

CARACTERIZAÇÃO AGROCLIMÁTICA DO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL UTILIZANDO O MÉTODO DE THORNTHWAITE (1948)

João Lorençone,
Instituto Federal do Mato Grosso do Sul (IFMS),
joao.lorencone@gmail.com

Lucas Eduardo de Oliveira Aparecido,
Instituto Federal do Mato Grosso do Sul (IFMS),
lucas.aparecido@ifms.edu.br

Pedro Antonio Lorençone,
Instituto Federal do Mato Grosso do Sul (IFMS),
pedroantonio.lorencone@gmail.com

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo caracterizar climaticamente o Mato Grosso do Sul, por meio do balanço hídrico de Thornthwaite e Mather (1955) e o índice de umidade de Thornthwaite (1948). Foram utilizadas séries históricas de dados climáticos dos 79 municípios do Mato Grosso do Sul (MS) entre 1987 e 2017. As variáveis utilizadas para o estudo foram temperatura média do ar, precipitação anual, evapotranspiração de referência, componentes do balanço hídrico: déficit hídrico (DEF), excedente hídrico (EXC) e do índice de umidade (Iu). Os elementos meteorológicos temperatura do ar e precipitação diários foram coletados na plataforma NASA/POWER, logo a Evapotranspiração de Referência foi estimada pelo método de Camargo (1971), juntamente com o balanço hídrico, utilizando planilhas eletrônicas. A temperatura do ar no estado do Mato Grosso do Sul apresenta dois períodos bem definidos durante o ano, sendo um período seco e outro chuvoso. Concluiu-se que o clima tipo C2 – subúmido é o mais predominante no MS. De maneira geral, a temperatura média anual do estado é 24°C com precipitação média anual acumulada de 1.379 mm, com uma caracterização hídrica de 234,78 mm anua⁻¹ de excedente hídrico, déficit hídrico de 80,8 mm anual⁻¹ e evapotranspiração potencial de 1.144,8 mm anual⁻¹.

Palavras-chave: Agrometeorologia; Balanço hídrico; Índice de umidade

1 INTRODUÇÃO

O estado de Mato Grosso do Sul (MS), localizado no centro-oeste do Brasil, tem uma área de aproximadamente 350.000 km² e tem como principal fonte econômica a agricultura (SILVA et al., 2012; OLIVEIRA-JUNIOR et al., 2020). Esse estado tem diferentes tipos de solo dispostos em três biomas: Cerrado, Mata Atlântica e Pantanal, e ainda é um grande produtor de milho, soja, algodão, cana-de-açúcar, mandioca e arroz sequeiro (IBGE, 2019). O MS é o quinto

maior produtor de grãos do Brasil, mas ainda não tem trabalhos definindo sua real predominância climática.

A caracterização climática é indispensável na definição e análise dos climas das regiões, principalmente, para o desenvolvimento agrícola (CEGLAR et al., 2016; SALEHNIA et al., 2020). Conceitualmente, o clima compreende as condições atmosféricas médias de um período mínimo de 30 anos (PASSOS et al., 2018; JO et al., 2019). APARECIDO et al., (2016) e HE et al., (2019) destacam que o clima é definido pelos sistemas de classificações climáticas que são métodos eficientes para a determinação das classes climáticas de uma determinada região. E a agricultura é uma atividade econômica muito afetada pelas condições meteorológicas (SÁ JÚNIOR et al., 2012), pois os elementos meteorológicos variam tanto de vista geográfica como no aspecto sazonal, e podem promover elevados danos as culturas.

As plantas para completar todo o seu ciclo fenológico e terem altas produtividades necessitam de água disponível no solo, portanto, a avaliação dessa disponibilidade de água para as plantas é indispensável para o planejamento da agricultura (MARTINEZ et al. 2013, SCHRADER et al., 2013). Uma maneira eficiente de quantificar essa água disponível no solo é por meio do balanço hídrico climatológico (BHC).

