

EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA AO LONGO DO ESTADO DE MINAS GERAIS COMO GUIA PARA A GESTÃO REGIONALIZADA DA IRRIGAÇÃO

ANGÉLICA CARVALHO CUNHA¹; CÉSAR DE OLIVEIRA FERREIRA SILVA²;
RODRIGO LILLA MANZIONE³ E FERNANDO FERRARI PUTTI⁴

¹ Departamento de Engenharia de Biosistemas, Faculdade de Ciências e Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Rua. Domingos da Costa Lopes, nº 780, Jardim Itaipu, 17602-496, Tupã, São Paulo, Brasil, angelicaccunha10@gmail.com.

² Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Avenida Universitária, nº 3780, Altos do Paraíso, 18610-034, Botucatu, São Paulo, Brasil, cesaroliveira.f.silva@gmail.com.

³ Departamento de Engenharia de Biosistemas, Faculdade de Ciências e Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Rua. Domingos da Costa Lopes, nº 780, Jardim Itaipu, 17602-496, Tupã, São Paulo, Brasil, lilla.manzione@unesp.br.

⁴ Departamento de Engenharia de Biosistemas, Faculdade de Ciências e Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Rua. Domingos da Costa Lopes, nº 780, Jardim Itaipu, 17602-496, Tupã, São Paulo, Brasil, fernando.putti@unesp.br.

1 RESUMO

Minas Gerais é o terceiro estado brasileiro com maior área irrigada, sendo assim é de suma importância o manejo da irrigação para garantir o uso sustentável dos recursos hídricos. Uma das formas de se calcular a quantidade hídrica necessária na irrigação é por meio da estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o). Os valores de evapotranspiração são influenciados por diversos fatores climatológicos, como: radiação solar, temperatura, deficiência de pressão de vapor, logo, os valores de evapotranspiração tendem a diferir de acordo com cada região. Assim, o presente estudo propõe a elaboração de um mapa de evapotranspiração de referência média para o estado de Minas Gerais como base para gestão hídrica para a agricultura. Os dados foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), utilizando Estações Meteorológicas Automáticas (EMAs) localizadas em 49 cidades do estado de Minas Gerais. Por meio das análises realizadas, pôde-se observar que, em mesorregiões caracterizadas por maior seca, como o norte do estado, os índices de evapotranspiração foram maiores do que em mesorregiões mais úmidas, que apresentam maiores níveis de precipitação, como as Regiões Centro, Sul e Triângulo Mineiro. Devido a sua característica úmida, a região do bioma Mata Atlântica obteve menores valores de ET_o em relação aos biomas do Cerrado e Caatinga.

Palavras-chave: gestão hídrica, manejo da irrigação, modelagem de dados.

CUNHA, A. C.; SILVA, C. O. F.; MANZIONE, R. L.; PUTTI, F. F.
REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION THROUGHOUT THE STATE OF MINAS
GERAIS AS A GUIDE FOR REGIONALIZED IRRIGATION MANAGEMENT

2 ABSTRACT

Minas Gerais is the third Brazilian state with the largest irrigated area, so irrigation management is of paramount importance to ensure the sustainable use of water resources. One way of

calculating the water quantity needed for irrigation is by estimating reference evapotranspiration (ET_o). Evapotranspiration values are influenced by several climatological factors, such as solar radiation, temperature, vapor pressure deficiency; therefore, evapotranspiration values tend to differ according to each region. Thus, this study proposes the use of a medium reference evapotranspiration map of Minas Gerais as a basis for water management in agriculture. The data were provided by the National Institute of Meteorology (INMET), using Automatic Meteorological Stations (EMAs) located in 49 cities in the state of Minas Gerais. Through the analysis conducted, it was observed that, in mesoregions characterized by greater drought, such as the north of the state, evapotranspiration rates were higher than in more humid mesoregions, which present higher levels of precipitation, such as the Central, Southern, and *Mineiro* Triangle Regions. Due to its humid characteristic, the region of the Atlantic Forest biome had lower ET_o values compared to the Cerrado and Caatinga biomes.

