

VARIABILIDADE SAZONAL DOS COMPONENTES DO BALANÇO HÍDRICO DO MATO GROSSO DO SUL

LUCAS EDUARDO DE OLIVEIRA APARECIDO¹, JOSÉ REINALDO DA SILVA CABRAL DE MORAES², KAMILA CUNHA DE MENESES³, PEDRO ANTONIO LORENÇONE⁴, JOÃO ANTONIO LORENÇONE⁵, CÍCERO TEIXEIRA SILVA COSTA⁶

¹ Professor Doutor, Instituto Federal do Mato Grosso do Sul - Naviraí, (67) 3409-2501, lucas.aparecido@ifms.edu.br

² Professor Doutor, Instituto Federal do Mato Grosso do Sul - Naviraí, (67) 3409-2501, jose.moraes@ifms.edu.br

³ Doutoranda em Agronomia (Ciência do Solo), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Campus Jaboticabal, (16) 3209-7224, kamila.meneses@unesp.br

⁴ Graduando em agronomia, IFMS, (67) 99697-7309, joao.lorencone@estudante.ifms.edu.br.

⁵ Graduando em agronomia, IFMS, pedro.lorencone@estudante.ifms.edu.br

⁶ Professor Doutor, Instituto Federal do Mato Grosso do Sul - Naviraí, (67) 3409-2501, cicero.costa@ifms.edu.br

Apresentado no
XLIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2020
23 a 25 de novembro de 2020 - Congresso On-line

RESUMO: As informações quantitativas dos componentes do balanço hídrico são de grande importância na agricultura, principalmente, nas tomadas de decisões concisas em vários processos de planejamento. Portanto, objetivou-se caracterizar a variabilidade sazonal hídrica do estado do Mato Grosso do Sul usando dados de reanálise meteorológica do ERA-Interim. O estudo foi realizado no Mato Grosso do Sul, localizado na região Centro-Oeste do Brasil. Os dados decenais de precipitação pluvial e temperatura média do ar foram obtidos pelo ERA-Interim entre os anos de 1989 e 2015, totalizando 566 pontos. Estimou-se o armazenamento de água no solo, a deficiência hídrica e o excedente hídrico a partir do balanço hídrico normal de Thornthwaite e Mather (1955). Os maiores excedentes hídricos ocorrem no período de dezembro a março, enquanto no período de agosto a outubro ocorre os menores valores de excedentes hídricos no estado. A região sul do estado do Mato Grosso do Sul demonstrou os maiores recursos hídricos, com DEF reduzido, ARM próximo de 100% e EXC elevados. E esse é um dos motivos desta região ter grande destaque produtivo, principalmente nos cultivos de milho, soja e cana-de-açúcar.

PALAVRAS-CHAVE: agrometeorologia, ERA-Interim, geoestatística

SEASONAL VARIABILITY OF THE COMPONENTS OF THE WATER BALANCE OF MATO GROSSO DO SUL

ABSTRACT: Quantitative information on water balance components is of great importance in agriculture, especially when making concise decisions in various planning processes. Therefore, the objective was to characterize the seasonal water variability of the state of Mato Grosso do Sul using meteorological reanalysis data from ERA-Interim. The study was carried out in Mato Grosso do Sul, located in the Midwest region of Brazil. Data within 10-days on rainfall and average air temperature were obtained by ERA-Interim between 1989 and 2015, totaling 566 points. Soil water storage, water deficiency and water surplus were estimated from the normal water balance of Thornthwaite and Mather (1955). The highest water

surpluses occur in the period from December to March, while in the period from August to October there are the lowest values of water surpluses in the state. The southern region of the state of Mato Grosso do Sul showed the largest water resources, with reduced DEF, ARM close to 100% and high EXC. And this is one of the reasons why this region has great production prominence, mainly in the cultivation of corn, soybeans and sugarcane.

