

MÉTODO SIMPLIFICADO EM SENSORIAMENTO REMOTO PARA ESTIMATIVA DE EVAPORAÇÃO EM RESERVATÓRIOS EM REGIÕES TRÓPICAIAS

ITALO SAMPAIO RODRIGUES¹; NAZARÉ SUZIANE SOARES²; CARLOS ALEXANDRE GOMES COSTA³; JOSÉ CARLOS DE ARAÚJO³

¹ Engenheiro Ambiental, Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA), Depto. de Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Agrárias, UFC, Fortaleza - CE, Fone: (85) 3366-9761, italo_sampa@hotmail.com.

² Engenheira Agrônoma, Estudante de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA), Depto. de Engenharia Agrícola, CCA/UFC, Fortaleza - CE.

³ Prof. Doutor, Depto. de Engenharia Agrícola. CCA/UFC, Fortaleza - CE.

Apresentado no
XLVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2019
17 a 19 de setembro de 2019 - Campinas - SP. Brasil

RESUMO: A evaporação se apresenta como um dos principais meios de perdas de água ao meio ambiente. Sua estimativa é de suma importância para o gerenciamento dos recursos hídricos. Estes dados complementam e aumentam o controle da oferta local de água da região. Para estimar este processo, vários métodos podem ser aplicados como o aerodinâmico, balanço de energia, modelo combinado ou ainda através de instrumentos. No entanto, em grande parte dos reservatórios brasileiros, não há dados específicos para aplicação dos modelos mais robustos. Com isso, o principal objetivo deste trabalho é estimar a lâmina de evaporação diária nos reservatórios Gavião e Pacoti através dos modelos Linacre (1977), Linacre (1993) e Blaney e Criddle (1950) por sensoriamento remoto, Landsat 8. Estes métodos foram escolhidos devido a sua simplicidade de aplicação. A maior correlação encontrada entre dados medidos (Tanque classe A) e estimados foi obtida através do modelo Linacre (1977) com um coeficiente de Nash-Sutcliffe de 0.54 e 0.65 e com erros menores que 0.3 mm dia⁻¹.

PALAVRAS-CHAVE: Evaporação, Sensoriamento Remoto, Reservatório.

SIMPLIFIED METHOD IN REMOTE SENSING FOR EVAPORATION ESTIMATION IN RESERVOIRS IN TROPICAL REGIONS

ABSTRACT: Evaporation is one of the main means of water loss to the environment. Its estimation is so important for the management of water resources. These data complement and increase the control of local water supply in the region. To estimate this process, various methods can be applied such as aerodynamic, energy balance, combined model or even through instruments. However, in most of the Brazilian reservoirs, there are no specific data for the application of a more robust models. Therefore, the main objective of this work is to estimate the daily evaporation in the Gavião and Pacoti reservoirs using the models Linacre (1977), Linacre (1993) and Blaney e Criddle (1950) through remote sensing, Landsat 8. These methods were chosen because of their simplicity of application. The highest correlation found between measured (Class A Evaporation Pan) and estimated data was obtained using the Linacre (1977) model with a coefficient of Nash-Sutcliffe of 0.54 for Gavião and 0.65 for Pacoti reservoir and with errors smaller than 0.3 mm day⁻¹.

KEYWORDS: Evaporation, Remote Sensing, Reservoir.

INTRODUÇÃO: A evaporação da superfície da água de um reservatório pode afetar significativamente a sua disponibilidade e estabilidade temporal do suprimento de água, podendo ainda exacerbar o problema de escassez deste recurso na região (ZHANG *et al.*, 2017). Em ambientes de clima tropical a evaporação é ainda mais impactante no que se refere à disponibilidade hídrica em reservatórios. Estimativas de evaporação são essenciais ao manejo de uma série de atividades relacionadas à agricultura, hidrologia (DUTTA *et al.*, 2013) e gerenciamento de ofertas em reservatórios (AL-JAWAD; TANYIMBOH, 2017).

