



Evaporação em reservatórios hídricos: uma revisão de métodos/técnicas empíricas

Evaporation in water reservoirs: a review of empirical methods/techniques

Fabio de Oliveira Sanches¹ ; Matheus da Silva Frauches² ; Cássia de Castro Martins Ferreira¹ ; Yan Carlos Gomes Vianna¹ ; Thiago Alves Oliveira³

¹Departamento de Geociências, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG, Brasil.

²Programa de Pós Graduação em Ambiente Construído (PROAC), Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG, Brasil.

³Programa de Pós Graduação em Geografia Física, Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.

E-mail: matheus.frauches@ich.ufjf.br (MSF); cassia.castro@ufff.edu.br (CCMF);

yan.vianna@ufff.br (YGV); thiago.a.oliveira@usp.br (TAO)

*E-mail para correspondência: fabio.sanches@ufff.br

Recebido (Received): 10/03/2023

Aceito (Accepted): 16/01/2024

Resumo: No Brasil, pesquisas sobre a influência dos reservatórios hídricos no microclima local (temperatura, chuvas, ventos etc.) foram desenvolvidas a partir dos anos 1980 e nesse contexto, as pesquisas sobre processos de evaporação desses reservatórios, a partir do final dos anos 1990. Diante de um planeta inegavelmente mais quente, a capacidade de perda de água desses reservatórios por processos de evaporação reforça as preocupações com relação à segurança hídrica (abastecimento e geração de energia, por exemplo). Dessa forma, o objetivo deste trabalho consiste em resgatar as principais metodologias/técnicas de estimativas de evaporação aplicadas a reservatórios hídricos, com o intuito de analisar as mais eficazes e as mais utilizadas em função da disponibilidade de dados e de sua acurácia para aplicação. A pesquisa revelou diversas metodologias e técnicas adotadas para estimativas de evaporação em reservatórios (Algoritmo SEBAL, Balanço-Razão de Bowen, Penman-Monteith (adaptado/simplificado), Priestley-Taylor/De Bruin & Keijman, Dalton, Linacre, Tanque Classe “A”, METRIC, Kohler, Complementary Relationship Areal Evapotranspiration/Complementary Relationship Lake Evaporation – CRAE/CRLE e Thornthwaite/Thornthwaite e Mather e Thornthwaite modificado por Camargo). Porém, em função da facilidade de acesso a séries de dados meteorológicos, aplicação dessas técnicas e representatividade dos valores evaporados - exequibilidade, simplicidade e confiabilidade – os métodos/técnicas de *Penman-Monteith*, *Linacre*, *Thornthwaite*, *CRLE*, *Kohler* e *Tanque Classe “A”*, foram as mais recomendadas. Por fim, a pesquisa ainda revelou que, considerando as condições climáticas típicas da tropicalidade (sazonalidade pluviométrica/elevadas temperaturas), e a facilidade de aplicação a partir de variáveis meteorológicas comuns de serem obtidas (temperatura, por exemplo), os métodos/técnicas de *Linacre*; *Thornthwaite*, *Thornthwaite* modificado por Camargo e *Tanque Classe “A”* foram mais recomendados para locais com baixa disponibilidade de dados.

Palavras-chave: Microclima em reservatórios hídricos; Segurança hídrica; Testes estatísticos.

Abstract: In Brazil, research into the influence of water reservoirs on the local microclimate (temperature, rainfall, winds, for example) began in the 1980s and, in this context, research into the evaporation processes of these reservoirs began in the late 1990s. Faced with an undeniably warmer planet, the capacity of these reservoirs to lose water through evaporation reinforces concerns about water security (supply and energy generation, for example). The aim of this work is therefore to review the main methodologies/techniques for estimating evaporation applied to water reservoirs, with the aim of analyzing the most effective and the most widely used according to the availability of data and their accuracy for application. The research revealed several methodologies and techniques adopted for estimating evaporation in reservoirs (SEBAL Algorithm, Bowen Balance-Ratio, Penman-Monteith (adapted/simplified), Priestley-Taylor/De Bruin & Keijman, Dalton, Linacre, Class “A” Tank, METRIC, Kohler, Complementary Relationship Areal Evapotranspiration/Complementary Relationship Lake Evaporation - CRAE/CRLE and Thornthwaite/Thornthwaite and Mather and Thornthwaite modified by Camargo). However, due to the ease of access to meteorological data series, application of these techniques and representativeness of evaporated values -

feasibility, simplicity and reliability - the methods/techniques of Penman-Monteith, Linacre, Thornthwaite, CRLE, Kohler and Class "A" Tank, were the most recommended. Finally, the research also revealed that, considering the typical tropical climate conditions (rainfall seasonality/high temperatures) and the ease of application from meteorological variables that are common to be obtained (temperature, for example), the methods/techniques of Linacre, Thornthwaite, Thornthwaite modified by Camargo and Class "A" Tank were most recommended for locations with low data availability.

Keywords: *Microclimate in water reservoirs; Water security; Statistical tests.*

1. Introdução

A formação de reservatórios hídricos artificiais com a finalidade de mananciais de abastecimento ou geração de energia (hidrelétrica) preocupa pesquisadores da climatologia desde o início do século XX (BIGELOW, 1908; PALMER, 1910; HENRY, 1920). No entanto, foi somente nas décadas de 1970 e 1980, graças as discussões e preocupações ambientais desenvolvidas na Conferência de Estocolmo, em 1972, os reservatórios hídricos de grande porte passaram a preocupa-los mais incisivamente em relação aos possíveis impactos ambientais associados à sua formação/construção (GOODLAND, 1977; BAXTER; GLAUDE, 1980; FERNANDEZ *et al.* 1986), e dentre eles, a influência no clima local.

No Brasil, uma série de pesquisas foram desenvolvidas analisando a formação dos reservatórios hídricos e a sua influência no clima local e entorno. Grimm (1988) para a UHE de Itaipu, Campos (1990) para UHE de Sobradinho (BA), Fisch, Januário, Senna (1990), Gunkel *et al.*, (2003) para a UHE Curuá-Una (PA), Sanches e Fisch (2005) para a UHE de Tucuruí (PA), Souza e Galvani (2010) para UHE Porto Primavera (SP/MS); Rodrigues e Canônica (2006), Czarnobai *et al.*, (2006) e Sanches *et al.*, (2015) para UHE de Itá (RS/SC); Silva Filho e Rabelo (2012) e Dantas e Sales (2015) para o Açude (lago) Castanhão (CE), Sanches *et al.*, (2017) para UHE de Passo Fundo (RS), Hoppe e Wolmann (2018) para UHE Dona Francisca (Agudo-RS), Frauches *et al.*, (2020) para o reservatório Chapéu D'Uvas (MG) e, mais recentemente, Sanches *et al.*, (2022) para a PCH Autódromo (RS).

De uma forma geral, esses trabalhos avaliaram os possíveis efeitos da formação dos reservatórios nas variáveis climáticas locais (precipitação, ventos, temperaturas, umidade relativa etc.). No entanto, os trabalhos de Nóbrega *et al.*, (2011), no reservatório de Furnas, Novais (2016), no Sistema Cantareira e Frauches *et al.* (2020), em Chapéu D'Uvas (MG), buscaram, também, avaliar por meio da tendência das chuvas e de outras variáveis climáticas no entorno de seus reservatórios, se as mesmas sofreram alterações ao longo do tempo. Esses trabalhos buscaram compreender como as mudanças climáticas poderiam influenciar na capacidade de abastecimento (por meio da componente meteorológica), ressaltando as dificuldades enfrentadas em se prever a situação futura de disponibilidade hídrica dos reservatórios: a segurança hídrica.

Tal temática ganhou destaque na pauta dos gestores de recursos hídricos após as condições climáticas anômalas ocorridas nos verões de 2014 e 2015 que atingiram o Centro-Sul do Brasil. Análises de séries históricas de pluviosidade trimestral (dezembro, janeiro e fevereiro – verão), desenvolvidas por Coelho *et al.* (2016) indicaram forte tendência à redução nos volumes de chuva na estação, as quais, associadas às condições anômalas da temperatura da superfície do oceano Atlântico, reduziram abruptamente as precipitações nos respectivos verões. Essa condição anômala, associada à tendência de redução das chuvas no verão, contribuiu para intensificar o rebaixamento dos principais reservatórios no Centro-sul do país.

