



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Aplicação da precipitação estimada por sensoriamento remoto no balanço hídrico simplificado da bacia hidrográfica de Ribeirão Nobres, Brasil

Polyana Comino Redivo¹, Luciana Sanches², Keylyane Santos da Silva Alves³

¹ MSc. em Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Av. Fernando Correa da Costa, 2367, CEP 78060-900, Cuiabá, Mato Grosso. polyanaredivo@hotmail.com. ² Dr. em Engenharia Ambiental, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Av. Fernando Correa da Costa, 2367, CEP 78060-900, Cuiabá, Mato Grosso. lsanches@hotmail.com (autor correspondente). ³ Doutoranda em Física Ambiental, Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Av. Fernando Correa da Costa, 2367, CEP 78060-900, Cuiabá, Mato Grosso. keylyanesds@gmail.com

Artigo recebido em 18/02/2021 e aceito em 05/04/2021

RESUMO

A precipitação estimada pelo produto 3B43V7 TRMM foi avaliada para aplicação no balanço hídrico simplificado na bacia hidrográfica Ribeirão Nobres, estado de Mato Grosso, Brasil, que apresenta escassez de série temporal de dados hidrológicos medidos em campo. Para isso, foram realizadas as caracterizações da forma da sua forma física e o tempo de concentração da bacia principal e de suas sub-bacias, da análise do rio principal, das variáveis hidrometeorológicas medidas in loco, e da precipitação obtida pelo produto 3B43V7 TRMM de precipitação que sobrepõem a bacia. Após correlação entre as precipitações medidas em campo e estimadas por sensoriamento remoto, o balanço hídrico simplificado foi determinado. Como resultados, constatou-se que a bacia possui forma alongada, com uma rede de drenagem satisfatória, contribuindo tanto para a alimentação dos recursos hídricos superficiais quanto subterrâneos. Por meio de dados meteorológicos medidos in loco, verificou-se o padrão sazonal hidrológico na região, confirmado pelas precipitações utilizando o produto TRMM. Sobre a análise da precipitação pluviométrica, ela apresentou satisfatória correlação entre o medido e estimado possibilitando a determinação do balanço hídrico com a flutuação de períodos com excedente (chuvoso) e deficiência hídrica (estiagem) expressivos.

Palavras-chave: disponibilidade hídrica; produto 3B43V7 TRMM; pluviometria.

Application of precipitation estimated by remote sensing in the simplified water balance of the Ribeirão Nobres basin, Brazil

ABSTRACT

The precipitation estimated by 3B43V7 TRMM product was evaluated for application in the simplified water balance in the Ribeirão Nobres basin, state of Mato Grosso, Brazil, which presents a shortage of time series of hydrological data measured in the field. For that, the characterizations of the shape of its physical form and the concentration time of the main basin and its sub-basins were carried out, the analysis of the main river, the hydrometeorological variables measured in loco, and the precipitation obtained by the product 3B43V7 TRMM of precipitation that overlap the basin. After correlation between rainfall measured in the field and estimated by remote sensing, the simplified water balance was determined. As a result, it was found that the basin has an elongated shape, with a satisfactory drainage network, contributing to the supply of both surface and underground water resources. Through meteorological data measured in loco, the seasonal hydrological pattern in the region was verified, confirmed by the precipitation using the TRMM product. Regarding the analysis of rainfall, it showed a satisfactory correlation between the measured and estimated, enabling the determination of the water balance with the fluctuation of periods with significant surplus (rainy) and water deficiency (drought).

Keywords: 3B43V7 TRMM product; water availability; pluviometry.

Introdução

Entender o ciclo hidrológico de determinada região é uma das principais características necessárias a gestão e gerenciamento de bacias hidrográficas. O monitoramento preciso da precipitação é um dado

de entrada primordial para modelos hidrológicos, sejam estes por indicar a previsão, alerta de inundações, escassez hídrica, entre outros fenômenos (Yuan et al., 2017). Contudo, locais com grandes extensões e pequena densidade de

estações hidrometeorológicas, refletem um trabalho desafiador (Almeida et al., 2020; Pessi et al., 2019; Yuan et al., 2017), é o caso do estado de Mato Grosso, ao qual apresenta grande dimensão e baixa disponibilidade de dados de precipitação e escoamento consistidos.

Ainda assim, o rápido desenvolvimento da tecnologia de sensoriamento remoto via satélite, surge como uma alternativa aos fenômenos hidrológicos, vista a alta densidade espacial e temporal que possuem (Almeida et al., 2020; Pessi et al., 2019; Yuan et al., 2017).

Foi observado especificamente, em estudos hidrometeorológicos de bacias hidrográficas, o uso do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), lançado pela parceria entre NASA e JAXA em 1997 e concluído em 2015, sendo considerado como um satélite adequado para a estimativa da precipitação pluviométrica, uma vez que este possui capacidade de medir a estrutura vertical das nuvens nos trópicos, além de realizar estimativas de precipitação nos trópicos não só em regiões oceânicas, mas também em regiões continentais (NASA, 2020; Liu, 2012).

Não obstante, de acordo com Guarienti (2015), a possibilidade de utilização dos dados estimado pelo projeto TRMM são consideradas mais confiáveis que outros satélites, pelo fato de ser validado por "Ground Validation" (GV), que contém os valores de precipitação de várias estações localizadas na superfície terrestre.

Significativos são os trabalhos que utilizam os dados de TRMM para análise de dados hidrometeorológica de bacias e regiões: Almeida et al. (2020), Pessi et al. (2019), Yuan et al. (2017), Alves (2017), Sciencia et al. (2017), Soares et al. (2016) e Viana et al. (2010), são algum dos exemplos, indicando que a estimativa de precipitação proveniente do satélite é consistente quando comparada com dados observados em estações meteorológicas de bacias hidrográficas.

Distintos produtos são gerados pelo projeto TRMM, pela combinação de instrumentos usados no algoritmo de cálculo. Contudo é comumente observado a utilização de dados de precipitação com uma resolução temporal de três horas (produto 3B42RT), dados diários (produto 3B42) e dados mensais (produto 3B43), em que todos possuem resolução espacial de 0,25° (NASA, 2020).

Para o trabalho em questão o enfoque foi dado ao produto 3B43V7 TRMM que apresenta um conjunto de dados que combina múltiplas estimativas independentes de precipitação do TMI, Radiômetro de varredura avançado para sistemas

de observação da terra (AMSR-E), Sensor de microondas especial (SSM/I), Sensor especial de microondas/Sonda (SSMIS), Unidade avançada de som de microondas (AMSU), Sensor de umidade de microondas (MHS), infravermelho combinado com microondas (IR) e análise de pluviometria do Centro de Climatologia de Precipitação Global (GPCC) acumulada mensalmente (NASA, 2020).

Em vista do apresentado e frente a escassez de dados hidrometeorológicos na região do Mato Grosso, isso faz com que o pesquisador e/ou gestor determine variáveis hidrometeorológicas que possibilitem a caracterização de bacias hidrográficas por meio de métodos alternativos, como a utilização do sensoriamento remoto e produto TRMM, que possibilitam a obtenção de componentes de entrada do ciclo hidrológico, tornando-se uma alternativa viável devido a cobertura espacial e a precisão em estudos (Almeida et al., 2020; Pessi et al., 2019; Yuan et al., 2017; Alves, 2017; Sciencia et al., 2017; Diniz Soares et al., 2016), além de consistir importância para as gestões públicas de recursos hídricos, agronegócio e ciências ambientais, uma vez que que a precipitação está ligada diretamente ao comportamento hidrológico da bacia hidrográfica e isso acaba por influenciar nas tomadas de decisões e na implementação de ações na mesma.

Logo, o objetivo geral deste trabalho foi analisar a aplicação da precipitação estimada pelo produto TRMM no balanço hídrico simplificado da bacia do Ribeirão Nobres/MT, considerando a característica geométrica, relevo e drenagem das sub-bacias dos afluentes principais que compreendem a bacia do Ribeirão Nobres.

Material e métodos

Localização e descrição da área de estudo

O presente estudo desenvolveu-se na bacia do Ribeirão Nobres que abrange dois dos rios principais que sustentam o abastecimento e desenvolvimento da população do município de Nobres - MT, o rio Ribeirão Nobres (também conhecido por rio Nobres) e rio Serragem.

A bacia do rio Ribeirão Nobres está localizada entre a latitude 14°20'S a 14°48'S e longitude 56°02'O a 56°30'O, com altimetria média de 385m e área 368,4 km² (Figura 1). Pertence a região hidrográfica do Paraguai, Bacia Hidrográfica Regional do Alto Paraguai e Unidade de Planejamento e Gerenciamento - UPG - PA4 - Alto Rio Cuiabá. Tem como rio principal, o rio R. Nobres, com nascente na coordenada 14°44'13,51"S e 56°25'21,56"O e o exutório, onde

se encontra com o rio Cuiabá, na coordenada 14°44'47,62"S e 56°19'17,68"O.