Há diversos métodos de estimativa de BHC na literatura internacional, no entanto, a metodologia de Thornthwaite e Mather (1955) é o mais utilizado por apresentar uma forma simplificada e prática para a obtenção do armazenamento de água no solo (SOUZA et al., 2017). As variáveis de saída do BHC permitem realizar a classificação climática de diversas áreas (DANTAS et al., 2007). O sistema de classificação climática de Thornthwaite (1948) é considerado a mais importante nos estudos da agricultura, ecologia e recursos hídricos, justamente por utilizar do BHC em sua metodologia. Nessa classificação, a planta é considerada o meio físico pelo qual é possível conduzir água do solo para atmosfera (ROLIM et al., 2007).

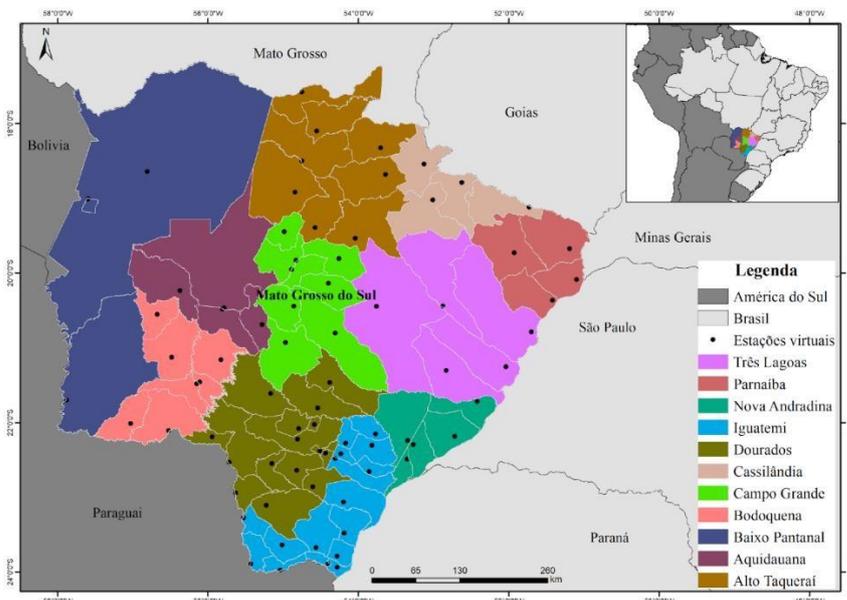
Neste contexto, os índices de classificação climática de Thornthwaite (1948) se tornam importantes na interpretação dos tipos de clima do MS, pois simplificam o processo de cálculo e a interpretação do BHC pelos agricultores. Nesse sentido, nós buscamos desenvolver o BHC pelo método de Thornthwaite e Mather (1955) e a caracterização climática usando os índices propostos por Thornthwaite (1948) para o MS.

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O estudo foi realizado no estado de Mato Grosso do Sul (MS) que está localizado no Centro-Oeste do Brasil. O estado apresenta uma área de 357.145,32 km², com 79 municípios. As altitudes do MS variam de 24 m a 1000 m. O estado de Mato Grosso do Sul (MS) começou a se destacar na área agrícola em quatro anos de criação, ultrapassando a média nacional em área colhida. O agronegócio é a atividade predominante no estado devido à riqueza de solos e condições climáticas favoráveis (CASONATO, 2013).

Foram utilizadas séries históricas de dados climáticos dos 79 municípios do Mato Grosso do Sul entre 1987 e 2017, os quais foram separados por microrregiões (Figura 1). A temperatura do ar (T_{ar} , °C) e a precipitação (P , mm) foram coletados, em escala diária, na plataforma NASA/POWER (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>).

Figura 1: Localização das microrregiões do estado do Mato Grosso do Sul e as estações virtuais estudadas.



