

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
ENGENHARIA AMBIENTAL

MARCELO ALVES DARIVA

**EVAPORAÇÃO DE UM RESERVATÓRIO ESCAVADO OU PISCINÃO PARA
IRRIGAÇÃO EM UBERLÂNDIA/MG**

Uberlândia

2023

MARCELO ALVES DARIVA

**EVAPORAÇÃO DE UM RESERVATÓRIO ESCAVADO OU PISCINÃO PARA
IRRIGAÇÃO EM UBERLÂNDIA/MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Hudson de Paula
Carvalho

Uberlândia

2023

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

D218 2023	<p>Dariva, Marcelo Alves, 1998- EVAPORAÇÃO DE UM RESERVATÓRIO ESCAVADO OU PISCINÃO PARA IRRIGAÇÃO EM UBERLÂNDIA/MG [recurso eletrônico] / Marcelo Alves Dariva. - 2023.</p> <p>Orientador: Hudson de Paula Carvalho. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Uberlândia, Graduação em Engenharia Ambiental. Modo de acesso: Internet. Inclui bibliografia. Inclui ilustrações.</p> <p>1. Engenharia ambiental. I. Carvalho, Hudson de Paula ,1976-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Graduação em Engenharia Ambiental. III. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 628.5</p>
--------------	--

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:
Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária
Rodovia BR 050, Km 78, Bloco 1CCG, Sala 208 - Bairro Glória, Uberlândia-MG, CEP 38400-902
Telefone: 34 2512-6711/6712 - coamb@iciag.ufu.br



ATA DE DEFESA - GRADUAÇÃO

Curso de Graduação em:	Engenharia Ambiental				
Defesa de:	GET059 - Trabalho de Conclusão de Curso 2				
Data:	12/05/2023	Hora de início:	15:00	Hora de encerramento:	17:00
Matrícula do Discente:	11721EAB010				
Nome do Discente:	Marcelo Alves Dariva				
Título do Trabalho:	EVAPORAÇÃO DE UM RESERVATÓRIO ESCAVADO OU PISCINÃO PARA IRRIGAÇÃO EM UBERLÂNDIA-MG				

Reuniu-se, na sala 121 do bloco BCG do Campus Glória, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental, assim composta: Carlos Eugênio Pereira - FECIV/UFU, Márcia Regina Batistela Moraes - ICIAG/UFU e Hudson de Paula Carvalho - ICIAG/UFU orientador do candidato.

Iniciando os trabalhos, o presidente da mesa, Prof. Dr. Hudson de Paula Carvalho, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato, agradeceu a presença do público, e concedeu ao discente a palavra, para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do curso.

A seguir o(a) senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

(A)provado. Nota: 90 (Noventa pontos)

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Hudson de Paula Carvalho, Professor(a) do Magistério Superior**, em 12/05/2023, às 16:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.



Documento assinado eletronicamente por **Marcia Regina Batistela Moraes, Técnico(a) de Laboratório**, em 12/05/2023, às 17:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.



Documento assinado eletronicamente por **Carlos Eugênio Pereira, Professor(a) do Magistério Superior**, em 12/05/2023, às 17:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4476802** e o código CRC **011343CB**.

RESUMO

A água é fundamental para a vida humana e a sua aplicação na produção agrícola é essencial para garantir a segurança alimentar. Uma técnica comum utilizada na irrigação é o armazenamento de água em reservatórios, no entanto, a evaporação é considerada uma perda significativa de água pelos gestores dos recursos hídricos. Este trabalho teve como objetivo avaliar a perda por evaporação em um reservatório na bacia do ribeirão Douradinho, utilizando dados de uma estação meteorológica convencional, e comparar esses dados com a evapotranspiração hipotética da cultura do milho na região. Os resultados indicaram que a evaporação do reservatório é consideravelmente maior do que a demanda hídrica da cultura do milho na região, o que sugere que o volume evaporado poderia ser melhor utilizado para irrigação. Essa informação pode ter implicações importantes para a gestão sustentável dos recursos hídricos na região, permitindo a otimização do uso da água e a promoção de práticas agrícolas mais eficientes e sustentáveis.

Palavras-chave: irrigação; evaporação; evapotranspiração; Penman; reservatório.

ABSTRACT

Water is essential for human life, and one of its applications can be found in agricultural production, such as irrigation. An effective method of using irrigation is by accumulating water in reservoirs. However, the process of evaporation is seen by water management officials as a "loss" that negatively impacts the dense network of reservoirs in the region. The aim of this study is to evaluate the loss due to evaporation using the Penman method, using data from a conventional meteorological station located in a reservoir in the Douradinho stream basin, and comparing it with the hypothetical evapotranspiration data of a maize crop planted in the region. The results showed that the volume of water lost due to evaporation in the reservoir is considerably higher than the water demand of maize in the region, suggesting that the evaporated volume could be better utilized for irrigation purposes. This information can have important implications for the sustainable management of water resources in the region, allowing for the optimization of water use and the promotion of more efficient and sustainable agricultural practices.

Keywords: irrigation; evaporation; evapotranspiration; Penman; reservoir.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1: (A) Imagem do reservatório escavado.....	16
FIGURA 2: (B) Imagem do reservatório escavado.....	16
FIGURA 3: Mapa da bacia hidrográfica do Ribeirão Douradinho.....	17
FIGURA 4: Estação meteorológica Automática instalada na Fazenda Água Limpa, da Universidade Federal de Uberlândia.....	18
FIGURA 5: Cálculo do Coeficiente de Cultura.....	22
GRÁFICO 1: Médias mensais de temperatura (máxima, mínima e média) e umidade relativa do ar com dados de fevereiro de 2012 a fevereiro de 2022.....	25
GRÁFICO 2: Médias mensais de velocidade do vento e umidade relativa do ar com dados de fevereiro de 2012 a fevereiro de 2022.....	26
GRÁFICO 3: Médias mensais de radiação solar com dados de fevereiro de 2012 a fevereiro de 2022.....	27
GRÁFICO 4: Médias mensais de precipitação com dados de fevereiro de 2012 a fevereiro de 2022.....	28
GRÁFICO 5: Médias mensais de Evaporação pelo método de Penman com dados de fevereiro de 2012 a fevereiro de 2022.....	29
FIGURA 6: Resultado do Coeficiente de Cultura do milho.....	28
GRÁFICO 6: Médias mensais de Evapotranspiração da cultura do milho pelo método de Penman-Monteith com dados de fevereiro de 2012 a fevereiro de 2022.....	33
GRÁFICO 7: Relação entre Evapotranspiração da cultura com a precipitação na Região da bacia do Ribeirão Douradinho.....	35