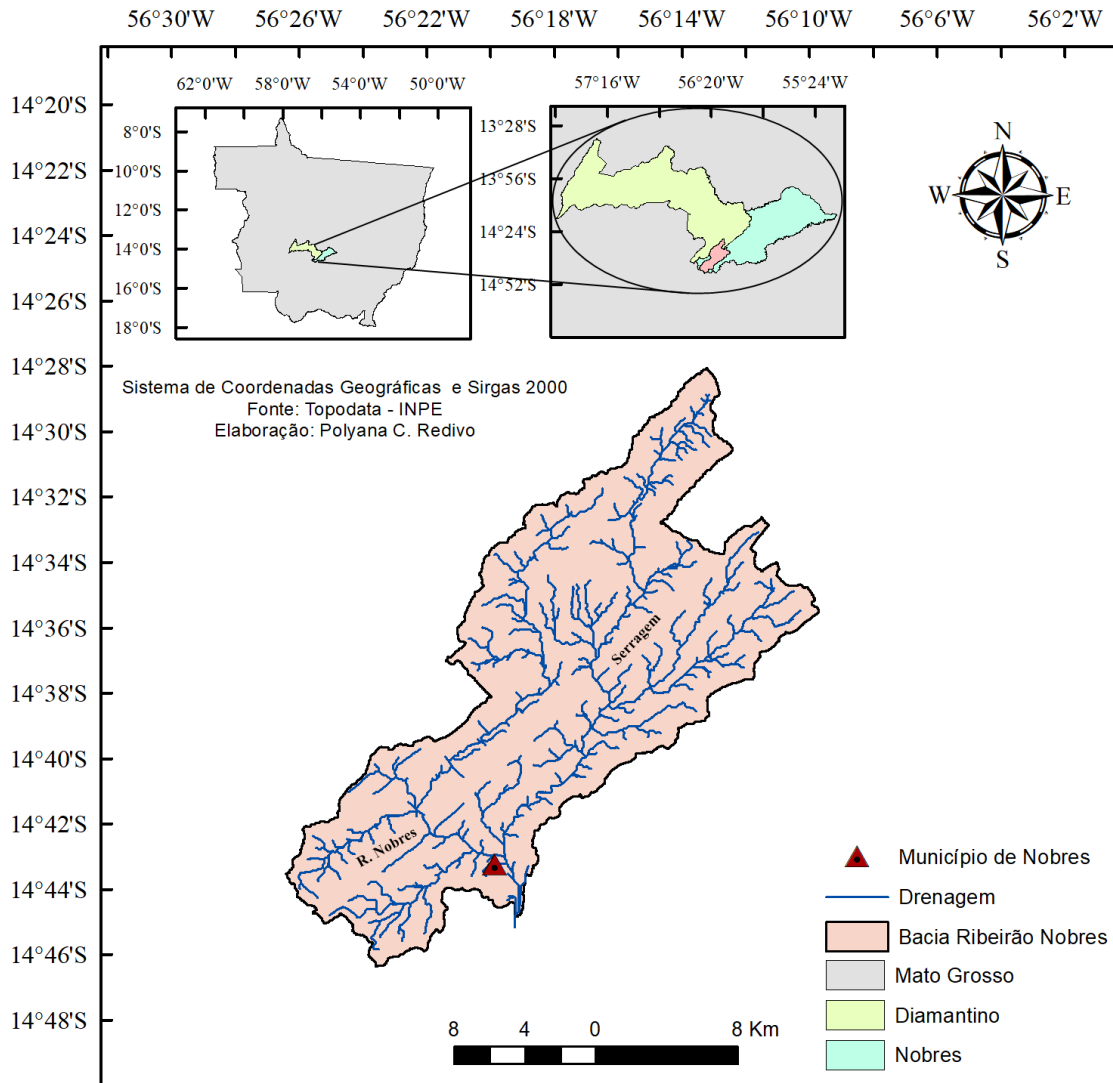


Figura 1. Bacia do Ribeirão Nobres e localização geopolítica.

Outro rio que contribui para a drenagem desta bacia é o rio Serragem, com nascente na coordenada 14°28'48,96"S e 56°13'12,38"O e exutório 14°42'58,07"S e 56°19'28,23"O, local onde desagua no rio R. Nobres.

De acordo com os dados disponibilizados pela Prefeitura de Nobres-MT, o clima predominante da bacia é o equatorial quente e úmido, com período de seca de 3 a 5 meses (maio a setembro). A precipitação média acumulada é 2.000 mm/ano, com intensidade máxima em janeiro, fevereiro e março, e temperatura média anual do ar de 24° C, com máxima de 38° C.

A pedologia da região é composta por Plintossolos (predominante), Solos Concrecionários Câmbicos e Latossolos, formada

por vegetações do cerrado arbóreo e florestas ombrófilas (Mato Grosso, 2009).

Caracterização física da bacia do Ribeirão Nobres

Para a caracterização geométrica, do relevo, da rede de drenagem da bacia hidrográfica foi utilizado o modelo digital de elevação (MDE) disponibilizado pelo Topodata (INPE) (<http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>), que abrange o raster da bacia (14S57), por meio do software ArqGIS v.10.3, este foi projetado para o sistema de referência SIRGAS 2000 e para o fuso 21S, ao qual foi delimitada a bacia com auxílio da ferramenta Archydro.

A partir da obtenção dos dados principais, os coeficientes e índices requeridos para a

caracterização física com o auxílio do Excel para melhor organização dos dados, bem como disposto mapas para uma melhor assimilação das informações.

Ainda, devido ao aspecto atípico do rio principal da bacia em análise, também foi proposto delimitar a bacia do R. Nobres, por meio de suas sub-bacias, subdividindo-as em 2 partes, o rio principal até o encontro com o rio Serragem, e a parte de contribuição do rio Serragem, além de estabelecer os principais índices indicadores da forma da bacia para melhor entendimento.

As equações dos parâmetros físicos estão em acordo com Strahler (1957), Villela e Mattos (1975), Tonello et al. (2006), Teodoro et al. (2007), Machado e Torres (2012). A área de drenagem foi considerada como toda área drenada pelo sistema pluvial inclusa entre seus divisores topográficos, projetada em plano horizontal e o perímetro consistiu no comprimento da linha imaginária ao longo do divisor de águas (Teodoro et al. 2007). O fator de forma (Kf, adimensional) foi considerado

como sendo a razão entre a largura média da bacia (B) e o comprimento axial dela (L, km).

O coeficiente de compacidade (Kc) constituiu a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual ao da bacia. Um coeficiente mínimo igual a uma unidade corresponderia a uma bacia circular e, para uma bacia alongada, seu valor é significativamente superior a um (Villela e Mattos 1975). O índice de circularidade (Ic, adimensional) correspondeu simultaneamente ao coeficiente de compacidade, que tende para unidade e à medida que o valor da bacia diminui da unidade a forma torna-se alongada (Strahler, 1957; Villela e Mattos; Tonello et al. 2006).

A declividade implicou no tempo que a água precipitada levou para concentrar-se nos leitos fluviais que constituem a rede de drenagem das bacias (Villela e Mattos, 1975). A classificação do relevo e suscetibilidade à erosão com base na declividade da bacia hidrográfica foi analisada conforme (Tabela 1).

Tabela 1. Característica física da bacia do Ribeirão Nobres

Característica	Valor
Área de drenagem (km ²)	368,4
Perímetro (km)	171,5
Cursos d'água total (km)	397,5
Quantidade de cursos d'água	471
Comprimento do Rio R. Nobres (km)	21,4
Cota da nascente do Rio R. Nobres (m)	440,0
Cota do exutório (m)	194,0
Comprimento axial (km)	12,3
Altitude mínima (m)	194
Altitude média (m)	385
Altitude máxima (m)	577
Tempo de concentração (Kirpish modificado, h)	6
Tempo de concentração (Passini, h)	7
Hierarquia fluvial (ordem)	5
Declividade média (%)	9,6
Densidade de drenagem (km/km ²)	1,08
Densidade de cursos d'água	1,28

A hierarquização fluvial foi considerada como o sistema de hierarquia fluvial adotado de Artur Strahler, em que se numera todos os cursos d'água, a partir da nascente, de montante para jusante, colocando ordem 1 nos trechos sem confluência e a densidade de drenagem foi determinada pela relação entre o comprimento total dos cursos d'água e a área, (Machado e Torres, 2012). Para classificação de densidade de drenagem de bacias hidrográficas foi utilizada a qualificação de baixa (valor menor que 0,50 km/km²) a muita alta (valor maior que 3,5 km/km²) conforme Veiga Beltrame (1994).

O tempo de concentração foi determinado por dois métodos que repercutiram em resultados significativos tanto para bacias pequenas quanto para bacias grandes, avaliadas pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem, pelas fórmulas de Kirpich modificada e de Pasini (Brasil, 2005).

Obtenção de dados meteorológicos medidos em campo

Os dados de precipitação foram obtidos no site do Instituto Nacional de Meteorologia

(INMET), pela estação localizada em Diamantino/MT (Diamantino - OMM: 83309), situada a 41,4 km do exutório da bacia R. Nobres (Figura 2), em que foi avaliado a precipitação

pluviométrica (ppt), umidade relativa do ar (UR) e evapotranspiração real (ET). Os dados utilizados foram dos anos 1998 a 2013.

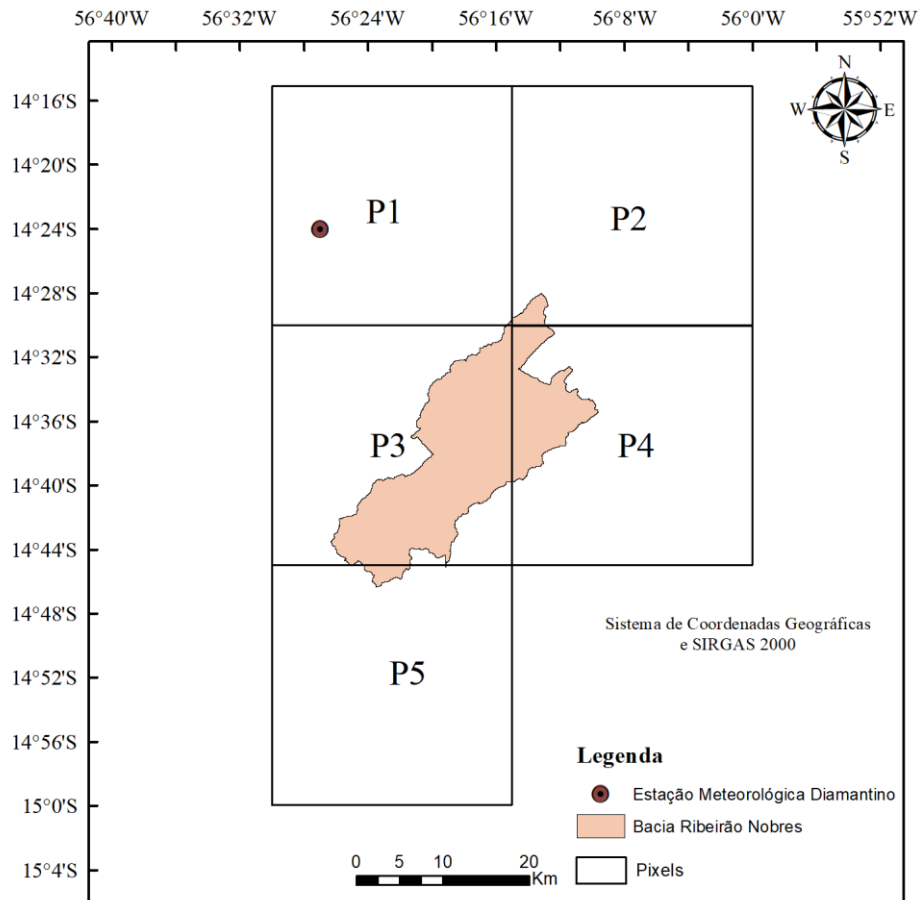


Figura 2. Grade de pixel do TRMM sobre a bacia do Ribeirão Nobres nomeados P1 ... P5 e estação meteorológica de Diamantino (círculo sólido).