KEYWORDS: agrometeorology, ERA-Interim, geostatistics

INTRODUÇÃO:

As informações quantitativas dos componentes do balanço hídrico são de grande importância na agricultura, principalmente, nas tomadas de decisões concisas em vários processos de planejamento, como para previsão de inundações de curto prazo, secas de longo prazo e o manejo sustentável da água (Jillo et al., 2017; Schmidt et al., 2018). A compreensão das informações dos elementos climáticos permite que o planejamento pelos agricultores seja executado com maiores níveis de precisão (Filgueiras et al., 2018), no entanto, as observações superficiais são dispersas e não há homogeneidade espacial dos solos e vegetação na superfície terrestre (Orth e Seneviratne, 2014; Orth et al., 2017).

O Mato Grosso do Sul (MS) situa-se em uma das principais regiões de produção agrícola nacional, com uma área de 357.125 km². O estado é produtor de milho, soja, cana-de-açúcar e mandioca, além disso, é o quinto maior produtor de grãos do Brasil, segundo o IBGE (2018). O estado do MS, assim como todo o território brasileiro, não tem uma rede de estações meteorológicas de superfície que atenda todas as necessidades agrícolas, apresentando uma estação meteorológica a cada 900 hectares (INMET, 2018). Sendo que os dados de reanálise do ERA-Interim geram previsões e estimativas de clima em grid e vem sendo utilizado por diversas áreas como indústria, turismo, segura e principalmente na agricultura. O ERA-Interim colabora substancialmente no fornecimento de dados em regiões com poucas estações meteorológicas de superfície (Alessandrini et al. 2013; Ceglár et al., 2016) e potencializa o uso de ferramentas de análise geostatística.

Trabalhos sobre caracterização hídrica são encontrados na literatura como Guimarães et al. (2016) e Lopes et al. (2019). Pántano et al. (2017) descreveram que o impacto dos períodos de seca depende da cultura e da época do ano. E os períodos de frutificação e da floração são os mais sensíveis para as colheitas e escassez de água, pois o armazenamento de água no solo contribui para o desenho de estratégias de adaptação para amenizar a vulnerabilidade da produção agrícola. O balanço hídrico é uma ferramenta importante para a avaliação das características hídricas em nível regional sem que utilize medidas diretas dos solos da região. Assim, objetivou-se caracterizar a variabilidade espacial e sazonal hídrica do estado do Mato Grosso do Sul usando dados de reanálise meteorológica do ERA-Interim.

MATERIAL E MÉTODOS:

O estudo foi realizado no estado do Mato Grosso do Sul, localizado na região Centro-Oeste do Brasil. Os dados decendiais de precipitação pluvial (P, em mm) e temperatura média do ar (T, em °C) do estado do Mato Grosso do Sul utilizados neste estudo foram obtidos pelo ERAInterim entre os anos de 1989 e 2015. O conjunto dos dados foram coletados em grid com resolução espacial de 0,25 graus ($\pm 25 \times 25$ km), sendo uma informação meteorológica

para cada grid.

Para o estado do Mato Grosso do Sul foram coletados 566 pontos meteorológicos em grid de estações globais (Fig. 1), com informações meteorológicas de precipitação pluvial e temperatura do ar.

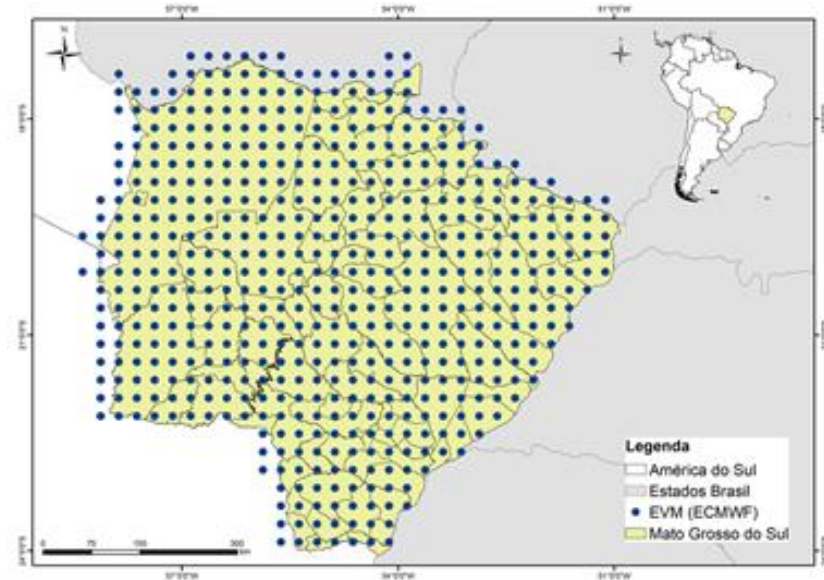


Figura - 1. Mapa de localização das Estações Virtuais Meteorológicas (EVM) da reanálise do ERA-Interim.

