

Article

# Balanço Hídrico Climatológico e Calibração do Sistema Nasa Power para a Região Sul do Triângulo Mineiro, Brasil

Júlia Cristina Amâncio Vieira <sup>1</sup>, Giovani Bonício Rosa <sup>2</sup>, Daniela Fernanda da Silva Fuzzo <sup>3</sup>,  
João Alberto Fischer Filho <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Graduanda. Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG. ORCID: 0009-0009-5804-304X. E-mail: julia.amancio.521@gmail.com

<sup>2</sup> Graduanda. Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG. ORCID: 0000-0002-6898-0426. E-mail: giovaniroso0410@gmail.com

<sup>3</sup> Doutora. Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG. ORCID: 0000-0003-0442-5578. E-mail: daniela.fuzzo@uemg.br

<sup>4</sup> Doutor. Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG. ORCID: 0000-0001-8787-1631. E-mail: joao.fischer@uemg.br

## RESUMO

O balanço hídrico climatológico (BHC) é uma das várias formas de monitoramento do armazenamento de água no solo, a partir do qual são determinadas as entradas e saídas de água em um período, por meio de dados de vários anos de temperatura, evapotranspiração e precipitação. Em regiões sem disponibilidade de dados climáticos, o banco de dados fornecido pela National Aeronautics and Space Administration/Prediction of Worldwide Energy Resources (NASA/POWER), é uma fonte potencial para estudos agrometeorológicos. Objetivou-se estudar o excedente e déficit hídrico na região sul do Triângulo Mineiro e avaliar as estimativas produzidas pela reanálise do Nasa Power. Foram utilizados dados climáticos diários para Frutal e Conceição das Alagoas-MG. Foram calculados os BHC para cada cidade com dados obtidos pelas estações meteorológicas de superfície e pela plataforma Nasa Power para o mesmo período e localidades. E por fim, foram comparados os valores de déficit e excesso de água no solo obtidos pelo BHC pelas estações e estimados pela Nasa Power. A região sul do Triângulo Mineiro apresenta período de estiagem entre os meses de abril e setembro, com deficiência hídrica (DEF) total anual média de 195,1 mm. O excedente hídrico (EXC) foi em média de 347,8 mm/ano, sendo que os meses de dezembro e janeiro foram marcados como período de reposição de água no solo. Tanto para o DEF quanto para o EXC foram encontradas correlações positivas entre os valores observados pela estação e estimados pelo Nasa Power, com valores de correlação e confiança superiores a 0,90. A precisão dos modelos foi elevada com R<sup>2</sup> superiores a 80,0% e erros absolutos inferiores a 6,0 mm. Com base nessas descobertas, a precipitação e evapotranspiração detectadas remotamente pelo Nasa Power mostraram bom potencial para uso na detecção de períodos secos e chuvosos, possibilitando apoiar a tomada de decisões em escalas relevantes.

**Palavras-chave:** dados remotos; deficiência hídrica; excedente hídrico; Thornthwaite e Mather.

## ABSTRACT

The climatological water balance (BHC) is one of several forms of monitoring water storage in the soil, from which water inputs and outputs are determined over a period, using data from several years of temperature, evapotranspiration, and precipitation. In regions without availability of climate data, the database provided by the National Aeronautics and Space Administration/Prediction of Worldwide Energy Resources (NASA/POWER) is a potential source for agrometeorological studies. This study aims to evaluate the water surplus and deficit in the southern region of the Triângulo Mineiro and evaluate the estimates produced by the NASA Power reanalysis. Daily climate data for Frutal and Conceição das Alagoas-MG were used. The BHC were calculated for each city with data obtained by surface meteorological stations and the NASA Power platform for the same period and locations. And finally, the deficit and excess values of water in the soil obtained by BHC by the stations and estimated by NASA Power were compared. The southern region of the Triângulo Mineiro experiences a dry period between the months of April and September, with an average annual total



Submissão: 20/12/2023



Aceite: 07/09/2024



Publicação: 14/11/2024



water deficiency (DEF) of 195.1 mm. The water surplus (EXC) averaged 347.8 mm/year, with the months of December and January being marked as a period of water replacement in the soil. For both DEF and EXC, positive correlations were found between the values observed by the station and estimated by NASA Power, with correlation and confidence values greater than 0.90. The accuracy of the models was high with  $R^2$  greater than 80.0% and absolute errors fewer than 6.0 mm. Based on these findings, precipitation and evapotranspiration remotely detected by NASA Power showed good potential for use in detecting dry and rainy periods, making it possible to support decision-making at relevant scales.

**Keywords:** remote data; water deficiency; water surplus; Thornthwaite and Mather.

## Introdução

Os elementos de tempo e clima afetam diretamente o desenvolvimento das culturas agrícolas sobre diferentes formas e nas diversas fases do seu ciclo. O conhecimento da variabilidade dos elementos climatológicos, como deficiência hídrica do solo, excedente hídrico, evapotranspiração potencial, evapotranspiração real, armazenamento de água no solo e a disponibilidade hídrica se torna indispensável no planejamento e implantação das atividades agrícolas (Castro et al., 2010).

O monitoramento dos recursos hídricos é uma das principais ferramentas, que podem ser utilizadas, visando o planejamento da agricultura, principalmente por identificar áreas e épocas do ano mais adequadas para os diferentes tipos de cultivo. O balanço hídrico climatológico (BHC) indica a quantidade de água que chega e sai de um determinado volume de solo e tempo, ou seja, a variação da disponibilidade de água no solo. Atua como uma importante ferramenta para definição dos períodos mais prováveis de déficit hídrico numa determinada região (Lima et al., 2006).