A série histórica da evapotranspiração possuía falhas, e foi preenchida por meio da correlação entre os dados de evapotranspiração e umidade relativa do ar, que apresentou um $r = 0,79$ e a equação da regressão linear $(-234,125 + (4,214 * UR))$, possibilitando o preenchimento das falhas.

Também para avaliar a contribuição dos dados medidos na estação de Diamantino, optou-se pela elaboração de gráficos com regressão linear entre as médias mensais dos resultados estimados pelo TRMM (variável dependente) e os medidos pela estação meteorológica de Diamantino (variável independente).

Estimativa da precipitação pluviométrica pelo produto TRMM

Os dados de precipitação estimados pelo satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), produto TRMM 3B43V7 "Monthly",

foram disponibilizados gratuitamente no site da NASA.

O TRMM 3B43V7 fornece uma estimativa de precipitação significativa, sobre uma banda de latitude que cobre 50° N a 50° S, uma expansão da região TRMM, de todas as fontes de dados globais, dados micro-ondas de alta qualidade, dados infravermelho e análises de indicadores de chuva. A resolução temporal é de um mês.

Tal produto possui uma resolução espacial 0,25°x0,25° para latitudes 50°N e 50°S e longitudes 180°O e 180°E, com dados a partir de 1998, aos quais foram lançados em 2012.

A série histórica da precipitação do projeto 3B43V7 TRMM nos anos 1998 a 2013, foram obtidos em formato binário NetCDF e transpostos para planilhas (Excel). A média mensal avaliada foi atribuída pela precipitação média da bacia ponderada pela área de influência de cada estação. A Figura 2 ilustra a grade do produto 3B43V7

TRMM sobreposta na bacia do Ribeirão Nobres, no qual P1...P5, representam os pixels necessários para sobrepor toda a delimitação da bacia.

Cálculo do balanço hídrico simplificado pelo produto TRMM

O balanço hídrico simplificado foi proposto para calcular a contribuição do excedente (exc) e a deficiência hídrica (def) entre as estações seca,

chuvosa e anual, pela diferença entre a precipitação estimada pelo produto TRMM 3B43V7 e a evapotranspiração real. A definição das estações do ano foi realizada por meio da análise da sazonalidade da bacia R. Nobres e a média mensal das variáveis, neste caso estação chuvosa (valores superiores à média mensal anual) e estação seca (valores inferiores à média mensal anual) (Figura 3).

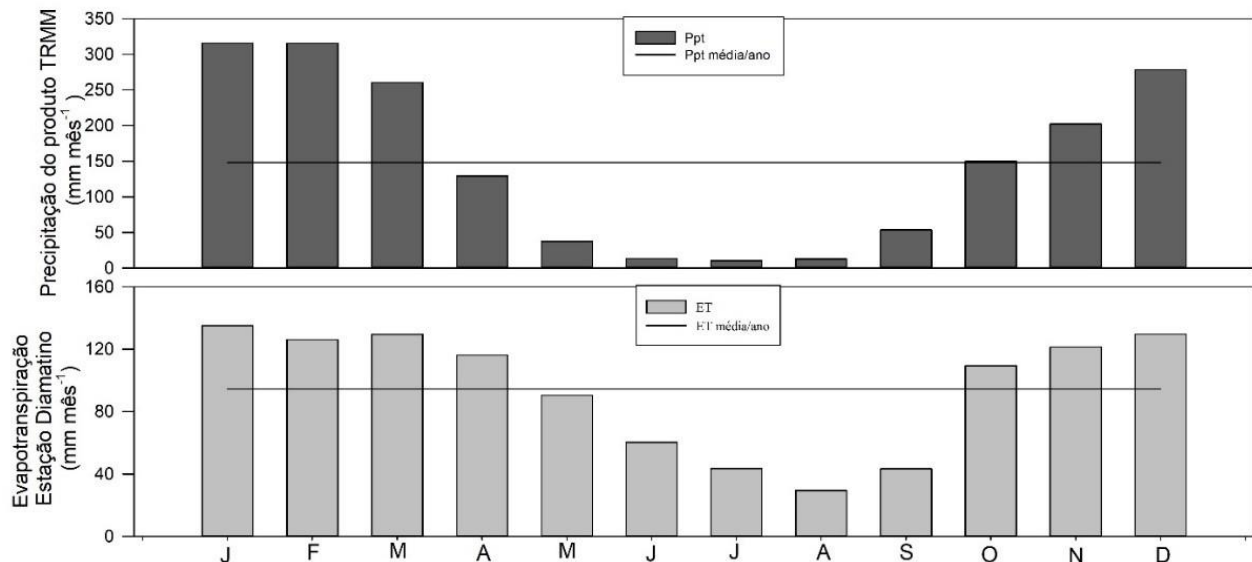


Figura 3. Sazonalidade da bacia R. Nobres para Ppt estimada do produto TRMM 3B43e da evapotranspiração real da estação meteorológica de Diamantino, entre o período de 1998 e 2013. A linha sólida representa a média da Ppt e ET.

A vazão de contribuição da bacia hidrográfica ou excedente que compreende o escoamento direto e a parcela de infiltração (mm mês) foi definido a partir da equação,

$$Q = (\sum PPT)/n - (\sum Evap)/n$$

em que, Q é a vazão de contribuição (mm mês); ppt é precipitação pluviométrica (mm); evap é a evapotranspiração (mm) e n é a quantidade de meses da estação chuvosa ou seca.

A vazão de contribuição foi transformada para (m³/s; m³/ano) considerando a área da bacia R. Nobres.

Resultados e discussão

Caracterização física da bacia do Ribeirão Nobres

As maiores altitudes estão localizadas nas nascentes dos rios Ribeirão Nobres e Serragem, os principais formadores da bacia. A bacia do Ribeirão Nobres possui um desnível de 246 m (Tabela 1, Figura 4).

Ressalta-se que Melati e Marcuzzo (2015), demonstraram que a relação entre altitude e a precipitação pluviométrica refletem características

peculiares a cada bacia hidrográfica, na qual uma modificação hipsométrica pode resultar em transformações no clima, como na temperatura do ar, umidade relativa, e consecutivamente no regime pluviométrico, em que em uma única bacia, o estudo demonstrou diferentes características da relação altitude e regime pluviométrico. Assim sendo, variações de altitude, assim como da temperatura e umidade do ar, além de refletirem influência sobre as perdas de água que ocorrem sobre a forma de evaporação e transpiração, também afetam as variações de precipitação, bem como atuam no escoamento superficial, infiltração e o tempo de concentração da bacia.

O tempo de concentração da bacia corroborou com a maioria dos índices que compreendem a forma da bacia, por terem distanciado da unidade, indicando que a bacia não possui formato semelhante ao de uma circunferência, correspondendo, portanto, a uma bacia mais alongada, pouco suscetível a ocorrer picos de cheias e/ou enchentes (Tabela 1).

A declividade foi predominantemente de 0 a 5,9% (Figura 4) com relevos planos/suavemente

ondulado com pouca suscetibilidade a erosão, no entanto também foi apresentado algumas porcentagens bastante suscetíveis a erosão que apesar de serem a minoria foram verificadas nas cabeceiras dos córregos e rios desta bacia (Figura 4). No geral, foi verificado certa variedade de

relevos que oscilaram desde planos até montanhosos, e se assumida a predominância exemplificada acima, bem como a média da declividade de 9,6%, esta é ligeira a moderadamente suscetível a erosões.