O balanço hídrico (BH) climatológico normal foi estimado pelo método de Thornthwaite e Mather (1955). Foi utilizado uma capacidade de água disponível (CAD) de 100 mm para todas as localidades pois é um valor padrão para fins climáticos e de caracterização da disponibilidade hídrica regional (Brasil, 1981, Duarte e Sentelhas, 2019). As estimativas de armazenamento de água no solo, deficiência hídrica e excedente hídrico foram obtidas pelas Eqs. (1)-(6).

$$\text{Se } (P - ETP)_i < 0 = \begin{cases} NAC_i = NAC_{i-1} + (P - ETP)_i \\ ARM = CAD e^{\frac{(NAC)_i}{CAD}} \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{Se } (P - ETP)_i \geq 0 = \begin{cases} NAC_i = CAD \ln \frac{ARM_i}{CAD} \\ ARM = (P - ETP)_i + ARM_{i-1} \end{cases} \quad (2)$$

$$ALT_i = ARM_i - ARM_{i-1} \quad (3)$$

$$ETR_i = \begin{cases} P + |ALT_i|, & \text{se } ALT < 0 \\ ETP_i, & \text{se } ALT \geq 0 \end{cases} \quad (4)$$

$$DEF = ETP - ETR \quad (5)$$

$$EXC_i = \begin{cases} 0, & \text{se } CAD < 0 \\ (P - ETP)_i - ALT_i, & \text{se } CAD = 0 \end{cases} \quad (6)$$

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 a deficiência hídrica 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.

A Evapotranspiração Potencial (ETP) foi calculada utilizando o método Penman e Monteith (Allen et al., 1998), descrito nas Eqs (7 e 8).

$$ETo = \frac{0,408 \times s \times (Rn - G) + \frac{\gamma \times 900 \times U_2 \times (es - ea)}{T + 273}}{s + \gamma \times (1 + 0,34 \times U_2)} \quad (7)$$

$$s = \frac{4098 \times es}{(T + 273)^2} \quad ea = \frac{UR \times es}{100} \quad es = 0,6108 \times e^{\frac{17,27 \times T}{237,3 + T}} \quad (8)$$

em que *Rn* é a radiação líquida (MJ m⁻² d⁻¹); *UR* é umidade relativa; *G* é o fluxo de calor no solo igual a 0 MJ m⁻² d⁻¹; *T* é a temperatura do ar (°C); γ é a constante psicométrica igual a 0,063 kPa °C⁻¹; *s* é a declividade da curva da pressão de vapor versus temperatura (kPa °C⁻¹); *U₂* é a velocidade do vento (m s⁻¹) na altura de 2 m; *es* é a pressão da saturação de vapor (kPa); *ea* é a pressão de vapor atual (kPa).

Foi realizada a análise estatística descritiva cujo objetivo foi identificar as variações do conjunto de dados coletados. Em seguida, as estimativas do BH foram especializadas para o estado do Mato Grosso do Sul. Ao final, foi realizada uma análise multivariada para agrupar as localidades mais úmidas e as mais secas. Esta análise é ilustrada por um gráfico dendrograma a partir da matriz de semelhança (distância euclidiana), e a ligação dos grupos foi realizada pelo método de Ward (Rolim et al., 2007). O teste de distribuição de probabilidade foi feito pelo método de Kolmogorov-Smirnov.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

No estado do Mato Grosso do Sul ocorreu variação espacial dos componentes do balanço hídrico (Fig. 2). As deficiências hídricas anuais do estado do Mato Grosso do Sul variaram entre 250 mm e 25 mm (Fig. 2A). O aumento dos valores de deficiência hídrica ocorreu com a diminuição da latitude. Na região Sul do estado se concentrou as áreas com menores DEF, abaixo de 25 mm. Em contrapartida, os lados norte e noroeste são as áreas que apresentaram maior DEF, entre 160 e 200 mm. Este fato pode ser explicado pelas maiores temperaturas anuais ocorrem nestas regiões, médias acima de 27,5 °C, estarem correlacionadas com as latitudes mais baixas.