Conhecer as perdas por evaporação é a base para determinar o potencial volume de água disponível, cuja informação é de suma importância no planejamento de políticas de manejo dos recursos hídricos na região do semiárido. Portanto, a análise do método de determinação de taxas de evaporação de reservatórios é imprescindível, viabilizando um planejamento racional do uso da água. Neste sentido, o objetivo deste trabalho é avaliar a resposta de métodos simplificados em Sensoriamento Remoto para estimar a evaporação dos reservatórios Gavião e Pacoti.

MATERIAL E MÉTODOS: Os reservatórios avaliados compõem o Eixão de Abastecimento de Água na região metropolitana de Fortaleza-CE. Estes são responsáveis pelo abastecimento hídrico da indústria, termelétricas e de uma população de cerca de três milhões de habitantes. Foram analisados os métodos de Linacre (1977), Linacre (1993) e Blaney e Criddle (1950) utilizando cenas do satélite Landsat 8. Estes modelos foram escolhidos em virtude da pouca quantidade de dados requeridos para aplicá-los. Ao total foram utilizadas 10 cenas do satélite Landsat 8 de 2013 a 2018. O processamento das cenas foi feito nos softwares ENVI 5.3 e ArcGis 10.3.1. Os dados de velocidade do vento foram obtidos através do portal do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Foram utilizados valores encontrados no dia da captura das cenas em uso neste estudo. Os dados de radiação solar de ondas longas serão encontrados a partir de Bastiaanssen (2000), a temperatura da superfície será por meio de Avdan e Jovanovska (2016). Através da temperatura da superfície da água será encontrada a do ar, Morrill *et al.* (2001) e Dugdale *et al.* (2017) estimam que a temperatura do ar é em média 20% maior que a da água, porcentagem está inserida sobre os valores de temperatura da água para encontrar a temperatura do ar espacializada. O modelo de Linacre (1977) estima taxas de evaporação em vários climas. Esta utiliza, prioritariamente, apenas dados de temperatura do ar (Equação 1). A equação proposta por Linacre *et al.* (1993), para o cálculo da evaporação em reservatório, é utilizada quando são conhecidos os dados de temperatura média do ar, precipitação, velocidade do vento e radiação solar de ondas longas (Equação 2). Baseado em dados de temperatura, o modelo Blaney e Criddle (1950) é utilizado na estimativa de evapotranspiração do ambiente (Equação 3). Para validação das lâminas evaporadas encontradas nos três métodos serão utilizados valores de referência de Tanque Classe A da cidade de Fortaleza, cerca de 10 km do reservatório Gavião e a 40 km do Pacoti. O coeficiente de ajuste para o Tanque classe A será de 0,7 valor de referência para regiões semiáridas (FINCH; CALVER 2008). Para esta validação será incorporado no trabalho a raiz do erro médio quadrado (REMQ), Equação 4, e o coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE), Equação 5, estes são utilizados para encontrar as correlações entre valores estimados e resultados medidos.

$$E_o = \frac{700 * \frac{T_m}{100 - A} + 15 * (T - T_d)}{(80 - T)} \quad (1)$$

Em que. E_o: Evaporação (mm dia⁻¹); T_m = T + 0.006*h. T é a temperatura do ar (°C) e h é a altitude (m); T_d: Temperatura do ponto de orvalho e A é a Latitude (Graus).

$$E_L = (0.015 + 0.00042 * T + 10^{-6} * h) * [0.8 * R_L - 40 + 2.5 * F * u * (T - T_d)] \quad (2)$$

No qual. R_L: radiação solar de ondas longas na superfície do reservatório (W m⁻²). F: fator de correção devido à altitude do local, adimensional, igual a 1 para este trabalho, pois para locais em que a altitude é baixa, este fator pode ser negligenciado (LINACRE, 1993). h: altitude do local (m) e u: velocidade do vento (m s⁻¹).

$$H = f * (0.46 * T + 8.13) \quad (3)$$

Sendo. H: lâmina de água evaporada (mm dia⁻¹); T: temperatura da região (°C) e f: média da porcentagem diária do fotoperíodo anual em latitudes que variam de 10° N a 35° S.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Q_m^t - Q_0^t)^2}{\sum_{t=1}^T (Q_m^t - Q_{om})^2} \quad (4)$$

em que Q_{0m} representa a média dos dados medidos no período de simulação, Q_0^t evento simulado pelo modelo e Q_m^t são os dados medidos no dia da simulação.

