

A precipitação estimada por satélite na Bacia do Rio Negro, Noroeste Amazônico (1981-2017)

The precipitation estimated with satellite in the River Negro Basin, Northwest Amazon (1981-2017)

Rogério Ribeiro Marinho *, Irma Ayes Rivera **

* Departamento de Geografia, Universidade Federal do Amazonas, e-mail: rogeo@ufam.edu.br

** PPG-CLIAMB, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, e-mail: irma.ayes@inpa.gov.br

DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v50i0.67426>

Resumo

Este artigo analisou a variabilidade temporal e espacial da precipitação pluviométrica na bacia do rio Negro no período de 1981 a 2017. Foram utilizados dados da estimativa mensal de precipitação do projeto Climate Hazards group Infrared Precipitation with Stations (CHIRPS v.2) com resolução espacial de 0,05 graus. A comparação entre os dados CHIRPS e as observações de estações pluviométricas apresentaram elevados coeficientes de determinação ($R^2 > 0,85$) e baixo erro médio (RMSE < 1%). A precipitação média identificada sobre a bacia do rio Negro foi de 2.620 mm/ano, com 54% deste valor ocorrendo entre os meses de abril e julho (período chuvoso). Foi observado um discreto aumento da precipitação média nos dados da década de 2001-2010 em comparação com o período 1981-1990. Os maiores eventos extremos de precipitação foram observados em 2008 (ano úmido) e 2015 (ano seco). Observamos uma elevada variabilidade espacial na precipitação entre o alto rio Negro e alto rio Branco, em função do relevo nas áreas que drenam os escudos das Guianas (rios Uraricoera, Tacutu e Casiquiare). A razão entre precipitação máxima e mínima na escala de sub-bacia indicou baixos valores (1,14 a 2,12). A base de dados CHIRPS v.2 se mostrou adequada para estudos da climatologia de precipitação em regiões com baixa densidade de estações da bacia Amazônica, como a bacia do rio Negro.

Palavras-chave: Variabilidade da precipitação, Regime de precipitação, Bacia Amazônia, CHIRPS.

Abstract

The temporal and spatial variability of rainfall from 1981 to 2017 was analyzed in the Negro river basin, northwest of the Amazon basin. Precipitation estimation data from the Climate Hazards group Infrared Precipitation with Stations project (CHIRPS v.2), with spatial resolution of 0.05 degrees, were used. The CHIRPS v.2 dataset correlate well with observations for stations localized in wet and dry regions of the Negro river basin ($R^2 > 0.85$ and RMSE < 1%). The mean rainfall identified on the Negro River basin was 2,620 mm/year, with 54% of this value occurring between April and July (rainy season). A slight increase in average rainfall was observed in the dataset for the 2001-2010 decade compared to the 1981-1990. The largest extreme precipitation events were observed in 2008 (wet year) and 2015 (dry year). The results indicated a high spatial contrast of precipitation over the drainage areas of the rivers Negro and Branco. It was identified influence of the Guiana shields on precipitation, mainly in the tributaries of the upper Branco

river and in the region of formation of the Negro river (Casiquiare channel). The CHIRPS v.2 dataset can be useful for climatological studies of poorly monitored regions in the Amazon basin.

Keywords: Rainfall variability, Rainfall regime, Amazon basin, CHIRPS.

I. INTRODUÇÃO

O noroeste Amazônico é uma região de clima tropical úmido com elevados valores de precipitação (> 2.000 mm/ano) escoada principalmente pela bacia rio Negro, principal tributário de descarga líquida da margem esquerda para o rio Amazonas, e considerado o sexto maior do mundo em volume de água (LATRUBESSE et al., 2005). A elevada pluviosidade nesta bacia produz um escoamento superficial específico de 51 l/s/km² (GETIRANA, 2009). No entanto, esta bacia possui uma grande variabilidade espacial na distribuição da precipitação (RONCHAIL et al., 2002). A região oeste do rio Branco, por exemplo, possui valor médio anual de 1.200 mm (OLIVEIRA et al., 2014).

A estimativa da precipitação é de grande importância para o monitoramento de eventos climáticos extremos e seus riscos associados, bem como para a caracterização do potencial de áreas para diferentes usos e projetos (agricultura, energia, transporte, entre outros). Por outro lado, a Rede Hidrometeorológica Nacional apresenta poucas estações pluviométricas disponíveis sobre a bacia do rio Negro, que possui uma densidade média de 0,14 estações por 1.000 km² (GETIRANA, 2009), enquanto que a Organização Meteorológica Mundial (OMM) recomenda uma estação pluviométrica para cada 3.000 km² de área monitorada (OLIVEIRA et al., 2014).

Estudos desenvolvidos na região indicam a necessidade de um entendimento mais detalhado sobre a variabilidade espacial e temporal do clima, uma vez que eventos climáticos extremos estão ocorrendo com maior frequência na Amazônia (ESPINOZA VILLAR et al., 2009; MARENGO et al., 2011; MARENGO e ESPINOZA 2016) e frente a projeções que mostram probabilidade de aumento de temperatura e ocorrência de valores extremos de precipitação na bacia do rio Negro (CANDIDO e SOUZA, 2016) e no seu principal tributário, o rio Branco (BRAVO et al., 2014).

Nos últimos anos diversos projetos passaram a disponibilizar estimativas de precipitação derivadas de dados de satélites (KARGER et al., 2017; FUNK et al., 2015; TRMM, 2013), constituindo assim bases de dados de grande importância para regiões com baixa densidade de estações. Percebe-se assim a necessidade de estudos que envolvam novas bases de dados climatológicos na análise de dados espacialmente distribuídos, principalmente em áreas com poucas estações de monitoramento pluviométrico, e com isso, fornecer

informações mais precisas e com maior cobertura espacial e temporal. Assim, este trabalho tem como objetivo analisar a variabilidade espacial e temporal da precipitação estimada pelo projeto Climate Hazards group Infrared Precipitation with Stations (CHIRPS v.2) sobre a bacia do rio Negro e seus principais tributários.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

A bacia do rio Negro localiza-se entre as latitudes 3°14'S e 5°8'N e longitudes 72°57'W e 58°16'W, possui uma área de 712.000 km², se estende sobre o Brasil, Colômbia, Guiana e Venezuela, com mais de 80% de sua área no território brasileiro (Figura 1), onde envolve parte dos estados do Amazonas e Roraima. Devido a sua grande importância socioambiental, esta bacia possui 79% de sua extensão em áreas protegidas, além de abrigar mais de 40 povos indígenas (CAMPOS, 2011).

Com aproximadamente 1.700 km de extensão entre a nascente e sua foz, o rio Negro é a maior rede hidrográfica de águas escuras do planeta, ocupando uma área que corresponde a 12% da bacia Amazônica. Esta grande bacia hidrográfica possui mais de 20 importantes tributários com área de captação média de 26.000 km², variando de 9.000 (rio Jufari) a 64.500 km² (rio Uaupés). O rio Branco é o principal sistema fluvial do estado de Roraima, com maior densidade populacional em relação ao estado do Amazonas, possui grande importância devido ao seu volume de água e transporte de sedimentos para o rio Negro.