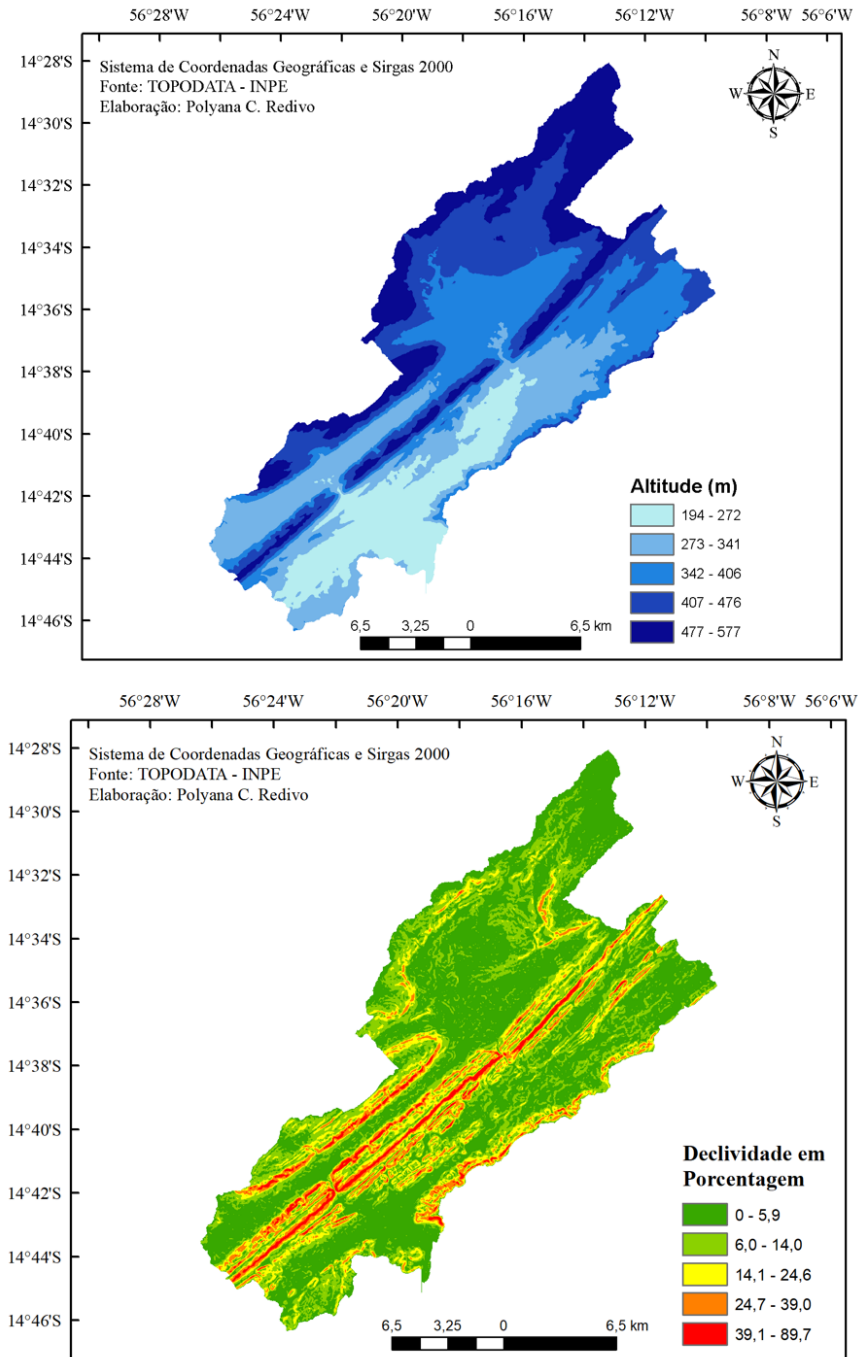


Figura 4. Mapa da altitude (m) e da Declividade (%) da bacia do Ribeirão Nobres.

Sabe-se que a declividade influencia o tempo de concentração em uma bacia hidrográfica, contudo, demais características como, manejo e ocupação do solo, comprimento do rio e forma da

bacia, também são fatores intervenientes (Mamédio, Castro e Corseuil, 2018). Por sua vez, juntos tais características refletem na saída da água após uma precipitação, e consecutivamente quanto

maior o tempo de concentração, menor a vazão máxima de enchente (Lorenzon et al., 2015; Mamédio, Castro e Corseiul, 2018).

A hierarquia fluvial encontrada foi da ordem 5, com padrão de drenagem do tipo dendrítico (semelhante a configuração de uma árvore), indicando que esta bacia possui uma rede ramificada considerável. Ainda, com base na Figura 5, que demonstra a hierarquia fluvial da bacia, é possível denotar que ela compreende de

significativos corpos d'água de primeira ordem, que se situam em áreas mais elevadas e com maiores declividades, que é corroborado com o apresentado pelo mapa de elevação. Isso reflete na suscetibilidade a ocorrência de erosão, em que a declividade associada ao tipo de solo e uso e ocupação da região, podem maximizar tal efeito, como mencionado nos estudos de Sousa Moraes e Sales (2017) e Caldas, Silva e Santos (2019).

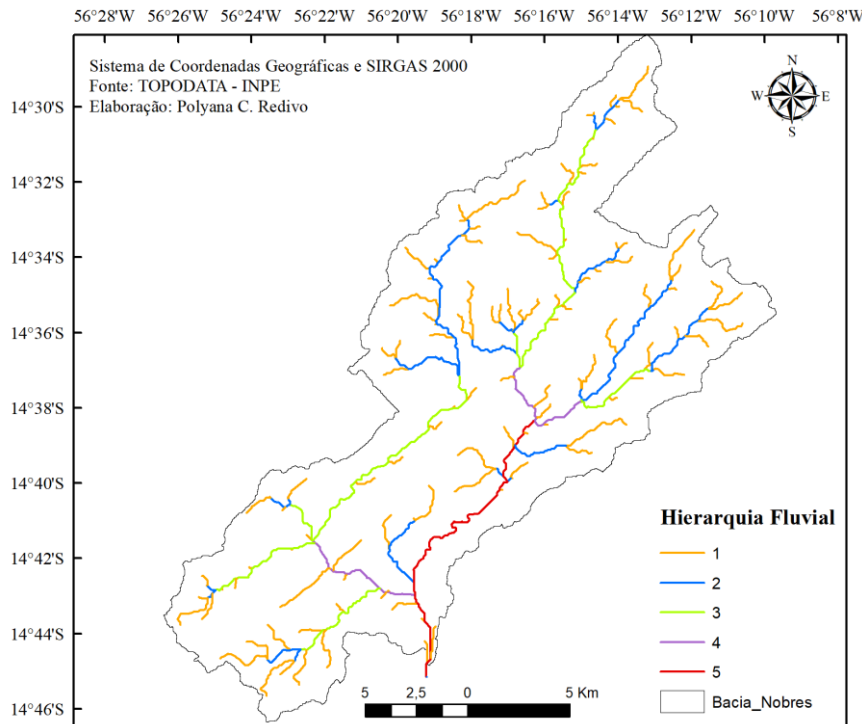


Figura 5. Hierarquia Fluvial da bacia do Ribeirão Nobres.

A densidade dos cursos d'água encontrada foi 1,28 (Tabela 1), se relacionada com a área da bacia, apresenta existência relevante de cursos d'água. Em relação a densidade de drenagem encontrada, foi 1,08, classificado como média, caracterizando a bacia de análise como regular em drenagem, uma vez que contribui tanto para os recursos superficiais, quanto para os recursos subterrâneos da bacia, sendo influenciada tanto pelo tipo de solo quanto pela topografia, que por apresentar partes altas, está em constante dissecação, atenuado pelo tipo de solo bem drenado com tendência a parcela de infiltração (Stipp et al. Caviglione, 2010; Motta et al., 2017).

Entende-se que a forma da bacia influencia diretamente no escoamento superficial e isso consecutivamente irá interferir no tempo de concentração da água desta. Os três principais índices que resultam na sua geometria foram o fator de forma, compacidade e conformação (Tabela 2).

Tabela 2. Índices de caracterização da forma da bacia.

Característica	Valor
Fator de forma	0,9
Índice de compacidade	2,5
Índice de conformação	2,44
Índice de circularidade	0,16

Nesse sentido, apesar de ter sido encontrado um fator de forma próximo da unidade (0,9) e a bacia ser relativamente suscetível a picos de enchentes, os demais índices encontrados não corroboram para tal. O índice de compacidade resultou em um valor de 2,50, indicando que esta bacia tende a ser irregular, pois situa-se longe da unidade, logo não está sujeita a sofrer grandes enchentes. Outro índice encontrado foi o de

conformação, com um valor de 2,44, também por destoar da unidade indica que esta bacia é pouco sujeita a pico de cheias e isso também é confirmado pelo índice de circularidade (0,16). A Tabela 2, resume os dados obtidos para a forma da bacia do R. Nobres.

Forma da bacia e tempo de concentração da bacia subdividida em sub-bacias

Comumente na teoria ao se deparar com rios principais de bacias, estes apresentam certa regularidade e similaridade com ela, contudo isso nem sempre é o que ocorre na prática dos rios que

compreendem o país, é o caso da bacia do R. Nobres, em que o rio principal não apresenta a similaridade comumente observada em bacias de maior porte, sendo perceptível a “irregularidade” em relação a bacia.

Em vista disso, também se optou por delimitar a bacia do R. Nobres em sub-bacias, para realizar os principais índices geométricos como os atribuídos no item anterior para melhor estudo de sua forma. A Figura 6, estabelece a delimitação da bacia do R. Nobres subdividida.