$$REM Q = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i' - X_i)^2} \quad (5)$$

sendo X_i são os dados medidos, X_i' são os dados estimados e N e o número de pontos observados

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A evaporação espacializada dos reservatórios em análise apresenta respostas distintas nas margens e na parte central dos reservatórios. Nas margens observou-se as maiores taxas de evaporação diária, estas são ocasionadas por baixas profundidades, recebendo uma maior quantidade de calor do solo, sendo mais influenciadas por parâmetros climatológicos com maior facilidade (BRANNEN *et al.* 2015; HU *et al.* 2018). A Tabela 1 apresenta uma média da evaporação espacializada nos reservatórios de análise juntamente com a evaporação de referência, Tanque Classe A. Como pode ser observado na Tabela 1, os modelos possuem uma representatividade moderada a boa com relação a predição de evaporação do reservatório. O modelo Linacre (1977) tende a ter uma pequena subestimativa da evaporação de referência em quase todas as análises, fato este também observado por Bueno *et al.* (2016) e Anyadike (1978). No entanto, de acordo com a Tabela 2, este método foi o que melhor representou os dados medidos do Tanque Classe A, tendo obtido os menores REMQ e maiores coeficientes de NSE. O modelo Linacre (1993) superestimou todos os resultados para ambos os reservatórios em análise. Pereira *et al.* (2009), também encontrou uma superestimação da evaporação no reservatório de Sobradinho – BA para este modelo. No que tange aos dados estatísticos, o mesmo foi o que apresentou os maiores erros e menores correlações. Já o modelo Blaney e Criddle (1950), apesar de ser criado para estimativa de evapotranspiração, apresentou moderada precisão no aferimento da evaporação diária dos reservatórios. Mostrando-se também com baixos erros diários para ambos os mesmos em análise e com correlações melhores do que o Linacre (1993). Mostrando que este modelo de evapotranspiração também pode ser usado na falta de dados climatológicos locais ao aferimento da evaporação em reservatórios.

Tabela 1: Resultados dos modelos. Linacre (1977), Linacre (1993) e Blaney e Criddle (1950) com a evaporação do Tanque Classe A.

LandSat 8	Linacre (1977) (mm dia ⁻¹)		Linacre (1993) (mm dia ⁻¹)		Blaney-Criddle (1950) (mm dia ⁻¹)		Evaporação tanque classe A (mm dia ⁻¹)
	Pacoti	Gavião	Pacoti	Gavião	Pacoti	Gavião	
13/06/2018	5,4	5,3	7,6	7,6	5,8	5,7	5,3
14/09/2017	6,4	6,6	8,0	8,0	6,5	6,5	7,5
13/08/2017	5,4	5,4	8,0	8,1	5,6	5,7	5,3
28/07/2017	5,8	5,9	7,8	7,7	5,9	6,1	6,0
26/08/2016	5,9	5,8	8,3	8,3	5,9	5,8	6,1
25/07/2016	5,7	5,2	7,6	7,5	5,8	5,6	6,4
08/08/2015	5,7	5,7	8,2	8,2	5,8	5,8	5,6
20/07/2014	5,7	5,7	7,9	7,9	5,8	5,8	5,4
02/06/2014	4,9	4,8	7,3	7,3	5,5	5,4	4,7
01/07/2013	5,3	5,3	7,8	7,8	5,7	5,6	5,3

Tabela 2: Coeficientes de Nash-Sutcliffe (NSE) e raiz do erro médio quadrado (REMQ)

	Linacre (1977)	Linacre (1993)	Blaney e Criddle (1950)
Pacoti (NSE)	0,65	-7,19	0,49
Gavião (NSE)	0,54	-7,25	0,47
Pacoti (REMQ)	0,25 mm dia ⁻¹	1,21 mm dia ⁻¹	0,31 mm dia ⁻¹
Gavião (REMQ)	0,29 mm dia ⁻¹	1,22 mm dia ⁻¹	0,30 mm dia ⁻¹