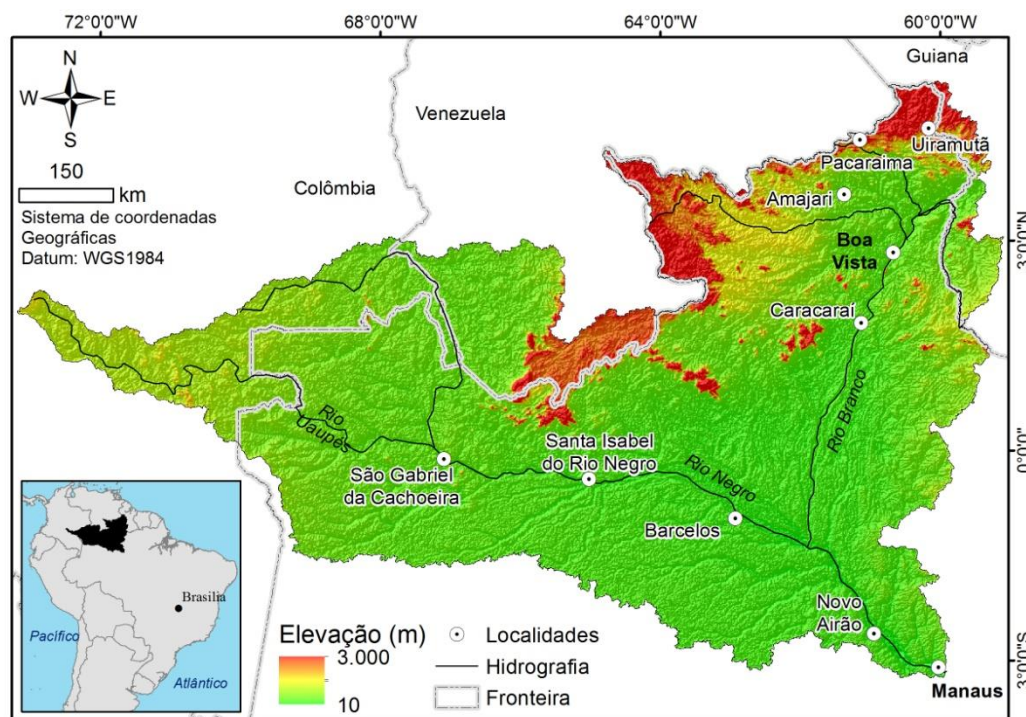


Figura 1. Localização da bacia do rio Negro e principais cidades. Fonte: Autores (2019).

A parte superior da bacia atravessa planícies da Colômbia e o escudo das Guianas. As maiores altitudes estão localizadas nas regiões norte e nordeste da bacia, com valores que chegam a 2.800 metros no Monte Roraima e a 2.900 metros no Pico da Neblina. Na região de planície as elevações variam entre 10 e 100 metros no médio e baixo curso desta bacia, respectivamente.

De acordo com Alvares et al. (2013) a bacia do rio Negro apresenta climas do tipo tropical sem estação seca (Af), monçônico (Am) e com inverno seco (Aw). A precipitação é um dos principais fatores determinante do clima na bacia, com uma intensidade média anual superior a 2.000 mm/ano, e valores que aumentam na direção noroeste (3.500 mm/ano na fronteira com a Colômbia). Nas áreas de savanas os valores são menores que 1.800 mm/ano. A precipitação é oriunda principalmente do Atlântico Tropical Norte e com intensa reciclagem pela floresta por meio da evapotranspiração (SORÍ et al. 2017; SALATI e MARQUES 1984).

No alto rio Negro os meses mais chuvosos são maio, junho e julho, sem uma estação seca bem definida, em função da posição mais ao norte da Zona de Convergência Intertropical – ZCIT (RONCHAIL et al. 2002). Na bacia do rio Branco o regime de precipitação é mais definido, com maior volume entre abril e setembro, e a estação seca ocorrendo entre outubro e março (EVANGELISTA et al, 2012). Na região do baixo rio Negro o máximo de precipitação ocorre entre os meses de fevereiro e abril. Para Alves et al. (2013) o

quadrimestre úmido do noroeste amazônico compreende os meses de abril e julho, e o quadrimestre seco ocorre de novembro a fevereiro.

Em função de sua posição próxima ao equador terrestre, a bacia amazônica recebe intensa quantidade de energia solar em sua superfície o que causa pouca variação na temperatura ao longo do ano, com exceção da região sul da bacia devido à ação de sistemas frontais (MARENGO e NOBRE, 2009). A temperatura média anual na região equatorial da planície amazônica varia entre 26 e 28 °C. Esta elevada temperatura resulta em uma evapotranspiração potencial na bacia da ordem de 03 mm/dia entre os meses de janeiro e junho, com um incremento de até 04 mm/dia entre julho e dezembro (SORÍ et al. 2017).

Dados, processamentos e análises

Foi utilizada a precipitação estimada pelo CHIRPS v.2 (Climate Hazards group Infrared Precipitation with Stations) no período 1981-2017 disponibilizada em formato raster (netCDF) em CHIRPS (2015). A resolução espacial deste produto é de 0,05 graus, o que corresponde a células de aproximadamente 5,3 km² (FUNK et al, 2015). O produto CHIRPS v.2 foi desenvolvido pelo United States Geological Survey (USGS), Earth Resources Observation and Science (EROS) e pelo Climate Hazards Group at the University of California, Santa Barbara (UCSB), e oferece estimativas especializada da precipitação em intervalo temporal anual, mensal e diário sobre as latitudes 50° Sul e 50° Norte.

As estimativas de precipitação do CHIRPS v.2 é realizada através de dados oriundos de sensores do infravermelho termal abordo de satélites geoestacionários da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), do Centro de Previsão Climática (CPC) e do National Climatic Data Center Climáticos (NCDC), em conjunto com registros de estações meteorológicas e outros serviços regionais (FUNK et al, 2015)

A precipitação sobre a bacia do rio Negro foi trabalhada na escala mensal e interanual para o período de 36 anos. Para avaliação da qualidade da estimativa de precipitação do CHIRPS foram utilizados dados mensais das estações Manaus (82331) e Boa vista (82024) disponibilizado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Estas estações estão localizadas em áreas de baixa elevação, inferior a 90 metros em relação ao nível médio do mar. Comparações pareadas entre os dados mensais das estações e as estimativas do produto CHIRPS v.2 foram utilizadas para avaliar o desempenho desta base de dados nestas localidades. Para a análise de comparação entre os dados INMET e dados CHIRPS foram usados estimadores aplicados em

trabalhos anteriores (COSTA et al., 2019; GETIRANA et al., 2011), como o coeficiente de correlação (R^2) e a raiz quadrada do erro médio (Equação 1)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(z_i - z_{ref})^2}{N}} \quad (1)$$

onde RMSE é a raiz quadrada do erro médio; N é número de amostras, z_i e z_{ref} são os valores de precipitação estimados pelos CHIRPS e observados nas estações do INMET, respectivamente.