O gerenciamento sustentável dos recursos hídricos pressupõe o conhecimento da oferta hídrica e do balanço no solo frente às demandas de uso e de conservação ambiental. A quantificação e acompanhamento da disponibilidade de água é crucial ao se pensar em manejo de água, entretanto a determinação da evapotranspiração e conseqüentemente o balanço hídrico é limitado em razão da quantidade e qualidade de dados disponíveis (Parreira et al., 2019). É evidente a importância de se classificar a disponibilidade hídrica de uma região. Entretanto, no Brasil é baixa a cobertura com estações meteorológicas, além disso as falhas nas séries de dados limitam diversas pesquisas e aplicações, como no monitoramento de cultivos e previsões de produtividades (Aparecido et al., 2019). Sendo assim é importante buscar alternativas para monitorar as condições climáticas da região.

A baixa disponibilidade de dados meteorológicos de qualidade resultou no desenvolvimento de dados meteorológicos sintéticos gerados por satélite ou por interpolação de dados, que estão disponíveis em grades com resolução espaço-temporal variável. Entre essas diferentes fontes de dados, o banco de dados Nasa Power tem sido aplicado para simulações de rendimento de culturas (Duarte & Sentelhas, 2020), principalmente em regiões em que há escassez de dados.

A base de dados em grade fornecida pela National Aeronautics and Space Administration/Prediction of World Wide Energy Resources (Nasa Power) apresenta uma cobertura global de dados meteorológicos completos em resolução horizontal de 1° de latitude-longitude (Monteiro et al. 2018), é uma fonte potencial para estudos agrometeorológicos.

Os dados de satélite e simulações numéricas têm sido desenvolvidos e utilizados para diferentes estudos, de forma a contribuir para o aumento da cobertura de dados climáticos (Cordeiro et al., 2023). Existem na literatura estudos de mostram que há uma concordância significativa entre a reanálise do Nasa Power e os dados observados por estações meteorológicas de superfícies para a maioria dos parâmetros climáticos (principalmente temperatura do ar e radiação solar) (White et al., 2011), porém seu uso aplicado em balanços hídricos climatológicos ainda não é comum, especialmente no Brasil, sendo assim necessários estudos em locais pontuais.



A partir disso, objetivou-se quantificar o balanço hídrico climatológico e calibrar os dados obtidos por estações meteorológicas de superfície com aqueles obtidos pela reanálise do sistema Nasa Power para a região sul do Triângulo Mineiro, Brasil.

## Materiais E Métodos

### *Dados meteorológicos de estações de superfície*

Para o presente estudo foram utilizados dados meteorológicos diários obtidos de estações climatológicas pertencentes à rede nacional de observações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

As leituras de rotina em estações meteorológicas na região sul do Triângulo Mineiro ainda são escassas, com baixa densidade de estações, com falhas e falta de continuidade de séries históricas, como relatado por Moraes et al. (2012). Diante disso os dados foram coletados para as únicas duas cidades localizadas na região sul do Triângulo Mineiro que possuem ou possuíam estações (Tabela 1), com dados de pelo menos 10 anos. Os dados climáticos coletados na estação e utilizados no presente trabalho foram: precipitação total diária (mm) e temperatura média diária do ar (°C).

**Tabela 1.** Descrição das estações meteorológicas de superfície.

Estação	Coordenadas	Altitude (m)	Operação
Frutal	20°01'48" S 48°55'48" O	543,7	Estação convencional com encerramento das operações em 2013
Conceição das Alagoas	19°59'91" S 48°09'06" O	573,0	Estação automática em operação

Fonte: Elaborado pelos autores.

### *Dados meteorológicos do sistema Nasa Power*

O sistema Nasa Power (<https://power.larc.nasa.gov>) (Stackhouse et al., 2015) foi desenvolvido para fornecer informações meteorológicas para uso direto em arquitetura, geração de energia e agrometeorologia. Ele compila informações de várias fontes de dados diretamente e aquelas derivadas de sistemas de dados em grade. Por exemplo, dados diários em tempo real para temperatura e umidade relativa do ar são obtidos do sistema do Global Model and Assimilation Office (GEOS-4) e dados de precipitação são obtidos do Global Precipitation Climate Project (Maldonado Júnior et al., 2019).

Os dados foram recuperados para os períodos do presente estudo, por meio de solicitações http, os quais foram usados para realizar os cálculos do BHC. Os dados utilizados foram de precipitação total diária (mm) e temperatura média diária (°C).

### *Balanço hídrico climatológico*

Visando fazer um refinamento e caracterização dos períodos de déficit e excesso hídrico para a região estudada, foi calculado o balanço hídrico climatológico de acordo com Thornthwaite e Mather (1955). Foram utilizados os dados fornecidos pelas estações de superfície e pelo Nasa Power, nos períodos mais recentes de operação de cada estação de superfície, conforme Tabela 1.