Keywords: water management, irrigation management, data modeling.

3 INTRODUÇÃO

Localizado na região Sudeste do Brasil, o estado de Minas Gerais tem o clima caracterizado como tropical. Devido às especificidades de cada região do estado, como mudanças de altitude, o clima tem subdivisões, apresentando variações entre: tropical de altitude, tropical úmido, etc. O clima semiárido está presente no extremo norte mineiro devido à baixa pluviosidade nessa área do estado. As temperaturas médias anuais de Minas Gerais são superiores a 18°C, em todas as regiões, exceto nos planaltos mais elevados do centro-sul, onde, no inverno, as temperaturas médias são inferiores a 18°C (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2019).

Minas Gerais é responsável por grande parte da economia agrícola do país. No ano de 2017 o agronegócio foi responsável por 33,54% do Produto Interno Bruto (PIB) do estado e teve uma participação de 13,59% no PIB brasileiro. O cultivo do café é predominante em Minas Gerais, se posicionando como estado brasileiro com maior produção de café, cerca de 50% da produção do país (CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA, 2019;

FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO ESTADO DE MINAS GERAIS, 2020). De janeiro a julho de 2020, o agronegócio mineiro teve um superávit de US\$ 4,54 bilhões, alta de 10% em relação ao mesmo período do ano anterior, este fato ocorreu devido ao bom desempenho nas exportações. Minas Gerais foi responsável por exportar 7,6 milhões de toneladas de produtos agropecuários para 162 países, um aumento de 31,4% no volume acumulado exportado (FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO ESTADO DE MINAS GERAIS, 2020).

É recorrente a necessidade de irrigação para manter a viabilidade de cultivo de culturas e safras em locais afetados pela escassez hídrica. Em Minas Gerais, os meses de abril a setembro são marcados pela baixa pluviosidade, por conta disso, os produtores recorrem a técnica de irrigação principalmente nesse período.

Entretanto, a irrigação se caracteriza como a atividade que mais demanda água no Brasil e no mundo. No Brasil, a irrigação é responsável por 46% das captações nos corpos hídricos e por 67% da vazão de consumo, fazendo com que o país se posicione entre os que apresentam grandes áreas irrigadas (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO, 2017). Diante

deste cenário, é importante realizar um manejo adequado dos recursos hídricos e ter um consumo sustentável para que não haja utilização em excesso, uma vez que o consumo desenfreado de água na irrigação, além dos problemas ambientais, também pode comprometer negativamente o cultivo (CUNHA; GABRIEL FILHO; PUTTI, 2019).

Minas Gerais se posiciona como terceiro estado brasileiro com maior área irrigada (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO, 2017), sendo responsável por 16% da área irrigada do país e 40% da região Sudeste, contribuindo para que a região tenha 39% da área irrigada do Brasil.

Diante da importância do uso sustentável dos recursos hídricos na irrigação, é imprescindível ter conhecimento das causas que levam a perda hídrica das culturas, e uma destas causas é a evapotranspiração (CUNHA *et al.*, 2021).

A fim de auxiliar a gestão de recursos hídricos superficiais e subterrâneos tem se empregado técnicas de modelagem que identificam a variabilidade e a incerteza associadas aos elementos hidrológicos. Devido aos dados serem abstratos à realidade encontrada, tem-se utilizado modelos matemáticos e estatísticos para a descrição de fenômenos hidrológicos (MANZIONE, 2018).

Em Minas Gerais, o gerenciamento hídrico é regido pela Política Estadual de Recursos Hídricos proposta pela Lei nº 13.199/1999. Tal política realiza o controle pelos atuais e futuros usuários de água, quanto à quantidade utilizada, qualidade e regime satisfatórios. Além da política, há também instrumentos e ferramentas de gestão que objetivam apoiar e direcionar o trabalho do Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos (INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS, 2019).