O regime de precipitação mensal estimada pelos dados CHIRPS v.2 na bacia do rio Negro foi analisado por meio de gráficos do tipo Boxplot, que possibilita visualizar os quartis, a dispersão do conjunto de dados estimado em cada mês entre 1981 e 2017, bem como a ocorrência de valores discrepantes (outliers). Anomalias de precipitação anual e das estações chuvosa e seca na bacia foram obtidas por meio da análise do desvio em relação à média da série histórica de dados. Para definir anos com padrão seco e chuvoso foi utilizada a técnica do desvio quartílico das precipitações anuais (ZAVATTINI e BOIN, 2013). Assim, um ano padrão seco ou chuvoso foi observado quando os totais da pluviosidade anual são inferiores ao quartil 1 ou quartil 3 da série histórica analisada.

A variabilidade espacial da precipitação na escala de sub-bacia foi analisada por meio do índice de regularidade, obtido pela razão entre os valores máximos (Pmax) e mínimos (Pmin) de precipitação. A análise da precipitação nas sub-bacias dos rios Negro e Branco foi realizada através da sobreposição em Sistema de Informações Geográficas (QGIS versão 3.10) entre a base cartográfica disponibilizada por Venticinque et al. (2016) e os dados CHIRPS v.2, onde se obteve estatísticas descritivas (média, mínima, máxima, desvio padrão) para toda extensão da bacia do rio Negro e suas sub-bacias. A Figura 2 apresenta o fluxograma da metodologia usada neste estudo.

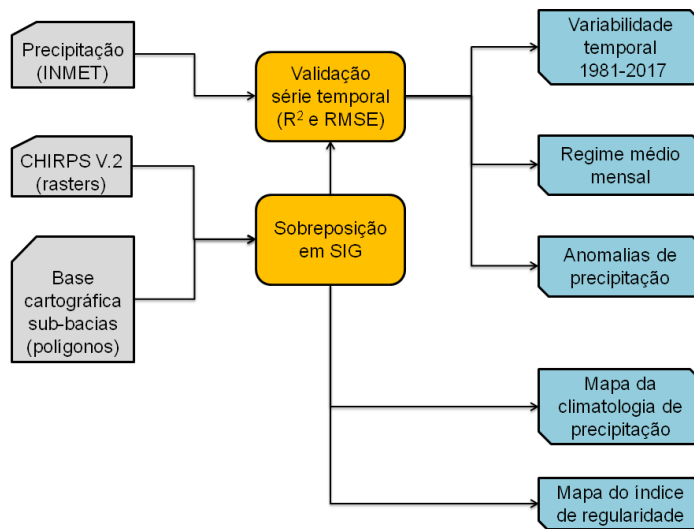


Figura 2. Metodologia utilizada para avaliação e análise dos dados CHIRPS sobre a bacia do rio Negro.

III.RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliação da estimativa de precipitação

As Figuras 3a e 3b apresenta a série histórica do acumulado de precipitação mensal observada e estimada para as estações de Boa Vista e Manaus, respectivamente, onde se pode notar a boa representação do comportamento das chuvas estimado pelos dados CHIRPS v.2 e registrado nas estações do INMET ao longo do período analisado. O resultado da avaliação é apresentado nas Figuras 3c e 3d, em que obteve-se fortes coeficientes de determinação entre os registros das estações e as estimativas de precipitação do CHIRPS v.2 para ambas as estações (R^2 maior que 0,85). Os coeficientes apresentados nas Figuras 3c e 3d indicam que os dados CHIRPS sobre as estações de Boa Vista e Manaus podem apresentar superestimativas de 09 e 36 mm/mês, respectivamente. No entanto, as estimativas de erros médios foram inferiores a 1,00% em ambas as estações, com RMSE 0,40% para a estação de Boa Vista e RMSE de 0,24% para a estação de Manaus.

