

MAPEAMENTO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA MESORREGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM-PA.

Giovane do Anjos Aires¹, Maryjane Diniz de Araújo Gomes², Liliane da Silva Viana³,
Elvis Alves Silva⁴, Alex Paulo Martins do Carmo⁵, Félix Lelis da Silva⁶

RESUMO: Embora as tecnologias tenham avançado significativamente nos últimos anos, percebe-se que ainda existe uma limitação em estudos climáticos, pois o comportamento das variáveis climáticas requer interpretações que muitas vezes geram dúvidas e dificuldades. As variações climáticas interferem na Evapotranspiração de referência (ET_o), variável utilizada para interpretação da demanda hídrica das culturas. Tendo em vista a carência de estudos locais de demanda hídrica, o presente trabalho contribuirá para entender a dinâmica da ET_o na Mesorregião Metropolitana de Belém sendo de grande importância para estruturar diversos comportamentos que circundem os recursos hídricos e o gerenciamento das atividades agrícolas da região. Neste sentido, foi realizado um estudo com dados climatológicos da estação convencional de Belém – PA referente a um período de 12 anos, afim de conhecer a variabilidade temporal da ET_o através de análise geoestatística. Nos semivariogramas observa-se o aumento da ET_o com o passar dos anos e a partir dos mapas temáticos da distribuição temporal percebe-se que ao longo do período avaliado a ET_o teve um incremento em média de 1,00 mm dia⁻¹ ao ano.

PALAVRAS-CHAVE: geoestatística; variáveis climatológicas; irrigação.

MAPPING OF REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION FOR METROPOLITAN MESOREGION OF BELÉM-PA.

ABSTRACT: Though technologies have advanced in recent years, there may still be a selection of climate studies, as the behavior of variables requires interpretations that often generate doubts and difficulties. Climatic variations interfere with reference

¹ Técnico Agrícola, Graduando do curso de Agronomia do Instituto Federal do Pará, giovaneaires9@gmail.com

² Prof^a Dra. do Instituto Federal do Pará, gomes-mary@hotmail.com

³ Eng^o Agrônoma, liliane.agro.viana@gmail.com

⁴ Eng^o Agrônomo, Doutorando em Engenharia Agrícola da UFV-MG, elvistv@gamil.com

⁵ Técnico Agrícola, Graduando do curso de Agronomia do Instituto Federal do Pará, alex.taa97@gmail.com

⁶ Prof. Dr. do Instituto Federal do Pará, lixlellis@yahoo.com.br

Evapotranspiration (ET_o), a variable used to interpret crop water demand. To be on the lack of Sales Planning for Latin America in the Metropolitan Mesoregion of Belem being to be important for the ideal education for the economics of the medical resources are the agricultural activities of the region. In this sense, a study was carried out with climatological data of the conventional base of Belém - PA for a period of 12 years, in order to know a temporal variability of ET_o through the geostatistical analysis. The semivariograms show an increase in the ET_o over the years and from the thematic maps of the temporal distribution, it can be seen that over the period evaluated, the average increase of 1.00 mm day⁻¹ year.

KEYWORDS: geostatistics; climatological variables; irrigation.

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas têm preocupado Gestores e chefes de Estado pelo mundo, tendo em vista a gravidade decorrente dos seus resultados. Estudos climatológicos se fazem necessários para à conservação e preservação do meio ambiente. Muitas vezes, até se conhecesse o comportamento de algumas variáveis, mas a interpretação dos resultados ainda traz consigo dúvidas e dificuldades.

A estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) é de grande importância para o planejamento e ações relacionadas à agricultura, no que diz respeito a demanda hídrica das culturas. De acordo com Bezerra (2013), a evapotranspiração é uma das mais importantes variáveis mediadoras do clima e do tempo, tanto em escala global quanto local, consistindo da ligação entre energia, clima e hidrologia, influenciando diretamente a disponibilidade hídrica na superfície da terra.