A combinação entre mapas de distribuição espacial de ETo com a distribuição espacial das variáveis

meteorológicas fornecem uma base importante para estudos climáticos nas regiões (XU *et al.*, 2006). Desta forma, mapas de evapotranspiração de referência média gerada pelo método de Krigagem Bayesiana Empírica podem auxiliar na gestão da utilização dos recursos hídricos.

Minas Gerais é contemplado com uma grande quantidade de bacias hidrográficas. Também, originam no estado muitas bacias hidrográficas do Brasil, como, por exemplo, as bacias hidrográficas São Francisco, Paraná e Leste. Em Minas Gerais é produzido em média 58,6 milhões de hectares de água. As principais bacias que compõem a rede hidrográfica do estado são as bacias dos rios Doce, Grande, Jequitinhonha, Mucuri, Paraíba do Sul, Paranaíba, Pardo e São Francisco (INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS, 2019; MINAS GERAIS, 2019). São Francisco é a maior bacia de Minas Gerais, sendo responsável pela drenagem das águas de uma área equivalente à metade do estado, compreendendo as mesorregiões Norte, Noroeste, Central, Oeste e Metropolitana de Belo Horizonte (GUIMARÃES; DOS REIS; LANDAU, 2010).

A partir das características de Minas Gerais, o trabalho objetivou a utilização de um mapa de evapotranspiração de referência média do estado como base para gestão de recursos hídricos para agricultura.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Uma Estação Meteorológica Automática coleta, a todo minuto, dados meteorológicos (temperatura, umidade, pressão atmosférica, precipitação, direção e velocidade dos ventos e radiação solar) que representam o local em que está situada. A cada hora, essas informações são integralizadas e disponibilizadas para serem transmitidas, via satélite ou telefonia celular, para a sede do Instituto Nacional de

Meteorologia (INMET), em Brasília. Todos os dados recebidos são validados, através de um controle de qualidade e armazenados em um banco de dados (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2011).

Os dados empregados neste artigo foram obtidos da rede de Estações Meteorológicas Automáticas (EMAs) do

INMET, localizadas em 49 cidades do estado de Minas Gerais (Tabela 1-3). Em todo estado, há 68 EMAs, porém foi necessário desconsiderar 19, uma vez que essas apresentaram falhas e ausência de dados, caracterizados por falhas de equipamentos, períodos de manutenção ou foram construídas há pouco tempo, tendo automaticamente poucos dados.

Tabela 1. Estações meteorológicas automáticas do estado de Minas Gerais – Parte 1.

| Nome da cidade | Latitude (S) | Longitude (W) | Altitude (m) | Período de dados | Número de dados | Dados efetivos | Perda (%) |
|------------------------------|--------------|---------------|--------------|-------------------|-----------------|----------------|-----------|
| 1. Águas Vermelhas | -15.751 | -41.457 | 754 | 09/2007 - 12/2018 | 4132 | 3758 | 9,05 |
| 2. Aimorés | -19.532 | -41.090 | 288 | 12/2008 – 12/2018 | 4167 | 2696 | 35,30 |
| 3. Almenara | -16.166 | -40.687 | 189 | 11/2007 – 12/2018 | 5861 | 3445 | 41,22 |
| 4. Araxá | -19.605 | -46.949 | 1,018 | 05/2008 – 12/2018 | 5857 | 3640 | 37,85 |
| 5. Barbacena | -21.228 | -43.767 | 1,169 | 07/2003 – 12/2018 | 5869 | 4870 | 17,02 |
| 6. Belo Horizonte - Pampulha | -19.883 | -43.969 | 854 | 10/2006 – 12/2018 | 4466 | 4345 | 2,71 |
| 7. Buritis | -15.524 | -46.435 | 894 | 11/2007 – 12/2018 | 4214 | 3514 | 16,61 |
| 8. Caldas | -21.918 | -46.382 | 1,077 | 11/2006 – 12/2018 | 4417 | 4107 | 7,02 |
| 9. Campina Verde | -19.539 | -49.518 | 559 | 07/2006 – 12/2018 | 4553 | 3877 | 14,85 |
| 10. Capelinha | -17.705 | -42.389 | 932 | 09/2007 – 12/2018 | 4140 | 3853 | 6,93 |
| 11. Caratinga | -19.735 | -42.137 | 609 | 05/2007 – 12/2018 | 4240 | 3885 | 8,37 |
| 12. Chapada Gaúcha | -15.300 | -45.617 | 873 | 06/2007 – 12/2018 | 4313 | 3584 | 16,90 |
| 13. Conceição das Alagoas | -19.985 | -48.151 | 573 | 07/2006 – 12/2018 | 4550 | 4032 | 11,38 |
| 14. Curvelo | -18.747 | -44.453 | 669 | 12/2006 – 12/2018 | 4397 | 4239 | 3,59 |