Nesse contexto de aumento das temperaturas médias globais (ALEXANDER, 2016), mudanças nos modos de anomalias climáticas, intensificação de sistemas atmosféricos anômalos e ocorrência de eventos extremos (secas severas, por exemplo) – efeitos das mudanças climáticas globais manifestadas em escalas regionais (SANCHES *et al.* 2017; CARPENEDO, 2018; LIMA; CAPERNEDO, 2020; SANCHES *et al.* 2023) - é que a disponibilidade hídrica desses reservatórios estaria comprometida. Já que em um planeta mais quente, as condições atmosféricas/climáticas podem intensificar as perdas desse recurso por meio da evaporação.

Nesse contexto de perdas por evaporação em reservatórios, Pereira *et al.*, (1997) já ressaltavam que no Brasil há uma carência de atividades de pesquisas e experimentação no campo da evaporação em lagos e reservatórios, sobretudo devido a carência de informações básicas (dados disponíveis) nas diferentes regiões climáticas do país.

Dessa forma, o presente trabalho busca apresentar os métodos/técnicas empíricos mais usuais para se estimar a capacidade de evaporação em reservatórios hídricos, sobretudo, em função da complexa (in)disponibilidade de dados.

2. Conceitos e processos a serem considerados

Pereira *et al.*, (2009) definem a evaporação como o processo da perda de água em uma superfície hídrica livre (lagos, rios etc.), ou a partir do solo e da vegetação, sendo que essa perda ocorre pela passagem da água do estado líquido para o gasoso.

Para ANA (2021), a evaporação líquida pode ser definida pela “(...) diferença entre a evaporação real do reservatório (evaporação bruta do lago) e a evapotranspiração real esperada para a mesma área caso não existisse o reservatório”, sendo responsável por estimar o uso de água adicional em função da presença do reservatório, de acordo com o local onde está construído.

A incorporação mais explícita dessa componente na gestão de recursos hídricos é relevante na medida em que a água evaporada não estará disponível para outros usos e por permitir a análise na escala de bacias e sub-bacias, e não apenas de empreendimentos individualmente, ampliando a capacidade de tomada de decisão no planejamento e na gestão. O conhecimento da evaporação líquida colabora, em última instância, para a segurança hídrica dos usuários de água e da população (ANA, 2021, p.5).

Porém, os trabalhos de Costa, Melo e Ferreira (2006), Curtarelli *et al.*, (2013) apontam que diversos fatores podem afetar o processo de evaporação de água, sendo alguns destes **(a)** a concentração de substância a ser evaporada, **(b)** a pressão, **(c)** a temperatura, **(d)** a umidade do ar e do solo, **(e)** as forças intermoleculares, além de forçantes meteorológicas, tais como a **(f)** intensidade da radiação solar incidente na superfície e **(g)** a velocidade do vento. Curtarelli *et al.*, (2013) ainda afirma que a evaporação da água em um corpo hídrico pode variar de acordo com a qualidade da água e, das características físicas do lago, além de sua profundidade.

Dada a dificuldade em se obter esse grande conjunto de variáveis na forma de séries históricas de dados observados no entorno dos reservatórios, pesquisadores como Pereira *et al.*, (1997), Kan e Dias (1999), Camargo e Camargo (2000), Roque e Sansigolo (2001), Fontes (2005), Pereira *et al.*, (2009), Vieira *et al.*, (2016), French, Hunsaker e Thorp (2015), Coelho *et al.*, (2018) entre outros, utilizam-se de um conjunto de métodos/técnicas para estimar a evaporação em superfícies hídricas livres (reservatórios, por exemplo).

3. Principais métodos/técnicas de estimativa de evaporação aplicadas a reservatórios hídricos

Pode-se considerar que a literatura que aborda o tema é, de certa forma, abrangente, demonstrando o uso de diferentes métodos/técnicas para estimar a evaporação em reservatórios (PEREIRA *et al.* 1997; KAN; DIAS, 1999; CAMARGO; CAMARGO, 2000; ROQUE; SANSIOLO, 2001, FONTES, 2005; PEREIRA *et al.* 2009; VIEIRA *et al.* 2016; COELHO *et al.* 2018 entre outros). Além disso, a escolha pelo método/técnica a ser utilizado implica diretamente na disponibilidade de dados no entorno dos reservatórios.

3.1. Algoritmo SEBAL.

Para Cabral Junior *et al.*, (2012), o método SEBAL - *Surface Energy Balance Algorithm for Land* – consiste em um dos mais destacados algorítmicos do sensoriamento remoto, adotado em estudos sobre fluxos de calor latente e calor sensível à superfície e utilizando poucos dados observados (em superfície) para suas estimativas.

Este algoritmo, segundo Carvalho (2020), se baseia nas trocas energéticas entre as superfícies, compondo o saldo de radiação, que pode ser definido pela seguinte expressão matemática:

$$R_n = H + \lambda E + G \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

R_n é o saldo de radiação

H é o fluxo de calor sensível, que tem relação com o aquecimento do ar.

λE é o calor latente, convertido nos processos de evaporação e evapotranspiração.

G é o fluxo de calor no solo.

Cabral Junior *et al.*, (2020) destaca ainda que tal método de estimativa de evapotranspiração tem sido amplamente empregado por pesquisadores para se estimar a evaporação em áreas irrigadas, a partir de imagens do satélite Landsat, sobretudo nas áreas de clima semiárido no nordeste do Brasil.

Em Bezerra *et al.*, (2021) os autores aplicaram o algoritmo SEBAL no entorno do Reservatório Dourado, no município de Currais Novos (RN), para estimar a evapotranspiração diária, comparando os resultados obtidos com o método de Penman-Monteith. Para os autores, os resultados gerados pelo SEBAL mostraram-se coerentes com os resultados observados na literatura sobre o tema para a região.

Da mesma forma, Carvalho (2020) realizou uma estimativa dos componentes do balanço energético para os diferentes tipos de uso do terreno na Bacia de Contribuição da Represa de Chapéu d'Uvas, na Zona da Mata Mineira, utilizando o algoritmo SEBAL a partir de imagens dos satélites Landsat 5 e 8 no entorno do reservatório. Os resultados indicaram que a evapotranspiração real diária apresentou correspondência com os diferentes tipos de cobertura da terra, reforçando o uso do SEBAL para áreas com escassez de dados observados em superfície.

3.2. Método do Balanço-Razão de Bowen.

Esse método considera a evaporação do lago em mm/dia, a radiação líquida em Mjm^2/dia e o calor latente de evaporação em MJ/Kg. O coeficiente de Bowen depende das diferenças de temperatura entre os bulbos seco e úmido do **psicrômetro**, o que significa que é preciso ter ambos os valores para utilizar este método. Os valores de W só dependem do intervalo de temperatura do bulbo úmido (MARIN *et al.* 2002).

$$El = \left(\frac{Rn}{(1 + B)} \right) \cdot L \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que:

El : Evaporação do lago

Rn : Radiação líquida

L : Calor latente de evaporação

$$B = \left[\left(\frac{DTu}{(1 - W) \cdot Dts} \right) - 1 \right]^{-1} \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que:

B : Razão de Bowen

DTu : Diferença de temperatura do bulbo úmido.

Dts : Diferença de temperatura do bulbo seco.

$$W = 0,407 + 0,0145 \cdot Tu \quad \text{Se} \quad 0^\circ\text{C} < Tu < 16^\circ\text{C} \quad (\text{Eq. 4})$$

$$W = 0,483 + 0,01 \cdot Tu \quad \text{Se} \quad 16,1^\circ\text{C} < Tu < 32^\circ\text{C} \quad (\text{Eq. 5})$$

Ribeiro Neto *et al.*, (2007) aplicaram o método de Bowen e outras metodologias (métodos de Penman e CRLE) na avaliação da evaporação no reservatório de Sobradinho (BA). Os resultados obtidos pelo método de Bowen sugerem que, descartando-se as taxas de variação da entalpia e advecção da entalpia, as diferenças com os resultados dos outros métodos foram inferiores a 1%.