Além disso, a ET_o evidencia a quantidade de água que se desloca para o meio, possibilitando o cálculo da quantidade de água que deve ser repostada para que as culturas possam atender suas necessidades hídricas, assim como também a possibilidade de estudos que venham gerenciar o uso racional dos recursos hídricos na agricultura irrigada. As atividades agrícolas demandam grandes quantidades de água e, sendo cada vez mais preocupante a escassez dos recursos hídricos, esforços têm sido empregados no desenvolvimento de pesquisas que possibilitem a sua economia (CARVALHO et al., 2011).

As aplicações práticas dos dados de ET_o, seja para o planejamento de irrigação, modelagem hidrológica e ambiental, dentre outras, exigem quase sempre que estes sejam avaliados de forma distribuída espacial e temporalmente (VILANOVA; SIMÕES;

TRANNIN, 2012). Apesar da estimativa da ETo por equações, mais usualmente pela equação de Penman-Monteith FAO-56, produzir valores satisfatórios para as condições climáticas de uma determinada região, estudar seu comportamento durante um período de tempo não é tarefa fácil.

No entanto, com o uso da geoestatística é possível inferir com segurança sobre a evolução de atributos climáticos, como observado por Sartori et al. (2010), que estudou a variabilidade temporal de variáveis climáticas para Botucatu-SP, Brasil, utilizando técnicas geoestatísticas.

A geoestatística tem sido relatada como uma ferramenta eficiente de suporte à decisão de manejo, pois é utilizada para estudar a variabilidade espacial e temporal de atributos do solo, planta e clima, possibilitando a interpretação dos resultados com base na estrutura da variabilidade obtida nos mapas (GUEDES, 2009). Para Conde et al., (2016), a interpretação das variações de Evapotranspiração de referência é facilitada quando essas variáveis são apresentadas como mapas temáticos, permitindo tomadas de decisões ágeis no zoneamento agrícola e manejo adequado da irrigação.

Neste sentido, é importante estudos que analisem a existência da dependência temporal na evapotranspiração de referência e estime o grau desta dependência temporal, através da geoestatística, afim de identificar a decorrência da influência das variáveis climáticas na evapotranspiração de referência para a Mesorregião de Belém/PA. Assim, o objetivo desse trabalho foi analisar a variabilidade temporal da Evapotranspiração de referência para essa Mesorregião durante 12 anos (2007-2018), definindo seu comportamento em decorrência das mudanças climáticas.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado tomando base dados climatológicos da estação convencional de Belém/PA (Figura 2), que faz parte da Mesorregião Metropolitana de Belém, capital do estado do Pará referente a um período de 12 anos (2007 a 2018), obtidos do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

As coordenadas geográficas da localização da estação meteorológica com coordenadas expressadas em graus decimais, são: Latitude $-1,43^{\circ}$ e longitude -48.43° . O cálculo da ETo foi

realizado com o auxílio do software REF-ET 4.1.22 (ALLEN, 2016), o qual utiliza a equação de Penman-Monteith FAO 56 (Equação 1).

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

Em que: ET_o é a evapotranspiração de referência ($mm\ d^{-1}$); R_n é o saldo de radiação à superfície da cultura ($MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$); G é a densidade do fluxo de calor do solo ($MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$); T é a temperatura do ar a 2 m de altura ($^{\circ}C$); u_2 é a velocidade de vento a 2 m de altura ($m\ s^{-1}$); e_s é a pressão de vapor de saturação (kPa); e_a é a pressão parcial de vapor (kPa); Δ é a declividade da curva de pressão de vapor de saturação ($kPa\ ^{\circ}C^{-1}$), e γ é o coeficiente psicrométrico ($kPa\ ^{\circ}C^{-1}$).