Foram determinados os componentes do balanço hidrológico (deficiência e excesso hídrico) para cada localidade estudada, conforme descrito por Aparecido et al. (2019):



$$se(P - ET_o)_i < 0 = \begin{cases} NAC_i = NAC_{i-1} + (P - ET_o)_i \\ ARM_i = CAD \times e^{\frac{(NAC_i)}{CAD}} \end{cases}$$

$$se(P - ET_o)_i \geq 0 = \begin{cases} ARM_i = (P - ET_o)_i + (ARM)_{i-1} \\ NAC_i = CAD \times \ln \frac{(ARM_i)}{CAD} \end{cases}$$

$$ALT_i = ARM_i - ARM_{i-1}$$

$$ETR = \begin{cases} P + |ALT_i|, se\ ALT < 0 \\ ET_o, se\ ALT \geq 0 \end{cases}$$

$$DEF = ET_o - ETR$$

$$EXC_i = \begin{cases} 0, se\ ARM < CAD \\ (P - ET_o)_i - ALT_i, se\ ARM = CAD \end{cases}$$

Em que:  $ET_o$  – evapotranspiração de referência (mm/mês);  $CAD$  – capacidade de água disponível (mm);  $ARM$  – armazenamento de água no solo (mm);  $NAC$  – soma da precipitação menos evapotranspiração potencial (mm);  $DEF$  – déficit de água no sistema solo-planta-atmosfera (mm);  $EXC$  – excesso de água no sistema solo-planta-atmosfera (mm);  $ALT$  – diferença de armazenamento de água do solo para o mês considerado e para o mês anterior (mm);  $ETR$  – evapotranspiração real (mm);  $i$  – período mensal.

Para a determinação da evapotranspiração de referência foi utilizada a equação proposta por Thornthwaite (1948) (apud Pereira et al., 2002), conforme descrita a seguir, que apresenta boa acurácia na estimativa da  $ET_o$  para a região de estudo (Rosa et al., 2023a).

$$ET_o = ET_p \times Cor \quad Cor = \left(\frac{ND}{30}\right) \times \left(\frac{N}{12}\right) \quad I = (0,2 \times T_n)^{1,514}$$

$$ET_p = -415,85 + 23,24 \times T - 0,43 \times T^2$$

para  $T \geq 26,5^\circ C$

$$ET_p = 16 \times \left(10 \times \frac{T}{I}\right)$$

para  $0^\circ C \leq T \leq 26,5^\circ C$

Em que:  $ET_o$  – evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>);  $T$  – temperatura média do ar ( $^\circ C$ );  $ND$  – número de dias;  $N$  – fotoperíodo (horas);  $T_n$  – temperatura mensal média ( $^\circ C$ );  $I$  – índice de calor mensal ( $^\circ C$ ).

O balanço hídrico calculado utilizou a capacidade de água disponível ( $CAD$ ) de 100 mm, valor que representa as características dos solos da região e da profundidade do sistema radicular das principais culturas produzidas. A partir do BHC foi identificada e analisada a variação da disponibilidade hídrica para a região, ou seja, os meses em que ocorreram déficit e excesso de água no solo.

### **Análises estatísticas**

Após o cálculo do BHC, para cada localidade, foi aplicada análise de regressão utilizando um modelo linear, para os valores obtidos de déficit e excesso de água mensais no solo. Foram geradas equações pela comparação, sendo os dados obtidos pela estação meteorológica de superfície como a variável independente ( $x$ ) e os dados obtidos pelo Nasa Power como a variável dependente ( $y$ ).

As seguintes análises estatísticas foram realizadas para avaliar a precisão da comparação entre os valores estimados de déficit e excesso hídrico pelo Nasa Power e obtidos pelas estações meteorológicas de superfície:



o índices de correlação ( $r$ ), o qual foi classificado quanto à amplitude seguindo a classificação proposta por Hopkins (2000) (Tabela 2); a acurácia foi determinada pelo erro absoluto ( $Ea$ ) e pelo coeficiente de concordância de Willmott ( $d$ ), a precisão foi medida pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ), e a tendência obtida pela raiz quadrada do erro médio (RMSE) e pelo coeficiente de confiança ( $c$ ), interpretado por Camargo e Sentelhas (1997) (Tabela 2). O  $Ea$ , RMSE,  $d$  e  $c$  foram calculados de acordo com as equações de 1 a 4, respectivamente:

$$Ea = \frac{\sum |Y_{obs} - Y_{est}|}{N} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (Y_{obs} - Y_{est})^2}{N}} \quad (2)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Y_{est} - Y_{obs})^2}{\sum_{i=1}^N (|Y_{est} - \bar{Y}_{obs}|) + (Y_{obs} - \bar{Y}_{obs})^2} \quad (3)$$

$$c = r \times d \quad (4)$$

Em que:  $Y_{obs}$  – EXC ou DEF observada obtidos pela estação meteorológica de superfície;  $Y_{est}$  – EXC ou DEF obtidos pelo Nasa Power;  $N$  – número de observações;  $Y_{obs}$  – EXC ou DEF médio observada obtidos pela estação meteorológica de superfície.

**Tabela 2.** Classificação do coeficiente de correlação ( $r$ ) e do coeficiente de confiança ( $c$ ).

Coeficiente de correlação ( $r$ )	Classificação <sup>1</sup>	Coeficiente de confiança ( $c$ )	Classificação <sup>2</sup>
0,00 – 0,10	Muito Baixa	≤ 0,40	Péssimo
0,10 – 0,30	Baixa	0,41 – 0,50	Mau
0,30 – 0,50	Moderada	0,51 – 0,60	Sofrível
0,50 – 0,70	Alta	0,61 – 0,65	Mediano
0,70 – 0,90	Muito Alta	0,66 – 0,75	Bom
0,90 – 1,00	Quase Perfeita	0,76 – 0,85	Muito bom
		> 0,85	Ótimo

Fonte: <sup>1</sup>Hopkins (2000); <sup>2</sup>Camargo e Sentelhas (1997).