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Características e dimensões do reservatório.....	15
TABELA 2: Dados climatológicos com base em dados originários da Estação Meteorológica Água Limpa, no período de fevereiro de 2012 a fevereiro de 2022.....	24
TABELA 3: Dados para estimativa de evaporação do reservatório de estudo obtidos de fevereiro de 2012 a fevereiro de 2022.....	29
TABELA 4: Médias mensais de evaporação - Método de Penman, no período de 2012 a 2022.....	30
TABELA 5: Dados médios para estimativa de evapotranspiração de referência e de cultura do milho obtidos de fevereiro de 2012 a fevereiro de 2022.....	32
TABELA 6: Médias mensais de evapotranspiração de cultura no período de 2012 a 2022.....	34
TABELA 7: Avaliação da evaporação do reservatório de contenção em relação a evapotranspiração da cultura e precipitação na bacia do ribeirão Douradinho. Dados médios de fevereiro de 2012 à fevereiro de 2022.....	36

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1 Evaporação em superfícies livres	9
2.1.1 Método de Penman	11
2.2 Definição de evapotranspiração	12
2.2.1 Evapotranspiração de Referência	12
2.2.2 Método de Penman-Monteith (FAO).....	13
2.2.3 Evapotranspiração de cultura	14
3. METODOLOGIA.....	15
3.1 Área de estudo.....	15
3.2 Aquisição de dados meteorológicos.....	18
3.3 Estimativa da evaporação do reservatório de contenção pelo método de Penman....	19
3.4 Estimativa de evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith..	21
3.5 Evapotranspiração de cultura	22
3.6 Volume evaporado.....	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4.1 Análise dos dados meteorológicos	23
4.1.1 Temperatura e Umidade Relativa do ar.....	24
4.1.2 Velocidade do vento.....	25
4.1.3 Radiação Solar	26
4.1.4 Precipitação.....	27
4.2 Estimativa da evaporação pelo método de Penman	28
4.3 Estimativa da evapotranspiração pelo método de Penman-Monteith.....	30
4.3.1 Coeficiente de Cultura (Kc).....	31
4.3.2 Evapotranspiração de cultura (ETc)	32
4.4 Avaliação dos resultados	34
5. CONCLUSÃO.....	37
REFERÊNCIAS	38

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural essencial para a sobrevivência humana, e sua escassez vem sendo um assunto bastante comentado em relação à sustentabilidade e ao futuro do planeta, no entanto, a economia dos recursos hídricos faz parte de ações efetivas ainda recentes e exíguas, tendo em vista o crescimento contínuo da carência hídrica (SILVA *et al.*, 2021).

De acordo com Barbieri *et. al* (2010), as indústrias estão incluídas no setor que faz o maior uso dos recursos naturais e que mais polui o meio ambiente, principalmente os corpos hídricos, todavia, a maior fonte de uso da água está concentrada no setor agrícola. No Brasil, o crescimento projetado para a agropecuária é de 42% até 2030, e estima-se que 67% da água captada no país seja destinada a esta atividade (COSTA *et. al.*, 2021).

Considerando essas informações, justifica-se a alta demanda de uso da água no setor agrícola pelas pressões que ocorrem nesse sistema, sendo algumas delas: o crescimento populacional, o aumento da demanda de variedades alimentares e as exigências ambientais (RODRIGUES *et al.*, 2017).

Segundo a Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico (2023), no Brasil, a área irrigada abrange aproximadamente 8,2 milhões de hectares e engloba uma variedade de culturas, incluindo arroz, café, cana-de-açúcar irrigada, cana-de-açúcar fertirrigada, culturas anuais em pivôs centrais, entre outras. O município de Uberlândia, em Minas Gerais, possui uma extensão de 12.768 hectares destinados à irrigação. Dessa área total, cerca de um quarto é dedicado às culturas anuais.

Christofidís (2017) diz que, o desenvolvimento da produtividade agropecuária no Brasil é resultante de diversos fatores, destacando a racionalização de plantio e de manejo sustentável dos sistemas de produção; a utilização de variedades de maior eficiência e a modernização na implantação de sistemas de irrigação inovadores e sustentáveis.

Aproximadamente um quarto do território brasileiro é composto pelo bioma Cerrado, classificado como o segundo maior do país, com uma produtividade excelente de soja e carne bovina, se tornando referência no cenário mundial. Essa região apresenta um clima tropical, com estação chuvosa começando em outubro e finalizando em abril, e sua estação seca de maio a setembro, por este fator, o desenvolvimento agrícola dessa região se torna limitado, demonstrando a importância da irrigação neste processo (PEREIRA *et al.*, 2012).

Em regiões com estações bem definidas (inverno seco e verão chuvoso), o cenário de mudanças climáticas, principalmente em eventos de seca recorrentes, pode causar impactos significativos na agricultura em comparação às áreas com chuvas bem distribuídas ao longo do

ano. (PINHATI 2018). Assim, em regiões como essa, Maranesi (2002) diz que reservatórios desempenham uma função necessária na operação de sistemas de irrigação pelo acúmulo de água que objetiva formar reservas hídricas para suprir as demandas de uso da água nos períodos de escassez ou em estações secas. No Cerrado brasileiro, é perceptível o aumento do número de pequenos reservatórios construídos para contribuir no processo de irrigação da região (BRITO *et al.*, 2012).

Reservatórios mal dimensionados podem dificultar o funcionamento de projetos de irrigação, e seus problemas de dimensionamento, em grande parte, são por falta de informações locais, sejam elas climatológicas ou do próprio dimensionamento do reservatório. Desta forma, é notável a relevância dos dados referentes à construção e ao local de um reservatório. Então, a principal forma de lidar com esses problemas, é o entendimento de variáveis que possam interferir na dinâmica da água dentro de um reservatório, dentre elas, destaca-se a evaporação (ALTHOFF, 2019).

A evaporação é uma variável importante no balanço hídrico de um reservatório pelo fato de que o fluxo de calor latente pode transferir quantidades significativas de água e energia para a atmosfera. Este processo gera uma “perda” de água em sua original funcionalidade, pois representa um volume significativo que estaria disponível para uso. (FEITOSA, 2020).