A análise geoestatística foi realizada com propósito de constatar a existência e estimar o grau de dependência temporal entre as observações, com base na pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca, a qual é estimada pela Equação 2, utilizando o programa geoestatístico GS+7 (ROBERTSON, 2009).

$$y^*(h) = \frac{1}{2N(h)_0} \sum_{i=1}^{N(K)} (Z(x_i) - Z(x_i + h))^2 \quad (2)$$

Em que $y^*(h)$ é a semivariância estimada a partes dos dados experimentais; em que $N(h)$ é o número de pares de valores medidos $Z(x_i)$, $Z(x_i+h)$ separados por um vetor h , em que $N(h)$ é o número de amostras separadas por uma distância h , e onde Z representa os valores medidos, portanto, depende de ambos, magnitude e direção (VIEIRA et al., 1983).

Os variogramas foram ajustados e obtidos os valores referentes ao alcance (a), efeito pepita (C_o), patamar ($C_o + C$), utilizando o índice de dependência temporal (IDT) proposto por Zimback (2001), para avaliar o grau de dependência temporal (Equação 3).

$$IDT = \frac{C}{C_o + C} * 100 \quad (3)$$

Em que: IDT é o Índice de dependência temporal; C é a componente estrutural e C_o o efeito pepita. Os valores de $IDT \leq 25\%$ indicam fraca dependência temporal; $25\% < IDT < 75\%$ moderada dependência temporal e $IDT \geq 75\%$ forte dependência temporal.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura média anual ao longo dos 12 anos (2007 – 2018) variou entre 27,46 a 28,40°C, percebendo-se um incremento a partir do ano de 2010. Nesse mesmo ano percebe-se a redução gradativa da umidade relativa do ar, o que pode ser explicado pela redução das precipitações em 2010, pois segundo os dados coletados nesta estação o ano de 2010 teve uma precipitação anual 3065,30 mm; o que resultou em uma diferença do ano anterior de 398,3 mm.

Os dados citados influenciaram na ETo, contribuindo com o aumento desta variável. Os resultados observados por esta pesquisa corroboram com os resultados encontrados por Santos (2017), quando avaliou a precipitação climática na Mesorregião Metropolitana de Belém, com um banco de dados de 10 anos, constatando que em 2010, houve uma redução da precipitação pluviométrica e um aumento da exposição do solo devido à redução de cobertura vegetal.

Neste sentido, pode-se inferir que a perda de água para atmosfera através da evaporação do solo teve um aumento devido à redução da cobertura vegetal, contribuindo assim para o aumento significativo da ETo, tendo em vista que esta variável é a perda de água para atmosfera através da transpiração das plantas, mas também através da evaporação do solo.

Este fato pode ser explicado pelo desmatamento causado, principalmente, pela crescente urbanização e também pelo incremento da pecuária na Mesorregião Metropolitana de Belém e no entorno desta. Os estudos realizados pelo PRODES (Projeto de Estimativa do Desflorestamento da Amazônia), afirma que o Pará é o estado, dentro da Amazônia Legal Brasileira, que possui as maiores taxas de desmatamento anual, representando 34% do desmatamento realizado nessa região (INPE, 2019). Sendo assim, o aumento gradativo da evapotranspiração pode estar associado, principalmente às altas taxas de desmatamento, pois, à medida que se aumenta a parcela evaporativa do solo, devido à falta de cobertura vegetal, ocorre um incremento significativo na evapotranspiração local.

Neste sentido, o aumento da evapotranspiração evidenciada, principalmente a partir do ano de 2010, corroboram com resultados de pesquisas que mostram que a cobertura vegetal na Mesorregião Metropolitana de Belém vem diminuindo gradativamente. Santos (2017), constatou a perda de cobertura vegetal na Mesorregião Metropolitana de Belém, evidenciada através do NDVI resultante de imagens do Landsat 7, o qual demonstra o desmatamento crescente observado entre os anos de 2000 a 2010.