Tabela 2. Estações meteorológicas automáticas do estado de Minas Gerais – Parte 2.

| Nome da cidade | Latitude (S) | Longitude (W) | Altitude (m) | Período de dados | Número de dados | Dados efetivos | Perda (%) |
|--------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|------------------|
| 15. Diamantina | -18.231 | -43.648 | 1,359 | 06/2007 – 12/2018 | 4228 | 3761 | 11,05 |
| 16. Dolores do Indaiá | -19.481 | -45.593 | 721 | 06/2007 – 12/2018 | 4232 | 3564 | 15,78 |
| 17. Espinosa | -14.912 | -42.808 | 565 | 11/2007 – 12/2018 | 4066 | 3769 | 7,30 |
| 18. Florestal | -19.885 | -44.416 | 754 | 06/2008 – 12/2018 | 3840 | 3792 | 1,25 |
| 19. Formiga | -20.454 | -45.453 | 878 | 08/2006 – 12/2018 | 4520 | 4345 | 3,87 |
| 20. Governador Valadares | -18.830 | -41.977 | 198 | 05/2007 – 12/2018 | 4235 | 3925 | 7,32 |
| 21. Guanhanães | -18.786 | -42.942 | 853 | 06/2007 – 12/2018 | 4231 | 3782 | 10,61 |
| 22. Guarda-Mor | -17.561 | -47.199 | 997 | 07/2007 – 12/2018 | 4192 | 3863 | 7,85 |
| 23. Ibitiré (Rola Moça) | -20.031 | -44.011 | 1,199 | 06/2008 – 12/2018 | 3861 | 3623 | 6,16 |
| 24. Itaobim | -16.575 | -41.485 | 272 | 09/2007 – 12/2018 | 4136 | 3714 | 10,20 |
| 25. Ituiutaba | -18.952 | -49.525 | 540 | 05/2006 – 12/2018 | 4617 | 4204 | 8,95 |
| 26. João Pinheiro | -17.784 | -46.119 | 877 | 07/2007 – 12/2018 | 4196 | 3876 | 7,63 |
| 27. Juiz de Fora | -21.769 | -43.364 | 937 | 05/2007 – 12/2018 | 4238 | 3893 | 8,14 |
| 28. Mantena | -18.780 | -40.986 | 255 | 08/2007 – 12/2018 | 4171 | 3884 | 6,88 |
| 29. Maria da Fé | -22.314 | -45.373 | 1,281 | 12/2006 – 12/2018 | 4413 | 4235 | 4,03 |
| 30. Mocimbinho | -15.085 | -44.016 | 454 | 11/2007 – 12/2018 | 4069 | 3737 | 8,16 |
| 31. Montalvânia | -14.408 | -44.404 | 520 | 06/2007 – 12/2018 | 4207 | 3670 | 12,76 |
| 32. Monte Verde | -22.861 | -46.043 | 1,545 | 12/2004 – 12/2018 | 5126 | 4015 | 21,67 |
| 33. Muriaé | -21.104 | -42.375 | 283 | 08/2006 – 12/2018 | 4507 | 4118 | 8,63 |
| 34. Ouro Branco | -20.556 | -43.756 | 1,048 | 07/2006 – 12/2018 | 4540 | 4235 | 6,72 |

Tabela 3. Estações meteorológicas automáticas do estado de Minas Gerais – Parte 3.