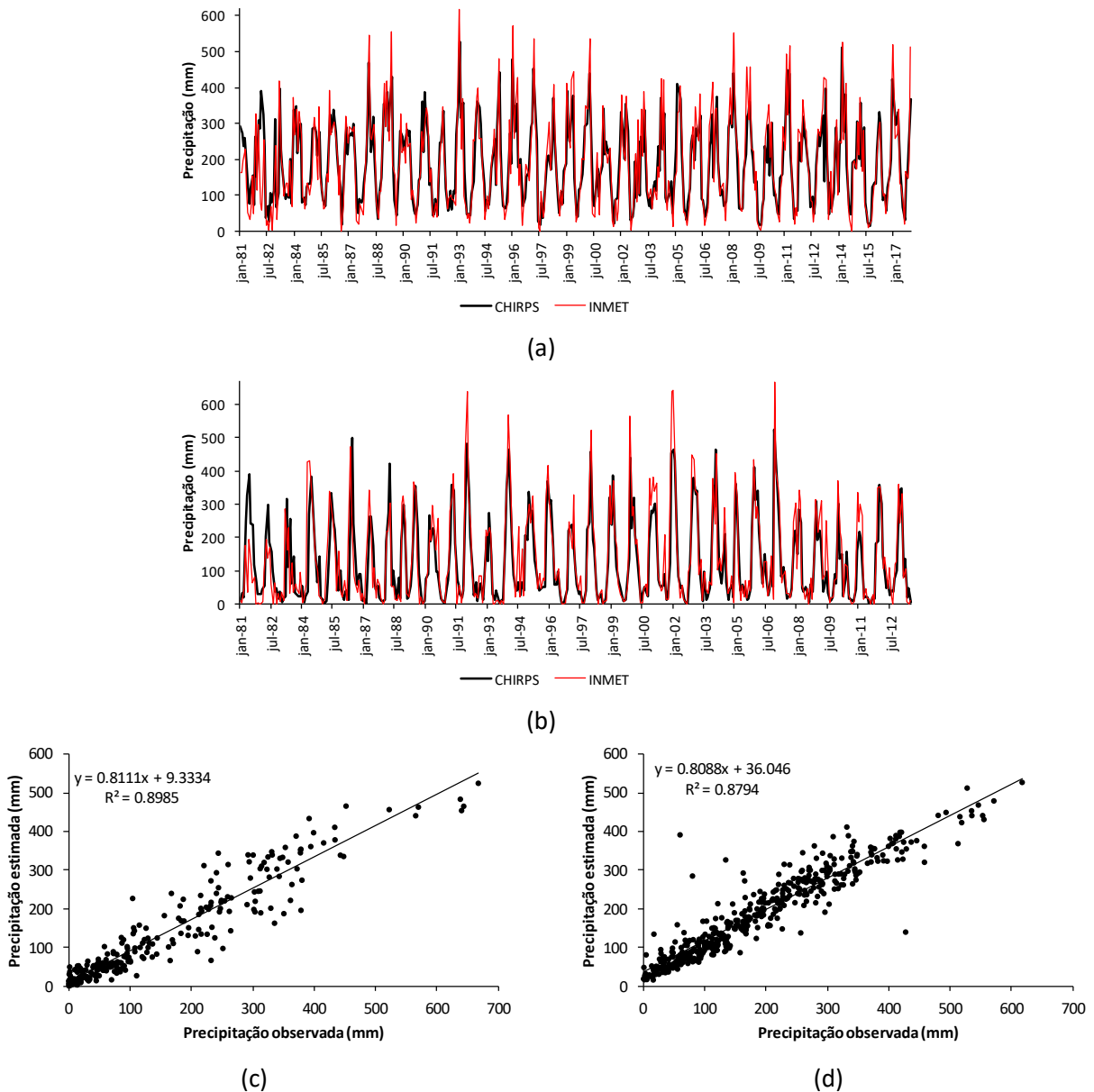


Figura 2. Série histórica da estimativa de precipitação do CHIRPS com a precipitação observada nas estações de Boa Vista (a) e Manaus (b). Comparação entre precipitação mensal observada e precipitação estimada para as estações de Boa Vista (c) e Manaus (d). Fonte: Autores (2019).

Avaliações anteriores dos dados CHIRPS v.2 indicaram bons resultados desta base de dados. Costa et al. (2019) analisaram a similaridade do conjunto de dados CHIRPS e estações meteorológicas em diferentes regiões brasileiras, obtendo coeficiente de determinação de 93% para o norte do Brasil. Paredes-Trejo et al. (2017) encontraram boa correlação ao avaliar estimativas do CHIRPS v.2 no nordeste brasileiro, mas observaram uma tendência do CHIRPS em subestimar a precipitação em locais com pequenos valores e de superestimar em localidades com acumulado maior que 100 mm/mês. Na bacia Amazônica Correa et al.

(2017) obtiveram bom desempenho com uso de dados CHIRPS v.2 para a modelagem de eventos de cheias e seca. Assim como os trabalhos anteriores, os resultados apresentados neste estudo indicam que na bacia do rio Negro, com um grande contraste espacial entre áreas muito úmidas e secas, os dados de precipitação média mensal do CHIRPS v.2 se mostram adequados para análise temporal e espacial da climatologia de chuvas.

Variabilidade temporal (1981-2017)

Na análise interanual da precipitação acumulada a série histórica dos dados CHIRPS v.2 indicou um valor médio de 2.620 mm/ano de precipitação sobre a bacia do rio Negro, com mínimo de 2.230 mm e máxima de 2.870 mm nos anos 2015 e 2008, respectivamente. Getirana et al. (2011) avaliaram um conjunto de seis bases de dados de precipitação sobre a bacia do rio Negro e estimaram uma precipitação média anual de 2.542 mm no período 1998-2002, enquanto que no mesmo período os dados CHIRPS v.2 analisados neste indicam um valor de 2.578 mm, resultados que confirma a qualidade desta base de dados, conforme destacado anteriormente. O ciclo anual de precipitação mensal e sua dispersão são apresentados na Figura 4, onde se destaca a alta variabilidade entre os meses de dezembro e abril, com máximo de precipitação em maio, como descrito por Espinoza Villar et al. (2009) que avaliaram dados observados de diversas estações na mesma região.

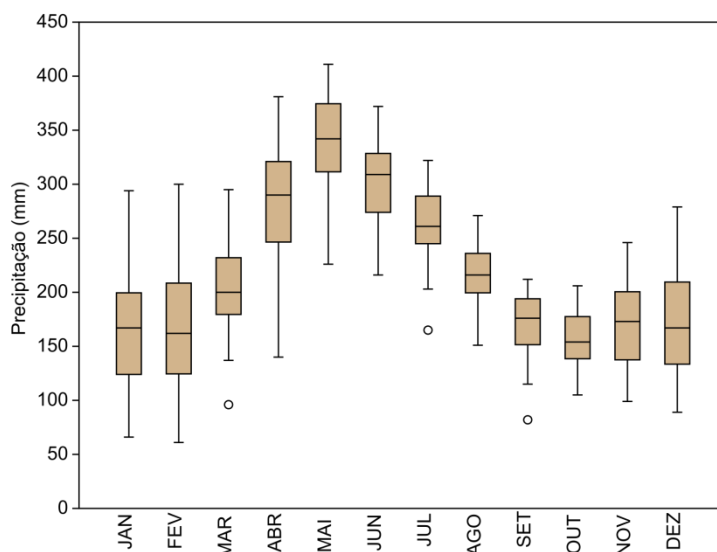


Figura 4. Regime de precipitação mensal estimada pelo CHIRPS v.2 na bacia do rio Negro. Fonte: Autores (2019).

No quadrimestre chuvoso (abril a julho) e seco (novembro a fevereiro) ocorrem 54% e 26% da precipitação média anual, respectivamente. A Figura 5a apresenta a série temporal de anomalias de precipitação anual nas estações chuvosa e seca. Entre 1981 e 2017 as anomalias da estação chuvosa variaram de -65 mm a 45 mm em 1992 e 2002, respectivamente. Na estação seca as anomalias máximas apresentaram valores de -50 mm e 50 mm, respectivamente nos anos 2003 e 2005.