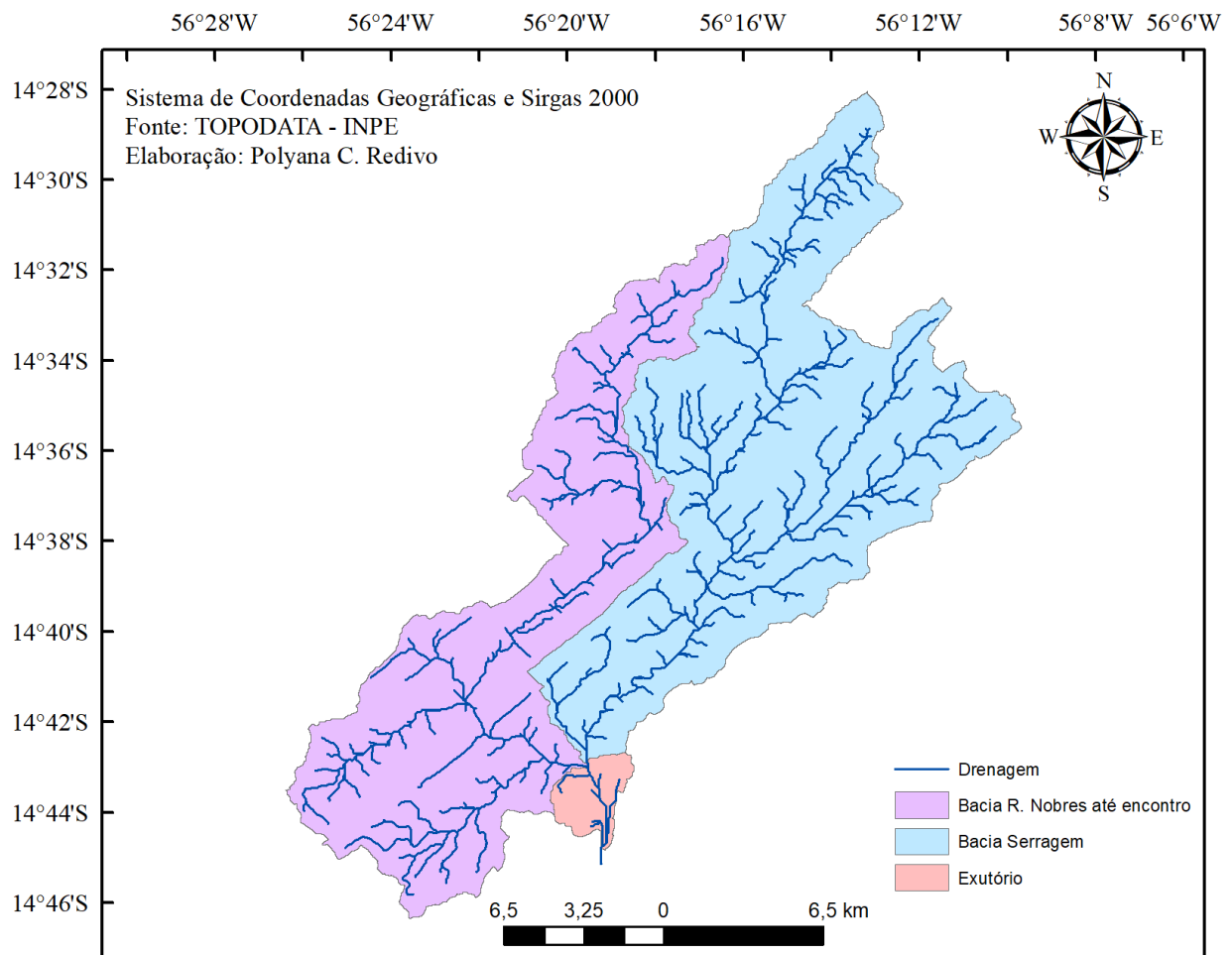


Figura 6. Delimitação da bacia do R. Nobres subdividida em sub-bacias pelos rios principais.

Com a subdivisão em sub-bacias, observou-se que de fato o rio principal é irregular em relação a dimensão da bacia e que ao separar os rios principais formadores dela, as informações confirmam que esta é pouco sujeita a sofrer picos de enchentes. Isso é autenticado pelo fator de forma calculado, que passou de 0,9 da bacia, para 0,72 na sub-bacia do R. Nobres e 0,26 para a do Serragem, indicando tendência de baixa a mediana a sofrer enchentes (Tabela 3).

Os demais índices corroboraram na indicação da bacia de baixa predisposição a sofrer picos de cheias. A Tabela 3, resume os dados avaliados da sub-bacias dos rios principais correlacionados com a bacia num todo. Além disso, foi constatado um tempo de concentração de 5 e 4,8 horas para a sub-bacia do R. Nobres e de 10 e 6,8 horas para a sub-bacia do Serragem, o que condiz com o demonstrado pela declividade (Figura 4), como também pelo comprimento dos rios (Tabela

3), uma vez que o Serragem possui um comprimento maior e declividades mais contínuas,

repercutindo, portanto, em um tempo de concentração mais elevado.

Tabela 3. Características das sub-bacias e da bacia R. Nobres.

Característica	Sub-bacia R. Nobres	Sub-bacia Serragem	Bacia R. Nobres
Área (km ²)	155,4	205,1	368,4
Perímetro (km)	124	127	171,5
Comprimento do rio principal (km)	17,1	36,3	21,4
Comprimento axial (km)	10,8	28,5	12,3
Índice de compacidade	2,79	2,48	2,50
Índice de conformação	1,33	0,25	2,44
Índice de circularidade	0,13	0,16	0,16
Fator de forma	0,72	0,26	0,9
Tempo de concentração (Kirpish modificado, h)	5	10	6
Tempo de concentração (Passini, h)	4,8	6,8	7

Os demais índices corroboraram na indicação da bacia de baixa predisposição a sofrer picos de cheias. A Tabela 3, resume os dados avaliados da sub-bacias dos rios principais correlacionados com a bacia num todo. Além disso, foi constatado um tempo de concentração de 5 e 4,8 horas para a sub-bacia do R. Nobres e de 10 e 6,8 horas para a sub-bacia do Serragem, o que condiz com o demonstrado pela declividade (Figura 4), como também pelo comprimento dos rios (Tabela 3), uma vez que o Serragem possui um comprimento maior e declividades mais contínuas, repercutindo, portanto, em um tempo de concentração mais elevado.

Também, denotou-se que em bacias grandes e irregulares, torna-se interessante empregar métodos alternativos, como o da análise de sub-bacias, já que nem sempre os índices do rio

principal condicionarão a realidade dela, o que foi confirmado pelo exemplo do tempo de concentração, relativamente divergente nas sub-bacias. Isso é comprovado gradativamente por estudos, uma vez que os próprios órgãos importantes do país, como ANEEL, SRH e CNRH utilizam sistemas distintos de classificação e codificação de bacias hidrográficas, o que pode ser observado nos estudos de Galvão e Meneses (2005), Costa et al. (2016) e de Sousa Moraes e Sales (2016), sendo cada vez mais importante para o gestor/pesquisador a busca do nivelamento da delimitação para se avaliar a dinâmica das regiões.

Caracterização das variáveis hidrometeorológicas

A precipitação pluviométrica apresentou mínima em julho, e máxima em fevereiro (Figura 7).

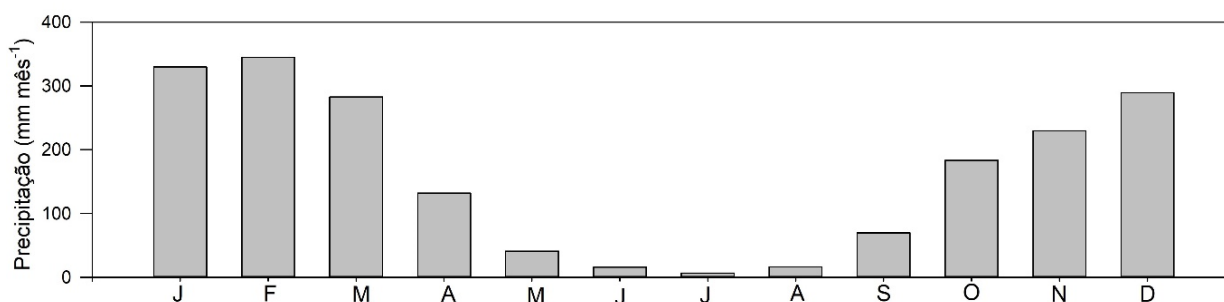


Figura 7. Média mensal da precipitação pluviométrica da estação meteorológica de Diamantino entre os anos de 1998 e 2013.

As médias mensais mínimas se destacaram entre os meses de junho a agosto, em que todos os anos pelo menos um destes meses contabilizou zero de precipitação, já as máximas restringiram-se

de novembro a março, com a maior das precipitações, 638,3 mm, em março de 2003 (Figura 8). Estes resultados concordam com Martins et al. (2011), que avaliaram a variação

pluviométrica da bacia do Alto Paraguai e identificaram que nos meses de novembro a março na região que envolve Diamantino e Nobres, ocorre o maior índice pluviométrico, sempre superior a 250 mm, correspondente a cerca de 74,34% das chuvas. E os meses de junho a agosto a precipitação corresponde a apenas 2,58% das chuvas, caracterizando o período seco. Setembro e outubro é visto como período de transição e representa 12,34% das chuvas, assim como abril e maio que representam 10,74% das chuvas. O mesmo padrão de mínimas em máximas foi identificado por Dorés (2017).

Denota-se ainda, que mesmo com uma distância da estação de 41,4 km do exutório da bacia, esta contribuiu para o comportamento hidrológico da região do R. Nobres, uma vez que estas regiões (Diamantino e Nobres) comportam

sazonalidade similares como demonstrado no estudo de Martins et al. (2011), Dorés (2017) e os dados apresentaram correlação com os avaliados pela ppt estimada (Figura 11).

A UR apresentou relação direta com a precipitação, em que durante os meses mais chuvosos se tiveram as maiores porcentagens e em contrapartida nos meses secos, as porcentagens mínimas. Nesse sentido, a maior saturação da umidade relativa do ar ocorreu em março do ano 2000, apresentando 93,10% e a menor em agosto de 2010, 51,62% (Figura 8). Além disso, os dados também apresentaram afinidade com a evapotranspiração, uma vez que porcentagens mais amenas de umidade, tiveram-se maiores quantidades de evapotranspiração e menores para quando se tinha saturações mais elevadas da umidade.