CONCLUSÕES: Os modelos apresentaram de fracas a boas correlações com a evaporação local. Os modelos de Linacre (1977) e Blaney e Criddle (1950) apresentaram os menores erros diários em comparação aos dados de referência. O maior desafio para execução do processo através do sensoriamento remoto são as nuvens, que interferem na captura das cenas, principalmente nos períodos de quadra chuvosa (janeiro a abril). Saber quanto evapora em reservatórios estratégicos é fundamental para a gestão de recursos hídricos da região, pois a

evaporação toma cerca de um terço do aporte hídrico dos reservatórios. Além disso, esse conhecimento possibilita a realização de análises de mudança climática sobre o balanço hídrico e, conseqüentemente, sobre a disponibilidade hídrica nas próximas décadas.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Programa Institucional de Internacionalização (PRINT) com título “Impacto das mudanças climáticas nos recursos naturais em áreas secas” pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- AL-JAWAD, J. Y.; TANYIMBOH, T. T. Reservoir operation using a robust evolutionary optimization algorithm. **Journal of environmental management**, v. 197, p. 275-286, 2017.
- ANYADIKE, R. N. The Linacre evaporation formula tested and compared to others in various climates over West Africa. **Agricultural and forest meteorology**, v. 39, n. 2-3, p. 111-119, 1987.
- AVDAN, U.; JOVANOVSKA, G. Algorithm for automated mapping of land surface temperature using LANDSAT 8 satellite data. **Journal of Sensors**, v. 2016, 2016.
- BASTIAANSSEN, W. G. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. **Journal of hydrology**, v. 229, n. 1-2, p. 87-100, 2000.
- BLANEY, H. F.; CRIDDLE, W. D. Determining water needs from climatological data. **USDA Soil Conservation Service. SOS-TP, USA**, p. 8-9, 1950.
- BRANNEN, R.; SPENCE, C.; IRESON, A. Influence of shallow groundwater-surface water interactions on the hydrological connectivity and water budget of a wetland complex. **Hydrological Processes**, v. 29, n. 18, p. 3862-3877, 2015.
- Bueno, E. D. O., Mello, C. R. D., & Alves, G. J. **Evaporation from Camargos hydropower plant reservoir: water footprint characterization**. *RBRH*, 21(3), 570-575, 2016.
- DUGDALE, S. J.; HANNAH, D. M.; MALCOLM, I. A. River temperature modelling: A review of process-based approaches and future directions. **Earth-Science Reviews**, v. 175, p. 97-113, 2017.
- DUTTA, D. et al. A new river system modelling tool for sustainable operational management of water resources. **Journal of environmental management**, v. 121, p. 13-28, 2013.
- FINCH, J.; CALVER, A. Methods for the quantification of evaporation from lakes (prepared for the World Meteorological Organization's Commission for Hydrology). **Oxfordshire, UK**, 2008.
- HU, S.; GAN, Y.; CHEN, Y. Comparing phreatic evaporation at zero water table depth with water surface evaporation. **Journal of Arid Land**, v. 10, n. 6, p. 968-976, 2018.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. s/d. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>> Acessado em: 01 de maio de 2019.
- LINACRE, E. T. A simple formula for estimating evaporation rates in various climates, using temperature data alone. **Agricultural meteorology**, v. 18, n. 6, p. 409-424, 1977.
- LINACRE, E. T. Data-sparse estimation of lake evaporation, using a simplified Penman equation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 64, n. 3-4, p. 237-256, 1993.
- MORRILL, J. C.; BALES, R. C.; CONKLIN, M. H. The relationship between air temperature and stream temperature. In: **AGU Spring Meeting Abstracts**. 2001.
- PEREIRA, Silvio B. et al. Evaporação líquida no lago de Sobradinho e impactos no escoamento devido à construção do reservatório. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 346-352, 2009.
- ZHANG, Hua et al. A remote sensing method for estimating regional reservoir area and evaporative loss. **Journal of Hydrology**, v. 555, p. 213-227, 2017.