## Resultados e Discussão

### *Balanço hídrico climatológico para a região do Triângulo Mineiro Sul*

No balanço hídrico climatológico para a cidade de Frutal-MG (Tabela 3), verificou-se a presença de dois períodos bem definidos: um período de maior concentração pluviométrica, que ocorre entre novembro e março, e outro de estiagem entre os meses de abril e outubro, sendo que o período chuvoso representa 76,6% da pluviosidade que ocorre na cidade em todo ano, característico do período do verão no hemisfério Sul. Corroborando com os resultados, Alves et al. (2005) indicam que mais de 80% do total anual de chuvas encontra-se entre os meses de outubro e março na região sudeste do Brasil.


**Tabela 3.** Balanço hídrico climatológico para Frutal-MG.

	<b>P</b>	<b>ET<sub>o</sub></b>	<b>P-ET<sub>o</sub></b>	<b>NAC</b>	<b>ARM</b>	<b>ALT</b>	<b>ETR</b>	<b>DEF</b>	<b>EXC</b>
Janeiro	282,3	136,4	146,0	0,0	100,00	0,00	136,4	0,0	146,0
Fevereiro	226,6	123,3	103,2	0,0	100,00	0,00	123,3	0,0	103,2
Março	216,4	125,0	107,6	0,0	100,00	0,00	125,0	0,0	107,6
Abril	80,4	106,3	-25,9	-25,9	77,18	-22,82	103,2	3,1	0,0
Mai	39,6	74,3	-34,7	-60,5	54,58	-22,60	62,2	12,0	0,0
Junho	23,0	60,7	-37,7	-98,2	37,45	-17,13	40,1	20,5	0,0
Julho	5,2	66,4	-61,2	-159,4	20,30	-17,15	22,3	44,1	0,0
Agosto	18,0	88,7	-70,7	-230,2	10,01	-10,29	28,3	60,4	0,0
Setembro	81,5	105,8	-24,3	-254,5	7,85	-2,16	83,7	22,2	0,0
Outubro	105,3	134,1	-28,8	-283,3	5,88	-1,97	107,3	26,9	0,0
Novembro	180,5	131,4	49,1	-59,8	54,99	49,11	131,4	0,0	0,0
Dezembro	232,8	138,8	94,0	0,0	100,00	45,01	138,8	0,0	49,0
Soma	1491,6	1291,2						189,2	405,8

Fonte: Dados da pesquisa. Elaborado pelos autores.

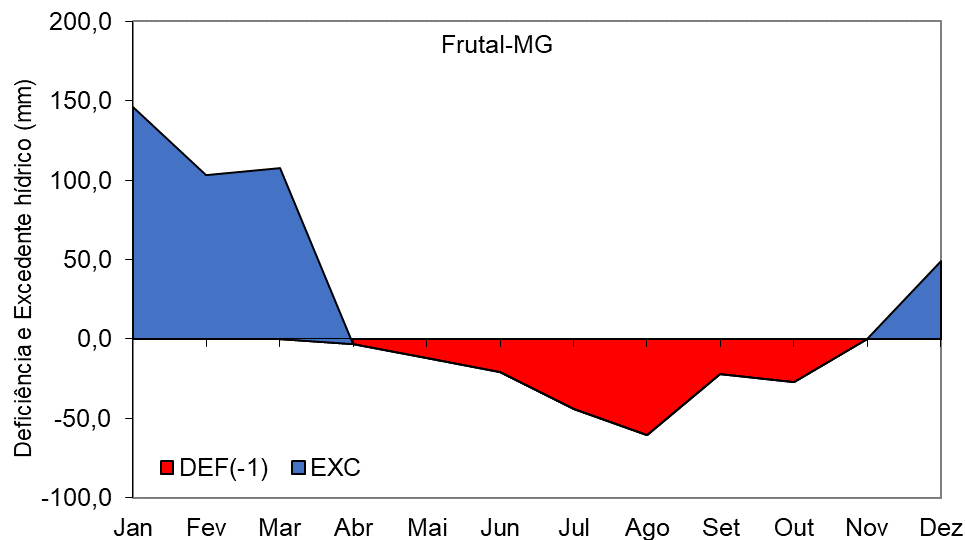
A região apresenta alta pluviosidade e elevado potencial de evapotranspiração, com valores próximos a 1.500 mm como encontrados em Frutal-MG, característico de regiões de clima tropical ou subtropical, que é caracterizado pela elevada amplitude térmica anual, com verões quentes e invernos frios (Moreira et al., 2017).

Ocorre uma maior concentração da evapotranspiração na estação do verão (dezembro a março), o que é característico de regiões de clima subtropical, como os encontrados para a região (Tabela 3). Tal fato se deve às maiores temperaturas e radiação solar incidente, além da maior disponibilidade hídrica (Goulart et al., 2015). Estudos semelhantes realizados por Oliveira (2019), analisando o BHC para o município de Conceição do Mato Dentro-MG, constatou que a ET<sub>o</sub> foi de 1232,2 mm com valores entre 65,3 para o mês de junho e 130,2 mm para outubro.

O excedente hídrico anual acumulado para Frutal-MG foi igual a 405,8 mm, com destaque para o mês de janeiro, com 146,0 mm. Já o déficit hídrico anual acumulado foi de 189,2 mm, sendo agosto com o maior valor igual a 60,4 mm (Figura 1).