| Nome da cidade | Latitude (S) | Longitude (W) | Altitude (m) | Período de dados | Número de dados | Dados efetivos | Perda (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|--------------|-------------------|-----------------|----------------|-----------|
| 35. Passa Quatro | -22.395 | -44.961 | 1,017 | 06/2007 – 12/2018 | 4234 | 3618 | 14,55 |
| 36. Passos | -20.745 | -46.633 | 782 | 07/2006 – 11/2018 | 4550 | 3418 | 24,88 |
| 37. Patrocínio | -18.996 | -46.985 | 978 | 08/2006 – 12/2018 | 4515 | 4011 | 11,16 |
| 38. Sacramento | -19.875 | -47.434 | 913 | 08/2006 – 12/2018 | 4518 | 4307 | 4,67 |
| 39. Salinas | -16.160 | -42.310 | 487 | 09/2007 – 12/2018 | 4127 | 3909 | 5,28 |
| 40. São João del Rei | -21.106 | -44.250 | 930 | 06/2006 – 12/2018 | 4589 | 3950 | 13,92 |
| 41. São Romão | -16.362 | -45.123 | 490 | 06/2007 – 12/2018 | 4203 | 3868 | 7,97 |
| 42. Serra dos Aimorés | -17.798 | -40.249 | 212 | 08/2006 – 12/2018 | 4516 | 3992 | 11,60 |
| 43. Teófilo Otoni | -17.892 | -41.515 | 467 | 08/2006 – 12/2018 | 4512 | 3827 | 15,18 |
| 44. Timóteo | -19.573 | -42.622 | 493 | 02/2006 – 12/2018 | 4696 | 3986 | 15,12 |
| 45. Três Marias | -18.200 | -45.459 | 931 | 08/2006 – 12/2018 | 4511 | 4327 | 4,08 |
| 46. Uberlândia | -18.917 | -48.255 | 875 | 03/2003 – 12/2018 | 5858 | 4853 | 17,16 |
| 47. Unaí | -16.554 | -46.881 | 641 | 06/2007 – 12/2018 | 4217 | 3972 | 5,81 |
| 48. Varginha | -21.566 | -45.404 | 950 | 07/2006 – 12/2018 | 4555 | 4180 | 8,23 |
| 49. Viçosa | -20.762 | -42.864 | 698 | 09/2005 – 12/2018 | 4856 | 4255 | 12,38 |

As EMAs iniciaram suas operações em diferentes épocas, portanto, o período de dados diversificou entre as cidades, ocasionando diferentes quantidades de dados entre as cidades estudadas. As Tabelas 1-3 apresentam a quantidade de dados utilizados no estudo, o período de coleta e a porcentagem de valores nulos. Os dados utilizados efetivamente nas análises, são inferiores aos totais coletados, uma vez que houve perda de dados devido a falhas do sistema de coleta, defeitos dos instrumentos,

problemas na captação dos dados, entre outros.

Empregou-se o modelo de Penman-Monteith FAO (Allen *et al*, 1998) para realizar a estimativa da evapotranspiração, por meio da Equação 1:

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(H-G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1+0,34 u_2)} \quad (1)$$

Em que: ET_o é a evapotranspiração de referência, mm dia⁻¹; H é a radiação solar

A precipitação pluviométrica em Minas Gerais varia conforme o relevo e a posição geográfica, ficando em torno de 650 mm no norte do estado e 2100 mm na região sul/sudoeste (GUIMARÃES; DOS REIS; LANDAU, 2010).

De acordo com a Figura 1, pode-se analisar que as cidades localizadas na região da bacia Rio São Francisco, principalmente, as localizadas mais ao norte da bacia, apresentaram maiores valores de evapotranspiração pelo método de Krigagem Bayesiana Empírica, valores entre 3,96 a 4,31 mm. Tal resultado ocorre devido a região ter uma característica climática com menor índice de precipitação e menor umidade relativa do ar em relação às demais mesorregiões estudadas. Lemos Filho *et al.* (2010) também identificaram maior necessidade hídrica na região norte do estado de Minas Gerais.