O conhecimento das perdas por evaporação tem um papel fundamental para a garantia ao atendimento da demanda hídrica, gerenciamento e planejamento das características de um reservatório, sejam elas referentes a sua finalidade de uso, o manejo da água, sua gestão e operação, a construção e os dimensionamentos. Existem diversos fatores que influenciam a variação da taxa de evaporação, sejam eles físicos, como as dimensões (área da superfície e profundidade), ou meteorológicos como a radiação solar, temperatura, velocidade do vento, déficit de pressão de vapor e pressão atmosférica. (FEITOSA, 2020).

Penman (1956) relata que, para estimar quantitativamente a evaporação, existe uma forma onde é adotada uma área superficial de um reservatório e assim, estima-se a energia de entrada dependendo dos parâmetros meteorológicos e do ambiente onde está inserido o objeto de estudo, e o cálculo pode ser realizado pelo uso de modelos com fundamentos no balanço de energia, nos processos de transferência de massa ou no balanço hídrico.

Segundo Feitosa (2021) o cálculo da evaporação real em áreas superficiais livres não é simples, e estudos experimentais sobre os processos físicos ou de estimativa deste parâmetro são escassos, assim, a aquisição de dados se reduzem a referenciais, que, em grande parte devem ser valores estimados por relações empíricas com base em variáveis climatológicas de locais relativamente distantes do objeto de estudo.

A evaporação da água e a transpiração das plantas são processos cruciais e ocorrem simultaneamente, desempenhando um papel fundamental na definição do consumo hídrico das culturas, conhecido como evapotranspiração da cultura. Embora haja diversas técnicas disponíveis para medir esse parâmetro, muitas delas requerem equipamentos de alto custo, limitando-se principalmente a fins de pesquisa. (Pereira *et al.*, 1997a). E com a ausência de equipamentos, pesquisadores estimam valores com base na Evapotranspiração de referência (ET_o), que se refere a uma cultura hipotética como um gramado, mantida sob condições ideais de crescimento, e no coeficiente de cultura (k_c), que se refere ao efeito das características da cultura no requerimento de água (MEDEIROS, 2002).

O impacto da evaporação nos reservatórios pode ter efeitos substanciais na viabilidade e estabilidade temporal do suprimento de água. A perda contínua de água devido à evaporação pode reduzir significativamente a capacidade de armazenamento dos reservatórios, agravando o problema de escassez de recursos hídricos em uma determinada região. Essa diminuição na disponibilidade de água pode ter consequências diretas para o abastecimento público, a irrigação agrícola e outros setores que dependem do uso desse recurso vital. Portanto, compreender e mitigar os efeitos da evaporação é fundamental para garantir a sustentabilidade hídrica a longo prazo e a gestão eficiente dos recursos disponíveis (ZHANG *et al.*, 2017).

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar a evaporação em um reservatório com a finalidade de uso para irrigação pelo método de Penman (1948) e comparar com a evapotranspiração de cultura de milho pelo método de Penman-Monteith (1956). Os objetivos específicos são: (i) avaliar a evaporação do reservatório através do método de Penman (1948) com base em dados de uma estação meteorológica à aproximadamente 4 quilômetros de distância do corpo d'água; (ii) Comparar os valores de evaporação a evapotranspiração do milho irrigado na bacia hidrográfica do objeto de estudo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Evaporação em superfícies livres

A precipitação, infiltração, evapotranspiração e condensação são alguns dos componentes do ciclo hidrológico, e a evaporação constitui um dos principais deles, pois através deste processo, ocorre a transferência de água para a atmosfera, possibilitando posteriormente a ocorrência de chuvas. (CHOW *et. al.*, 1988). O conceito de Evaporação, em

termos gerais, se baseia na passagem da fase líquida para a fase gasosa em superfícies livres de massa de água, e o processo natural ocorre quando há entrada de energia solar ou da atmosfera, onde serão ordenados pela taxa de energia na forma de vapor, propagando-se na superfície da terra. (TUCCI & BELTRAME, 1993).

Segundo Penman (1948), a taxa de evaporação é uma variável que depende de fatores climáticos e da própria superfície evaporante. E os principais contribuintes desses fatores que possibilitam a evaporação, são a radiação solar, a temperatura do ar, a umidade relativa, a velocidade do vento e a pressão atmosférica.

Quando a radiação solar interage com a superfície da água, uma parte é refletida, e outra é absorvida nas camadas superficiais ou penetrada na massa hídrica. Essa relação entre radiação incidente e refletida é chamada de albedo (a) que em uma superfície aquática pode variar entre 0,05 e 0,15 dependendo da turbidez do corpo hídrico. Existe uma relação inversamente proporcional à energia refletida e a energia absorvida pela massa de água. Então quanto maior o albedo, menor a evaporação. Chegando à conclusão de que toda a energia que se irradia gera vaporização da água, conseqüentemente, contribuindo para o aquecimento do ar (MOLLE, 1989).

Existem diversos métodos utilizados para estimar a evaporação, entre eles, destacam-se aparelhos de medição direta, como o Tanque Classe A e o Evaporímetro de Piché. O Tanque Classe A consiste em um tanque de alumínio com dimensões padronizadas, no qual é realizado o registro diário da evaporação. Já o Evaporímetro de Piché é composto por um tubo cilíndrico de vidro com medidas fixas, sendo a extremidade inferior vedada por um disco de papel molhado. A água destilada evapora por esse dispositivo, e a diminuição do nível de água no tubo permite o cálculo da taxa de evaporação. Ambos os métodos proporcionam meios precisos de quantificar a evaporação e são amplamente utilizados na prática para estimar a perda de água por evaporação em diferentes contextos e aplicações. Existem outros métodos como os que verificam o balanço de energia e massa de um corpo d'água para o cálculo de evaporação, o Método aerodinâmico que se baseia na correlação entre a velocidade do vento, vapor d'água e calor, ou a Estimativa da evaporação por sensoriamento remoto, onde aplica os dados de satélites que podem estudar a dinâmica do processo de evaporação. Mas, a forma mais usada para calcular a evaporação de reservatórios tem sido pelo método formulado por Penman em 1948 (RODRIGUES, 2020).