Por sua vez, Oliveira (2009) utilizou esse método em comparação com outras metodologias de estimativas de evaporação no lago (0,78 ha) do campus da ESALQ/USP (Piracicaba), bem como nos tanques Classe "A" e 20m² das Estações Agroclimatológicas da ESALQ/USP e da UNESP-Jaboticabal. Esse método foi considerado robusto pela autora e utilizado como padrão quando se deseja comparar métodos de estimativa de evaporação. Porém, considerado de difícil aplicação quando não há condições para medidas diretas.

3.3. Método de Penman.

De acordo com Oliveira (2009), Demeke *et al.*, (2013), Soares *et al.*, (2015), Bueno *et al.*, (2016), Zhou *et al.*, (2016) e Coelho *et al.*, (2018), esse método leva em conta a evaporação de uma superfície de água livre mm/dia (El), o balanço diário de radiação medido sobre essa superfície (R_n), coeficiente psicrométrico em kPa/°C (γ) e o poder evaporante da superfície ($e_s - e_a$), de acordo com a equação:

$$El = \frac{1}{\rho} \left[86,4 \cdot \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot \frac{R_n}{\lambda_p} \cdot \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \cdot 0,26(0,5 + 0,54u_2) \cdot (e_s - e_a) \right] \quad (\text{Eq. 6})$$

Em que:

El : evaporação do reservatório (mm.dia⁻¹);

Δ : a inclinação da curva pressão-temperatura do vapor saturado à temperatura média do ar (kPa °C⁻¹);

R_n : balanço diário de radiação medido na superfície da água aberta (W/m²);

γ : constante psicrométrica (kPa/°C⁻¹);

e_s : pressão de saturação do vapor de água à temperatura do ar (mbar);

e_a : pressão parcial do vapor de água, a temperatura do ar (mbar);

λ : calor latente de evaporação (MJ kg⁻¹) e

ρ : densidade da água (kg/m³).

Coelho *et al.*, (2018) utilizaram o método de Penman em comparação com outros métodos para estimar a evaporação nos reservatórios de Tucuruí (PA) e Lageado (TO), a partir de dados meteorológicos obtidos das estações de Tucuruí e Palmas, acessadas via portal do INMET.

A partir dos resultados obtidos sugeriram que o método de Penman mostrou-se eficaz para as áreas de estudo sendo usado, inclusive, como alternativa principal aos outros métodos elencados para calcular a evaporação nos reservatórios estudados.

Por sua vez, Feitosa (2020) utilizou o método de Penman para estimar a evaporação no Açude (reservatório hídrico) Gavião, nos municípios de Pacatuba e Itatinga (CE), a partir de dados de duas estações meteorológicas: uma localizada junto ao reservatório e outra mais distante, em Fortaleza (CE).

Quando seus resultados (de Penman) foram comparados aos do método do Balanço Hídrico – método, muito comum no semiárido nordestino – os dados mais distantes indicaram grandes desvios daqueles obtidos junto ao reservatório, recomendando seu uso em áreas mais próximas à lâmina d'água.

Versões adaptadas/simplificadas do método de Penman também foram desenvolvidas e aplicadas a estudos de evaporação em reservatórios (PEREIRA, 2004; VILLA NOVA *et al.* 2006; LEITÃO; OLIVEIRA; LEITÃO, 2007).

3.3.1. Método de Penman adaptado.

$$El = \left[(s \cdot R_n) + \frac{(\gamma L \cdot E_a)}{(s + \gamma L)} \right] \quad (\text{Eq. 7})$$

O γL é calculado por:

$$\gamma L = \gamma + \left(\frac{(4 \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot T a^3)}{f(U)} \right) \quad (\text{Eq. 8})$$

Sendo ε a emissividade 0,92 e σ a constante de Stefan-Boltzmann $4,903 \cdot 10^{-9} \text{ MJK}^{-4\text{m} \cdot 2\text{dia}^{-1}}$ (3), γ é a constante psicrométrica e $f(U)$ é a função de vento, dada por:

$$f(U) = 0,136 + (0,095 \cdot U4) \quad (\text{Eq. 9})$$

Sendo:

$U4$ a velocidade média do vento a 4m da superfície do solo. Pereira (2004), Leitão, Oliveira e Leitão (2007) calcularam o γL a partir da expressão:

$$\gamma L = 0,000661 \cdot P \quad (\text{Eq. 10})$$

Sendo P a pressão atmosférica média do local.

O poder evaporante Ea é dado por:

$$Ea = f(U) \cdot (e_s - e_2) \quad (\text{Eq. 11})$$

Sendo:

e_s a pressão saturante, e_2 a pressão parcial de vapor, ambas as pressões determinadas a 2m do solo. Se for utilizada a pressão a 4m do solo, é preciso aplicar um fator de conversão, em que $z = 4\text{m}$.

$$fc = \frac{4,87}{\ln} \cdot [(67,8 \cdot z) - 5,42] \quad (\text{Eq. 12})$$

Leitão, Oliveira e Leitão (2007) utilizaram este método em comparação com outras metodologias de estimativa de evaporação para duas regiões localizadas no estado da Paraíba (Boqueirão e Epitácio Pessoa), utilizando uma série de dados de abril de 2002 a fevereiro de 2003. Em cada área foi construído um tanque de 20 m² e 2 m de profundidade seguindo as recomendações da OMM.

Os autores apontaram que o método de Penman Adaptado apresentou resultados subestimados no mês de abril e a partir de setembro, quando comparado aos outros métodos utilizados. Quando o método de Penman foi comparado com a curva de evaporação proveniente do tanque de 20m², os resultados para o início e o fim do período analisado foram muito próximos, mas bem diferentes nos meses intermediários, demonstrando resultados subestimados.

3.3.2. Método de Penman simplificado.

Segundo Villa Nova *et al.*, (2006), o método de Penman pode ser simplificado para estimar a evapotranspiração potencial, de acordo com a expressão:

$$ETP = \left(\frac{R_n - G}{(2,45 \cdot (2 - w))} \right) \quad (\text{Eq. 13})$$

Sendo assim, a evaporação de uma superfície exposta pode ser dada por:

$$El = \frac{R_n}{(2,45 \cdot (2 - w))} \quad (\text{Eq. 14})$$

Sendo este método denominado Penman-Villa Nova.

3.4. Método de Priestley-Taylor/De Bruin & Keijman

O método considera a evaporação de uma superfície livremente exposta (El) e a radiação incidente sobre esta superfície (R_n). É dada pela equação:

$$El = 1,26 \cdot w \cdot \left(\frac{R_n}{2,45} \right) \quad (\text{Eq. 15})$$

O valor de w é dado pela expressão:

$$w = \frac{s}{(s + \gamma)} \quad (\text{Eq. 16})$$

Em que γ é o coeficiente psicrométrico em kPa/°C, declividade da curva de variação da pressão de vapor s (kPa/°C). Segundo Vieira *et al.*, (2016), Morton (1983a) desenvolveu uma equação, baseada no modelo de Priestley-Taylor.

Esse método é derivado da combinação entre as equações de Priestley-Taylor e de Penman, proposto por De Bruin e Keijman, sendo mais simples para estimar a evaporação em **reservatórios rasos**, onde a evaporação é determinada em função da umidade do ar acima da massa de água, do calor disponível no lago e da constante psicrométrica.

O método foi aplicado no lago Flevo, o qual é bastante raso (3m de profundidade), localizado nos Países Baixos, obtendo-se bons resultados quando comparado aos métodos existentes de balanço energético e hídrico durante as estações de verão e outono.

De acordo com Leão *et al.*, (2013), os métodos de Priestley-Taylor e De Bruin e Keijman, quando aplicados no cálculo de evaporação no lago de Banabuiú-CE, mostraram-se os mais adequados e ajustados, pois apresentaram os melhores coeficientes de confiança e desempenho, seguindo a metodologia de Camargo e Sentelhas (1997).