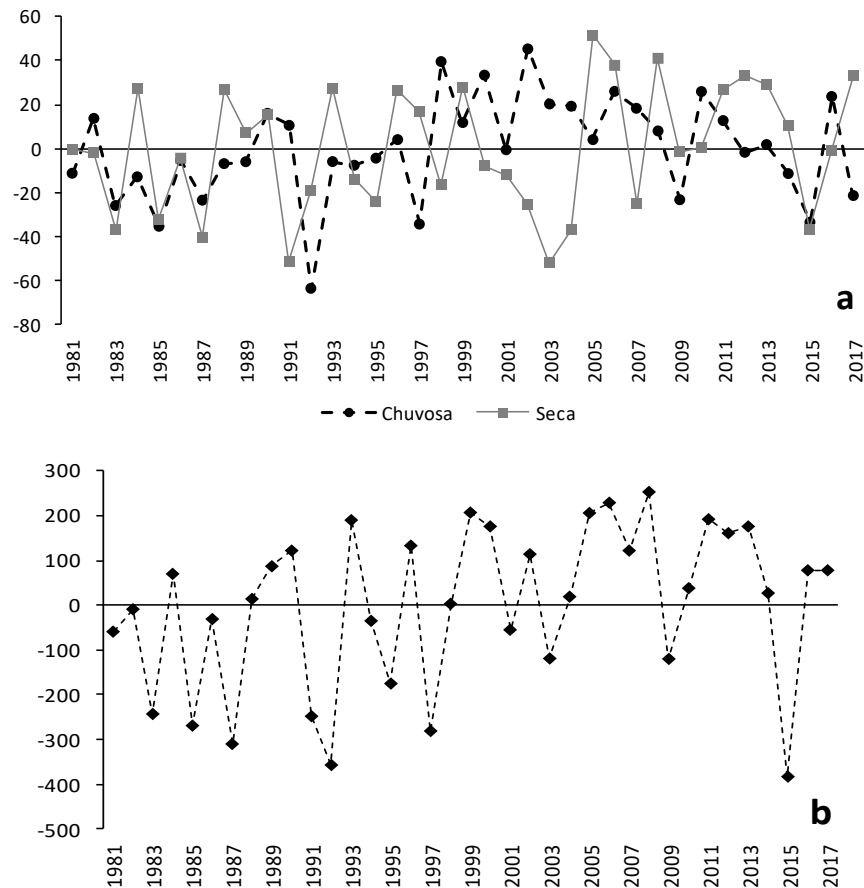


Figura 5. Série temporal da anomalia de precipitação (em mm) durante a estação chuvosa e seca (a) e da precipitação total anual (b).
Fonte: Autores (2019).

Nota-se na Figura 5b, entre 1983 e 1987, uma sequência de precipitação abaixo da média na bacia, seguido por um período chuvoso entre 1988 e 1989. A partir de 1999 destaca-se o predomínio de anos chuvosos, como observado no norte da bacia Amazônica por Espinoza Villar et al. (2019), que destaca o aumento do número de dias úmidos entre Março e Maio a partir de 1998 nesta região. Entre 2005 e 2008 foram observadas anomalias em média 8% superiores à climatologia do período analisado.

A partir da década de 1980 ocorreram 10 grandes eventos climáticos com grandes impactos nos grandes rios da bacia Amazônia (Tabela 1), relacionados principalmente à ocorrência do El Niño, La Niña ou de anomalias na temperatura da superfície do Atlântico Tropical (MARENGO e ESPINOZA, 2016).

Tabela 1. Histórico de secas e cheias extremas na bacia Amazônica entre 1983 e 2014, e a precipitação na bacia do rio Negro estimada pelo CHIRPS v.2.

| Ano | Evento | Causa | Precipitação (mm/ano) |
|------|--------|--|-----------------------|
| 1983 | Seca | El Niño e Aquecimento do Atlântico Tropical Norte | 2.370 |
| 1989 | Cheia | La Niña | 2.700 |
| 1995 | Seca | El Niño e Aquecimento do Atlântico Tropical Norte | 2.440 |
| 1997 | Seca | El Niño e Aquecimento do Atlântico Tropical Norte | 2.330 |
| 1999 | Cheia | La Niña | 2.820 |
| 2005 | Seca | Aquecimento do Atlântico Tropical Norte | 2.820 |
| 2009 | Cheia | Aquecimento do Atlântico Tropical Sul | 2.500 |
| 2010 | Seca | El Niño e Aquecimento do Atlântico Tropical Norte | 2.650 |
| 2012 | Cheia | La Niña e Aquecimento do Atlântico Tropical Sul | 2.780 |
| 2014 | Cheia | Aquecimento dos oceanos Indo-Pacífico e do Atlântico Subtropical Sul | 2.640 |

Fonte: Adaptado de Marengo e Espinoza (2016).

De modo geral, a precipitação da bacia do rio Negro apresentou valores abaixo da climatologia nos anos de 1983, 1995 e 1997, e valores acima da média nas cheias de 1999 e 2012. Observou-se um leve aumento da precipitação média entre as décadas de 1981-1990 a 2001-2010, e nos últimos anos desta série histórica houve os registros dos anos mais chuvoso (2008) e mais seco (2015) nesta bacia.

Somente pela análise dos totais anuais, a precipitação da bacia não foi significativamente afetada nas grandes secas dos anos de 2005 e 2010, porém ao analisar em escala local, notam-se grandes impactos socioeconômicos e ambientais, como por exemplo, na pesca, em plantações, aumento de incêndios, abastecimento e saúde humana.

Por outro lado, eventos extremos de cheia, como observado nos anos de 2009, 2012 e 2014, apresentam maior impacto sobre a população nos diversos núcleos urbanos e rurais situados nas margens dos principais rios Amazônicos (ESPINOZA et al. 2014; FILIZOLA et al. 2014; MARENGO et al. 2012), uma vez que a resposta hidrológica da região é fortemente influenciada pela distribuição espacial e temporal da precipitação (LEWIS et al. 2011; MAEDA et al. 2015; MARENGO et al. 2011; MARENGO e ESPINOZA, 2016).

Variabilidade espacial

A espacialização da climatologia de precipitação na bacia do rio Negro no período 1981-2017 de acordo com os dados de CHIRPS v.2 é apresentada na Figura 6, onde se observa grande variabilidade pluviométrica nesta área. A região mais úmida (> 2.900 mm/ano) localiza-se a noroeste da cidade de São Gabriel da Cachoeira, no Estado do Amazonas. Já a região mais seca (< 1.800 mm/ano) localiza-se no norte do Estado de Roraima, entre Boa Vista e Uiramutã.

No Estado de Roraima a precipitação média anual ficou em torno de 2.000 mm, com uma clara tendência de aumento dos valores nas direções NE-SW e E-W, conforme observado nos trabalhos de Evangelista et al. (2012), Ronchail et al. (2002) e Nimmer (1989). Estes baixos valores de precipitação são relacionados à proteção do escudo das Guianas a entrada do fluxo de ventos úmidos oriundo do oceano Atlântico (ESPINOZA VILLAR et al. 2009), bem como ao movimento sazonal da ZCIT.