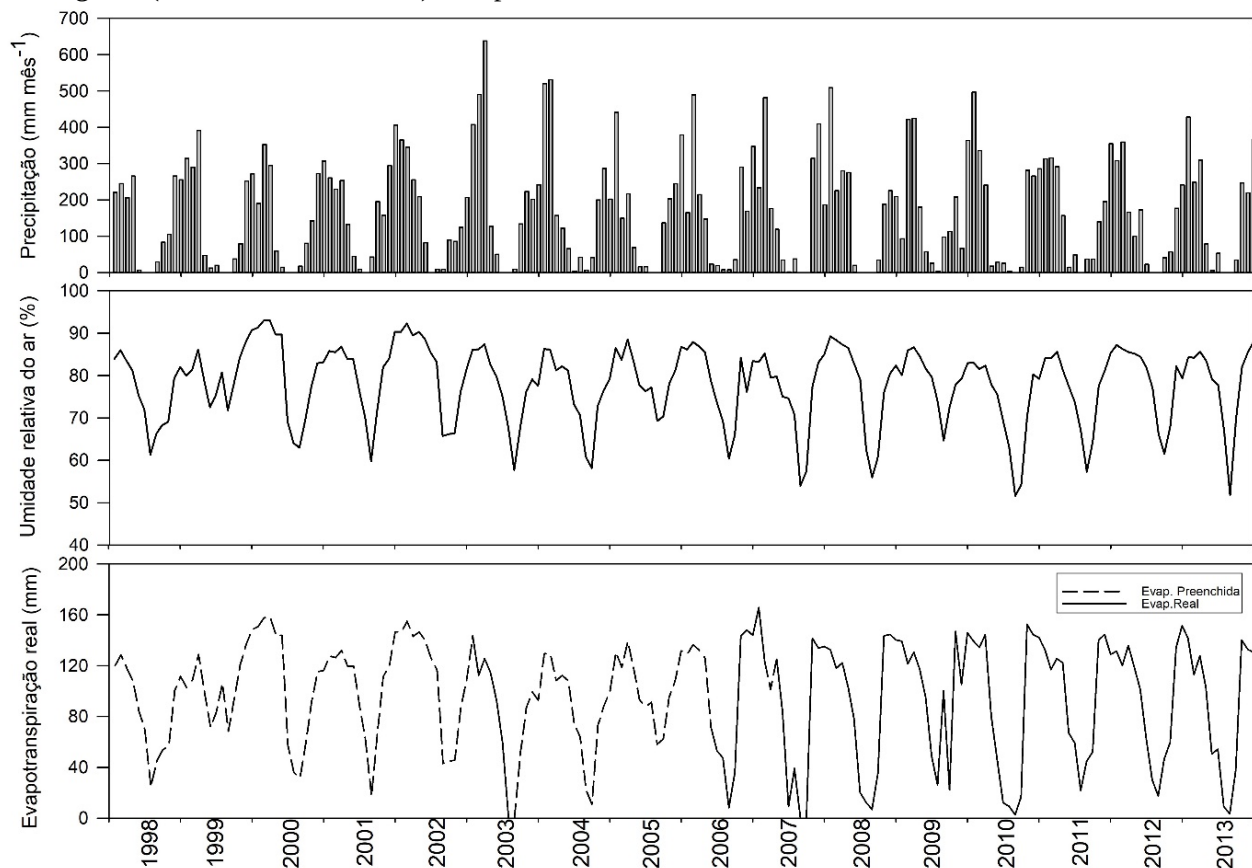


Figura 8. Precipitação acumulada mensal, média mensal da umidade relativa do ar e evapotranspiração real, na estação localizada em Diamantino/MT no período de 1998 a 2013.

De acordo com Oliveira (2009), o ar seco tem maior capacidade de absorver vapor d'água que o ar úmido, a medida em que ele se aproxima da saturação, a taxa de evaporação diminui, tendendo a se anular, ou seja, quanto menor for a umidade existente previamente na atmosfera a

evaporação da água será maior, fato que também é contribuído quando há corrente de ar.

Houve correlação significativa entre a evapotranspiração e a ppt e UR, apresentando a mínima em meses no qual não se tiveram chuvas, período seco, e máxima em meses com maior pluviosidade e umidade relativa mais mediana

(Figura 10). Assim a máxima da evapotranspiração ocorreu em janeiro de 2007, 165,7 mm e as mínimas ocorreram entre junho a agosto no qual a precipitação contabilizou zero.

É importante ressaltar que a taxa de evapotranspiração da água depende de alguns fatores, como energia radiante, área da superfície evaporante, temperatura, umidade do ar, pressão atmosférica e vento (Oliveira, 2009) e que a sua medição acaba por ser de extrema importância, pois afeta o rendimento de bacias hidrográficas, o rendimento de centrais hidrelétricas, determinação da capacidade do reservatório, projetos de irrigação e disponibilidade para o abastecimento de municípios.

No contexto geral, ocorre a dinâmica entre as variáveis de precipitação, umidade relativa e evapotranspiração, necessária para manter o equilíbrio do ciclo hidrológico da região, assim como a manutenção do ciclo hidrológico na bacia hidrográfica e consequentemente, da população e biota.

A precipitação estimada pelo produto TRMM 3B43V7, e os medidos na estação meteorológica Diamantino, apresentaram sazonalidade definida, com concentração maior de chuvas de outubro a março e menor entre maio e agosto, tendo em vista que abril e setembro são vistos como intermediários. O máximo índice médio de precipitação pluviométrica na bacia do R. Nobres é atingido nos meses de janeiro, fevereiro e dezembro, 301; 300,5 e 265,1 mm, respectivamente, referente a estação chuvosa e a mínima entre junho, julho e agosto, 12,5; 9,7 e 12,1 mm, estação seca (Figura 9). A Figura 9, retrata a precipitação média mensal estimada pelo produto TRMM 3B43 V7 entre os anos de 1998 e 2013 sobre a bacia R. Nobres.

Marcuzzo et al. (2011) avaliaram a variabilidade temporal e espacial das chuvas no estado de Mato Grosso, e a sazonalidade entre os períodos úmidos e secos, e comprovaram que os maiores índices pluviométricos de fato concentraram na estação do ano primavera-verão, outubro a março, correspondendo cerca de 86,5% do volume precipitado, padrão semelhante ao identificado por Soares (2017). Os menores índices de chuvas ocorreram no inverno, junho a agosto, correspondendo a 13,5%. Já abril e setembro são

meses ditos como transitório que antecedem a mudança do comportamento hídrico em Mato Grosso.

É importante evidenciar que conforme Alves (2017) que avaliou o produto 3B43V7 TRMM na Reserva biológica de Jarú, região pertencente a bacia Amazônica, esta apresentou coeficientes de correlação entre 0,72 e 0,91, indicando representatividade dos dados quando comparados com o observado na superfície.

Assim como Viana et al. (2010) demonstraram em seus estudos estimativas do TRMM 3B43, sendo confiáveis, com valores de correlação de 0,9, sendo, portanto, viável a utilização deste produto para a caracterização de bacias em que há ausência de informações de dados, uma vez que o mesmo demonstrou ser uma ferramenta de consistência.

Em sua maioria, houve correlação significativa entre os dados estimados pelo produto TRMM 3B43V7 e os medidos na estação meteorológica de Diamantino/MT no período de 1998 a 2013, com maiores coeficientes de determinação nos períodos chuvosos (Figura 10).

Sciencia et al. (2017) e Soares et al. (2016), o produto TRMM 3B43 tende a subestimar a ppt no período chuvoso (de novembro a abril), meses com maior precipitação, o que corrobora para a ppt estimada no mês de abril e dezembro para a bacia do R. Nobres, uma vez que estes meses, apresentaram menor correlação, e a média da ppt estimada foi inferior à da estação meteorológica (Figura 7 e 9).

Apesar do mês de abril e dezembro ter apresentado valores inferiores de correlação, se assumida a dissolução de possíveis erros existentes no TRMM com o estudo da média mensal entre os anos, as correlações dos dados passam para uma significância de 0,99, indicando acurácia da precipitação estimada (Figura 10). Diniz Soares et al. (2016) afirmam que quanto maiores os períodos temporais de acumulação, melhores são as correlações entre os dados de chuva estimados por satélite e os valores medidos por pluviômetros, pois quanto menor o tempo de acumulação da chuva maior variabilidade desta e, assim, maior dificuldade em estimar corretamente tal variabilidade.

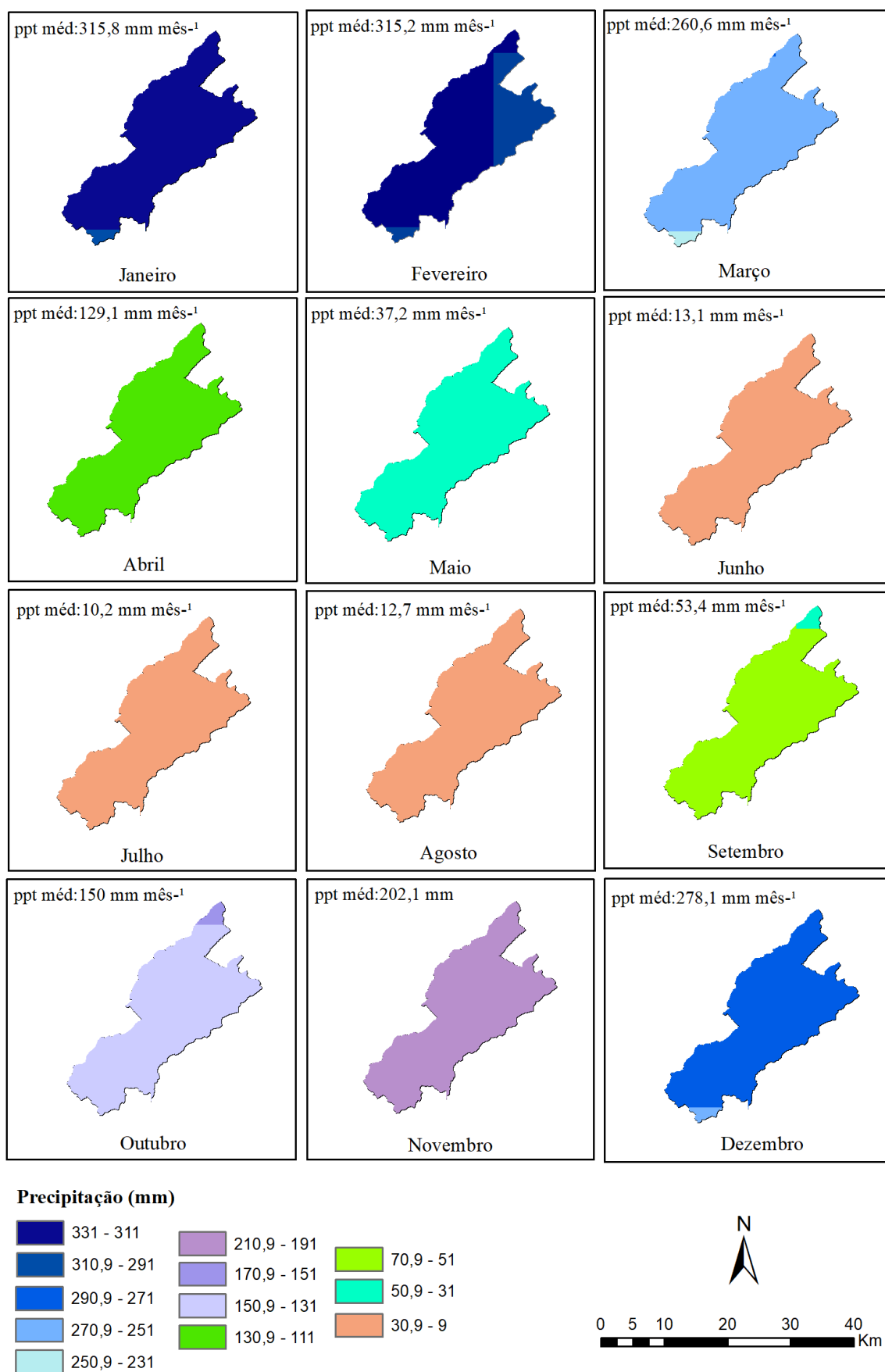


Figura 9. Média da Precipitação acumulada mensal estimada pelo produto 3B43 V7 TRMM no período de 1998 a 2013 sobre a bacia do R. Nobres.