2.1.1 Método de Penman

Em 1948, Penman desenvolveu um método inovador ao combinar abordagens de transferência de massa e balanço de energia para estimar a evaporação em águas abertas. Sua contribuição revolucionária eliminou a necessidade de medir a temperatura da superfície dos reservatórios, simplificando o processo de estimativa. O resultado foi uma expressão matemática que permite calcular a taxa de evaporação em milímetros por dia. Essa abordagem considera fatores como a temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento e radiação solar para fornecer uma estimativa precisa da perda de água por evaporação em ambientes aquáticos. O método de Penman é amplamente utilizado e continua sendo uma ferramenta valiosa para a gestão e monitoramento de recursos hídricos em águas abertas (RODRIGUES, 2020).

Feitosa (2020) compara 3 métodos de evaporação em um reservatório tropical no estado do Ceará, adotando o método de Penman, usando 3 estações situadas em diferentes posições, o balanço hídrico, e o sensor de alta precisão, que mede a diferença de nível d'água com base em medidas de pressão. O método de Penman, calculado com base em dados do posto de coleta localizado no interior do reservatório, obteve resultados mais confiáveis em uma escala diária. A diferença na evaporação média desses métodos variou entre 1 e 7 mm/dia. Conclui-se que no método de Penman, no semiárido brasileiro, quanto mais distante a estação meteorológica do corpo d'água, menor a precisão de medida de evaporação.

Althoff (2019) avalia a evaporação de água em pequenos reservatórios, onde seu trabalho objetiva propor métodos de estimativa de evaporação de água em pequenas barragens. Foram avaliados 14 métodos de estimativa de evaporação além de utilizar modelos empíricos baseados em Tanque Classe A, regressões lineares múltiplas e técnicas de aprendizado de máquina. O autor conclui que dois métodos cuja base conceitual fundamentada na equação de Penman apresentam como vantagem a consideração do termo aerodinâmico e saldo de radiação, porém, apesar do método de Penman ser frequentemente recomendado na literatura, não apresentou um desempenho satisfatório.

Segundo Antonopoulos (2016), o método de Penman é um dos métodos mais confiáveis e utilizados para estimar a evaporação de reservatórios, e em relação aos outros, se correlaciona como o melhor método referente ao orçamento energético. A disponibilidade de informações climatológicas é considerada primordial para o método de Penman, pois necessita de diversos dados, uma vez que requer a medição de muitas variáveis meteorológicas.

2.2 Definição de evapotranspiração

A evapotranspiração é definida pela estimativa do consumo de água pelas plantas, onde, para Thornthwaite (1948), o fenômeno chamado de evapotranspiração potencial, é a perda máxima de água em uma superfície de solo bem umedecido, completamente coberta com vegetação, em fase de desenvolvimento ativo e com dimensões suficientemente grandes de forma com que minimize os efeitos de energia local, onde o desatendimento de alguma dessas condições, tem-se a evapotranspiração real.

Simultaneamente, Penman (1948), definiu a evapotranspiração potencial (ETP) como um processo de transferência de água para a atmosfera, na unidade de tempo, de uma superfície totalmente coberta por vegetação verde, de porte baixo, em pleno desenvolvimento e sem restrição de água no solo, demonstrando a importância de a vegetação ser rasteira, e com uniformidade em sua altura, sendo assim, a grama foi definida como um padrão para os cálculos, em razão de sua utilização nos postos meteorológicos. Sendo essa definição bastante usada até que surgiu a necessidade de um conceito que envolvia diferentes culturas utilizadas (Medeiros, 2002).

Segundo Alencar (2011), a quantidade de água necessária para produzir fruto de um determinado cultivo é estimada pelas condições climáticas e a evapotranspiração dessa cultura, sendo a variação dessa evapotranspiração ligada a variáveis meteorológicas como o vento que desloca as parcelas de ar mais úmidas, substituindo pelas secas, a umidade do ar onde a saturação do ar faz com que a taxa de evaporação diminua, a temperatura onde maiores valores desse parâmetro acarretam em uma maior pressão de saturação de vapor, fazendo com que o ar possua a capacidade de deter vapor de água e a radiação solar, que no processo de evaporação, a fonte de energia primária, como o sol, é indispensável para este cálculo (HARTWIG, 2012).

Na determinação da evapotranspiração, é possível a utilização dos métodos diretos, que consistem no uso de lisímetros e do balanço hídrico do solo, e os métodos indiretos, que possuem como destaque o modelo de Penman-Monteith (JORDANA, 2022).

2.2.1 Evapotranspiração de Referência

A definição de evapotranspiração de referência (ET_o) surgiu como a taxa de evapotranspiração para uma extensa superfície, com cobertura gramada de altura uniforme, entre 8 e 15 cm, em crescimento ativo, com o solo completamente sombreado e sem déficit de água para grama de referência rebaixada através de cortes (DOORENBOS & PRUIT, 1977;).

Doorenbos & Pruitt (1977) recomenda o cálculo da evapotranspiração das culturas em três etapas, sendo a primeira delas a determinação do efeito do clima no requerimento de águas pelas culturas, dados pela evapotranspiração de referência (ET_o), a segunda etapa é determinada pela necessidade da cultura no requerimento de água determinado pelo cálculo do coeficiente de cultura (k_c) e a terceira etapa é a observação dos efeitos das condições locais e práticas agrícolas no requerimento de água pelas culturas, sejam eles pela dimensão do campo, disponibilidade de água, salinidade e métodos de cultivo e irrigação.

Os únicos parâmetros que podem alterar a ET_o são as condições meteorológicas e para Albuquerque e Coelho (2021) a evapotranspiração de referência é a evapotranspiração de superfície extensa coberta com grama alta e uniforme com um crescimento ativo e que cobre por completo a superfície do solo sem restrição de umidade. De acordo com França (2021) existem vários pesquisadores que usam técnicas que tomam por base fundamentações físicas como a maneira mais comum na determinação da Evapotranspiração, e essas metodologias podem proporcionar resultados desiguais de ET_o para um mesmo lugar, são eles: Thornthwaite; Penman; Priestley e Taylor; Doorenbos e Prush; Hargreaves; Penman-Monteith FAO-56; Unlu, Kapur; Schrader, Duner, Frank, Gebler, Putz, Hannes e Wollschger; e Gebler, Franssem, Putz, PostSchmith e Vereecken.

Relata Smith (1991) no Relatório de Consultores Especialistas nos Procedimentos para Revisão do Roteiro da Food and Agriculture Organization (FAO), com relação a Precisoões de Requerimento de Água pelas culturas, existe uma conclusão unânime dizendo que a equação que mais compete para o cálculo da estimativa de ET_o é a de Penman-Monteith.