Para os modelos teóricos são encontrados, basicamente, quatro funções teóricas que se ajustam aos modelos de variograma: a) linear; b) esférico; c) exponencial; d) gaussiano (STURANO, 2015). Para a variável climática ETo de referência a maior parte dos anos estudados ajustaram-se ao modelo esférico, exceto os anos de 2007, 2010, 2011 e 2013 que se ajustaram ao modelo exponencial (Tabela 1).

De acordo com Isaaks e Srivastava (1989), os modelos esférico e exponencial são considerados transitivos, pois possuem patamar, ou seja, a partir de um determinado valor da distância entre as amostras, não existe mais dependência espacial entre as amostras (a variância da diferença entre pares de amostras torna-se invariante com a distância). No modelo esférico, o patamar é alcançado numa distância “a” equivalente ao alcance (distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas), enquanto o modelo exponencial atinge o patamar assintoticamente, ou seja, a distância (ou alcance prático) “a”, dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas, corresponde a 95% do patamar.

Tabela 1. Parâmetros dos modelos ajustados dos semivariogramas escalonados para evapotranspiração de referência determinada em Belém-PA entre os anos de 2007 a 2018.

Ano	Modelo	R ²	Efeito pepita (Co)	Patamar (Co + C)	Alcance (A)	Aleatoriedade E = (Co/C)	IDT (%)
2007	Exponencial	0,90	0,0511	0,2252	9,75	1,294	77,3
2008	Esférico	0,96	0,0810	0,4280	10,00	1,233	81,1
2009	Esférico	0,99	0,0540	0,4990	7,74	1,121	89,2
2010	Exponencial	0,99	0,0220	0,2140	5,73	1,115	89,7
2011	Exponencial	0,97	0,0610	0,2410	10,00	1,339	75,0
2012	Esférico	0,98	0,0697	0,2574	11,72	1,371	73,0
2013	Exponencial	0,93	0,0246	0,1442	5,22	1,206	82,9
2014	Esférico	0,99	0,0490	0,3910	11,03	1,143	87,5
2015	Esférico	0,98	0,0422	0,2754	5,93	1,181	84,7
2016	Esférico	0,98	0,0961	0,2542	10,70	1,608	62,2
2017	Esférico	0,98	0,0794	0,3308	10,95	1,316	76,0
2018	Esférico	0,93	0,1442	0,2894	10,19	1,993	50,2

R²: Regressão Linear; IDT: Grau de Dependência Temporal; Alcance: distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas (m).

A ETo apresentou o maior valor de alcance nos anos de 2012 e 2014 e o menor alcance foi encontrado nos anos de 2010, 2013 e 2015. A partir destes dados é possível verificar que aqueles que tiveram maiores alcances e consequentemente uma distância (h) maior, são representados por semivariogramas que tendem a uma constância de valores.

O alcance, para ETo, foi maior em 2012 e 2014 implicando dizer que houve uma maior dependência temporal dos dados observados dentro da ETo neste período. Percebe-se um pequeno valor de efeito pepita, cujo os dados não apresentaram erros significativos de medição, sendo encontrados valores entre 0,0220 a 0,1442 aproximando-se do valor ideal que seria nulo.

Segundo Valente (1989), esse efeito reflete a variação de pequena escala não detectada pela amostragem, devido à presença de erros de medida. Sendo assim, os dados não apresentaram erros significativos de medição, já que em todos os anos mostram valores com tendência ao zero.

A Tabela 2 também apresenta a regressão linear e os coeficientes de determinação (R^2) das ETo de 2007 a 2018, os quais foram superiores a 0,90, demonstram que as ETo calculadas durante todos estes anos variam de forma proporcional ano a ano, o que representa de maneira satisfatória a variabilidade temporal do parâmetro meteorológico utilizado nos cálculos, estes dados favorecem os critérios da estação para a krigagem.

Para a interpolação por krigagem a partir dos critérios da estação, com pequena distância geográfica, atingiram os objetivos almejados, notando uma ótima relação da evapotranspiração calculada da estação de referência, indicando que a krigagem é uma técnica geoestatística válida para a espacialização da ETo, o que condiz com os trabalhos de (SARTORI et al., 2010).