O aumento da deficiência hídrica é uma indicação do potencial de secagem dos solos, portanto, a irrigação suplementar se torna necessária para a agricultura nesta região, a fim de evitar que os solos sequem e para manter a produtividade dos cultivos (McCabe e Wolock, 2015). A deficiência hídrica tem maior relevância fisiológica para as plantas do que os elementos climáticos padrão, como temperatura e precipitação (Stephenson, 1990).

A amplitude dos valores de excedente hídrico anual do estado do Mato Grosso do Sul foi de 500 mm (Fig. 2 B). Os maiores EXC são encontrados nas áreas marginais do norte do estado. Enquanto na região sudoeste do MS registrou os menores EXC, valores menores que 50 mm. Isso se deve ao fato que nessa região são registradas temperaturas elevadas nas

estações de verão, outono e primavera, com valores acima de 27 °C e baixa oferta hídrica no verão e outono (Moraes et al., 2018). Por sua vez, na região Sul mostrou-se mais úmida, sendo em torno de 110 a 250 mm, onde a temperatura se demonstrou mais amenas.

No estado do Mato Grosso do Sul, foram encontrados os armazenamentos de água do solo de 130 a 1200 mm (Fig. 2C). As áreas com características climáticas mais marcantes, com baixo DEF e alto EXC hídrico no caso da região sul do estado, caracterizaram esta região do MS como a área de maior ARM, ou seja, mais de 900 mm. A região central do estado e parte da região sudoeste obtiveram os menores ARM, abaixo de 300 mm, devido a maior temperatura do ar, e conseqüentemente maior evapotranspiração potencial (ETP) e menor precipitação se comparado ao sul, com a junção desses dois fatores resulta em um menor ARM

Essas variações de DEF, EXC e ARM pelo Balanço Hídrico normal em MS reforçam a importância desses componentes hídricos para o planejamento agrícola e tomada de decisão, pois esses fornecem as condições de capacidade produtiva do local conforme sua caracterização climática, pois considera a textura física do solo, profundidade efetiva do sistema radicular das culturas e o movimento de água no solo durante um determinado período. Assim fornece o saldo de água disponível no solo para o vegetal, ou seja, contabiliza a entrada (precipitação e ou irrigação) e a saída (evapotranspiração potencial) (Medeiros et al., 2013).

