, 2020. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbmet/a/Fj4vwYgq88cwf5P5Vnk6H7G/?lang=pt> https://doi.org/10.1590/0102-77863550012>. Acessado em: 11 jun. 2021.

MAEDA, E. E.; MA, X. L.; WAGNER, F. H.; KIM, H.; OKI, T.; EAMUS, D.; HUETE, A. Evapotranspiration seasonality across the Amazon Basin. **Earth System Dynamics**, v. 8, n. 2, p. 439–454, 2017. Disponível em: < <https://esd.copernicus.org/articles/8/439/2017/>. <https://doi.org/10.5194/esd-8-439-2017>>. Acessado em: 13 abr. 2021.

MALHI, Y.; PEGORARO, E.; NOBRE, A. D.; PEREIRA, M. G. P.; GRACE, J.; CULF, A. D.; CLEMENT, B. Energy and water dynamics of a central Amazonian rain forest. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 107, n. D20, p. LBA 45-1-LBA 45-17, 2002. Disponível em: <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2001JD000623> doi10.1029/2001JD000623> Acessado em: 13 abr. 2021.

MATSCHULLAT, J.; MONTEIRO BEZERRA DE LIMA, R.; VON FROMM, S. F.; POSPIECH, S.; RAMOS, A. M.; COIMBRA MARTINS, G.; LENHART, K. Carbon, nitrogen and sulfur (CNS) status and dynamics in Amazon basin upland soils, Brazil. **Soil Discussions**, p. 1-22, 2019. Disponível em: < <https://soil.copernicus.org/preprints/soil-2019-16/>. doi.org/10.5194/soil-2019-16> Acessado em: 13 abr. 2021.

MU, Q., ZHAO, M., RUNNING, S.W. Improvements to a MODIS global terrestrial evapotranspiration algorithm. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, n. 8, p. 1781-1800, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425711000691>. doi.org/10.1016/j.rse.2011.02.019>. Acessado em: 16 maç. 2021.

MUKUL, M.; SRIVASTAVA, V.; JADE, S.; MUKUL, M. Uncertainties in the shuttle radar topography mission (SRTM) Heights: Insights from the Indian Himalaya and Peninsula. **Scientific reports**, v. 7, n. 1, p. 1-10, 2017. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/srep41672>. 10.1038/srep41672(2017)>. Acessado em: 11 jun. 2021.

OLIVEIRA, G.; CHEN, J. M.; MATAVELI, G. A.; CHAVES, M. E.; RAO, J.; STERNBERG, M.; DOS SANTOS, C. A. Evapotranspiration and Precipitation over Pasture and Soybean Areas in the Xingu River Basin, an Expanding Amazonian Agricultural Frontier. **Agronomy**, v. 10, n. 8, p. 1112, 2020. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2073-4395/10/8/1112/htm> doi.org/10.3390/agronomy10081112> Acessado em: 27 abr. 2021.

PAPASTEFANOU, P.; ZANG, C. S.; ANGELOV, Z.; DE CASTRO, A. A.; JIMENEZ, J. C.; DE REZENDE, L. F. C.; RAMMIG, A. Quantifying the spatial extent and intensity of recent extreme drought events in the Amazon rainforest and their impacts on the carbon cycle. **Biogeosciences Discussions**, p. 1-37, 2020. Disponível em: <<https://bg.copernicus.org/preprints/bg-2020-425/bg-2020-425.pdf>. doi.org/10.5194/bg-2020-425> Acessado em: 23 abr. 2021.

RIVERA, J. A.; MARIANETTI, G.; HINRICHS, S. Validation of CHIRPS precipitation dataset along the Central Andes of Argentina. **Atmospheric Research**, v. 213, p. 437-449, 2018. Disponível em: <[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809518301042?casa\\_token=zW97SxvsRkwAAAAA:LqDEfEzSCWV4INJd9TOUx2QdQt0LO1wBal2LC4JOqh1JNO9Y2Q6\\_q-tKYHWNdf3EeT156G3vcqZq](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809518301042?casa_token=zW97SxvsRkwAAAAA:LqDEfEzSCWV4INJd9TOUx2QdQt0LO1wBal2LC4JOqh1JNO9Y2Q6_q-tKYHWNdf3EeT156G3vcqZq). doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.06.023>. Acessado em: 11 maç. 2021.

RIZZO, R.; GARCIA, A. S.; VILELA, V. M. D. F.; BALLESTER, M. V. R.; NEILL, C.; VICTORIA, D. C.; COE, M. T. Land use changes in Southeastern Amazon and trends in rainfall and water yield of the Xingu River during 1976–2015. **Climatic Change**, v. 162, p. 1419-1436, 2020. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10584-020-02736-z>. doi.org/10.1007/s10584-020-02736-z> Acessado em: 13 abr. 2021.

SOUSA, F. D. R.; ELMOOR-LOUREIRO, L. M. Cladocera from the Upper Xingu River Basin with the description of a new genus of the Chydoridae (Crustacea: Branchiopoda: Anomopoda). **Zootaxa**, v. 4418, n. 6, p. 545-561, 2018. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Francisco-Diogo-Sousa/publication/325092718\\_Cladocera\\_from\\_the\\_Upper\\_Xingu\\_River\\_Basin\\_with\\_the\\_description\\_of\\_a\\_new\\_genus\\_of\\_the\\_Chydoridae\\_Crustacea\\_Branchiopoda\\_A](https://www.researchgate.net/profile/Francisco-Diogo-Sousa/publication/325092718_Cladocera_from_the_Upper_Xingu_River_Basin_with_the_description_of_a_new_genus_of_the_Chydoridae_Crustacea_Branchiopoda_A)

nomopoda/links/5af5f1dbaca2720af9c6cca3/Cladocera-from-the-Upper-Xingu-River-Basin-with-the-description-of-a-new-genus-of-the-Chydoridae-Crustacea-Branchiopoda-Anomopoda.pdf. doi.org/10.11646/zootaxa.4418.6.3> Acessado em: 13 abr. 2021.

XU, D.; AGEE, E.; WANG, J.; IVANOV, V. Y. Estimation of evapotranspiration of Amazon rainforest using the maximum entropy production method. **Geophysical Research Letters**, v. 46, n. 3, p. 1402-1412, 2019. Disponível em: <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2018GL080907>. doi.org/10.1029/2018GL080907>. Acessado em: 13 abr. 2021.

WARD, A. Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE). **NASA**, v. 30, 2004. Disponível em: <<https://earthobservatory.nasa.gov/features/GRACE>>. Acessado em: 16 maç. 2021.