Fonte: Próprio do autor

Os dados coletados foram utilizados para estimar a evapotranspiração potencial (PET), pelo método de Camargo (1971) (Equação 1). O critério para a escolha deste modelo foi a disponibilidade de dados.

$$PET = 0.01 \times \left(2 \frac{Q_0}{45}\right) \times T_{ar} \times ND \quad (1)$$

Em que, Q_0 é a irradiância solar no topo da atmosfera ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); T_{ar} é a temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$) e ND é o número de dias.

O balanço hídrico (BH) proposto por Thornthwaite e Mather (1955) foi calculado com capacidade de água disponível no solo (CAD) igual a 100 mm. O armazenamento de água no solo (ARM), o déficit (DEF) e excedente (EXC) hídricos do sistema solo-planta-atmosfera foram estimados, conforme as Equações 2 a 7:

$$NAC_i = NAC_{i-1} + (P + ETP)_i$$

$$Se (P - ETP)_i < 0 = \left\{ \begin{array}{l} ARM = CAD e CAD \\ \frac{(NAC)_i}{ARM^i} \end{array} \right. \quad (2)$$

$$Se (P - ETP)_i \geq 0 = \left\{ \begin{array}{l} NAC^i = CAD \ln CAD \\ ARM = (P - ETP)_i + ARM_{i-1} \end{array} \right. \quad (3)$$

$$ALT_i = ARM_i - ARM_{i-1} \quad (4)$$

$$ETR_i = \{P + ETP | ALT_i, i_{se}\}, \quad ALT^{se} ALT \geq 0 < 0 \quad (5)$$

$$DEF = ETP - ETR \quad (6)$$

$$0, se CAD < 0$$

$$EXC_i = \{(P - ETP)_i - ALT_i \quad se CAD = 0 \quad (7)$$

Em que ETP é a Evapotranspiração Potencial (mm); CAD é a Capacidade de Água Disponível no solo (mm), ARM é o armazenamento de água no solo (mm); NAC (Negativo acumulado) = precipitação acumulada – evapotranspiração potencial; P é a precipitação (mm); DEF é o déficit hídrico no sistema solo-planta-atmosfera (mm); ETR é a evapotranspiração real (mm), EXC é o excedente hídrico do sistema solo-planta-atmosfera (mm); ALT é o armazenamento de água no solo no mês atual – armazenamento de água no solo do mês anterior (mm) e i é o período mensal

Para a distribuição e variação dos elementos meteorológicos foram elaborados boxplots contendo a média, mediana e os pontos extremos. Essas análises são de extrema importância para compreender o clima dentro de cada microrregião do estado do MS, além de possibilitar a comparação entre as regiões.

A correlação entre as variáveis climáticas de cada microrregião foi analisada através

da correlação linear de Pearson (r) (Equação 8). Essa análise permite observar se há regiões muito semelhantes ou muito distintas uma das outras.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2][\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2]}} \quad (8)$$

Em que y_i é a i -ésima observação da variável y , \bar{y} é a média da variável y , x_i é a i -ésima observação da variável x e \bar{x} é a média da variável x .

Foi avaliada a influência que a variação da latitude promove na DEF, EXC e ETo, para compreender, se realmente, a mudança da latitude proporciona mudanças nesses elementos do balanço hídrico

Para caracterizar as localidades estudadas como úmidas e secas, foram empregados os índices de aridez proposto por Thornthwaite (1948). Os cálculos dos índices de aridez, hídrico e de umidade foram processados conforme as Equações 9 a 11 e classificados conforme a tabela

1.

$$I_h = \frac{EXC}{ETP} \times 100 \quad (9)$$

$$I_a = \frac{DEF}{ETP} \times 100 \quad (10)$$

$$I_u = I_h - 0,6 \times I_a \quad (11)$$

Em que I_h é o índice hídrico, I_a o índice de aridez, I_u o índice de umidade, EXC é o excedente hídrico (mm), DEF é o déficit hídrico (mm), ambos oriundos do balanço hídrico climatológico,

ETP é a evapotranspiração de referência ou potencial (mm).

Tabela 1. Chave de classificação climática de Thornthwaite e Mather baseada no índice de umidade.