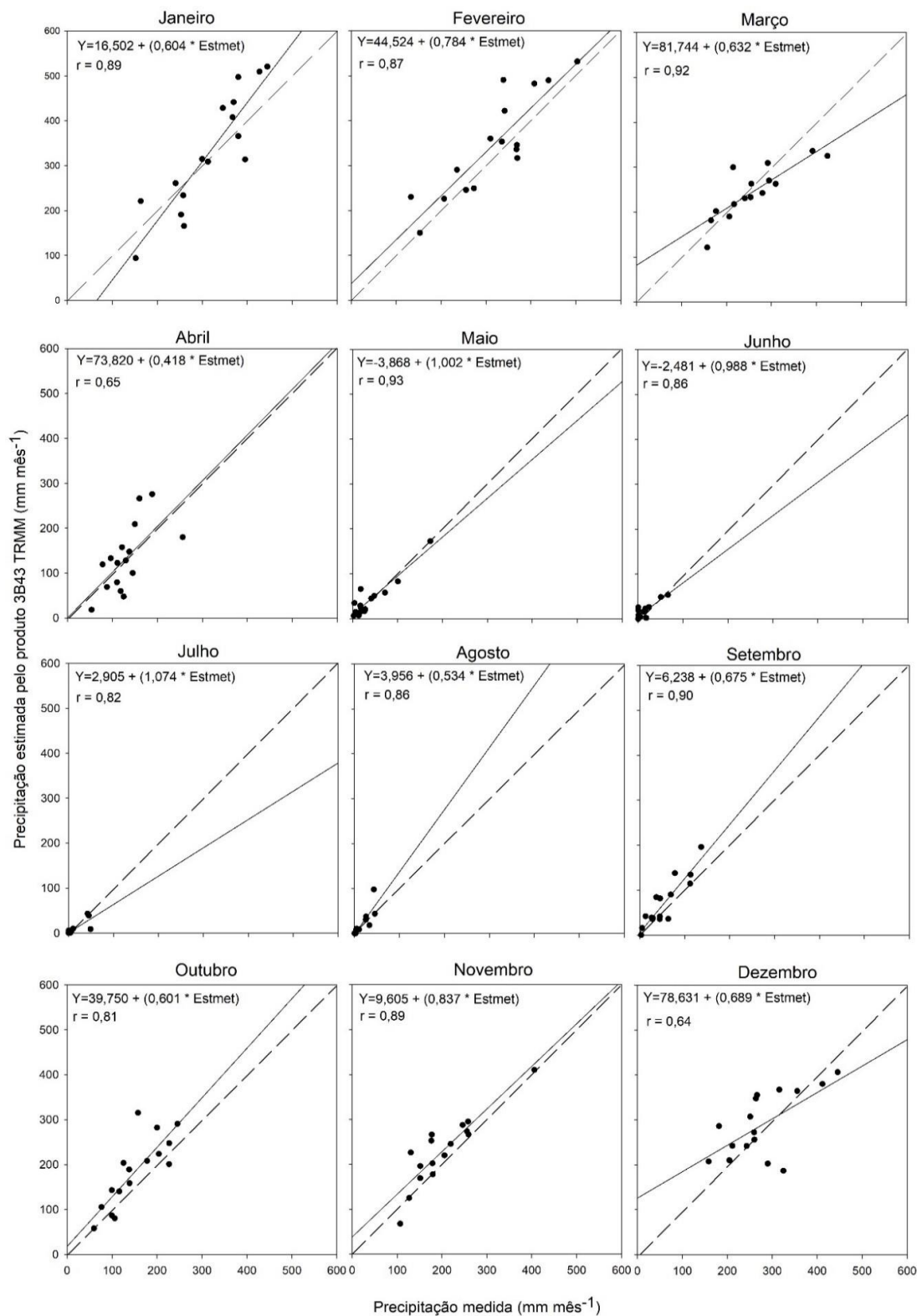


Figura 10. Regressão linear entre a precipitação estimada pelo produto 3B43V7 TRMM e a medida pela estação meteorológica de Diamantino/MT no período de 1998 a 2013 ($n=16$). Linha sólida regressão; linha tracejada 1:1; Estmet é o dado da precipitação medida (estação meteorológica Diamantino).

De modo geral, as ppt estimadas validam-se com as precipitações medidas em campo (Figura 11), caracterizando sazonalidade similares, com estação chuvosa e seca definida, comumente observada no estado de Mato Grosso, assim como na região que envolve Nobres e Diamantino/MT.

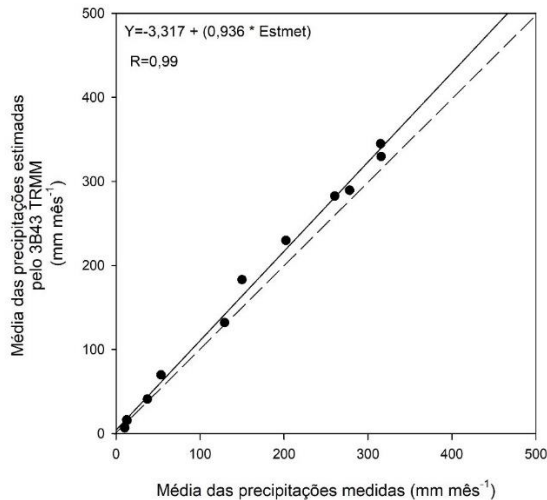


Figura 11. Regressão linear da média mensal da série histórica de precipitação entre as precipitações estimadas pelo produto 3B43V7 TRMM e as medidas na estação meteorológica de Diamantino/MT no período de 1998 a 2013 ($n=12$). Linha sólida regressão; linha tracejada 1:1; Estmet é o dado da precipitação medida (estação meteorológica Diamantino).

Balanço hídrico simplificado

Na bacia R. Nobres, o excedente de água foi 129,7 mm, ou seja, uma vazão excedente 1,84

m^3/s no período chuvoso, durante o período de estiagem não foi possível quantificá-la, uma vez que o volume precipitado foi inferior a evapotranspiração (Tabela 4). A contribuição anual foi 643,5 mm, ou seja, uma vazão excedente de $23,70 \times 10^6 m^3/ano$. Em relação a porcentagem de água que retornou para a atmosfera, esta resumiu-se em 68%.

O excedente mensal desenvolveu-se conforme a sazonalidade da região, sendo positivo nos meses da estação chuvosa (outubro a março) e negativo durante a estação de estiagem (maio a agosto), abril e setembro comportaram-se como mês em transição, positivo, ora negativo, neste caso, ambos positivos. A Figura 12, demonstra a relação entre a ppt estimada e o excedente mensal da bacia R. Nobres de 1998 a 2013.

Estes resultados concordam com Souza et al. (2013) que avaliaram o balanço hídrico no estado de Mato Grosso, demonstrando excedentes durante outubro a março e deficiência hídrica de maio a setembro, com mesmo comportamento entre os meses transitórios.

Ainda, avaliando-se a contribuição anual do balanço hídrico de R. Nobres, denota-se que a quantidade de água que entra na bacia corrobora com o observado por Rocha et al. (2017), que observaram uma relação de até 50% da razão E/P durante estação chuvosa, podendo esta chegar a 100% durante a estação seca, os autores ainda evidenciaram, que a razão é variável conforme localização da bacia e sazonalidade climática e também indicaram que parte da água precipitada retorna à atmosfera pelos efeitos da transpiração, interceptação e evaporação direta da água no solo.

Tabela 4. Balanço hídrico simplificado da bacia R. Nobres.

Período	Ppt estimada (mm)	Evap (mm)	Q (mm)	Q (m^3/s)
Estação Chuvosa	253,6	123,9	129,7	1,84
Estação Seca	42,6	53,3	-10,7	-
Anual	1777,4	1133,9	643,5	-

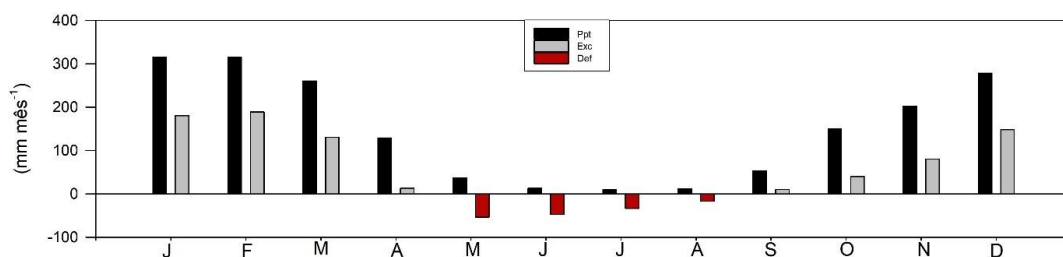


Figura 12. Precipitação estimada e o excedente mensal da bacia hidrográfica de R. Nobres, no período de 1998 a 2013.

Ademais, o fato observado no período de estiagem corrobora com o visto na caracterização física pela pedologia da região, que possui solos com capacidade de infiltração e possivelmente condicionam a percolação de parte da água que entra na bacia hidrográfica, no qual os recursos subterrâneos provavelmente acabam por alimentar os superficiais durante o período de estiagem.