É possível identificar pelo extrato do BHC que entre os meses de abril a outubro há déficit de água no solo, ou seja, medidas devem ser adotadas para não provocar prejuízos principalmente para as atividades que dependem deste recurso, como a agricultura. Uma alternativa para mitigar o efeito da redução da disponibilidade de água no solo seria o uso da irrigação principalmente no cultivo de culturas recomendadas para esta época do ano.

Resultados semelhantes foram reportados por Sobrinho et al. (2019), que estudaram a classificação climática para o município de Rio Verde-GO, no qual o valor médio de precipitação anual encontrado foi de 1621,2 mm, sendo que os meses menos chuvosos, considerados críticos foram julho e agosto com 9,3 e 9,9 mm, respectivamente. Os autores observaram valores de DEF igual 217,2 mm distribuídos por um período de cinco meses de maio a setembro, correspondendo aos períodos de estiagens e/ou veranicos na região, eles ainda indicam a necessidade de irrigação para possibilitar produtividades satisfatórias pelas culturas agrícolas da região.



**Figura 1.** Extrato do balanço hídrico mensal para o município de Frutal-MG, Brasil. Fonte: Dados da pesquisa. Elaborado pelos autores.

O BHC de Conceição das Alagoas-MG (Tabela 4) apresentou duas estações bem definidas, uma chuvosa que se estende ao longo dos meses de novembro a março; e uma estação seca que ocorre entre os meses de abril a outubro, assemelhando-se à cidade de Frutal-MG.

Verifica-se que, entre os meses caracterizados com período chuvoso (novembro a março), a pluviosidade e a evapotranspiração real (ETR) coincidem, indicando que a intensidade da ETR depende principalmente da demanda atmosférica e da disponibilidade de água no solo, que vai variar de acordo com a taxa pluviométrica. Essa relação positiva entre chuva e evapotranspiração ocorre em função de que a umidade no solo regula a capacidade de evapotranspiração de uma região (Fischer Filho & Zocoler, 2016; Rodrigues & Braga, 2021).

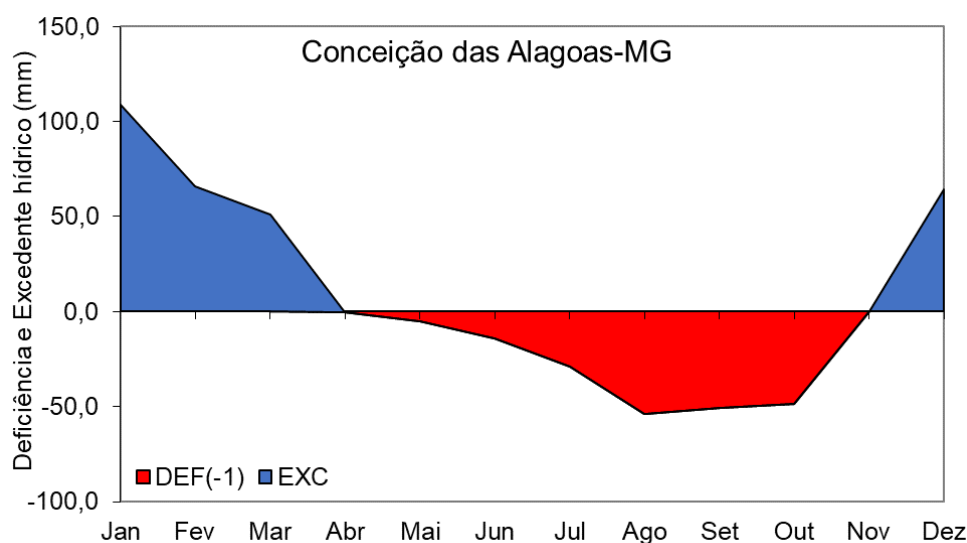
O armazenamento mínimo de água no solo aproximou-se a 0 mm, ou seja, ocorre falta de água e, portanto o aporte de água é inferior à demanda evapotranspirativa, nos meses mais críticos, entre agosto e outubro (Tabela 2). Resultados semelhantes foram encontrados por Oliveira e Oliveira (2018), que identificaram para o município de Arinos-MG, entre os meses de maio a outubro menores taxas de armazenamento de água no solo, variando entre 0,5 e 25,0 mm, sendo característico da região em que a evapotranspiração é maior do que as precipitações. Diante disso, sugere-se a adoção de planejamentos das atividades humanas e agrícolas, de modo a reduzir o impacto negativo dos valores críticos do armazenamento de água no solo.


**Tabela 4.** Balanço hídrico climatológico para Conceição das Alagoas-MG.

	P	ET <sub>o</sub>	P-ET <sub>o</sub>	NAC	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
Janeiro	233,3	124,6	108,7	0,0	100,00	0,00	124,6	0,0	108,7
Fevereiro	191,8	114,1	65,9	0,0	100,00	0,00	114,1	0,0	65,9
Março	186,6	114,5	51,3	0,0	100,00	0,00	114,5	0,0	51,3
Abril	88,8	94,1	-5,3	-5,3	94,82	-5,18	94,0	0,1	0,0
Mai	38,8	67,4	-28,6	-34,0	71,21	-23,61	62,4	5,0	0,0
Junho	24,0	59,3	-35,3	-69,3	50,02	-21,18	45,2	14,1	0,0
Julho	10,6	58,4	-47,8	-117,1	31,02	-19,00	29,6	28,8	0,0
Agosto	6,5	75,7	-69,2	-186,2	15,53	-15,49	22,0	53,7	0,0
Setembro	37,2	107,6	-57,6	-243,9	8,73	-6,81	56,7	50,8	0,0
Outubro	81,2	133,2	-52,0	-295,9	5,19	-3,54	84,7	48,5	0,0
Novembro	184,4	118,5	65,9	-34,2	71,07	65,88	118,5	0,0	0,0
Dezembro	198,9	128,1	93,0	0,0	100,00	28,93	128,1	0,0	64,0
Soma	1282,14	1195,56						201,1	289,8

Fonte: Dados da pesquisa. Elaborado pelos autores.