Tipos Climáticos	Índice de Umidade (I_u)
A - Super-úmido	$100.0 \leq I_u$
B4 - Úmido	$80.0 \leq I_u < 100.0$

B3 - Úmido	$60.0 \leq I_u < 80.0$
B2 - Úmido	$40.0 \leq I_u < 60.0$
B1 - Úmido	$20.0 \leq I_u < 40.0$
C2 - Sub-úmido	$00.0 \leq I_u < 20.0$
C1 - Sub-úmido seco	$-33.3 \leq I_u \leq 00.0$
D - Semiárido	$-66.7 \leq I_u < -33.3$
E - Árido	$-100 \leq I_u < -66.7$

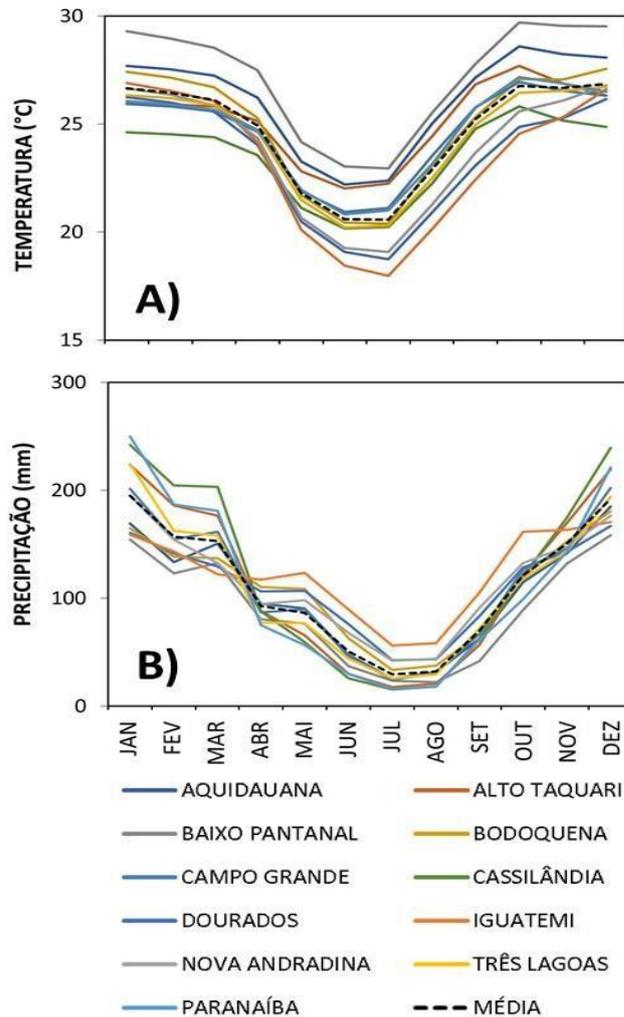
Fonte: Ometto, 1981

3 DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS DADOS

A temperatura do ar no estado do Mato Grosso do Sul apresentou um padrão na variação mensal para as microrregiões (Figura 2 A). Os valores de temperatura do ar mensais das microrregiões variaram de 17 °C a 29°C, sendo a média anual da temperatura do ar de 24°C. As altas temperaturas do ar no estado ocorreram nos períodos de janeiro-abril e novembro-dezembro, com média de 26 °C. No período de maio-julho ocorreu uma queda na temperatura do ar, com a média de 20°C. As microrregiões Baixo do Pantanal (oeste do estado) e Iguatemi (sul do estado) se destacaram entre as localidades, como a de maior e menor temperatura do ar, respectivamente, médias anuais de 27 °C e 23 °C.

A precipitação média anual acumulada de Mato Grosso do Sul foi de 1.379 mm (Figura 2B). A concentração e a distribuição da precipitação no estado foram desuniformes. No período de junho a setembro ocorreu os menores valores de precipitação em MS. Nos períodos de janeiro-maio e outubro-dezembro apresentaram aumento na precipitação. A microrregião de Iguatemi, localizada no sul do estado, apresentou a maior precipitação anual de 1.472 mm. Essas variações de temperatura do ar e precipitação durante o ano podem afetar o desenvolvimento e a produtividade das culturas no estado de Mato Grosso do Sul, pois entre as atividades econômicas, a agricultura é a mais vulnerável à variabilidade climática (GENG et al., 2016; HOSSAIN, PAUL & MANDAL, 2002).