Comparando um conjunto de metodologias para se estimar a evaporação em duas áreas no estado de São Paulo, Oliveira (2009) concluiu que este método, ao lado do método de Penman simplificado, proposto por Villa Nova *et al.*, (2006), é altamente recomendado, uma vez que apresentou os melhores índices quando comparado ao tanque de 20m².

3.5. Método de Transferência de massa, baseado na equação de Dalton.

$$El = K. [1 + (1,07.U_2)]. (e_0 - e_a) \quad (\text{Eq. 17})$$

Neste método, U_2 é a velocidade média do vento a 2m de altura, e_0 é a pressão de vapor na temperatura da superfície e e_a é a pressão de vapor a 2m da superfície. K é um coeficiente empírico (PEREIRA *et al.* 1997).

Oliveira (2009) utilizou esse método para calcular a evaporação em um lago de pequenas dimensões localizado a 40m do Pavilhão de Engenharia no Campus da ESALQ (SP). Para a autora, o método apresentou uma grande dispersão nos valores em todos os períodos analisados, não sendo, portanto, um método confiável.

3.6. Método de Linacre.

Apresenta-se como um método de fácil aplicação, uma vez que suas variáveis são passíveis de coleta por meio de instrumentos meteorológicos observacionais. Foi utilizado por Kan e Dias (1999), Camargo e Camargo (2000), Pereira *et al.*, (2009), Bueno *et al.*, (2016), Vieira *et al.*, (2016), Coelho *et al.*, (2018) entre outros, em seus estudos sobre evaporação em reservatórios.

$$El = 0,015 + (0,00042.T) + (10^{-6}.Z). [(0,8.R_s) - 40] + [2,5.F.U.(T - T_d)] \quad (\text{Eq. 18})$$

Em que T é a temperatura média do ar, obtida através dos valores extremos diários, Z é a altitude do local, e R_s é a irradiância média diária, dada por:

$$R_s = R_a - (0,85 - 0,047.C_m) \quad (\text{Eq. 19})$$

U é a velocidade média do vento a 2m de altura, sendo T_d a temperatura do ponto de orvalho e F um fator de correção da altitude, dado por:

$$F = 1,0 - (8,7.10^{-5}.Z) \quad (\text{Eq. 20})$$

Coelho *et al.*, (2018) utilizou o método de Linacre para estimar a evaporação nos reservatórios de Tucuruí (PA) e Lageado (TO), argumentando que esse método, original de 1977, apresenta pouca sensibilidade em termos do saldo de radiação, tendendo a subestimar a evaporação nos reservatórios, o que levou ao aprimoramento da formulação matemática no ano de 1993.

Pereira *et al.*, (2009), por sua vez, ao utilizar o método de Linacre para estimar a evaporação no reservatório de Sobradinho (BA), chegou à conclusão de que o mesmo superestima a evaporação ocorrida no reservatório, devido a falhas na sensibilidade do modelo à velocidade do vento.

Leitão *et al.*, (2007), por sua vez, ao utilizá-lo para calcular a evaporação em dois reservatórios na região da Paraíba, concluiu que o método apresentou resultados bastante satisfatórios.

Por fim, ao utilizar este método, Oliveira (2009) encontrou desvio médios baixos em ambas as áreas de estudo, de forma diferente do método de Kholer onde houve desvios maiores. Dessa forma a autora recomenda que o método de Linacre possa ser utilizado na falta de alternativas melhores.

3.7. Método do Tanque Classe A

Aplicado por Oliveira *et al.*, (2005), Leitão, Oliveira e Leitão (2007), Oliveira (2009), Demeke *et al.*, (2013), Soares, Buriol e Estefanel (2015), Oliveira (2017), Cabral Junior *et al.*, (2018), Rodrigues *et al.*, (2020) para estimativa de evapotranspiração, o método Tanque Classe A (**Figura 1**) é definido por:

$$El = Kp.Ep \quad (\text{Eq. 21})$$

Sendo Ep a evaporação diária do tanque. O valor de Kp é dado pela expressão:

$$Kp = 0,482 + [0,024. \ln (F)] - (0,000376. U) + (0,0045. UR) \quad (\text{Eq. 22})$$

Sendo F a área da borda vegetada do tanque, U a velocidade do vento e UR a umidade relativa média.



Figura 1: Tanque Classe A (primeiro plano) e tanque de 20m² (plano de fundo). Fonte: Leitão, Oliveira e Leitão (2007).

Oliveira (2009) utilizou uma regressão linear para verificação dos valores e a significância dos coeficientes de determinação, além do índice de exatidão, determinado por:

$$d = 1 - \left[\frac{\sum(Pi - Oi)^2}{\sum[(Pi - O) + (Oi - O)]^2} \right] \quad (\text{Eq. 23})$$

Em que Pi é o valor estimado, Oi o valor observado e O a média dos valores observados. Este índice varia de 0 a 1.

Para Oliveira (2009), os resultados observados em seu trabalho sugerem que, dependendo das características climáticas – no caso do clima tropical - os dados do Tanque Classe “A” representam bem as condições de evaporação em reservatórios, quando comparados aos resultados obtidos por estimativas estatísticas (Métodos de Bowen, Penman, Morton, CRLE).

3.8. Modelo METRIC

Modelo utilizado para o Mapeamento de Evapotranspiração com Calibração Interna (METRIC). De acordo com Allen, Tasumi e Trezza (2007) e French, Hunsaker e Thorp (2015), nesse modelo, o valor de Rn é definido através de medições de reflectância e temperatura na superfície e, de produtos de satélite de banda estreita, G é obtido por estimativa de Rn , temperatura na superfície e índices de vegetação e H é obtido com base nas amplitudes térmicas, rugosidade do terreno e velocidade dos ventos, através da aplicação de correções matemáticas.

Para os autores, os algoritmos do METRIC são baseados nos algoritmos do SEBAL (*Surface Energy Balance*) de acordo com a equação:

$$LE = Rn - G - H \quad (\text{Eq. 24})$$

Em que LE é o calor latente, consumido pela evapotranspiração; Rn é a “Radiação líquida” (*net radiation*); G é o calor sensível que chega ao solo e H é o calor sensível que passa ao ar por convecção, em que os valores são expressos em W/m^2 .

O valor de Rn é obtido através da seguinte equação:

$$Rn = Rs \downarrow - \alpha Rs \downarrow + Rl \downarrow - Rl \uparrow - (1 - \epsilon_0) \cdot Rl \downarrow \quad (\text{Eq. 25})$$

Em que:

$Rs \downarrow$: Radiação de ondas curtas incidente (W/m^2).

α : Albedo de Superfície (adimensional).

$Rl \downarrow$: Radiação de ondas longas incidente (W/m^2).

$Rl \uparrow$: Radiação de ondas longas emitida (W/m^2).

ϵ : Emissividade termal de superfície de banda larga (adimensional).

$(1 - \epsilon_0) \cdot Rl \downarrow$: Radiação de ondas longas incidente que é refletida pela superfície (W/m^2).

3.9. Método Kholer

Segundo Vieira *et al.*, (2016), a evaporação mensal de um reservatório pode ser determinada através da seguinte equação:

$$El = 0,7 \cdot \left[\left(\frac{\Delta \cdot Rn}{\Delta + \gamma L} \right) + \left(\frac{\gamma L \cdot Ea}{\Delta + \gamma L} \right) \right] \quad (\text{Eq. 26})$$

Em que:

γL : Coeficiente Psicrométrico corrigido ($KPa/^\circ C$).

Δ : Declive da curva de saturação do vapor ($KPa/^\circ C$).

Ea : Poder do ar em evaporar (mm/dia).

Rn : Saldo de radiação, em lâmina de água evaporada equivalente (mm/dia).

γL é dado por:

$$\gamma L = 0,000661 \cdot P \quad (\text{Eq. 27})$$

Em que P é a pressão da atmosfera, em KPa .