2.2.2 Método de Penman-Monteith (FAO)

Em meados da década de 90, depois da conferência da FAO na Itália, foi adotado como padrão o modelo de Penman-Monteith para calcular a evapotranspiração de referência, sendo considerado o mais completo devido ao seu embasamento físico e capacidade de ser adaptado a qualquer localidade. (ALLEN *et al.*, 1998).

Segundo Peres (1994), Penman desenvolveu sua equação considerando a velocidade do vento em comparação com a superfície de água livre, baseando-se em duas premissas: que as fontes de calor sensível ocorram no mesmo plano e que a pressão de vapor da superfície evaporante seja igual à pressão de vapor de saturação da água na temperatura da superfície.

Nesse método é notável os bons resultados obtidos, porém requer o uso de diversas variáveis climatológicas para sua determinação, são eles: Dados de temperatura (T), umidade

relativa do ar (UR), radiação solar (RS) e velocidade do vento (V), tais parâmetros dependem diretamente de uma estação meteorológica para sua medição, o que em alguns lugares podem não estar dispostos (SANTOS *et al.*, 2016).

Jensen *et al.* (1990) diz que a precisão desse método é maior quando usada na base horária e somando os valores para obter estimativa diária da Evapotranspiração de referência.

2.2.3 Evapotranspiração de cultura

Uma irrigação eficiente depende do conhecimento da evapotranspiração de cultura (ET_c), pois assim é possível determinar a quantidade correta de água que a planta necessita para seu desenvolvimento (DOORENBOS; KASSAM, 1979). Este termo combina dados de evaporação da água presente no solo e na transpiração das plantas, independentemente de fatores externos e o solo em boas condições de umidade e fertilidade (ALBUQUERQUE, 2000).

A medição da Evapotranspiração de cultura (ET_c) pode ser dividida em métodos diretos ou indiretos. Existem fatores importantes que devem ser levados em consideração na escolha do método, sendo elas a precisão requerida, custo das medições e a adequabilidade às condições de estudo (VENÂNCIO L.P. *et al.*, 2019). As medidas mais precisas para o cálculo desse parâmetro são obtidas sobre uma superfície homogênea usando técnicas convencionais, por exemplo, a metodologia definida como razão de Bowen (RB) ou o sistema de lisímetro (COSTA *et al.*, 2018). Caso o objetivo seja a realização do monitoramento do balanço hídrico solo-planta em áreas irrigadas, o mais indicado seria a metodologia descrita no FAO-56 (FARG *et al.*, 2012; YANG *et al.*, 2014).

Dentre as diversas metodologias para a determinação da evapotranspiração de cultura aceitas pela FAO, existe uma em que pode ser calculado a partir da evapotranspiração de referência (ET_o), e pela incorporação das características das fases fenológicas de uma cultura por meio do coeficiente de cultura (K_c) (DOORENBOS; KASSAM, 1979).

O coeficiente de cultura (K_c) reflete a magnitude que uma cultura atende com uma determinada demanda, sendo assim, a FAO sugere estimar a demanda hídrica de uma cultura através do método usando este coeficiente (LYRA *et al.* 2012). Seu valor depende da fase em que a cultura se encontra, por exemplo, no início de seu desenvolvimento o valor de K_c é o menor possível, e sua fase intermediária é onde atinge seu auge, e começa a decair em seu estágio final. (MANTOVANI *et al.*, 2009).

3. METODOLOGIA

3.1 Área de estudo

O objeto de estudo (Figuras 01 e 02) trata-se de um reservatório escavado ou Piscinão destinado à irrigação de culturas anuais, inserido em uma propriedade particular localizada no município de Uberlândia, no estado de Minas Gerais. O piscinão foi construído a partir do solo escavado, sendo o volume de solo obtido no corte de terra utilizado no aterro. A operação do reservatório é dada a partir da reserva de água provinda de uma captação superficial direta e sua estrutura é composta em maior parte por talude de corte e menor parte por talude de aterro, e possui as dimensões e características demonstradas pela tabela 1:

Tabela 1. Características e dimensões do reservatório

Formato	Retangular
Largura útil (m)	12,42
Comprimento útil (m)	37,48
Profundidade média (m)	4,66
Volume (m ³)	3.909,71
Revestimento	Geomembrana

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 01. (A) Imagem do reservatório escavado



Fonte: Acervo do autor (2021).

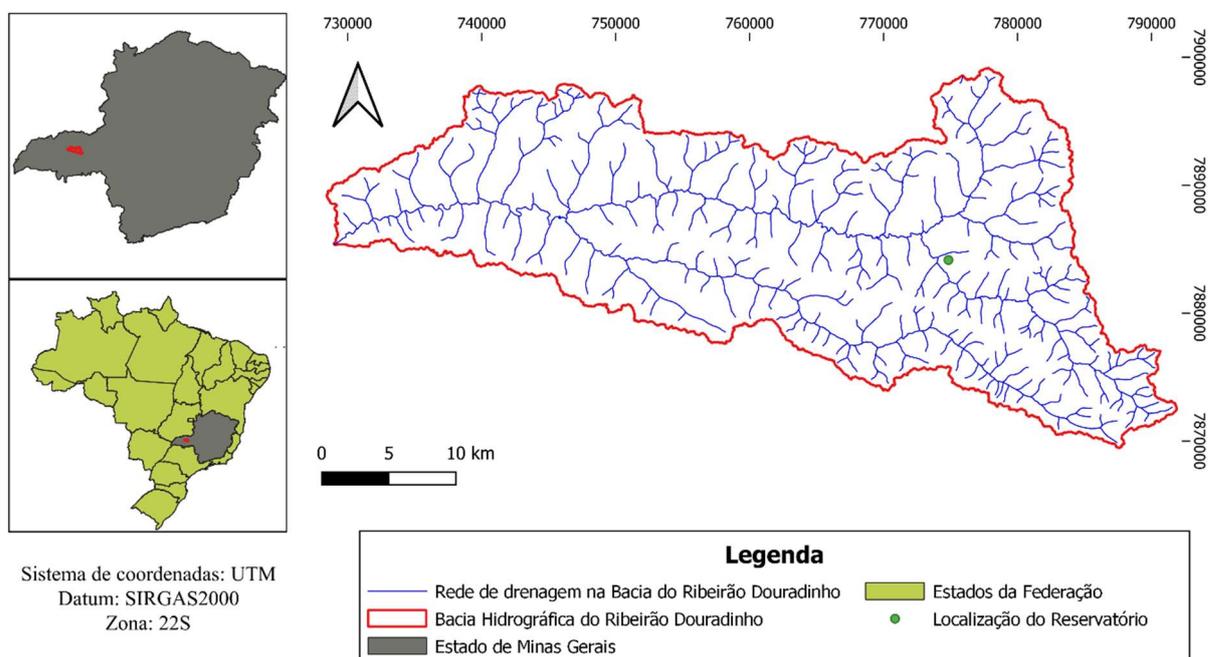
Figura 02. (B) Imagem do reservatório escavado



Fonte: Acervo do autor (2021).