No sul do estado, banhado pela bacia do Rio Grande e presença do bioma da Mata Atlântica, é uma região contemplada por um alto índice pluviométrico e, automaticamente, maior umidade relativa do ar, logo, os valores de evapotranspiração, pelo método de Krigagem Bayesiana Empírica, são significativamente inferiores, em torno de 2,91mm conforme a Figura 1.

Para Kool (2014), a evapotranspiração é influenciada por diversos fatores climatológicos, como: radiação solar, temperatura, deficiência de pressão de vapor, velocidade do vento, entre outros, dessa forma, os valores de evapotranspiração diferem de acordo com a região. Essa diferenciação pode ser observada nos resultados obtidos nesta pesquisa, uma vez que em mesorregiões caracterizadas por maior seca, como o norte do estado, os índices de evapotranspiração foram maiores do que em mesorregiões mais úmidas e que apresentam maiores níveis de precipitação, como as regiões Centro, Sul e Triângulo Mineiro.

Mapas de distribuição espacial contribuem no planejamento da gestão

hídrica, fornecendo informações importantes, como valores de evapotranspiração estabelecidos por região, nesse caso a ETo pode ser considerada uma impulsionadora do ciclo hidrológico (XU *et al.*, 2006).

As cidades de Monte Verde, Diamantina, Maria da Fé, Ibirité (Rola Moça), Barbacena, Caldas, Ouro Branco, Passa Quatro, Araxá, São João Del Rei, Patrocínio, Varginha, Juiz de Fora, Capelinha, Três Marias e Sacramento pertencem às mesorregiões Central Mineira, Sul/Sudoeste e Triângulo mineiro, que apresentam elevadas altitudes, acima de 912 m, todas apresentaram baixos valores de evapotranspiração pelo método de Krigagem Bayesiana Empírica, entre 2,91 e 3,61 mm.

Os menores índices de evapotranspiração pelo método de Krigagem Bayesiana Empírica são das cidades Monte Verde, Caldas, Maria da Fé e Passa Quatro que contam com altitudes entre 1040 m a e 1500 m. Todas estas cidades estão localizadas na região sul do estado e o bioma desta região é Mata Atlântica. Além das elevadas altitudes, estas cidades contam com maiores níveis de precipitação e temperaturas mais amenas (GUIMARÃES; DOS REIS; LANDAU, 2010). No trabalho desenvolvido por Santos *et al.* (2017) no estado do Paraná, os menores índices de evapotranspiração também foram relacionados às grandes altitudes.

As cidades Burity, Chapada Gaúcha, Unaí, Espinosa e Montalvânia apresentaram maiores valores de evapotranspiração pelo método de Krigagem Bayesiana Empírica. Os níveis de precipitação nessas cidades são baixos e as altitudes, entre 512 m e 894 m, menores em relação a outras cidades do estado. Estas cidades estão localizadas nas regiões norte e noroeste do estado e contam com os biomas Cerrado e Caatinga.

A região inserida no bioma Mata Atlântica teve menor valor de ET, essa região é caracterizada pelo clima quente e úmido. Devido ao clima úmido, o ambiente

tende a reter mais água, diminuindo os valores de ETo. O inverso ocorre na região inserida no bioma Caatinga, que conta com clima semiárido, caracterizado como seco e quente, nessas condições o ambiente tende a perder mais água, o que faz aumentar os valores de ETo.

6 CONCLUSÃO

A análise da demanda de evapotranspiração no estado do Minas Gerais indicou que a ETo aumenta do Sul para o Norte do estado, com maiores valores na região Norte, atingindo o valor de evapotranspiração pelo método de Krigagem Bayesiana Empírica de 4,31 mm, enquanto na região Sul esse valor foi de apenas 2,91 mm.

Regiões caracterizadas por maiores altitudes, maiores níveis de precipitação e clima úmido, tendem a apresentar menores

valores de ETo em relação às regiões mais secas e com menores altitudes.