Ea é dado por:

$$Ea = 7,518 \cdot (0,37 + 0,00255 \cdot U) \cdot (e_s - e_a)^{0,88} \quad (\text{Eq. 28})$$

Rn é calculado da seguinte forma:

$$\Delta Rn = 154,2 \exp[(1,8 \cdot T - 180) \cdot (0,1024 - 0,0106 \cdot \ln(0,239 \cdot Rs)) - 0,01554] \quad (\text{Eq. 29})$$

$$Rs = Ra - (0,85 - 0,047 \cdot Cm) \quad (\text{Eq. 30})$$

$$Cm = 1 + 0,51 \cdot \log(Pm) + [\log(Pm)]^2 \quad (\text{Eq. 31})$$

Vieira *et al.*, (2016) utilizaram-se do método de evaporação no reservatório de Três Marias (MG) juntamente com outras metodologias e técnicas. Seus resultados mostraram-se bem satisfatórios,

demonstrando que o método Kholer, assim como o método de Linacre e de Thorntwaite, melhor representaram as condições de evaporação no reservatório em clima tropical.

Coelho *et al.*, (2018) também se utilizaram deste método para calcular a evaporação nos reservatórios de Tucuruí e Lageado, concluindo não ser a melhor alternativa quando se possui dados para a aplicação do modelo de Penman.

De acordo com Pereira (2009), o método Kholer foi utilizado como alternativa confiável na estimativa de evaporação no reservatório de Sobradinho (BA), sendo sua formulação matemática baseada no método de Penman.

Leão *et al.*, (2013), ao utilizar o método Kholer no reservatório de Banabuiú (CE), verificaram que o método apresentou resultados significativos quando utilizados para o Balanço hídrico durante a estação seca.

3.10. Método CRAE (Complementary Relationship Areal Evapotranspiration)/CRLE (Complementary Relationship Lake Evaporation)

De acordo com Morton (1983a, 1983b) e ANA (2021) a estimativa da evaporação de um reservatório artificial pode ser executada através do uso desses dois modelos, que funcionam de forma complementar. Estes modelos são executados a partir de um programa de computador, chamado WREVAP (MORTON *et al.* 1985), tendo como dados de entrada necessários, a altitude (m) da estação meteorológica, sua latitude, precipitação mensal (mm), umidade relativa do ar (%), temperatura média do ar (°C) e insolação (h).

Este modelo é expresso pela seguinte operação matemática:

$$ER = 2 \cdot ET_{wet} - ET_{pot} \quad (\text{Eq. 32})$$

Em que:

ET_{wet} é a evapotranspiração em uma situação de ampla disponibilidade de água no solo.

ET_{pot} é a evapotranspiração potencial aparente, que ocorre quando há ampla disponibilidade de água no solo e as condições de tempo são efetivamente verificadas.

Graficamente, este modelo é representado, de acordo com McMahon *et al.*, (2013), ANA (2021), da seguinte forma (Figura 2):

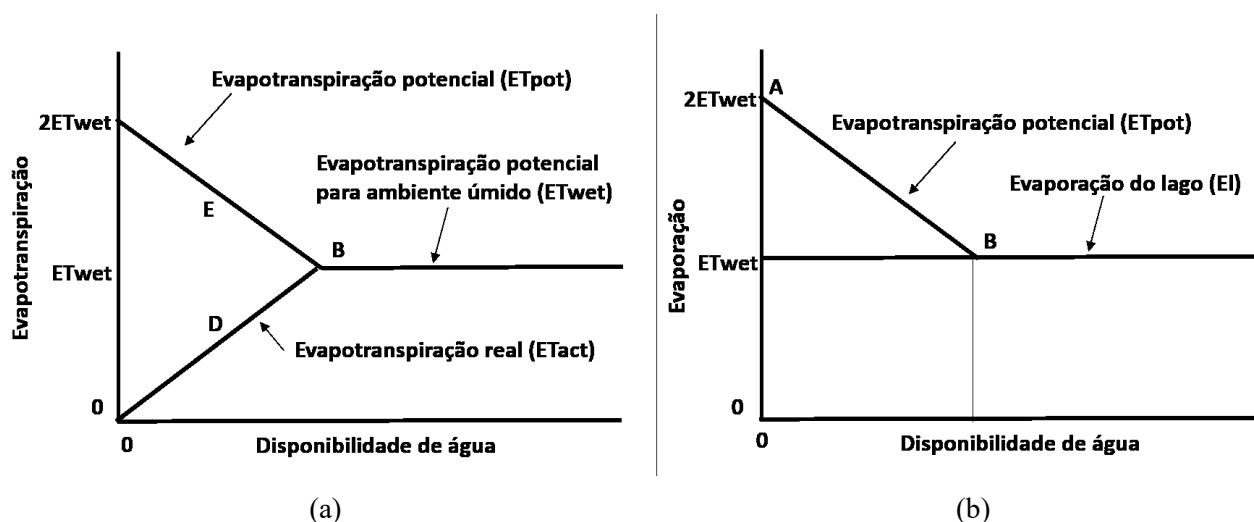


Figura 2: Representação gráfica dos modelos CRAE (a) e CRLE (b). Fonte: ANA (2021), adaptado de McMahon *et al.* (2013).

3.11. Método de Thornthwaite/Thornthwaite e Mather e Thornthwaite modificado por Camargo.

O método de Thornthwaite permite realizar uma estimativa da Evapotranspiração através do uso de dados de pluviosidade mensal, temperatura média mensal do ar e inserção da latitude do local, sem a necessidade de tomada de dados em campo.

Pode ser definido pela seguinte expressão matemática:

$$ETP = Fc. 16. \left(\frac{10.T}{I} \right)^a \quad (\text{Eq. 33})$$

T : Temperatura média do ar mensal (°C);

Fc : Fator de Correção em função da latitude para o mês do ano;

I : Índice de Calor anual;

a : $0,675. 10^{-6}. I^3 - 0,771. 10^{-4}. I^2 + 1,792. 10^{-2}. I + 0,49239$

Esse método, embora não seja recente, é amplamente difundido e utilizado nos trabalhos de Pereira e Pruitt (2004), Vieira *et al.*, (2016), Al-Sudani (2019), Camargo e Camargo (2020), Aragaw e Mishra (2021), entre outros, devido, principalmente, à baixa exigência de dados para a execução da referida técnica.

Vieira *et al.*, (2016) realizaram estimativas de evaporação nos reservatórios de Três Marias (MG) e Sobradinho (BA), através da aquisição de dados meteorológicos referentes às áreas de estudo e posterior aplicação de diferentes metodologias, dentre elas a de Thornthwaite. Os autores compararam as técnicas empregadas a partir de uma análise de regressão, concluindo que o método de Thornthwaite subestima os valores evaporados nos reservatórios analisados, quando comparado, por exemplo, com o método de Penman. No entanto, o método de Thornthwaite se mostrou o mais sensível com relação às temperaturas médias do ar.

Al-Sudani (2019) avaliou a relação entre a temperatura e a evapotranspiração potencial no Iraque a partir da aplicação do método de Thornthwaite, com a utilização de dados meteorológicos de 32 estações distribuídas por todo o país.

O autor concluiu que a relação matemática entre a temperatura média e a evapotranspiração potencial é muito forte, com coeficiente de determinação (R^2) variando de 97,45 a 99,84 em sete setores analisados. Além disso, o Mar Mediterrâneo parece influenciar nos padrões de temperatura e evapotranspiração potencial, do sudeste ao noroeste do país, causando diminuição das temperaturas médias e aumento da evapotranspiração potencial.

Aragaw e Mishra (2021) avaliaram a relação entre a curva de escoamento superficial e a duração da evapotranspiração potencial em quatro bacias na Etiópia, com base na estimativa de curva pelo método SCS-CN e da evapotranspiração potencial, utilizando o método de Thornthwaite. Para os autores, os métodos utilizados são de fácil execução por requererem menor diversidade de dados em comparação com outros métodos de balanço hídrico e de balanço energético.

Pereira (2004), utilizou-se desse método para calcular as evaporações médias mensais para o reservatório de Sobradinho (BA), localizado na Bacia hidrográfica do rio São Francisco. O autor ainda se utilizou do método para estimar a evapotranspiração real da área que viria a abrigar o reservatório em questão.