O reservatório é preenchido através de uma captação superficial no Ribeirão Douradinho, cuja bacia hidrográfica Drena drena uma área de 1.545 km², e possui dois principais afluentes: Ribeirão Panga e Ribeirão Água Limpa, inseridos na bacia do rio Paranaíba, e segundo Fabrício *et al.* (2010) é a segunda maior bacia hidrográfica do Paraná, com precipitação média em torno de 1350 mm.ano⁻¹, uma temperatura média variando entre 18°C e 24°C, e ventos com uma velocidade média entre 2 e 3 m.s⁻¹, provenientes em grande parte do leste.

Figura 3. Mapa da bacia hidrográfica do Ribeirão Douradinho



Fonte: Autor (2023).

A bacia Hidrográfica do Ribeirão Douradinho é declarada pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) como Área de Conflito pelo uso da água. Justifica-se esse procedimento pela confirmação de indisponibilidade hídrica superficial na bacia, assim, é necessário um balanço hídrico de todas as vazões inseridas no ribeirão em questão e seus afluentes, ou seja, configura-se o conflito quando a demanda pelo uso da água de uma bacia hidrográfica é maior do que a quantidade disponível (MINAS GERAIS, 2019).

3.2 Aquisição de dados meteorológicos

Para obter os dados de evaporação, utilizou-se dados meteorológicos oriundos da Estação Meteorológica da Fazenda Experimental Água Limpa, monitorada pelo Laboratório de Climatologia e Meteorologia Ambiental – CliMA, ICIAG – UFU, a aproximadamente 4 quilômetros de distância do reservatório, no ribeirão Água Limpa, afluente do ribeirão Douradinho. Os dados são fornecidos pela Universidade Federal de Uberlândia. A figura 4 demonstra foto da estação meteorológica utilizada nesta pesquisa, sendo esta estação monitorada pelo Laboratório de Climatologia e Meteorologia Ambiental – CliMA do Instituto de Ciências Agrárias – ICIAG.

Figura 4. Estação meteorológica da Fazenda Experimental Água Limpa, da Universidade Federal de Uberlândia



Fonte. Clima (2023).

A escolha da estação se baseou em um levantamento de todas as estações de posse da Universidade Federal de Uberlândia, sendo elas localizadas nas Fazendas Experimentais do Glória, Capim Branco e Água Limpa. Por questões de proximidade e localização, a estação meteorológica Água Limpa foi escolhida para a pesquisa.

Os dados fornecidos pela estação são diários de Temperatura máxima, mínima e média do ar, Umidade relativa do ar, direção e velocidade do vento, radiação solar e precipitação. O período selecionado para este estudo tem como base uma visão ampla, no intuito de realizar uma comparação anual e mensal dos dados de evaporação. Sendo assim, foram obtidos dados de 06 de fevereiro de 2012 a 06 de fevereiro de 2022.

As informações da Estação Meteorológica Água Limpa foram extraídas de uma extensa planilha contendo mais de 3600 linhas, com cada parâmetro ocupando uma coluna e cada linha representando um dia de medição. Para facilitar a análise, os dados foram organizados em agrupamentos diários por ano, permitindo uma separação por mês medido. Essa organização possibilitou o cálculo das médias mensais no período de 06 de fevereiro de 2012 a 06 de fevereiro de 2022.

3.3 Estimativa da evaporação do reservatório de contenção pelo método de Penman

A estimativa da evaporação do reservatório de contenção baseou-se nos dados fornecidos pela estação meteorológica Água Limpa, na Fazenda Experimental Água Limpa da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), e calculada pelo método conhecido como expressão de Penman (1956), conforme demonstra a equação 1:

$$E(\text{cm. d}^{-1}) = \frac{\frac{\Delta}{\gamma} * \left(\frac{R_n}{\rho L}\right) + E_i}{\left(\frac{\Delta}{\gamma} + 1\right)} \quad (1)$$

onde, γ significa constante psicométrica, igual a aproximadamente 0,49 mmHg/C°; Δ corresponde à declividade da curva de tensão de vapor em relação à temperatura do ar (mmHg/C°); R_n é a radiação efetiva de ondas curtas e longas (cal/cm²dia); ρ é massa específica da água, igual a aproximadamente 1 g/cm³, L é o calor latente de vaporização da água em função da temperatura, com um valor entre 580 e 590 cal/g; E_i é a evaporação em condições isotérmicas (cm/dia).

Chow *et al.* (1988), Allen *et al.* (1998), Reis & Dias *et al.* (1998) descrevem os parâmetros obtidos pela equação 3. Para a determinação da declividade da curva de tensão de vapor para uma temperatura média do ar pode ser obtida pela equação 2:

$$\Delta(kPa.^\circ C^{-1}) = \frac{4098 * \left(0,6108 * \exp\left(\frac{17,27 * Ta}{237,3 + Ta}\right)\right)}{(237,3 + Ta)^2} \quad (2)$$

onde, T_a é a temperatura do ar, em graus Celsius ($^\circ C$). Para o cálculo da Radiação efetiva (R_n), usa-se a equação 3:

$$R_n \left(\frac{cal}{cm^2 dia}\right) = R_t \left(\alpha + \beta \frac{n}{N}\right) * (1 - a) - \sigma T^4 (0,56 - 0,09\sqrt{e}) * \left(b + c \frac{n}{N}\right) \quad (3)$$