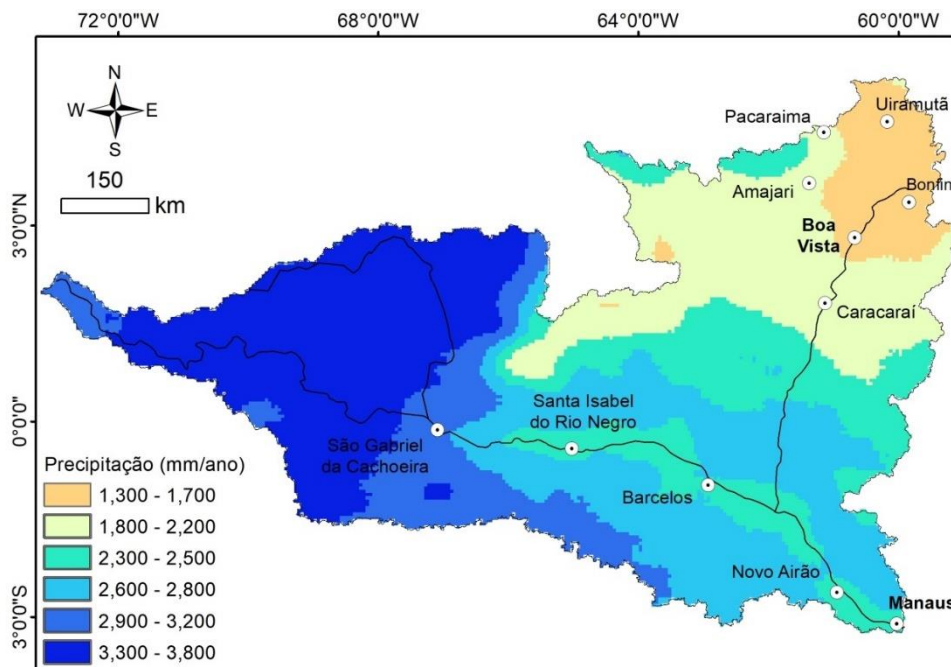


Figura 6. Climatologia da precipitação média anual na bacia do Rio Negro para o período 1981-2017. Fonte: Autores (2019).

A Tabela 2 apresenta os nove anos identificados com padrão chuvoso e seco no período 1981-2017, e a Figura 7 apresenta a distribuição espacial da precipitação total anual para os três anos mais chuvosos (2008, 2006 e 1999) e mais secos (2015, 1992 e 1987). Nos anos com padrão chuvoso podemos observar a ocorrência de um núcleo de precipitação no entorno da Serra da Mocidade, e nos anos com padrão seco percebe-se um predomínio de baixos valores em quase toda a bacia do rio Branco, no Estado de Roraima.

Tabela 2. Classificação dos anos com maior e menor volume de chuva no período de 1981-2017.

| Posição | Padrão chuvoso | | Padrão seco | |
|---------|----------------|-----------------------------|-------------|-----------------------------|
| | Ano | Precipitação média (mm/ano) | Ano | Precipitação média (mm/ano) |
| 1 | 2008 | 2.870 | 2015 | 2.230 |
| 2 | 2006 | 2.840 | 1992 | 2.260 |
| 3 | 1999 | 2.820 | 1987 | 2.300 |
| 4 | 2005 | 2.820 | 1997 | 2.330 |
| 5 | 2011 | 2.810 | 1985 | 2.350 |
| 6 | 1993 | 2.800 | 1991 | 2.370 |
| 7 | 2000 | 2.790 | 1983 | 2.370 |
| 8 | 2013 | 2.790 | 1995 | 2.440 |
| 9 | 2012 | 2.780 | 2009 | 2.500 |

Fonte: Autores (2019).

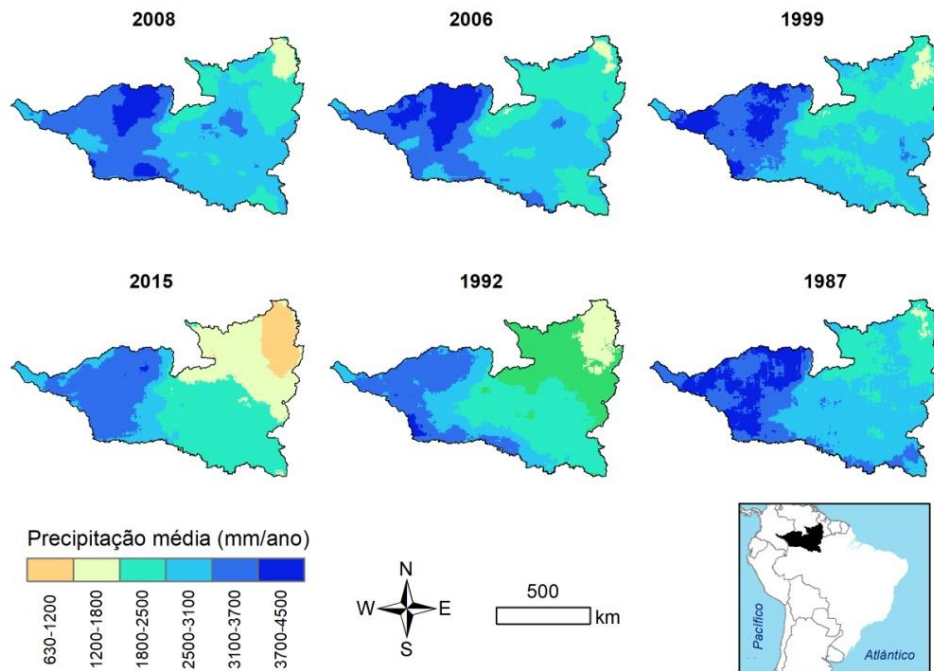


Figura 7. Precipitação média para os três anos mais chuvosos e mais secos na série histórica 1981-2017. Fonte: Autores (2019).

A respeito da variabilidade espacial da precipitação nas sub-bacias, observamos um comportamento heterogêneo para os tributários dos rios Negro e Branco. A Figura 8 apresenta o índice de regularidade espacial da precipitação nas 25 sub-bacias analisadas. Os dados CHIRPS v.2 indicam que a precipitação nas áreas de contribuição dos tributários analisados possui valores de baixa ordem nas razões entre os extremos (P_{max}/P_{min} variando de 1,14 a 2,12) com maiores valores nos rios que nascem no escudo das Guianas (Casiquire no rio Negro, Tacutu e Uraricoera no rio Branco). De forma geral, as sub-bacias com amplitudes altimétricas superiores a 1.500 metros apresentaram maior irregularidade na distribuição espacial da

precipitação, ou seja, áreas de elevado contraste espacial na quantidade de precipitação na escala de sub-bacia.