A partir da aplicação do método de Thornthwaite e Mather, Pereira (2004) encontrou resultados que mostravam um comportamento deficitário para o período analisado (1950-1976 e 1979-1999), pois a evapotranspiração potencial se apresentava superior às precipitações anuais, com as maiores diferenças entre os meses de agosto e outubro.

Ajustes na metodologia de ETP de Thornthwaite, proposta por Camargo *et al.*, (1999) – sendo definida como *Thornthwaite modificado por Camargo* – aprimoraram os resultados das estimativas.

Na proposta, Camargo *et al.*, (1999) ajustaram a equação original de Thornthwaite com o uso da temperatura efetiva (T_{ef}), a qual foi computada de maneira empírica em função da temperatura média e da amplitude diária.

$$T_{ef} = k(T + A) \quad (\text{Eq. 34})$$

Em que T corresponde a temperatura média mensal (°C) (Equação 35) e A representa a amplitude térmica média diária (Equação 36).

Assim,

$$T = \left(\frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right) \quad (\text{Eq. 35})$$

$$A = T_{max} - T_{min} \quad (\text{Eq. 36})$$

Já o valor de k foi proposto através do resultado das correlações dos valores obtidos entre as metodologias de Thornthwaite e de Penman-Monteith (CAMARGO *et al.* 1999). Dessa forma, foram sugeridos valores de $k=0,72$ para climas semiáridos e $k=0,69$ para climas tropicais.

Sendo assim, o cálculo da T_{ef} para a modificação na metodologia proposta por Thornthwaite (Thornthwaite modificado por Camargo) é:

$$T_{ef} = 0,5k (3T_{max} - T_{min}) \quad (\text{Eq. 37})$$

a qual substituirá o valor das Temperaturas médias mensais na metodologia originalmente proposta por Thornthwaite (Equação 33).

4. Discussão

O levantamento dos trabalhos sobre estimativas de evaporação em reservatórios hídricos demonstrou a possibilidade de um amplo conjunto de métodos/técnicas, sobretudo, comparando-os quando possível.

A escolha e adoção de tais métodos/técnicas ocorreu, principalmente, em função da disponibilidade de dados observacionais, bem como de equipamentos/recursos disponíveis.

Os trabalhos aqui compilados demonstraram comparações entre os principais métodos/técnicas de evaporação: *Penman-Monteith* (CAMARGO e CAMARGO, 2000; ROQUE e SANSIGOLO, 2001; FONTES, 2005; OLIVEIRA, 2009; DEMEKE *et al.* 2013; BUENO *et al.* 2016; VIEIRA *et al.* 2016; ZHOU *et al.* 2016; COELHO *et al.* 2018), *Linacre* (OLIVEIRA, 2009; PEREIRA *et al.* 2009; BUENO *et al.* 2016; VIEIRA *et al.* 2016; COELHO *et al.* 2018), *Thornthwaite* (CAMARGO e CAMARGO, 2000; VIEIRA *et al.* 2016), *Complementary Relationship Lake Evaporation - CRLE* (KAN e DIAS, 1999; PEREIRA *et al.* 2009; VIEIRA *et al.* 2016), *Kohler* (PEREIRA *et al.* 2009; VIEIRA *et al.* 2016; COELHO *et al.* 2018) e *Tanque Classe "A"* (FONTES, 2005; OLIVEIRA, 2009; PEREIRA *et al.* 2009; DEMEKE, *et al.* 2013, CABRAL JUNIOR *et al.* 2018).

Destaca-se que uma condição observada nesses trabalhos é que, praticamente, em todos os estudos comparativos, o método/técnica de Thornthwaite foi testado e nesse sentido, considerando as ideias de Camargo e Camargo (2000), qualquer método/técnica para estimar a evaporação deve atender a três importantes requisitos: *exequibilidade, simplicidade e confiabilidade*.

Tais requisitos são encontrados no conjunto de métodos/técnicas apresentados (*Penman-Monteith, Linacre, Thornthwaite, Complementary Relationship Lake Evaporation, Kohler e Tanque Classe "A"*). No entanto, o método/técnica de Thornthwaite mostrou-se como aquele mais empregado em estudos e trabalhos climatológicos.

Ainda, segundo Camargo e Camargo (2000), ao analisarem a literatura que critica o desempenho do método/técnica de Thornthwaite na estimativa da evaporação, concluíram que, apesar de basear-se apenas em dados de temperatura média e do comprimento do dia, o método/técnica tem apresentado bons resultados em regiões de clima úmido, corroborando no atendimento dos referidos requisitos (*exequibilidade, simplicidade e confiabilidade*).

5. Considerações finais

Inicialmente, o presente trabalho demonstrou que preocupações e estudos sobre a influência da formação de reservatórios hídricos na climatologia local remonta ao início do século XX e que, no Brasil, uma série de estudos sobre tais influências foram desenvolvidos a partir do final dos anos 1980. Porém, estudos sobre estimativas de evaporação em reservatórios hídricos passaram a ocorrer a partir do final dos anos 1990 e início dos anos 2000.

O trabalho também buscou demonstrar um conjunto dos principais métodos/técnicas de estimativas de evaporação aplicados a reservatórios hídricos nas mais diversas tipologias climáticas (semiárido, equatorial, tropical, subtropical).

Uma condição comumente observada nas pesquisas aqui compiladas foi que a escolha pelos métodos/técnicas a serem utilizados ocorreu em função da disponibilidade de dados no entorno dos empreendimentos/reservatórios. E que, por tratar-se de um tema amplo e complexo, diversos métodos/técnicas foram utilizados nas estimativas de evaporação em reservatórios e lagos.

Ainda, de acordo com a literatura apresentada, recomenda-se usar determinado método/técnica, ou um conjunto deles, em função dos tipos climáticos (equatorial, semiárido, tropical, subtropical etc.), do local onde os reservatórios estão instalados, bem como a disponibilidade de dados.

A literatura ainda revelou que, nas condições de clima úmido, os métodos/técnicas de Thornthwaite e de Penman normalmente apresentam resultados comparáveis e satisfatórios. Já, em condições de aridez, o modelo de Thornthwaite frequentemente subestima a evaporação e, em uma situação de superumidade topoclimática, ocorre o contrário, Thornthwaite superestima a evaporação.

Sendo assim, considerando os estudos desenvolvidos para reservatórios em ambientes de clima tropical (sazonalidade pluviométrica com elevadas temperaturas) e a facilidade de implementação dos mesmos a partir de variáveis meteorológicas comuns de serem obtidas (dados de temperatura, por exemplo), trabalhos recomendam a adoção dos métodos/técnicas de Linacre; Thornthwaite, Thornthwaite modificado por Camargo e Tanque Classe “A”, uma vez que mostraram-se bastante robustos nos resultados de seus estudos, sobretudo no Brasil.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece ao CNPq pela concessão da Bolsa de Produtividade e Pesquisa – PQ2 (Processo: 308228/2021-9). O segundo autor agradece à CAPES pela concessão de bolsa de mestrado. O quinto autor agradece à CAPES pela concessão de bolsa de Doutorado.

Referências

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). **Evaporação líquida de reservatórios artificiais no Brasil** / Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. - Brasília: ANA, 2021.

ALEXANDER, L.V. Global observed long-term changes in temperature and precipitation extremes: A review of progress and limitations in IPCC assessments and beyond. **Weather and Climate Extremes**. v.11, p.4–16. 2016

ALLEN, R. G; TASUMI, M; TREZZA, R. Satellite-Based Energy Balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration, METRIC - Model. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, 2007, p.380-394.

AL-SUDANI, H. I. Z. Temperature – Potential Evapotranspiration Relationship in Iraq Using Thornthwaite Method. **Journal of University of Babylon for Engineering Sciences**. v.27, n.1, 2019, p.16-25.

ARAGAW, H.M; MISHRA, S.K. Runoff curve number-potential evapotranspiration-duration relationship for selected watersheds in Ethiopia. **Modeling Earth Systems and Environment**, DOI: 10.1007/s40808-021-01193-6, 2021, 13p.