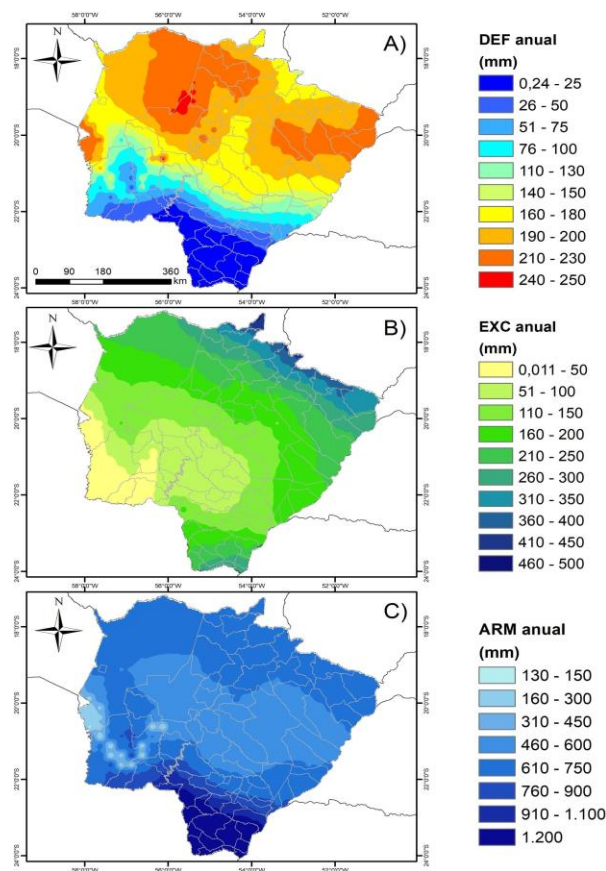


Figura 2 - Espacialização anual no estado do Mato Grosso do Sul: (A) Deficiência hídrica, (B) Excedente hídrico e (C) Armazenamento de água no solo.

O ARM, EXC e DEF anuais para o estado do Mato Grosso do Sul foram de 660 ($\pm 186,42$) mm, 172 ($\pm 95,96$) mm e 147 ($\pm 67,60$) mm, respectivamente (Fig. 3). Os valores do ARM demonstraram grande variabilidade entre as localidades estudadas, demonstrando um coeficiente de variação de 28,19%, sendo que o maior e menor foram de 1193,32 e 109,99 mm, respectivamente. As variáveis do balanço hídrico climatológico apresentaram distribuição normal dos dados segundo o teste de Kolmogorov-Smirnov.

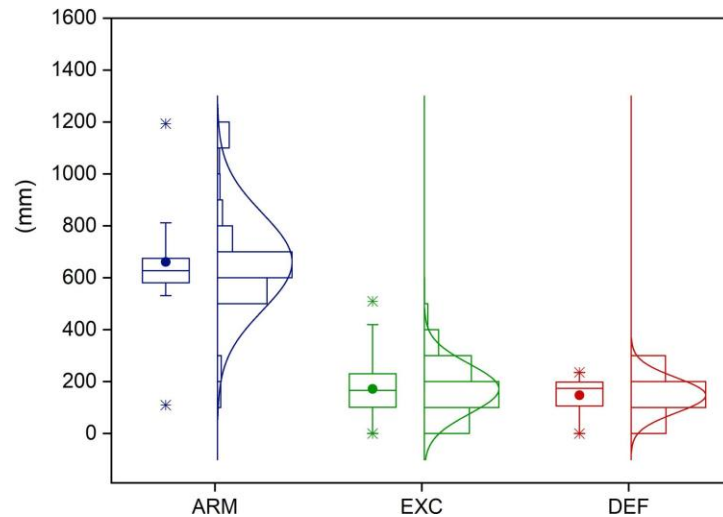


Figura 3 - Box-plot e histograma do Armazenamento de água no solo (ARM), Excedente hídrico (EXC) e Deficiência hídrica (DEF) anuais para o estado do Mato Grosso do Sul.

O ARM diz respeito à variação de armazenamento de água no volume considerado, por intervalo de tempo, representando o que entrou e o que saiu de água em um volume de solo, sendo uma variável de extrema importância para as atividades agrícolas (Aparecido et al., 2018). O ARM tem seus menores valores no período de setembro a outubro, com média em torno de 20 mm mês⁻¹, configurando o período de estiagem (Fig. 4). Os maiores valores de ARM ocorreram no período de janeiro a março com média de 98 mm, considerado o período de maior oferta hídrica no estado. Em relação aos meses, dezembro apresentou maior variação dos dados de ARM, entre 50 e 100 mm, devido ser um mês de transição entre o período de menor e maior precipitação, variando entre as cidades coletadas.

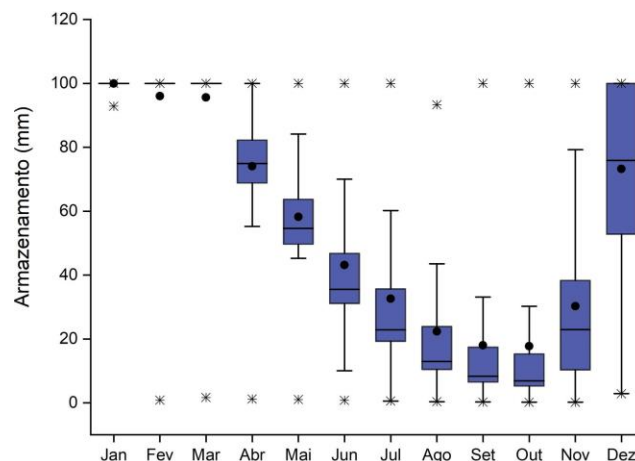


Figura 4 - Box-plot do Armazenamento de água no solo (ARM) mensal para o estado do Mato Grosso do Sul (MS).