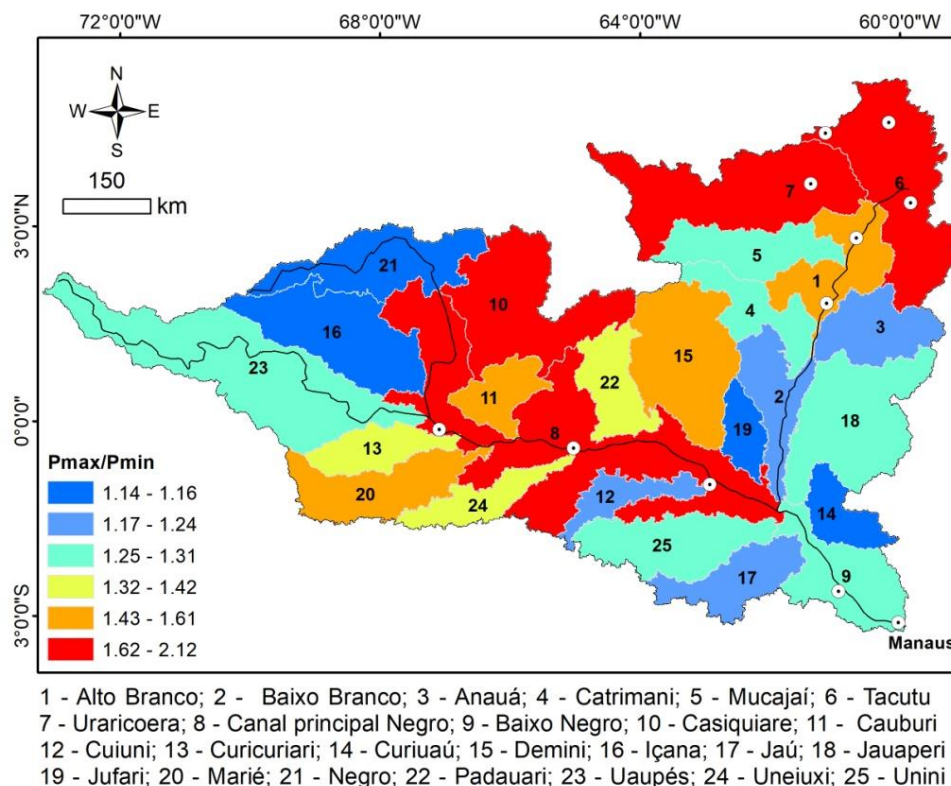


Figura 8. Espacialização do índice de regularidade da precipitação nas áreas de drenagem dos principais tributários do Rio Negro.
Fonte: Autores (2019)

A climatologia de precipitação do CHIRPS v.2 no período 1981-2017 indica elevados valores para as sub-bacias dos rios Curicuriari, Içana, Marié e Uaupés (> 3.000 mm/ano), ambas situadas no alto rio Negro. Por outro lado, as sub-bacias que drenam o alto rio Branco (rios Tacutu e Uraricoera) apresentaram os menores valores médios de precipitação (< 1.800 mm/ano).

IV. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou a variabilidade temporal e espacial da precipitação estimada por satélites da base de dados CHIRPS v.2 sobre a bacia rio Negro e seus principais tributários. Resultado da validação indicou fortes coeficientes de determinação entre os registros das estações convencionais do INMET e as estimativas de precipitação pelo CHIRPS.

A precipitação média da bacia foi estimada em 2.620 mm/ano com 54% deste volume ocorrendo entre os meses de abril e julho. A área mais úmida localiza-se na tríplice fronteira entre Brasil, Colômbia e Venezuela,

e a área mais seca situa-se entre Boa Vista e Uiramutã, norte do Estado de Roraima. Apesar do elevado volume de chuva nesta bacia observou-se uma grande variabilidade espacial, principalmente nas sub-bacias que drenam os terrenos mais elevados no escudo das Guianas, com uma amplitude de 2.579 mm na climatologia de precipitação entre as regiões noroeste e nordeste da bacia do rio Negro.

Nos últimos anos diversos estudos observaram aumento na intensidade e frequência de eventos climáticos extremos na Amazônia, e na bacia do rio Negro, os dados analisados sugerem um leve aumento da precipitação média anual. A série histórica da precipitação anual indica a ocorrência dos anos mais seco e mais chuvoso na última década, registrados em 2015 e 2008, respectivamente.

A climatologia de precipitação do CHIRPS v.2 é uma valiosa base de dados para a caracterização climática de regiões com baixa densidade de estações, como a bacia do rio Negro. Destaca-se a necessidade de avaliar esta base de dados em conjunto com outras variáveis, como registros de focos de calor, incêndios florestais e dados hidrológicos, principalmente sobre a bacia do rio Branco, no Estado de Roraima. Finalmente, a base de dados CHIRPS v.2 e outros produtos de estimativa da precipitação oriundos de satélites devem continuar a ser analisado, inclusive como suporte para o entendimento de eventos hidroclimatológicos do rio Negro e em seus tributários.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece a Universidade Federal do Amazonas (UFAM) pela licença capacitação concedida [Portaria 0621/2017]. A segunda autora agradece a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de Doutorado [código de financiamento 001]. Agradecemos aos comentários e recomendações dos revisores que contribuíram para melhorar este trabalho.

V. REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. Disponível em: <http://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil?af=crossref>. Acesso em: 10 de junho de 2019.
- ALVES, L. M.; CAVALCANTI, I. F. A.; SILVEIRA, V. P.; MARENGO, J. A. Classificação de anos de seca. In: BORMA, L. de S.; NOBRE, C. A. (Orgs.). *Secas na Amazônia: causas e consequências*. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. p. 49 - 53.
- BRAVO, J. M.; COLLISCHONN, W.; SILVA, B. C. DA; et al. Impacto nas aflúncias das principais bacias. In: LIMA, J. W. M.; COLISCHONN, W.; MARENGO, J. A. (Orgs.). *Efeitos das mudanças climáticas na geração de energia elétrica*. São Paulo: AES Tietê, p.360, 2014.

CAMPOS, C. Diversidade socioambiental de Roraima: subsídios para debater o futuro Sustentável da Região. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2011.

CANDIDO, L. A.; SOUZA, J. M. DE. Prováveis alterações na temperatura e precipitação na bacia do rio Negro nos cenários de mudanças climáticas. In: FERREIRA, S. J. F.; DA SILVA, M. L.; PASCOALOTO, D. (Orgs.); Amazônia das águas: qualidade, ecologia e educação ambiental. Manaus: Valer/FAPEAM/INPA, 2016.

CHIRPS. The CHIRPS dataset website. Disponível em: <(<ftp://ftp.chg.ucsb.edu/pub/org/chg/products/CHIRPS-2.0>)>. Acesso em novembro de 2015.

CORREA, S. W. CHUIG; PAIVA, R. C. D. DE; ESPINOZA, J. C.; COLLISCHONN, W. Multi-decadal Hydrological Retrospective: Case study of Amazon floods and droughts. *Journal of Hydrology*, v. 549, p. 667–684, 2017. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S002216941730238X>> . Acesso em 02 de junho de 2019.

COSTA, J. C.; PEREIRA, G.; SIQUEIRA, M. E.; CARDOZO, F. DA S.; SILVA, V. V. DA. Validação dos dados de precipitação estimados pelo CHIRPS para o Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 24, n. 228–243, 2019. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/60237>>. Acesso em 20 de junho 2019.

ESPINOZA, J. C.; MARENGO, J. A.; RONCHAIL, J.; et al. The extreme 2014 flood in south-western Amazon basin: the role of tropical-subtropical South Atlantic SST gradient. *Environmental Research Letters*, v. 9, n. 12, p. 124007, 2014. Disponível em: <<http://stacks.iop.org/1748-9326/9/i=12/a=124007?key=crossref.2af184a0ef227c5f43a2c65f42795911>>. Acesso em 10 de junho de 2019.

ESPINOZA VILLAR, J. C.; RONCHAIL, J.; GUYOT, J. L.; et al. Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia, and Ecuador). *International Journal of Climatology*, v. 29, n. 11, p. 1574–1594, 2009. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/joc.1791>>. Acesso em 10 de junho de 2019.