Figura 2. Variação mensal (A) da temperatura do ar (°C) e da (B) precipitação pluvial (mm) para as microrregiões do estado do Mato Grosso do Sul (MS).



Fonte: Próprio do autor

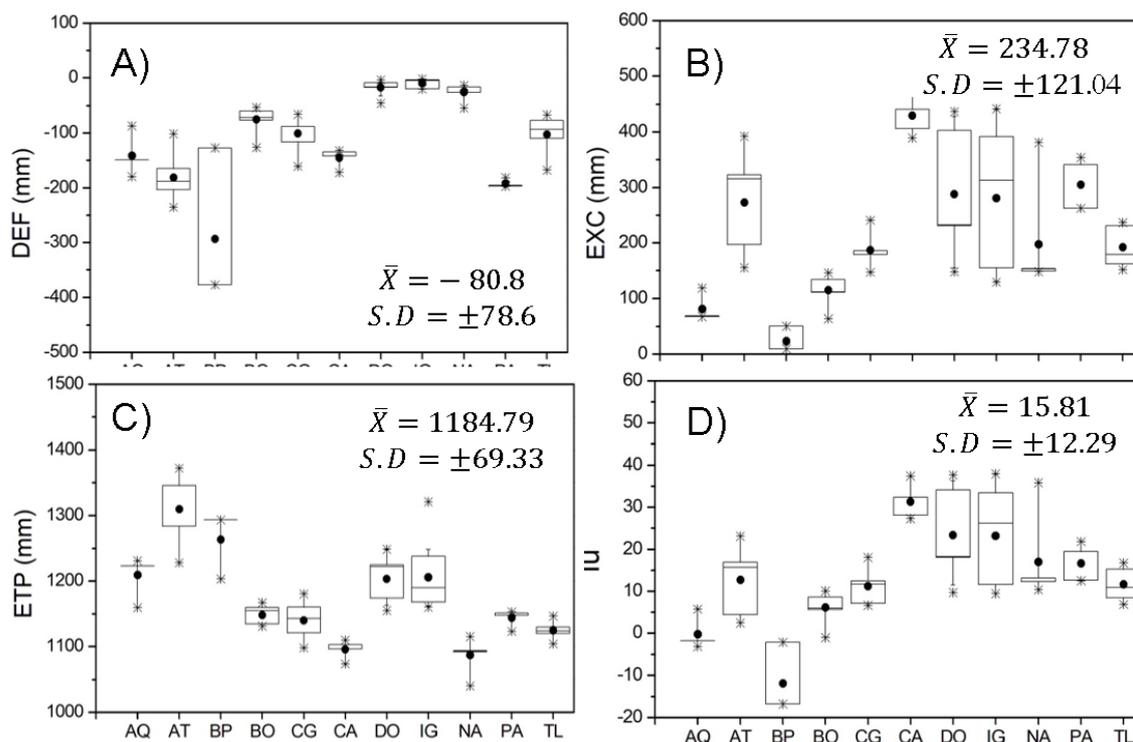
As microrregiões apresentaram diferentes padrões nos componentes do Balanço hídrico e no índice de umidade como é ilustrado na Figura 3. A evapotranspiração potencial (ETP) anual de Mato Grosso do Sul foi 1.116,52 mm ($\pm 62,21$ mm), apresentada na Figura 3A. As microrregiões Baixo do Pantanal e Aquidauana, ambas localizadas no oeste do estado, apresentaram os maiores valores de ETP anual, respectivamente.