O EXC hídrico apresentou entre janeiro e março os maiores valores, com média mensal de 82 mm (Fig. 5). Apenas no verão, entre dezembro e março, as médias mensais de EXC foram acima de 20 mm, enquanto, nos outros meses foram abaixo de 5 mm mês⁻¹. Estes resultados estão semelhantes aos encontrados por Gonçalves et al. (2006). Houve grande variação no EXC devido à variação entre os pontos de grid coletados, pois essa variação está relacionada às regiões mais chuvosas e outras mais áridas.

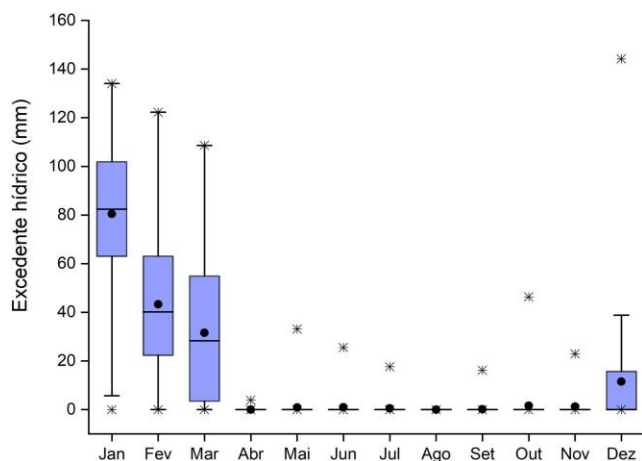


Figura 5 - Box-plot do excedente hídrico (EXC) mensal para o estado do Mato Grosso do Sul.

A menor DEF apresentou-se no verão devido à alta disponibilidade hídrica nesse período (Fig. 6). A maior DEF foi entre julho e setembro, com média de 30 mm. O mês de agosto foi o com maior variação de deficiência hídrica no estado. Nesses meses ocorrem o inverno, período de menores precipitações na região. Esses resultados estão similares aos de Soriano e Galdino (2002). O DEF é uma das variáveis climáticas que mais influencia as culturas agrícolas, podendo ser positivamente ou negativamente, depende do estágio fenológico do cultivo (Martins et al., 2015; Aparecido et al., 2017).

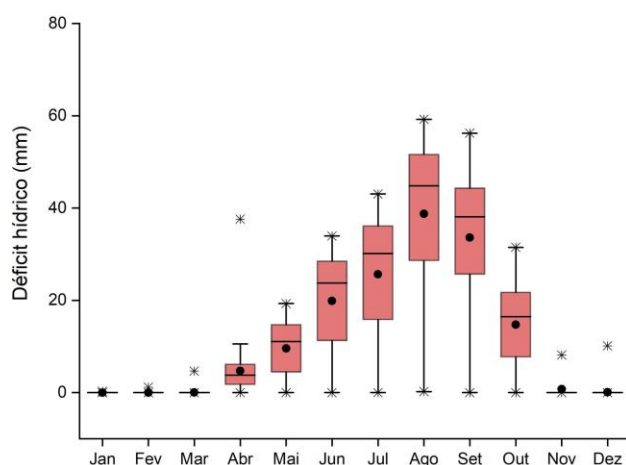


Figura 6 - Box-plot da deficiência hídrica (DEF) mensal para o estado do Mato Grosso do Sul.

É nítida a separação das localidades em 6 grandes clusters em função do ARM, DEF e EXC. No grupo 1 encontram-se as localidades que demonstram os maiores índices de

umidades de todo estado do Mato Grosso do Sul, como Juti, Naviraí, Eldorado e Rio Brillante, com média de DEF próxima de 0 mm. Já no grupo 6 estão as localidades mais secas, por exemplo, Ladário e Corumbá, que evidenciam DEF médios acima de 39.5 mm (Fig. 7).