Para Conceição das Alagoas-MG o déficit hídrico acumulado foi de 201,1 mm no ano, sendo agosto com o maior valor, igual a 53,7 mm (Figura 1). De modo oposto o excedente hídrico anual acumulado foi igual a 289,8 mm, com destaque para o mês de janeiro, com 108,7 mm (Figura 2).



**Figura 2.** Extrato do balanço hídrico mensal para o município de Conceição das Alagoas-MG, Brasil. Fonte: Dados da pesquisa. Elaborado pelos autores.

Segundo Souza et al. (2013) é essencial identificar ciclos de déficit e excedente hídricos em uma região, principalmente em atividade como a agricultura, de modo a nortear estratégias de adaptação e mitigação de efeitos adversos. Deste modo, é recomendável utilizar a irrigação como forma de complementar a lâmina de





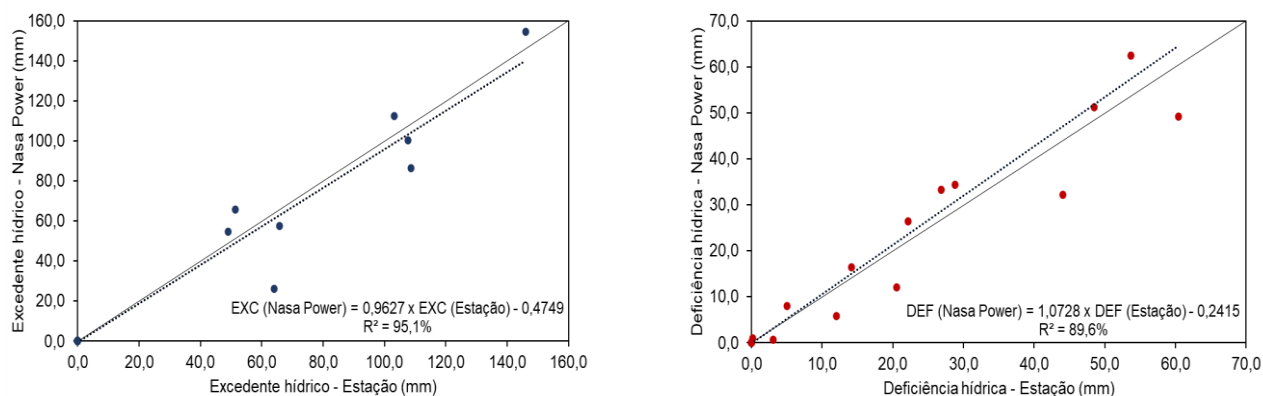
água no solo, principalmente nos meses em que há uma maior perda de água no solo. Corroborando, Medeiros et al. (2013) estudando o balanço hídrico climatológico em área de produção de banana, no município de Barbalha-CE, concluíram que se faz necessário o uso da irrigação entre os meses de maio a dezembro, evitando assim a queda de produtividade e o aparecimento de doenças devido ao estresse hídrico.

Corroborando com os resultados encontrados nesse trabalho, Horikoshi e Fish (2007), analisando o BHC atual para Taubaté-SP, observaram que há um total anual de precipitação de 1.336 mm, associado a uma evapotranspiração anual de 1.073 mm, com um excedente de água de 263 mm. Além disso, observaram a presença de quatro meses de deficiência de água (total anual de 34,0 mm) e cinco meses de excedente de água (totalizando 297,0 mm). Os autores afirmam que não ocorre falta de água, ou seja, que o aporte de água é superior à demanda evapotranspirativa. Diante disso, salienta-se a importância de estudos pontuais referentes ao BHC, em razão de que apesar de certa proximidade, regiões podem apresentar regimes hídricos diferentes.

O planejamento hídrico é a base para se dimensionar qualquer forma de manejo integrado dos recursos hídricos. Assim, o balanço hídrico permite o conhecimento da necessidade e disponibilidade hídrica no solo ao longo do tempo (Lima et al., 2009), fornecendo subsídios para o planejamento hidroagrícola e ambiental da região.

### Calibração dos dados estimados pelo Nasa Power

O balanço hídrico climatológico foi calculado para as duas localidades estudadas, utilizando os valores de temperatura e precipitação estimados pelo sistema Nasa Power. Com base nos valores obtidos de excedente e deficiência hídrica mensal foi aplicada a análise de regressão utilizando um modelo linear, entre os dados obtidos pelas estações meteorológicas de superfície e os dados obtidos pelo Nasa Power (Figura 3).



**Figura 3.** Relações entre os valores obtidos de excedente hídrico (A) e deficiência hídrica (B) pelos dados de estação de superfície e pelo sistema Nasa Power. Fonte: Dados da pesquisa. Elaborado pelos autores.

Foram encontrados bons ajustes dos modelos, sendo a precisão considerada elevada, ao observar os valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) que foram, respectivamente, iguais a 95,8 e 80,7% para o déficit e excedente hídrico.