Nova Andradina e Três Lagoas, localizadas no leste do MS, obteve valores acima de 1000 mm, no entanto, estão abaixo da média da ETP anual do estado. O Alto Taquari, no norte do estado, apresentou maior variação de ETP. As microrregiões localizadas no Noroeste do estado obtiveram maior evapotranspiração potencial, pois o seu aumento está relacionado ao acréscimo do saldo de radiação, efeito advectivo, temperatura do ar e da diminuição da umidade relativa.

O excedente hídrico (EXC) do MS apresentou uma média anual de 234,8 mm ($\pm 121,04$ mm) como observado na Figura 3B. Iguatemi e Dourados obtiveram as maiores variações de excedente hídrico. As microrregiões de Cassilândia e Alto Taquari, ambas localizadas no norte do estado e Parnaíba (leste do estado) apresentaram uma distribuição normal nos resultados de excedente hídrico. O padrão da distribuição do EXC interanual nas microrregiões foi parecido.

O Índice de umidade (IU) foi em média de 15,94 ($\pm 11,57$), ilustrado na Figura 3D. O Baixo do Pantanal demonstrou o menor IU, de -11,89 ($\pm 8,43$) e a microrregião de Cassilândia com o maior IU, com 31,26 ($\pm 4,65$), apresentando uma relação com a quantidade de DEF e EXC nas microrregiões. Os resultados de IU de Cassilândia e Parnaíba apresentaram uma distribuição normal, ou seja, não ocorreu muita variação no IU. Já Iguatemi e Dourados apresentaram maior variação.

Figura 3. Box Plots da Evapotranspiração Potencial (A), Déficit Hídrico (B), Excedente Hídrico (C) e Índice de Umidade para as microrregiões do estado do Mato Grosso do Sul. ‘