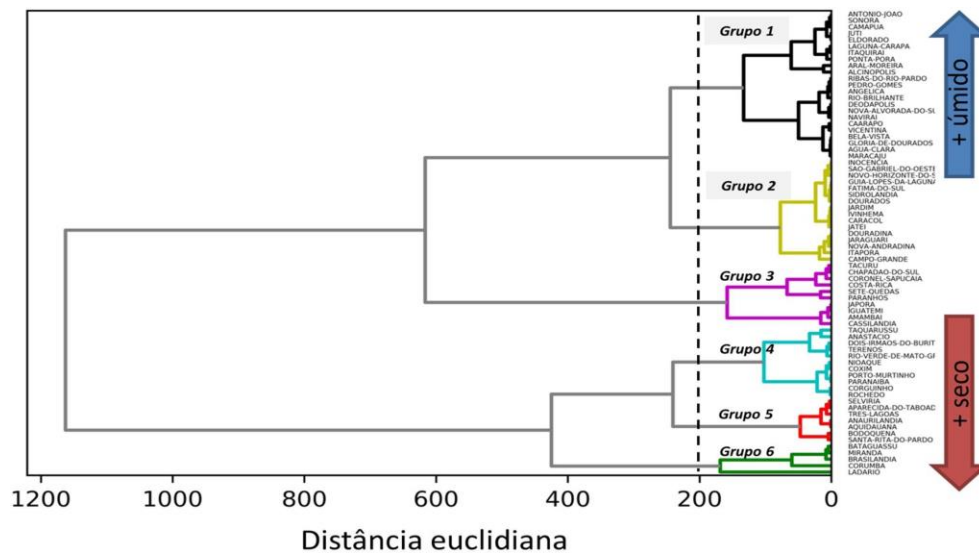


Figura 7 - Dendrograma de identificação de similaridade dos locais em função armazenamento de água no solo, deficiência hídrica e excedente hídrico do Mato Grosso do Sul.

CONCLUSÕES:

O estado do Mato Grosso do Sul evidenciou elevada variação espacial dos elementos climatológicos, com DEF variando de 0 a 250 mm anuais, ARM variando de 130 a 1200 mm anuais e EXC variando de 0 a 500 mm anuais. O que demonstra que o MS apresenta regiões extremamente úmidas e outras relativamente secas.

Os maiores excedentes hídricos ocorrem no período de dezembro a março, enquanto, de agosto a outubro ocorrem os menores valores de excedentes hídricos no estado. O excedente hídrico é uma variável importante, pois está diretamente ligada ao reabastecimento dos lenções freáticos e mananciais.

A região sul do estado do Mato Grosso do Sul demonstrou os maiores recursos hídricos, com DEF reduzido, ARM próximo de 100% e EXC elevados. E esse é um dos motivos desta região ter grande destaque produtivo, principalmente nos cultivos de milho, soja e cana-de-açúcar.

REFERÊNCIAS:

ALESSANDRINI, S.; SPERATI, S.; PINSON, P. A comparison between the ECMWF and COSMO Ensemble Prediction Systems applied to shortterm wind power forecasting on real data. **Appl. Energy**, v. 107, p. 271-280, 2013.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. **Fao, Rome**, v.

300, n. 9, p. D05109, 1998.

APARECIDO, L.E. de O.; ROLIM, G. de S.; LAMPARELLI, R.A.C.; SOUZA, P.S. de; SANTOS, E.R. dos. Agrometeorological models for forecasting coffee yield. **Agronomy Journal**, v. 109, n. 1, p. 249-258, 2017.

APARECIDO, L.E.O.; ROLIM, G.S.; MORAES, J.R.S.C.; ROCHA, H.G.; LENSE, G.H.E. Agroclimatic zoning for urucum crops in the state of Minas Gerais, Brazil. **Bragantia**, v. 77, n. 1, p. 193-200, 2018.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. **Projeto RADAMBRASIL**. Rio de Janeiro: Levantamento de Recursos Naturais, 25, 29, 31. 1981.