Foi observada uma correlação positiva entre os valores observados pela estação e estimados pelo Nasa Power. Tanto para o déficit quando para o excedente hídrico, os valores de correlação foram superiores a 0,90; sendo assim classificados como quase perfeita correlação entre os valores. Já os coeficientes de confiança foram superiores a 0,85, sendo classificados como ótimos (Tabela 5).


**Tabela 5.** Análise estatística da calibração do Nasa Power em relação a estação agrometeorológica para deficiência e excedente hídrico.

	Deficiência hídrica	Excedente hídrico
<b>Ea (mm)</b>	4,3	4,7
<b>RMSE (mm)</b>	7,6	10,1
<b>r</b>	0,95	0,98
<b>d</b>	0,88	0,95
<b>c</b>	0,85	0,93

\*Ea – Erro absoluto; RMSE – raiz quadrada do erro médio; r – coeficiente de correlação; d – coeficiente de concordância de Willmott; c – coeficiente de confiança.

Fonte: Dados da pesquisa. Elaborado pelos autores.

Além disso, o teste de acurácia também determinou o erro absoluto, com valores inferiores a 5,0 mm e coeficiente de concordância de Willmott próximos a 0,90, demonstrando que os modelos apresentaram alta acurácia. Por fim, a tendência avaliada pela raiz quadrada do erro médio, foi de 7,6 mm e 10,1 mm para déficit e excesso, respectivamente. São escassos os estudos que utilizam os dados obtidos pelo Nasa Power em aplicações que vão além das estimativas dos elementos meteorológicos, deste modo os resultados obtidos pelo presente estudo, demonstram a sua aplicação e precisão na estimativa da disponibilidade de água no solo.

Em estudo realizado por Giovanella et al. (2021) foram coletados dados de duas estações meteorológicas localizadas no oeste do Paraná, e visando preencher as falhas de dados em suas séries históricas, os autores utilizaram dados do Nasa Power, concluíram que o sistema apresentou desempenho adequado, indicando potencial para serem utilizados como método de preenchimento de falhas de dados de evapotranspiração. Kheyuri et al. (2023) avaliaram a precipitação no Irã com dados obtidos pelo Nasa Power, e concluíram que esta ferramenta é importante para identificar regiões propensas à seca e o uso benéfico dos recursos hídricos na região. Por fim Rosa et al. (2023b) testaram o Nasa Power para diferentes climas, e observaram que o sistema estima com precisão as temperaturas máximas, mínimas e médias, bem como a radiação solar incidente.

A disponibilidade de dados meteorológicos, com qualidade adequada, é essencial para o planejamento e gestão dos recursos hídricos (Miró et al., 2017). Diante disso, os valores encontrados quanto à precisão, acurácia e tendência dos modelos gerados evidenciam o bom ajuste e, conseqüentemente, indicam que os dados estimados pelo Nasa Power podem ser utilizados para determinação do balanço hídrico climatológico quando não existem dados disponíveis de estações meteorológicas de superfície.

## Conclusão

Para a região sul do Triângulo Mineiro encontraram-se duas estações climáticas bem definidas: chuvosa e seca. Os períodos de excedente hídrico ocorrem entre os meses novembro a março, e nos meses de abril a outubro há deficiência hídrica.

Com base nessas descobertas, a precipitação e temperatura detectadas remotamente do sistema Nasa Power e a estimativa da evapotranspiração de referência por Thornthwaite (1949) mostraram-se com potencial para uso na detecção de disponibilidades hídricas para a região estudada, auxiliando no planejamento das atividades hidroambientais e agrícolas.

Esses tipos de estudos são essenciais para avaliar a aplicabilidade de novas informações e ferramentas de monitoramento de secas para apoiar a tomada de decisões em escalas relevantes, principalmente em regiões com escassez de dados meteorológicos de superfície disponíveis.



## Agradecimentos

A FAPEMIG pelo suporte financeiro. Ao Programa Institucional de Apoio a Pesquisa (PAPq/UEMG) pela concessão de bolsa ao primeiro autor, a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pela concessão de bolsa ao segundo autor e ao Programa de Bolsas de Produtividade em Pesquisa (PQ/UEMG) pela concessão de bolsas ao terceiro e quarto autor.

## Referências

- Alves LM, Marengo JA, Camargo Júnior H, Castro C. 2005. Início da estação chuvosa na região Sudeste do Brasil: Parte 1 – Estudos observacionais. *Revista Brasileira de Meteorologia* 20(3):385-394.
- Aparecido LEO, Rolim GS, Moraes RSCD., Torsoni GB, Meneses KCD, Costa CTS. 2020. Acurácia da reanálise ERA-Interim do ECMWF e sua aplicação na estimativa da deficiência hídrica no estado do Paraná, Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia* 34:515-528.
- Camargo, AD, Sentelhas PC. 1997. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia* 5(1):89-97.
- Castro, FDS, Pezzopane JE, Cecílio RA, Pezzopane JR, Xavier AC. 2010. Avaliação do desempenho dos diferentes métodos de interpoladores para parâmetros do balanço hídrico climatológico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 14(8):871-880.
- Cordeiro ALM, Silva FS, Silva AM, Costa CEAS, Santana LR. 2023. Variabilidade espaço-temporal da precipitação pluviométrica na região hidrográfica da Calha Norte, Estado Do Pará, Brasil. *Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science* 12(2):159-7/10.
- Duarte YC, Sentelhas PC. 2020. NASA/POWER and DailyGridded weather datasets—how good they are for estimating maize yields in Brazil?. *International Journal of Biometeorology* 64:319-329.
- Fischer Filho JA, Zocoler JL. 2016. Estimativa do coeficiente de cultura (kc) do feijoeiro em Ilha Solteira, SP. *Revista Engenharia na Agricultura* 24(3), 229-235.
- Giovanella TH, Oliveira FCD, Marchi VADA, Tluszczy J. 2021. Desempenho de métodos de preenchimento de falhas em dados de evapotranspiração de referência para região oeste do paraná. *Revista Brasileira de Meteorologia* 36:415-422.
- Goulart MA, Sanches L, Vilani MT, Pinto Júnior OB. 2015. Análise da evapotranspir o por wavelet de Morlet em área de *Vochysia divergens* Pohl no Pantanal. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 19(2):93-98.
- Hopkins WG. *Correlation coefficient*. 2000. [Disponível em 10 Dez. 2000; acesso em 20 mar. 2023]. Disponível em: <http://www.sportsci.org/resource/stats/correl.html>.
- Horikoshi AS, Fisch G. 2007. Balanço hídrico atual e simula es para cenários climáticos futuros no Município de Taubaté, SP, Brasil. *Ambiente &  gua* 2(2):33-46.