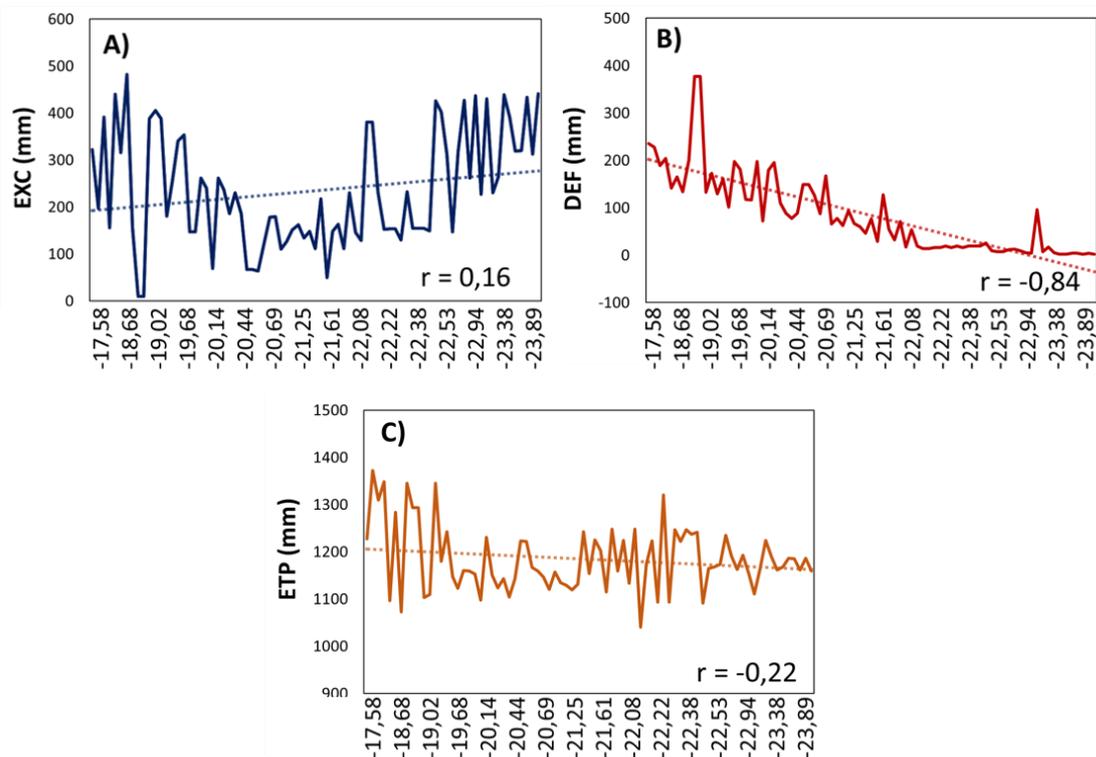


Fonte: Próprio do autor

A correlação do déficit hídrico do Baixo Pantanal foi mais positiva e forte com os déficits hídricos de Alto Taquari, Aquidauana, Bodoquena e Campo Grande (Tabela 4), sendo essas microrregiões localizadas próximas ao Baixo Pantanal.

A relação entre o excedente hídrico e as latitudes das microrregiões de MS apresentou correlação positiva fraca (Figura 4 A), da mesma forma para a evapotranspiração de referência (Figura 4 C). A deficiência hídrica, por outro lado, apresentou correlações negativas fortes com as latitudes das microrregiões do MS, ou seja, com o aumento da latitude no estado do MS houve menores deficiências hídricas.

Figura 4. Relação entre a variação da latitude e (A) o excedente hídrico (EXC), (B) deficiência hídrica (DEF) e (C) a evapotranspiração potencial (ETP) no Mato Grosso do Sul.



Fonte: Próprio do autor

5 CONCLUSÕES

O clima predominante no estado do Mato Grosso do Sul é classificado como C2 – subúmido. O estado do Mato Grosso do Sul apresenta dois períodos bem definidos durante o ano: um período seco e outro chuvoso. Os três tipos climáticos que predominam no MS, conforme a classificação de Thornthwaite (1948), é B1-úmido, C2-sub-úmido e C1 sub-úmido árido.

A caracterização hídrica do estado do Mato Grosso do Sul é 234,78 mm anual⁻¹ de excedente hídrico, déficit hídrico de 80,8 mm anual⁻¹ e evapotranspiração potencial de 1.114,8 mm anual⁻¹. O DEF e ETP diminuem com o aumento da latitude.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, E. A. DE.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v.5, n.1, p.187-206, 2012.

CAMARGO, A. P. Balanço hídrico no estado de São Paulo. 3. ed. Campinas: IAC, 1971. 24 p. (Boletim, n. 116).

CASONATO, L. **O papel do Agronegócio no Crescimento**. Economia Agrícola, 2013.

CELILIO, R. A.; SILVA, R. DA S.; XAVIER, A. C.; PEZZOPANE, J. R. M. Método para a espacialização dos elementos do balanço hídrico climatológico. **Pesquisa Agropecuária, Brasília**, v.47, n.4, p.478-488, abr. 2012.

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G. DE; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, 2007.

ELGUINDI, N.; GRUNDSTEIN, A.; BERNARDES, M.; URUNCOGLU, U. Assessment of CMIP5 global model simulations and climate change projections for the 21 st century using a modified Thornthwaite climate classification. **Climatic change**, v. 122, n. 4, p. 523-538, 2014.

FIETZ, C, R. URCHEI, M, A. **Balanço hídrico sequencial da região de Dourados, MS, período de 1979 a 1998**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2000.

HENRY, W. B & KRUTZ, L. J. **Water in Agriculture: Improving Corn Production Practices to Minimize Climate Risk and Optimize Profitability**. Current Climate Change Reports, v. 2, p 49–54, Jun 2016.

HOSSAIN, M. A.; PAUL, S. C.; MANDAL, A. C. Natural convection flow along a vertical circular cone with uniform surface temperature and surface heat flux in a thermally stratified medium. **International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow**, 2002.