BAXTER, R.M., GLAUDE, P. **Environmental effects of dams and impoundments in Canada**: experience and prospects. Ottawa: Department of Fisheries and Oceans, 34 p. 1980.

BEZERRA, H. N.; BEZERRA, J. M.; RÊGO, A. T. A. Avaliação do método SEBAL para estimativa da evapotranspiração real diária no semiárido brasileiro. **Rev. Tecnol. Soc.**, Curitiba, v. 17, n. 47, p. 183-201, abr./jun. 2021.

BIGELOW, F.H. Studies on the phenomena of the evaporation of water over lakes and reservoirs. **Monthly Weather Review**. 35: p.437–445. 1908. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1908\)36<437:SOTPOT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1908)36<437:SOTPOT>2.0.CO;2)

BUENO, E.O.; MELLO, C.R.; ALVES, G.J. Evaporation from Camargos hydropower plant reservoir: water footprint characterization. **RBRH**, Porto Alegre, v. 21, n. 3, p. 570-575, jul./set. 2016.

CABRAL JUNIOR, J.B.; LUCENA, R.L.; ALMEIDA, H.A. Avaliação da evapotranspiração de referência diária, estimada pelo método tanque classe A, para Campina Grande, PB. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.11, n.06, 1971-1984. 2018.

CABRAL JUNIOR, J. B.; LUCENA, R.L.; SILVA, H.J.F.; REIS, J.A.; RODRIGUES, D.T. Considerações sobre a evapotranspiração estimada pelo algoritmo SEBAL no semiárido brasileiro. **Rev. Geociênc. Nordeste**, Caicó, v.7, n.1, (Jan-Jun) p.45-51, 2021.

CAMARGO, A.P; CAMARGO, M.B.P. Uma Revisão Analítica da Evapotranspiração Potencial. **Bragantia**, Campinas, 59(2), 125-137, 2000.

CAMARGO, A. P; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativas da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, n. 1, p. 89–97, 1997.

CAMARGO, A.P.; MARIN, F.R.; SENTELHAS, P.C. & PICINI, A.G. Ajuste da equação de Thornthwaite para estimar a evapotranspiração potencial em climas áridos e superúmidos, com base na amplitude térmica diária. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 2, p. 251-257, 1999.

CAMPOS, F.S. **Estudo de variabilidade de precipitação**. Monografia de graduação, Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, SP. 1990.

CARPENEDO, C. B. Atividade convectiva associada às anomalias de temperatura da superfície do mar no Atlântico Tropical e impactos climáticos no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, p. 64-86, 2018.

CARVALHO, A. C. B. **Estimativa dos Componentes do Balanço de Energia em Diferentes Usos da Terra da Bacia de Contribuição da Represa de Chapéu D'uvas**. Tese, Instituto de Ciências Biológicas, Doutorado em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais na Universidade Federal de Juiz de Fora, 2020.

COELHO, C. A.; OLIVEIRA, C. P.; AMBRIZZI, T.; REBOITA, M. S.; CARPENEDO, C. B.; CAMPOS, J. L. P. S.; TOMAZIELLO, A. C. N.; PAMPUCH, L. A.; CUSTÓDIO, M. S.; DUTRA, L. M. M.; ROCHA, R. P.; REHBEIN, A. The 2014 southeast Brazil austral summer drought: regional scale mechanisms and teleconnections. **Climate Dynamics**, v. 46, n. 11, p. 3737-3752, 2016.

COELHO, C.D.; SILVA, D.D.; SEDIYAMA, G.C.; MOREIRA, M.C.; PEREIRA, S.B.; LANA, A.M.Q. Estimates of monthly and annual evaporation rates and evaporated volumes per unit time in the Tucuruí-PA and Lajeado-TO Hydroelectric Power Plant reservoirs based on different methods. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.38, n.1, p.38-46, jan./feb. 2018.

COSTA, D. M. A.; MELO, H. N. S.; FERREIRA, S. R. Influência da salinidade na taxa de evaporação da água. **Holos**, Natal, p.1-7, dez. 2006.

CURTARELLI, M. P.; ALCÂNTARA, E. H.; ARAÚJO, C. A. S.; STECH, J. L.; LORENZZETTI, J. A. Avaliação da dinâmica temporal da evaporação no reservatório de Itumbiara, GO, utilizando dados obtidos por sensoriamento remoto. **Ambi-Água**, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 272-289, 2013.

CZARNOBAI, A.F.; PRUDENCIO, R.S.; RODRIGUES, M.L.G. A circulação atmosférica local na região da Usina Hidrelétrica de Itá. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia. **Anais...** Florianópolis, 2006.

DANTAS, S.P.; SALES, M.C.L. A Influência do Açude Castanhão no Clima Local de Jaguarema - Ceará – Brasil: Uma análise no campo térmico e higrométrico. **Revista Equador**, v.4, p. 2-17, 2015.

DEMEKE, T.A.; MARENCE, M.; MYNETT, A.M. Evaporation from reservoirs and the hydropower water footprint. In: International Conference and Exhibition on Water Storage and Hydropower Development for Africa, **Anais...**, Ethiopia, 2013.

- FEITOSA, G. P. **Cálculo da Evaporação em reservatório tropical por diversos métodos: o caso do Açude Gavião**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020, 104p.
- FERNANDEZ, W., CHACÓN, R.E., MELGAREJO, E.E.J.W. Modifications of Air Flow Due to the Formation of a Reservoir. **Journal of Climate and Applied Meteorology**. 25: 982–988. 1986.
- FISCH, G.F.; JANUÁRIO, M.; SENNA, R.C. Impacto ecológico em Tucuruí (PA): Climatologia. **Acta Amazonica**, 20: 49 – 60, 1990.
- FRENCH, A. N; HUNSAKER, D. J; THORP, K. R. Remote sensing of evapotranspiration over cotton using the TSEB and METRIC energy balance models. **Remote Sensing of Environment**, v.158, 2015, p,281-294.
- FONTES, A.S. **Estudo da evaporação em reservatórios situados em região semiárida: uso de bacia experimental**. Dissertação, Mestrado em Eng. Ambiental e Urbana, UFBA, 2005.
- FRAUCHES, M. S.; OLIVEIRA, T. A.; SANCHES, F.O.; FERREIRA, C.C.M. Chapéu D'Uvas: um estudo sobre as chuvas locais em reservatórios em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, p. 289-302, 2020.
- GOODLAND, R.J.A. Environmental optimization in hydrodevelopment of tropical forest regions. In. **MAN-MADE LAKES AND HUMAN HEALTHY**. Paramaribo, Suriname, 1977. Proceedings of the symposium on man-made and human healthy, Faculty of Medicien, University of Suriname, Paramaribo: ed. Panday R.S, p. 73. 1977.
- GRIMM, A.M. Verificação de Variações Climáticas na área do Lago de Itaipu – In: V Congresso Brasileiro de Meteorologia, **Anais...** Rio de Janeiro: Universidade Federal do Paraná. 1988.
- GUNKEL, G.; LANGE, U.; WALDE, D.; ROSA, J.W.C. The environmental and operational impacts of Curuá-Una, a reservoir in the Amazon region of Pará, Brazil. **Lake & Reservoirs: Research and Management**, v. 8, n. 3-4, p. 201-220, 2003.
- HENRY, A. J. Would a large reservoir increase rainfall? **Monthly Weather Review**. 48:31–32. 1920. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1920\)48<31:WALRIR>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1920)48<31:WALRIR>2.0.CO;2).
- HOPPE, I.L.; WOLMANN, C.A. Análise da precipitação pluviométrica e a presença de nevoeiros no entorno próximo do reservatório da Usina Hidrelétrica de Dona Francisca em Agudo/RS. **Revista Brasileira de Climatologia**, Ano 14, Vol. 22, Jan/Jun, 2018.
- KAN, A.; DIAS, N.L. Evaporação, Evapotranspiração e Evaporação líquida no reservatório de Foz do Areia. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.4, n.3, Jul/Set 1999.
- LEÃO, R.A.O.; SOARES, A.A.; TEIXEIRA, A.S.; SILVA, D.D. Estimativa da evaporação no açude Banabuiú, no Estado do Ceará, por diferentes métodos combinados, derivados da equação de Penman. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n. 1, p. 129-144, 2013.
- LEITÃO, M. De M. V. B. R; OLIVEIRA, G. M de; LEITÃO, T. J. V. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa de evaporação para duas regiões da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.6, Campina Grande, 2007, p.585-593.
- LIMA, M. P.; CARPENEDO, C. B. Eventos extremos secos em Uberlândia-MG e circulação atmosférica associada. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, p. 158-180, 2020.
- MARIN, F.R.; ANGELOCCI, L.R.; PEREIRA, A.R.; SENTELHAS, P.C.; VILLA NOVA, N.A. Balanço de Energia e Consumo Hídrico em pomar de lima ácida ‘Tahiti’. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.17, n.2, 219-228, 2002.