Observou-se que para a variável da ETo nos anos de 2012, 2016 e 2018 apresentaram moderada dependência temporal ($IDT < 75\%$) e os demais anos apresentaram uma forte dependência temporal ($IDT \geq 75\%$). Assim, os modelos geoestatístico construídos possibilitaram incorporar a dependência espacial e é bastante adequado aos dados de ETo analisados. Isso mostra que o número de pontos amostrados foi suficiente para a realização de estimativas através da interpolação. A ausência do efeito pepita puro constatou a existência de variabilidade temporal nos dados observados, possibilitando o ajuste dos semivariogramas (Figura 2) para cada modelo específico demonstrado anteriormente na Tabela 1, em cada ano, verificando a existência de um padrão espacial.

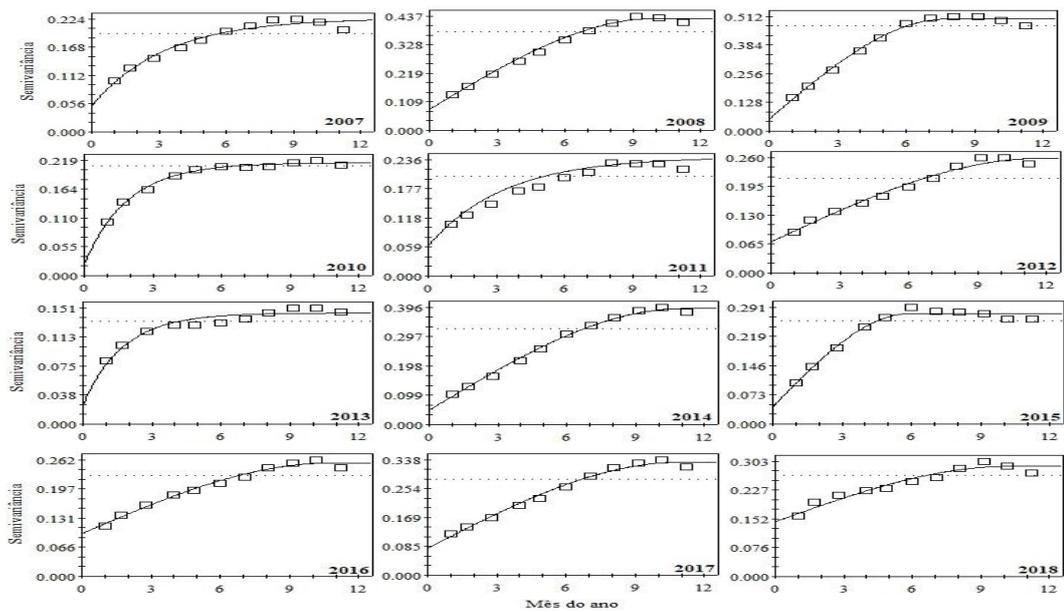


Figura 2. Semivariograma da variável evapotranspiração de referência entre os anos de 2007 a 2018

Os gráficos possibilitaram medir a extensão e o aspecto da dependência temporal descrevendo aqui a variação da ETo de maneira qualitativa e quantitativa no decorrer dos doze anos. Nos semivariogramas observa-se o aumento da ETo com o passar dos anos, sobretudo a partir do ano de 2010, mais especificamente no segundo semestre destes anos. Verifica-se que, nos últimos meses do ano, há um aumento de temperatura, observado pela característica da região, o chamado verão amazônico, que influencia diretamente no aumento da ETo para a área estudada.

Através dos mapas temáticos (Figura 3) percebeu-se que, em todos os anos, os meses com maiores taxas evapotranspirativa são os meses de agosto a dezembro, estando relacionado aos meses mais quentes do ano. Este resultado pode ser explicado pelas características climáticas da região, em que as temperaturas médias e a radiação solar são mais intensas nos meses citados, chegando a atingir em média 28,5°C e 39,85 MJ m² d⁻¹ de temperatura e radiação solar global, respectivamente.