De modo geral, o balanço hídrico apresentou a flutuação temporal de períodos com excedente (chuvoso) e deficiência hídrica (estiagem) expressivos durante o período de 16 anos (1998 - 2013), em que a principal atenção segue para o período de estiagem, cabendo ressaltar a importância de um planejamento e implantação de um plano de recursos hídrico que vise contribuir para atendimento do princípio dos usos múltiplos, principalmente para não se desenvolver conflitos durante esta época.

Conclusões

Como conclusões têm-se:

O produto TRMM 3B43V7, desenvolveu-se como uma ferramenta de consistência para a caracterização pluviométrica da bacia do R. Nobres, que além de possibilitar boas correlações com os dados observados em campo, indicou o período sazonal característico da região, oferecendo, portanto, acurácia para utilização em regiões com escassez de dados, sendo propício para obtenção do balanço hídrico simplificado da bacia hidrográfica.

O balanço hídrico demonstrou a flutuação temporal de períodos com contribuição excedente e deficiência hídrica, como também chamou atenção para a necessidade de um planejamento para implantação do plano de recursos hídrico que vise contribuir para atendimento dos usos múltiplos, evitar conflitos durante a época mais crítica e garantir a sustentabilidade do meio em si.

Referências

Almeida, K.N., Tosta dos Reis, J.A., Buarque, D. C., Ferreira Mendonça, A.S., Rodrigues, M.B., Nascimento S., G.D.L., 2020. Performance analysis of TRMM satellite in precipitation estimation for the Itapemirim River basin, Espírito Santo state, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology* 141(3), 1434-4483.

Alves, K.S.S., 2017. Validação da precipitação estimada pelos produtos 3B42 e 3B43 do TRMM sobre a reserva biológica Jaru – RO.

Cuiabá, MT. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental). Cuiabá, Universidade Federal de Mato Grosso.

Brasil. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - Instituto de pesquisas rodoviárias. Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem. 2ed, 133 p. Rio de Janeiro, 2005.

Caldas, V.I.S.P., Silva, A.S., Santos, J.P.C., 2019. Suscetibilidade à erosão dos solos da bacia hidrográfica lagos-São João, no Estado do Rio de Janeiro-Brasil, a partir do método AHP e análise multicritério. *Revista Brasileira de Geografia Física* 12(04), 1415-1430.

Collischonn, B., 2006. Uso de precipitação estimada pelo satélite TRMM em modelo hidrológico distribuído. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Costa, F.R.D., Souza, R.F.D., Silva, S.M.P.D., 2016. Análise comparativa de metodologias aplicadas à delimitação da bacia hidrográfica do Rio Doce-RN. *Sociedade & Natureza* 28(3), 429-442.

Diniz Soares, A.S., da Paz, A.R., Allasia Piccilli, D.G., 2016. Assessment of rainfall estimates of TRMM satellite on Paraíba state. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 21(2), 288-299.

Dores Pereira, T., dos Santos, B.C., Figueiredo Neves, G.Z., 2020. Variabilidade pluviométrica do estado do Mato Grosso na série temporal de 1998 A 2017. *Revista Geonorte* 11(37), 39-56.

Galvão, W.S., Meneses, P.R., 2005. Avaliação dos sistemas de classificação e codificação das bacias hidrográficas brasileiras para fins de planejamento de redes hidrométricas, in: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)*, pp. 2511-2518.

Gomes, J., Barros, R., 2011. A importância das Ottobacias para gestão de recursos hídricos, in: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)*, pp. 1287-1294.

Guarienti, G.S.S., 2015. Desenvolvimento de uma técnica computacional de processamento espaço-temporal aplicada em séries de precipitação. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental). Cuiabá, Universidade Federal de Mato Grosso.

Liu, Z., Ostrenga, D., Teng, W., Kempler, S., 2012. Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) precipitation data and services for research and applications. *Bulletin of the American Meteorological Society* 93(9), 1317-1325.

- Lorenzon, A.S., Fraga, M.D.S., Moreira, A.R., Uliana, E.M., Silva, D.D.D., Ribeiro, C.A.A. S., Borges, A.C., 2015. Influence of morphometric characteristics of the benevente river watershed in Alfredo Chaves Municipality - Espírito Santo state. *Revista Ambiente & Água* 10(1), 195-206. Disponível: <https://doi.org/10.4136/ambiente-agua.1475> Acesso: 13 mar. 2020
- Machado, P.D.O., Torres, F.P., 2012. *Introdução à Hidrogeografia*, Cengage Learning, São Paulo.
- Mamédio, F.M.P., Castro, N.M D.R., Corseuil, C.W., 2018. Time of concentration for rural watersheds monitored in the region of the basaltic plateau in the south of Brazil. *Rega: Revista de Gestión del Agua de América Latina* 15. Disponível: <https://doi.org/10.21168/reg.v15e1> Acesso: 15 jul 2020
- Marcuzzo, F.F.N., Andrade, L.R., Melo, D.C.D.R., 2011. Métodos de interpolação matemática no mapeamento de chuvas do estado do Mato Grosso. Disponível: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/605>
- Martins, J.A., Dallacort, R., Inoue, M.H., Galvanin, E.A.D.S., Magnani, E.B.Z., Oliveira, K.C., 2011. Caracterização do regime pluviométrico no arco das nascentes do Rio Paraguai. *Revista Brasileira de Meteorologia* 26(4), 639-647.
- Melati, M. D.; Marcuzzo, F. F. N. Influência da altitude na precipitação média anual nas sub-bacias pertencentes à bacia do rio Uruguai. In: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2015, Brasília. Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Porto Alegre: ABRH, 2015. v. 1. p. 1 a 8. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/15056/PAP018948.pdf?sequence=1>. Acesso em: 15 de agosto, 2020.
- Motta, P.N.S.D., Gloaguen, T.V., Santos, M.S.T., Ferreira, A.T.S., Motta, T.O., 2017. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio subaé, Bahia, Brasil. *Ambiência* 13(2), 470-485.
- NASA. National Aeronautics and Space Administration. TRMM Instruments, 2020. Disponível: <https://gpm.nasa.gov/missions/TRMM/satellite>. Acesso: 20 jul. 2020.
- Oliveira, G.X.S., 2009. Relações entre medidas de evaporação de superfícies de água livre por evaporímetros e estimativas por métodos meteorológicos em duas regiões do Estado de São Paulo (Doutorado). São Paulo, Universidade de São Paulo.
- Pessi, D., Santos, C.S.A.D., Nonato, J.J., Dourado, L.G.A., Silva, O.P., Bassini, R.T., José, J.V., 2019. Validation of the monitors of the TRMM soil satellite in the State of Mato Grosso, Brazil. *Revista de Ciências Agrárias* 42(1), 81-90. Disponível: <https://doi.org/10.19084/RCA18217> Acesso: 18 mar. 2020
- Rocha, V.M., Correia, F.W.S., Silva, P.R.T.D., Gomes, W.B., Vergasta, L.A., Moura, R.GD., ... Silva, J.J.S.D., 2017. Precipitation Recycling in the Amazon Basin: The Role of Moisture Transport and Surface Evapotranspiration. *Revista Brasileira de Meteorologia* 32(3) 387-398. Disponível: <https://doi.org/10.1590/0102-77863230006> Acesso: 20 mar. 2020
- Sciencia, M., Gonçalves, A., Figueiredo, R.D. O., Marin, F., 2017. Análise comparativa entre dados de precipitação observados (superfície) e estimados pelo satélite TRMM em Itaí-SP, in: Embrapa Solos-Artigo em anais de congresso (ALICE), Disponível: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1074636> Acesso: 20 mar. 2021.
- Sousa Morais, R.C., Sales, M.C.L., 2016. Draining automatic extraction: a comparative analysis of different from the tools and databases. *Revista Brasileira de Geografia Física* 9(06) 1849-1860.
- Sousa Morais, R.C., Sales, M.C.L., 2017. Estimation of the natural soil erosion potential of the Upper Gurguéia Basin, Piauí Brazil, using Geographic Information System. *Caderno de Geografia* 27(1) 84-105. Disponível: <https://doi.org/10.5752/p.2318-2962.2017v27nesp1p84> Acesso: 06 abr. 2020
- Souza, A.P., Mota, L.L., Zamadei, T., Martin, C.C., Almeida, F.T., Paulino, J., 2013. Climate classification and climatic water balance in Mato Grosso state, Brazil. *Nativa* 1(1), 34-43. Disponível: <https://doi.org/10.31413/nativa.v1i1.1334> Acesso: 13 mai. 2020
- Stipp, N.A.F., Campos, R.A., Caviglione, J.H., 2010. Morphometrical analyses of the hidrographical basin of Taquara river – a contribution for the study of environmental sciences. *Portal de Cartografia das Geociências* 3(1), 105-124.
- Strahler, A.N., 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Eos, Transactions American Geophysical Union* 38(6), 913-920.
- Teodoro, V.L.I., Teixeira, D., Costa, D.J.L., Fuller, B.B., 2007. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica

- para o entendimento da dinâmica ambiental local. *Revista Brasileira Multidisciplinar* 11(1), 137-156.
- Tonello, K.C., Dias, H.C.T., Souza, A.L.D., Ribeiro, C.A.A.S., Leite, F.P., 2006. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães-MG. *Revista Árvore* 30(5), 849-857.
- Veiga Beltrame, A., 1994. Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação. Universidade Federal de Santa Catarina.
- Viana, D.R., Ferreira, N.J., Conforte, J.C., 2010. Avaliação das estimativas de precipitação 3B42 e 3B43 do satélite TRMM na Região Sul do Brasil, in: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 16.
- Villela, S.M., Mattos, A., 1975. *Hidrologia Aplicada*. Editora McGraw-Hill do Brasil, São Paulo.
- Yuan, F., Zhang, L., Win, K. W.W., Ren, L., Zhao, C., Zhu, Y., ... Liu, Y., 2017. Assessment of GPM and TRMM multi-satellite precipitation products in streamflow simulations in a data-sparse mountainous watershed in Myanmar. *Remote Sensing* 9(3), 302.