- MCCMAHON, T.A.; PEEL, M.C.; LOWE, L.; SRIKANTHAN, R.; MCVICAR, T.R. Estimating actual, potential, reference crop and pan evaporation using meteorological data: a pragmatic synthesis. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.17, p.1331-1363, 2013.
- MORTON, F. I. Operational estimates of areal evapotranspiration and their significance to the science and practice of hydrology. **Journal of Hydrology**, v. 66, p. 1–76, 1983a.
- MORTON, F. I. Operational Estimates of Lake Evaporation. **Journal of Hydrology**, v. 66, p. 77–100, 1983b.
- MORTON, F. I.; RICARD, F.; FOGARASI, S. **Operational estimates of areal evapotranspiration and lake evaporation – program WREVAP**. Ottawa, Canada: National Hydrology Research Institute, 1985.
- NOVAIS, R. N. **Avaliação dos impactos das mudanças climáticas no regime hidrológico do Sistema Cantareira**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016, 167p.
- NÓBREGA, M. T; COLLISCHONN, W; TUCCI, C. E. M; PAZ, A. R. Uncertainty in climate change impacts on water resources in the Rio Grande Basin, Brazil. **Hydrology and Earth System Sciences**. v.15, 2011, p.585-595.
- OLIVEIRA, G. M; LEITÃO, M. De M. V. B. R; GALVÃO, C. O; LEITÃO, T. J. V. Estimativa e Análise do Uso do Coeficiente (Kp) do Tanque “CLASSE A” nas Regiões do Cariri e Sertão da Paraíba. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.10, n.4, 2005, p.73-83.
- OLIVEIRA, R. R. V. de M. Perda de água por evaporação em um pequeno reservatório do semiárido. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil. Natal, RN, 2017 - 2017.
- OLIVEIRA, G. X. S. **Relações entre medidas de evaporação de superfícies de água livre por evaporímetros e estimativas por métodos meteorológicos em duas regiões do estado de São Paulo**. Tese de Doutorado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ/USP), Piracicaba, 2009, 102p.
- PALMER, W.S. The shoshone reservoir. **Monthly Weather Review**. 38: 394–395. 1910. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1910\)38<394:TSR>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1910)38<394:TSR>2.0.CO;2)
- PEREIRA, A. R; PRUITT, W. O. Adaptation of the Thornthwaite scheme for estimating daily reference evapotranspiration. **Agricultural Water Management**. v.66, 2004, p. 251-257.
- PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(trans)piração**. Piracicaba: FEALQ, 1997.
- PEREIRA, S.B.; PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D.; RAMOS, M.M. 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.
- RIBEIRO NETO, A.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; MOURA, A.R.C.; CIRILO, J.A. Estimativa da evaporação no lago de Sobradinho com o método do balanço de energia. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, **Anais...**, São Paulo, 2007.
- RODRIGUES, A. L; VILLA, P. M; MATA, R. A; MARTORANO, L. G. Balanço Hídrico de uma microbacia hidrográfica na mata atlântica: implicações para o manejo de recursos hídricos. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.26, 2020, p.614-628.
- RODRIGUES, M.L.G., CANÔNICA, E. Análise preliminar do impacto do reservatório de Itá no clima local. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia. **Anais...** Florianópolis, 2006.
- ROQUE, R.O.; SANSIGOLO, C.A. Estimativas de Evaporação do Lago de Taquaruçu, SP pelo Modelo Conceitual de Morton. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.6 n.1 Jan/Mar 2001, 21-28.

SANCHES, F.; FISCH, G. As possíveis alterações microclimáticas devido à formação do lago artificial da hidrelétrica de Tucuruí-PA. **Acta Amazonica**. vol. 35 n.1 Manaus, 2005.

SANCHES, F.O.; BIAVATI, A.; SOUZA, D.; SILVA, R.V.; FERREIRA, R.V. Chuvas em Marcelino Ramos (RS): influência do lago da UHE de Itá ou do ENOS? **Revista de Ciências Humanas**, v. 15, p. 338-348, 2015.

SANCHES, F.O.; FERRAZO, S.T., SILVA, R.V., CHECHI, L., FERREIRA, R.V. Influence the Hydroelectric Power Plant of Passo Fundo Lake (RS, Brazil) on local rainfall pattern. **Revista Brasileira de Climatologia**, ano 13, v.20, 2017.

SANCHES, F.; FERREIRA, C.C.M; VIANNA, Y. C. G.; OLIVEIRA, T.A. O início e o final da estação chuvosa no entorno do reservatório Chapéu D'Uvas, MG. In: XV Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, **Anais...** Guarapuava-PR. 2023.

SANCHES, F.; ROCHA, V.M.; FERREIRA, C.C.M.; OLIVEIRA, T. A.; FRAUCHES, M. S.; VIEIRA, A.T.; SOALHEIRO JUNIOR, G. PCH Autódromo (RS): um estudo sobre a umidade relativa do ar no entorno de seu reservatório hídrico. **Caminhos da Geografia** (UFU. Online), v. 23, p. 424-439, 2022.

SANCHES, F.; SILVA, R. V.; FERREIRA, R.V; CAMPOS, C.A.A. Climate Change in the Triângulo Mineiro Region - Brazil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, p. 570-587, 2017.

SILVA FILHO, V.; RABELO, J.K.L. Detecção de possíveis diferenças ocorridas no comportamento da atmosfera local, como consequência da introdução do lago Castanhão no estado do Ceará. In: XVII Congresso Brasileiro de Meteorologia, **Anais...** Gramado-RS, 2012.

SOARES, L. L; BURIOL, G. A; ESTEFANEL, V. Perda d'água por evaporação em represas e lagos na região de Santa Maria, RS. **Disciplinarum Scientia**, v.16, n.1, Santa Maria, 2015, p.33-44.

SOUZA, M.B.; GALVANI, E. (2010). Formação de reservatórios e influências no microclima: estudo da cidade de Presidente Epitácio, Estado de São Paulo, Brasil. In: VI Seminário Latino-Americano de Geografia Física e II Seminário Ibero-Americano de Geografia Física. **Anais...** Universidade de Coimbra, Portugal, 2010.

VIEIRA, N.P.A.; PEREIRA, S.B.; MARTINEZ, M.A.; DA SILVA, D.D.; SILVA, F.B. Estimativa da evaporação nos reservatórios de Sobradinho e Três Marias usando diferentes modelos. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural, Engineering**, v.36, n.3, p.433-448, mai./jun. 2016.

VILLA NOVA, N. A; MIRANDA, J. H; PEREIRA, A. B; OLIVEIRA, K. Estimation of Evapotranspiration by a simplified Penman-Method. **Engenharia Agrícola**, v.26, Jaboticabal, 2006, p.713-721.

ZHOU, J.; WANG L.; ZHANG Y.S; GUO, Y.H.; HE D. Spatiotemporal variations of actual evapotranspiration over the Lake Selin Co and surrounding small lakes (Tibetan Plateau) during 2003–2012. **Science China Earth Sciences**, 59: 2441–2453, 2016.



Este artigo é distribuído nos termos e condições do *Creative Commons Attributions/Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual* (CC BY-NC-SA).