Quanto maior temperatura e maior umidade relativa do ar, maior será a demanda atmosférica por água. Durante o verão tem-se menores horas de insolação devido à presença de nebulosidade atmosférica, com pequenas velocidades do vento, porém com altas temperaturas e altas umidades relativa (CONDE et al., 2016). Percebe-se nos mapas temáticos da distribuição temporal que ao longo do período avaliado (2007 a 2018) a evapotranspiração de referência teve um incremento em média de 1,00 mm dia⁻¹ ao ano, ou seja, um incremento de 1Litro por m²/dia. Um aumento significativo em se tratando da perda de água para

atmosfera, refletindo o aumento de água necessária para o uso da irrigação em sistemas de cultivo.

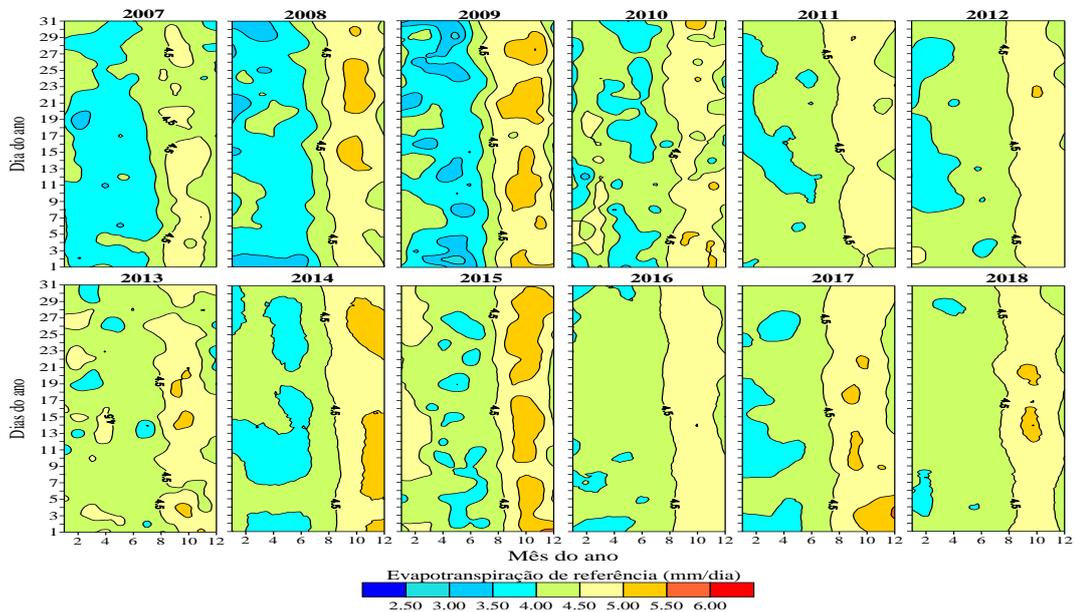


Figura 3. Mapas da distribuição temporal da evapotranspiração de referência para Mesorregião Metropolitana de Belém-PA entre os anos de 2007 a 2018.

A krigagem é um método de interpolação excelente dentro da geoestatística, pois no presente trabalho ela usa a dependência espacial e temporal que se manifesta nos semivariogramas mediante as amostras adjacentes, com o intuito de estimar a valoração em qualquer posição dentro do campo, sem tendência e com variância mínima.

De acordo com o trabalho de Vilanova, Simões e Trannin (2012), a técnica produziu bons resultados durante a espacialização da evapotranspiração de referência, mesmo diante da pequena quantidade de dados (estações) utilizados, o que indica sua aplicabilidade para geração de mapas de ET_o em regiões com poucas estações/dados hidrometeorológicos. Essa aplicação deve ser realizada de forma criteriosa, utilizando-se ferramentas para a validação dos resultados, como por exemplo, a consideração de uma estação base. Este método de interpolação discorre suficientemente gerando valores muito próximos da variável de Evapotranspiração de Referência (ET_o).