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.

DEE, D.; UPPALA, S.; SIMMONS, A.; BERRISFORD, P.; POLI, P.; KOBAYASHI, S.; ANDRAE, U.; BALMASEDA, M.; BALSAMO, G.; BAUER, P. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v.137, n.656, p.553-597, 2011.

DUARTE, Y.C.N.; SENTELHAS, P. NASA/POWER and Daily Gridded weather datasets-how good they are for estimating maize yields in Brazil? **International Journal of Biometeorology**. 2019.

FILGUEIRAS, R.; OLIVEIRA, V.M.R.; CUNHA, F.F.; MANTOVANI, E.C. Variabilidade temporal de parâmetros do balanço hídrico no manejo de culturas agrícolas. **Engenharia Agrícola**, v. 38, n. 5, 2018.

GONÇALVES, A.O.; PEREIRA, N.R.; COSTA, L.L. da. **Caracterização climática e aptidão das culturas anuais e perenes no zoneamento pedoclimático do Estado do Mato Grosso do Sul - 1ª fase**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 52 p. (Embrapa Solos. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 99).

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2016. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Access in: julho de 2018.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2017: BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Access in: julho de 2018.

JILLO, A.Y.; DEMISSIE, S.S.; VIGLIONE, A.; ASFAW, D.H.; SIVAPALAN, M. Characterization of regional variability of seasonal water balance within Omo-Ghibe River Basin, Ethiopia. **Hydrological Sciences Journal**, v. 62, n. 8, p. 1200-1215, 2017.

MARTINS, E.; APARECIDO, L.E. de O.; SANTOS, L.P.S.; MENDONÇA, J.M.A. de; SOUZA, P.S. de. Influência das condições climáticas na produtividade e qualidade do café produzido na região do sul de Minas Gerais. **Coffee Science**, v.10, p.499-506, 2015.

MCCABE, G.J.; WOLOCK, D.M. Increasing Northern Hemisphere water deficit. *Climatic change*, v. 132, n. 2, p. 237-249, 2015.

MEDEIROS, R. M., SANTOS, D. C., SOUSA, F. A. S., GOMES FILHO, M. F. Análise climatológica, classificação climática e variabilidade do balanço hídrico climatológico na bacia do Rio Uruçui Preto, PI. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 4, p. 652-664, 2013.

ORTH, R.; DUTRA, E.; TRIGO, I.F.; BALSAMO, G. Advancing land surface model development with satellite-based Earth observations. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 21, n. 5, p. 2483-2495, 2017.

ORTH, R.; SENEVIRATNE, S. I. Using soil moisture forecasts for sub-seasonal summer temperature predictions in Europe. **Climate dynamics**, v. 43, n. 12, p. 3403-3418, 2014.

PÁNTANO, V.C.; PENALBA, O.C.; SPESCHA, L.B.; MURPHY, G.M. Assessing how accumulated precipitation and long dry sequences impact the soil water storage. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 12, p. 4316-4326, 2017.

ROLIM, G.S.; CAMARGO, M.B.P.; LANIA, D.G.; MORAES, J.F.L. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 66, n.4, p. 711-720, 2007.

SCHMIDT, D.M.; LIMA, K.C.; JESUS, E.S. Variabilidade Climática da Disponibilidade Hídrica na Região Semiárida do Estado do Rio Grande do Norte. **Anuario do Instituto de Geociências**, v. 41, n. 3, 2018.

SORIANO, B.M.A.; GALDINO, S. **Análise das condições climáticas em 2000 na sub-região da Nhecolândia, Pantanal, Mato Grosso do Sul, Brasil**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2002. 34 p. il. (Embrapa Pantanal. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 30).

STEPHENSON, N.L. Climatic control of vegetation distribution: the role of the water balance. **The American Naturalist**, v. 135, n. 5, p. 649-670, 1990.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The water balance. Centerton: Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology, 1955. 104p. **Publications in climatology**, v. 8, n. 1, 1955.