ESPINOZA VILLAR, J.C., RONCHAIL, J., MARENGO, J.A. et al. Contrasting North–South changes in Amazon wet-day and dry-day frequency and related atmospheric features (1981–2017). *Clim Dyn*, v. 52, p. 5413–5430, 2019. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00382-018-4462-2>>. Acesso em 11 de março de 2021.

EVANGELISTA, R. A. O.; WANKLER, F. L.; SANDER, C. Hydrological regime and hydrogeochemistry characteristics of the basin of the Branco river high course, Roraima State, Brazil. In: BILIBIO, C.; HENSEL, O.; SELBACH, J. F. (Orgs.); Sustainable water management in the tropics and subtropics - and case studies in Brazil. VI. 3 ed., Jaguarão: Fundação Universidade Federal do Pampa. UNIKASSEL - PGCUIt-UFMA, 2012.

FILIZOLA, N.; LATRUBESSE, E. M.; FRAIZY, P.; et al. Was the 2009 flood the most hazardous or the largest ever recorded in the Amazon? *Geomorphology*, v. 215, p. 99–105, 2014. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169555X13003176>>. Acesso em 11 de Abril de 2016.

FUNK, C.; PETERSON, P.; LANDSFELD, M.; et al. The climate hazards infrared precipitation with stations - a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data*, v. 2, n. 1, p. 150066, 2015. Disponível em: <<http://www.nature.com/articles/sdata201566>>. Acesso em 09 de março de 2019.

GETIRANA, A. C. V. Contribuições da Altimetria Espacial à Modelagem Hidrológica de Grandes Bacias na Amazônia. 2009. Tese de Doutorado em Engenharia Civil. COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro.

GETIRANA, A. C. V.; ESPINOZA, J. C. V.; RONCHAIL, J.; ROTUNNO FILHO, O. C. Assessment of different

precipitation datasets and their impacts on the water balance of the Negro River basin. *Journal of Hydrology*, v. 404, n. 3–4, p. 304–322, 2011. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022169411003003>>. Acesso em 12 de fevereiro de 2019.

KARGER, D. N.; CONRAD, O.; BÖHNER, J.; et al. Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. *Scientific Data*, v. 4, p. 170122, 2017. Disponível em: <<http://www.nature.com/articles/sdata2017122>>. Acesso em 04 de fevereiro de 2018.

LATRUBESSE, E. M.; STEVAUX, J. C.; SINHA, R. Tropical rivers. *Geomorphology*, v. 70, n. 3–4, p. 187–206, 2005. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169555X05000723>>. Acesso em: 02 de junho de 2015.

LEWIS, S. L.; BRANDO, P. M.; PHILLIPS, O. L.; VAN DER HEIJDEN, G. M. F.; NEPSTAD, D. The 2010 Amazon Drought. *Science*, v. 331, n. 6017, p. 554–554, 2011. Disponível em: <<http://www.sciencemag.org/cgi/doi/10.1126/science.1200807>>. Acesso em 11 de fevereiro de 2017.

MAEDA, E. E.; KIM, H.; ARAGÃO, L. E. O. C.; FAMIGLIETTI, J. S.; OKI, T. Disruption of hydroecological equilibrium in southwest Amazon mediated by drought. *Geophysical Research Letters*, v. 42, n. 18, p. 7546–7553, 2015. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/2015GL065252>>. Acesso em 11 de fevereiro de 2017.

MARENGO, J. A.; ESPINOZA, J. C. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. *International Journal of Climatology*, v. 36, n. 3, p. 1033–1050, 2016. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/joc.4420>>. Acesso em 14 de maio de 2016.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Clima da Região Amazônica. In: CALVACANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J. (Orgs.). *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 197 - 212.

MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.; ALVES, L. M.; SOARES, W. R.; RODRIGUEZ, D. A. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. *Geophysical Research Letters*, v. 38, n. 12, p. 1-5, 2011. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1029/2011GL047436>>. Acesso em 14 de maio de 2016.

MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.; SOARES, W. R.; ALVES, L. M.; NOBRE, C. A. Extreme climatic events in the Amazon basin: Climatological and hydrological context of recent floods. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 107, n. 1–2, p. 73–85, 2012. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s00704-011-0465-1>>. Acesso em 14 de maio de 2016.

NIMMER, E. *Climatologia do Brasil*. 2o ed. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989.

OLIVEIRA, D.; SANTOS, A. L. M. R.; MARMOS, J. L. Recursos Hídricos Superficiais. In: HOLANDA, J. L. R.; MARMOS, J. L.; MAIA, M. A. M. (Orgs.). *Geodiversidade do estado de Roraima*. Manaus: CPRM, 2014. p.49 - 63

PAREDES-TREJO, F. J.; BARBOSA, H. A.; LAKSHMI KUMAR, T. V. Validating CHIRPS-based satellite precipitation estimates in Northeast Brazil. *Journal of Arid Environments*, v. 139, p. 26–40, 2017. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S014019631630235X>>. Acesso 16 de janeiro de 2019.

RONCHAIL, J.; COCHONNEAU, G.; MOLINIER, M.; et al. Interannual rainfall variability in the Amazon basin and sea-surface temperatures in the equatorial pacific and the tropical Atlantic oceans. *International Journal of Climatology*, v. 22, p. 1663–1686, 2002.

SALATI, E.; MARQUES, J. Climatology of the Amazon region. In: SIOLI, H. (Org.). *The Amazon Limnology and*

- landscape ecology of mighty tropical river and its basins. Dordrecht: Springer Netherlands, 1984. p. 85 - 126.
- SORÍ, R.; MARENGO, J.; NIETO, R.; DRUMOND, A.; GIMENO, L. Drought and wet episodes in Amazonia: the role of atmospheric moisture transport. FIRST INTERNATIONAL ELECTRONIC CONFERENCE ON THE HYDROLOGICAL CYCLE, 2017, Basel, Switzerland: MDPI, p. 4846. Disponível em: <<http://sciforum.net/conference/CHyCle-2017/paper/4846>>. Acesso em 19 de janeiro de 2019.
- TRMM. Tropical Rainfall Measuring Mission Database. Disponível em: <ftp://disc2.nascom.nasa.gov/data/TRMM/Gridded/Derived_Products/3B42_V7/Daily/>. Acessado em janeiro de 2013.
- VENTICINQUE, E.; FORSBERG, B.; BARTHEM, R.; et al. An explicit GIS-based river basin framework for aquatic ecosystem conservation in the Amazon. Earth System Science Data, v. 8, n. 2, p. 651–661, 2016. Disponível em: <<https://www.earth-syst-sci-data.net/8/651/2016/>>. Acesso em 22 de maio de 2017.
- ZAVATTINI, J. A.; BOIN, M. N. Climatologia Geográfica: teoria e prática de pesquisa. Campinas: Alínea, 2013.
-