onde, R_t é a radiação de ondas curtas no topo da atmosfera terrestre, variável em função da latitude e da época do ano, em $cal/(cm^2.dia)$; α e β são parâmetros corretivos, introduzidos para considerar o conteúdo de vapor d'água na atmosfera, a altitude e a espessura das nuvens, variáveis de local para local; n é a insolação efetiva, isto é, número efetivo de horas de brilho solar diário (obtido com aparelhos denominados heliógrafos); N é a duração máxima da insolação diária, medida em horas em função da latitude e do período do ano; a é o albedo, isto é, razão entre as parcelas da radiação de onda curta refletida e incidente. Para a água, o albedo varia de 0,03 a 0,10 (valor médio normalmente utilizado é 0,05); σ é a constante de Stefan-Boltzman representando um valor de $5,72 \times 10^{-8} W/(m^2.K^4)$, ou, $1,19 \times 10^{-7} cal/(cm^2.dia. K^4)$; T é a temperatura absoluta (Kelvin); e é a pressão de vapor (normalmente medida a 2 metros acima da superfície evaporante), em mm.Hg; b e c são os coeficientes introduzidos para considerar o efeito das nuvens para a radiação de onda longa. Segundo Penman (1956), $b \approx 0,1$ e $c \approx 0,9$; E_i é o poder evaporante à sombra.

Para o cálculo do poder evaporante (E_i), de pressão de saturação de vapor (e_s), e umidade relativa do ar (UR), usa-se as equações 4, 5 e 6:

$$E_i(cm. dia) = 0,035 \left(0,5 + \frac{U_2}{160}\right) * (e_s - e) \quad (4)$$

$$e_s = 4,58 * 10^{\frac{7,5 * T}{237,3 + T}} \quad (5)$$

$$UR = \left(\frac{e}{e_s}\right) * 100 \quad (6)$$

onde, U_2 é a velocidade do vento a 2 metros acima da superfície evaporante, em km/dia; e_s é a pressão de saturação de vapor, em mm de Hg; e é a pressão parcial de vapor, em mm de Hg; T é a temperatura do ar em $^\circ C$.

A radiação de ondas curtas no topo da atmosfera terrestre é definida pelas equações 7, 8, 9, 10 e 11:

$$R_t(MJ/m^2 dia) = 37,6 \left(\frac{d}{D}\right)^2 \left(\frac{\pi}{180} hn * \text{sen}\varphi * \text{sen}\delta + hn * \text{cos}\varphi * \text{cos}\delta\right) \quad (7)$$

$$\delta = 23,45 * \text{sen} \left[\frac{360}{365} * (NDA - 80) \right] \quad (8)$$

$$hn = \arccos(-\text{tan}\varphi * \text{tan}\delta) \quad (9)$$

$$\left(\frac{d}{D}\right)^2 = 1 + 0,033 * \text{cos} \left(NDA * \frac{360}{365} \right) \quad (10)$$

$$N = 0,1333 * hn \quad (11)$$

onde, δ é a declinação solar, em graus; φ é a latitude do local, em graus; $\left(\frac{d}{D}\right)^2$ é a distância relativa terra-sol, adimensional; hn é o ângulo horário do nascer do sol; NDA é o número do dia do ano (dia Juliano), N é o fotoperíodo.

3.4 Estimativa de evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith

Allen *et al.* (1998) descreve a equação de Penman-Monteith pelo padrão FAO, da seguinte forma:

$$ET_o(mm. d^{-1}) = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \left(\frac{900U_2}{T + 237}\right) + U_2(e_a - e_s)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad (12)$$

sendo ET_o a evapotranspiração de referência, Rn é o saldo de radiação diário ($MJ m^{-2} dia^{-1}$); G é o fluxo total diário de calor do solo ($MJ m^{-2} dia^{-1}$); T é a temperatura média diária do ar ($^{\circ}C$); U_2 significa a velocidade do vento média diária à altura de 2 m ($m s^{-1}$); $(e_a - e_s)$ é o déficit de saturação de vapor médio diário (kPa); Δ é a declividade da curva de pressão do vapor em relação a temperatura ($kPa ^{\circ}C^{-1}$); γ é o coeficiente psicrométrico ($kPa ^{\circ}C^{-1}$).

3.5 Evapotranspiração de cultura

A cultura a ser estudada pelo trabalho é o milho, devido às características locais e climáticas que favorecem o seu plantio.

Primeiramente, para saber a evapotranspiração de uma determinada cultura, é necessário calcular o coeficiente dessa cultura (k_c). Seguindo a metodologia apresentada nos manuais FAO/24 e 56, estima-se o coeficiente de cultura (k_c) do milho, que leva em consideração a caracterização do plantio como as datas, duração total do ciclo de desenvolvimento, frequência de irrigação ou de chuva, as características do local e do clima como temperaturas mínimas e máximas, umidade relativa, velocidade do vento e evapotranspiração de referência. Esses dados são calculados pela planilha fornecida pela FAO56 (Doorenbos; Pruitt, 1977; Allen *et al.*, 1998).

Figura 5. Cálculo do Coeficiente de Cultura

Kc Coeficiente de Cultura (K_c FAO56) para as condições brasileiras

Embrapa
Milho e Sorgo

#N/A lat long

Passo 1. Caracterize o plantio

Passo 2. Caracterize o local e clima

Cultura:	Plantio direto na palha?	<input checked="" type="checkbox"/>	Turno de rega na fase inicial (dias):			
Data do Plantio:	Prof. de plantio (Z_0 , cm):		Prof. máx. efetiva raiz (Z_{max} , cm):			Download
Duração do ciclo (dias):	Divisão equitativa das fases?	<input checked="" type="checkbox"/>			Latitude Local:	

	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Fase 5	Total
Duração (%)	25	25	25	25		
Duração (dias)	0	0	0	0		0
K_c (culturas genéricas)						

ETo prevalente na fase 1: 2. Média demanda ($2.5 < ETo < 5.0$ mm/dia)

K_c graph: Y-axis 0.00 to 1.00, X-axis -1 to 1. A blue dot is plotted at (0, 0.50).

K_c INICIAL

K_c FINAL

Kc

Fonte. Embrapa (2021).

A Tabela 2 demonstra a planilha K_c FAO com os valores ajustados de K_c , da cultura do milho para as condições do local de plantio.

Por fim, a evapotranspiração de cultura será calculada pelo produto entre a evapotranspiração de referência e o coeficiente de cultura, conforme demonstra a equação 13:

$$ETc(mm. d^{-1}) = ETo * kc \quad (13)$$

onde ETo é o coeficiente de referência calculada pelo método de Penman-Monteith (mm.d⁻¹) e Kc é o coeficiente de cultura (adimensional).