- KRIGE, D. G. **A statistical approach to some mine valuation and allied problems on the Witwatersrand: By DG Krige.** 1951. Tese de Doutorado. University of the Witwatersrand.
- MONTOYA, F., GARCÍA, C., PINTOS, F., & OTERO, A. Effects of irrigation regime on the growth and yield of irrigated soybean in temperate humid climatic conditions. **Agricultural Water Management**, v.193, p. 30-45, 2017.
- OMETTO, J.C. **Bioclimatologia vegetal.** São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 440p.
- OLAIZ, A. H., SINGHAR, S. H., VANN, J. D., & HOUSTON, S. L. (2018). **Comparison and applications of the Thornthwaite moisture index using GIS.** In PanAm Unsaturated Soils 2017 (pp. 280-289).
- OLIVEIRA, J. Â. M. Balanço Hídrico Climatológico E Classificação Climática De Thornthwaite E Mather Para O Município De Conceição Do Mato Dentro–MG. **Revista Brasileira De Agricultura Irrigada-RBAI**, v. 13, n. 1, p. 3203-3211, 2019.
- OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; TEODORO, P. E.; JUNIOR, C. A. DA S.; BAIO, F. H. R.; GAVA, R.; CAPRISTO-SILV, G. F.; GOIS, G. DE.; FILHO, W. L. F. C.; LIMA, M.; SANTIAGO, D. DE B.; FREITAS, W. K.; SANTOS, P. J. DOS.; COSTA, M. DA S. Fire foci related to rainfall and biomes of the state of Mato Grosso do Sul, Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 282, p. 107861, 2020.
- PASSOS, M. L. V.; ZAMBRZYCKI, G. C.; PEREIRA, R. S. Balanço hídrico e classificação climática para uma determinada região de Chapadinha-MA. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 10, n. 4, p. 758-766, 2016.
- ROLIM, G. & C.; MARCELO & LANIA, D.G.; &MORAES, J. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**. V.66, p. 711-720, 2007.
- SALEHNIA, N.; TORSHIZI, A. S.; KOLSOUMI, S. Rainfed wheat (*Triticum aestivum* L.) yield prediction using economical, meteorological, and drought indicators through pooled panel data and statistical downscaling. **Ecological Indicators**, v. 111, p. 105991, 2020.

SOUZA, J. L. M.; JERSZURKI, D. SHCAFER, R.; GURSKI. B. C.; SCHAFFER, H. Balanço Hídrico Climatológico: Precipitação E Evapotranspiração De Referência Estimadas Com Metodologia Alternativa. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 20, 2017.

SUJALU, A. P.; HIDAYANTO, M.; FIANA, Y.; PULIHASIHET, A. Y. Analysis Of Water Balance To Determine Cropping Patterns Of Food Crop In Sub-Watershed Tenggara, Kutai Kartanegara Regency. 2017.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, JR. **The Water Balance**. Laboratory of Climatology, Centerton, NJ, USA; 1955.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical review*, v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948.

SÁ JUNIOR, A.; CARVALHO, L. G.; SILVA, F. F.; ALVES, M. C. Application of the Köppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 108, p. 1-7, 2012.

SILVA, M. P. DA; MARUJO, L. G. Análise de modelo intermodal para escoamento da produção da soja no centro oeste brasileiro. **J. Transp. Lit.**, Manaus , v. 6, n. 3, p. 90-106, Sept. 2012 .

BRUNEL-SALDIAS, N., SEGUEL, O., OVALLE, C., ACEVEDO, E., & MARTÍNEZ, I. Tillage effects on the soil water balance and the use of water by oats and wheat in a Mediterranean climate. **Soil and Tillage Research**, v. 184, p. 68-77, 2018.

NEGM, A.; FALOCCHI, M.; BARONTINI, S.; BACCHI, B. RANZI, R. Assessment of the water balance in an Alpine climate: Setup of a micrometeorological station and preliminary results. **Procedia Environmental Sciences**, v. 19, p. 275 – 284, 2013.

CEGLAR, A.; TORETI, A.; LECERF, R.; VELDE, M. V. D.; DENTENER, F. Impact of meteorological drivers on regional inter-annual crop yield variability in France. *Agricultural and Forest Meteorology*. v.216, p.58–67, 2016.