A krigagem representou com boa exatidão as variações de ET_o no decorrer dos doze anos (2007-2018), o que evidencia um aumento desta ano a ano, ficando mais acentuada a partir de 2010. Refletindo assim, uma perda hídrica considerável para a atmosfera na região que abrange a estação meteorológica de Belém-PA.

CONCLUSÕES

Através dos processos de interpolação realizados pela krigagem pôde-se mapear os valores de evapotranspiração de referência (ET_o), verificando ser um método eficiente para analisar a variabilidade temporal dos dados da Estação Meteorológica analisada. Os mapas da distribuição temporal da evapotranspiração de referência constataam que os meses de maior demanda evapotranspirativa, da Mesorregião de Metropolitana de Belém, são agosto, setembro, outubro e dezembro. Geralmente, estes meses possuem as maiores temperaturas e menores precipitações pluviométricas.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) pela concessão dos dados que gerou está pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, RICHARD G. **REF-ET**: reference evapotranspiration calculator, Version 4.1.22. Utah State: University Idaho, p. 83341, 2016.

BEZERRA, H. N. **Estimativa da evapotranspiração espacial em uma região semiárida utilizando sensoriamento remoto**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Sanitária da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, rn, p. 86, 2013.

CARVALHO, L. G.; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; CASTRO NETO, P. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical** (Agricultural Research In The Tropics), v. 41, n. 3, p.456-465, 2011.

CONDE, E. C.; BRITO, R. R.; MONTENEGRO, R. J. V.; ROMÁN, R. M. S. Comportamento temporal da evapotranspiração de referência em municípios de são paulo e províncias de cuba. **IRRIGA**, Botucatu, v. 21, n. 2, p. 365-383, maio - junho, 2016.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Projeto prodes digital:** mapeamento do desmatamento da amazônia com imagens de satélite. São José dos Campos, 2019. DISPONÍVEL EM: <[HTTP://WWW.OBT.INPE.BR/PRODES/DASHBOARD/PRODES-RATES.HTML](http://www.obt.inpe.br/prodes/dashboard/prodes-rates.html)>. ACESSO EM: 15 JAN. 2019.

ROBERTSON, G. P. **GS+:** *GEOSTATISTICS FOR THE ENVIRONMENTAL SCIENCES – GS+ USER'S GUIDE*. Plainwell, Gamma Desing Software, p.152, 2009.

SARTORI, A. A. C.; SILVA, A. F.; RAMOS, C. M. C.; ZIMBACK, C. R. L. Variabilidade temporal e mapeamento dos dados climáticos de Botucatu-Sp. **IRRIGA**, Botucatu, v. 15, n. 2, p. 131-139, abril-junho, 2010.

VILANOVA, M. R. N.; SIMÕES, S. J. C.; TRANNIN, I. C, B. Interpolação geoespacial da evapotranspiração de referência (eto) em regiões com escassez de dados: estudo de caso no sul de minas gerais. **Revista ambiente & água**, Taubaté, v. 7, n. 2, p.179-194, 2012.

GUEDES, O. F. **Variabilidade espacial e temporal de mapas de colheita e atributos do solo em um sistema de semeadura direta.** Instituto agrônômico de pós-graduação em agricultura tropical e subtropical, Campinas, SP. p.97, 2009.

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, T. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. **Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties.** Hilgardia, 1983.

STURANO, J. R. **Apostila de geoestatística básica.** UNESP/campus de Rio Claro, Departamento de Geologia Aplicada-IGCE, São Paulo, SP, p.34, 2015.

SANTOS, M. R. S. **A precipitação climática na mesorregião metropolitana de Belém e suas implicações socioambientais.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em convênio com EMBRAPA, Belém, 2017.