- Kheyruri Y, Nikaein E, Sharafati A. 2023. Spatial monitoring of meteorological drought characteristics based on the NASA POWER precipitation product over various regions of Iran. *Environmental Science and Pollution Research* 30(15):43619-43640.
- Lima FB. 2009. *Balanço hídrico-espacial da cultura para o uso e ocupação atual da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Rita, Noroeste do Estado de São Paulo*. 2009. 89 f. Monografia, Fundação Educacional de Fernandópolis, Fernandópolis, 89 pp.
- Maldonado Júnior W, Valeriano TTB, Rolim GS. 2019. EVAPO: A smartphone application to estimate potential evapotranspiration using cloud gridded meteorological data from NASA-POWER system. *Computers and Electronics in Agriculture* 156:187-192.
- Medeiros RM, Silva JAS, Oliveira Silva A, Matos RM, Balbino DP. 2013. Balanço hídrico climatológico e classificação climática para a área produtora da banana do município de Barbalha, CE. *Revista Brasileira De Agricultura Irrigada* 7(4):258-268.
- Miró JJ, Caselles V, Estrela MJ 2017. Multiple imputation of rainfall missing data in the Iberian Mediterranean context. *Atmospheric research* 197:313-330.
- Monteiro LA, Sentelhas PC, Pedra GU. 2018. Assessment of NASA/POWER satellite-based weather system for Brazilian conditions and its impact on sugarcane yield simulation. *International Journal of Climatology* 38(3):1571-1581.
- Moraes RA, Rocha JV, Rolim GDS, Lamparelli RAC, Martins MM. 2012. Evaluation of 10-day period precipitation, maximum and minimum air temperature data from the ECMWF model in São Paulo state. *Brazilian Journal of Irrigation and Drainage* 17(3), 397-407.
- Moreira A, Fontana DC, Kuplich TM, Cardoso MA. 2017. Dados meteorológicos estimados em condições de clima subtropical e a relação com índices de vegetação. *Revista Brasileira de Cartografia* 69(6):1075-1091.
- Oliveira JÂM. 2019. Balanço hídrico climatológico e classificação climática de Thornthwaite e Mather para o município de Conceição do Mato Dentro–MG. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada* 13(1): 3203-3211.
- Oliveira, J. Â. M., & de Oliveira, C. M. M. (2018). Balanço hídrico climatológico e classificação climática para o município de Arinos–MG. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada* 12(6), 3021-3027.
- Parreira AGB, Marasca I, Silva Solino AJ, Santos GO. 2019. Balanço hídrico climatológico para o município de Rio Verde, Goiás. *Cientific@-Multidisciplinary Journal* 6(1):26-33.
- Pereira AR, Angelocci LR, Sentelhas PC. 2002. *Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas*. Editoria Agropecuária, Guaíba, 478 p.
- Rodrigues GC, Braga RP. 2021. Estimation of daily reference evapotranspiration from NASA POWER reanalysis products in a hot summer mediterranean climate. *Agronomy* 11(10):2077.
- Rosa GB, Silva Fuzzo DF, Fischer Filho JA. 2023a. Modelos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região sul do Triângulo Mineiro, Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia* 33:81-97.



Rosa SLK, Souza JLMD, Santos AAD. 2023b. Data from NASA Power and surface weather stations under different climates on reference evapotranspiration estimation. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 58:e03261.

Sobrinho OPL, Santos LNS, Santos GO, Cunha FN, Soares FAL, Teixeira MB. 2020. Balanço hídrico climatológico mensal e classificação climática de Köppen e Thornthwaite para o município de Rio Verde, Goiás. *Revista Brasileira de Climatologia* 27:19-33.

Souza AP, Mota LL, Zamadei T, Martin CC, Almeida FT, Paulino, J. 2013. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. *Nativa*, 1(1), 34-43.

Stackhouse PW, Westberg D, Hoell JM, Chandler WS, Zhang T. 2015. *Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER): Agroclimatology Methodology (1.0° Latitude by 1.0° Longitude Spatial Resolution)*, v 1.0.2, NASA, Washington.

Thornthwaite CW, Mather JR. 1955. The water balance. *Publications in Climatology* 8(1):104.

White JW, Hoogenboom G, Wilkens PW, Stackhouse Júnior PW, Hoel J M. 2011. Evaluation of satellite-based, modeled-derived daily solar radiation data for the continental United States. *Agronomy Journal* 103(4):1242-1251.