Assim, a rede de estações do INMET para o estado de Minas Gerais permitiu identificar as características de demanda hídrica nas mesorregiões do estado; a interpolação da ETo serve como guia para avaliação da viabilidade hídrica para as lavouras a partir da quantificação da evapotranspiração de cultura, que é uma função da ETo.

7 AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) pela concessão da Bolsa de Produtividade (Proc. 303923/2018-0) ao último autor. E a Faculdade de Ciências e Engenharia, FCE/UNESP Tupã pelo apoio na realização do estágio de Pós-Doutorado (Processo 3258/2020) da 1ª autora.

8 REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Atlas Irrigação - Uso da Água na Agricultura Irrigada**. Brasília, DF: ANA, 2017. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/AtlasIrigacao-UsodaAguanaAgriculturaIrrigada.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2019.

CEPEA. **PIB agro mineiro**. Piracicaba: USP, 2019. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-de-minas-gerais.aspx>. Acesso em: 21 out. 2020.

CUNHA, A. C.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; PUTTI, F. F. Evapotranspiração como aliado no combate à escassez hídrica. *In*: PUTTI, F. F.; SILVA, A. L. C.; GABRIEL FILHO, L. R. A. **Sustentabilidade em sistemas agropecuários**. Tupã: ANAP, 2019. p. 35-57.

CUNHA, A. C.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; TANAKA, A. A.; GOES, B. C.; PUTTI, F. F. Influence Of The Estimated Global Solar Radiation On The Reference Evapotranspiration Obtained Through The Penman-Monteith Fao 56 Method. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 243, p. 106491, 2021.

FAEMG. **Indicadores do agronegócio**. Disponível em: <http://www.faemg.org.br>. Acesso em: 22 out. 2020.

GUIMARÃES, D. P.; DOS REIS, R. J.; LANDAU, E. C. **Índices pluviométricos em Minas Gerais**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento).

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Planos de Recursos Hídricos**. Belo Horizonte. IGAM. Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br/gestao-das-aguas/plano-de-recursos-hidricos> . Acesso em: 22 out. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais Climatológicas do Brasil**. Brasília. INMET. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais> . Acesso em: 22 out. 2020.

KOOL, D.; AGAM, N.; LAZAROVITCH, N.; HEITMAN, J. L.; SAUER, T. J.; BEN-GAL, A. A review of approaches for evapotranspiration partitioning. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 184, p. 56-70, 2014.

LEMOS FILHO, L. C. A.; DE MELO, C. R.; DE FARIA, M.A.; DE CARVALHO, L.G. Spatial-temporal analysis of water requirements of coffee crop in Minas Gerais State, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 2, p. 165-172, fev. 2010.

MANZIONE, R. L. Mapeamento das características dinâmicas do nível freático do Sistema Aquífero Bauru como instrumento de gestão de recursos hídricos. **Geologia USP. Série Científica**, São Paulo, v. 18, n. 1, p. 227-240, 2018.

FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Indicadores do Agronegócio**. Belo Horizonte. FAPEMG. Disponível em: <https://www.indi.mg.gov.br/agronegocio/>. Acesso em: 22 out. 2020.

SANTOS, L. C.; JOSÉ, J. V.; ALVES, D. S.; NITSCHKE, P. R.; DOS REIS, E. F.; BENDER, F. D. Space-time variability of evapotranspiration and precipitation in the State of Paraná, Brazil. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 12, n. 5, p. 743-759, out. 2017.

XU, C.; GONG, L.; JIANG, T.; CHEN, D.; SINGH, V. P. Analysis of spatial distribution and temporal trend of reference evapotranspiration and pan evaporation in Changjiang (Yangtze River) catchment. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 327, p. 81-93, 2006.

9 ANEXO

Anexo 1. Dados utilizados para o cálculo da ET das 49 estações do INMET para o estado de Minas Gerais, Brasil, podem ser acessado pelo link a seguir:

https://github.com/fernandoputti/Paper_Irriga_ETo_Minis_Gerais.git