3.6 Volume evaporado

O valor obtido pelo método de Penman sobre a evaporação do reservatório é em termos de lâmina d'água (mm), e para converter em volume é necessário considerar as dimensões e a área da superfície de onde a lâmina d'água está sendo medida. Primeiramente, é importante determinar a área em que a lâmina d'água está presente. Supondo que seja uma superfície retangular, podemos multiplicar o comprimento (em metros) pela largura (também em metros) para obter a área em metros quadrados. Uma vez que temos a área da superfície, podemos multiplicar essa área pela lâmina d'água (em milímetros) para obter o volume em metros cúbicos. No entanto, antes de realizar essa multiplicação, é necessário converter a lâmina d'água de milímetros para metros, dividindo-a por 1000. Então pode ser determinada pela equação 14:

$$V(m^3) = (L * b * Lam)/100 \quad (14)$$

Onde V é o volume resultante em metros cúbicos, L o comprimento da superfície em metros, B é a largura da superfície em metros, Lam a lâmina d'água em milímetros.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise dos dados meteorológicos

Os dados originários pela Estação Meteorológica Água Limpa, referentes aos anos de 2012 a 2022, fornecem informações cruciais para a estimativa de evaporação do reservatório e evapotranspiração da cultura. Entre os elementos climáticos relevantes para essa estimativa, destacam-se a temperatura máxima, mínima e média do ar, umidade relativa do ar, direção e velocidade do vento, radiação solar e precipitação, que foram analisados a partir dos dados obtidos nesta estação meteorológica (Tabela 2).

Tabela 2. Dados climatológicos com base em dados originários da Estação Meteorológica Água Limpa, no período de fevereiro de 2012 a fevereiro de 2022

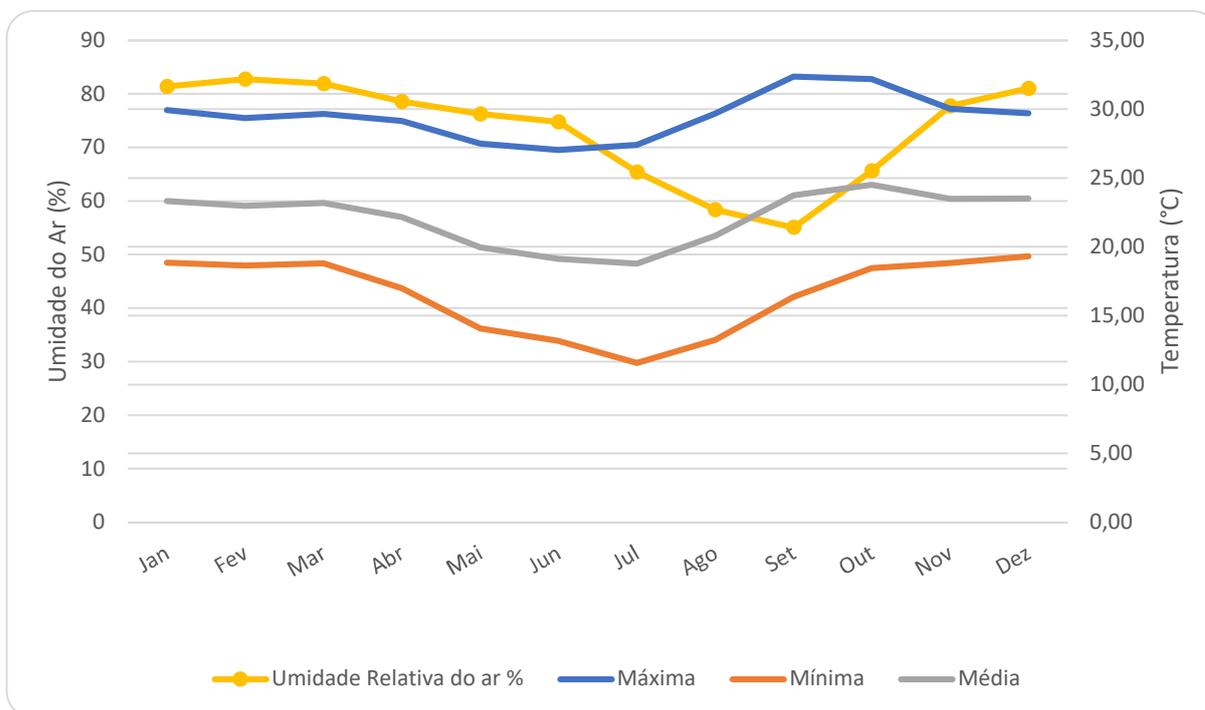
Média de 10 anos	Temperatura do ar °C			Umidade Relativa do ar %	Vento a 2 metros de altura		Radiação Solar (Mj/m ² /dia)	Chuva Total mm
	T. Máxima	T. Mínima	T. Média		Média	Direção (°)		
Jan	29,93	18,84	23,32	81,38	128,66	0,22	18,8	217,6
Fev	29,35	18,64	22,99	82,75	125,30	0,24	18,5	205,2
Mar	29,66	18,79	23,18	81,91	123,11	0,26	17,9	201,9
Abr	29,13	16,98	22,16	78,55	120,84	0,31	16,5	90,2
Mai	27,49	14,08	19,95	76,23	117,86	0,38	14,5	53,8
Jun	27,04	13,17	19,12	74,76	109,44	0,29	13,5	10,1
Jul	27,41	11,58	18,80	65,39	106,33	0,32	14,5	8,8
Ago	29,67	13,25	20,79	58,35	108,42	0,43	16,69	5,52
Set	32,38	16,38	23,74	55,07	111,03	0,44	18,6	38,8
Out	32,18	18,46	24,52	65,64	123,95	0,38	19,4	115,8
Nov	30,03	18,83	23,48	77,75	121,40	0,33	18,6	204,9
Dez	29,71	19,33	23,51	81,00	124,75	0,23	18,5	237,6

Fonte. Autor, (2023).

4.1.1 Temperatura e Umidade Relativa do ar

Os primeiros desses parâmetros a serem analisados são a temperatura máxima, mínima e média do ar e a umidade do ar, que juntos, definem o déficit de pressão de vapor próximo à superfície evaporante. O Gráfico 1 apresenta as médias dos últimos 10 anos de cada mês das temperaturas máximas, mínimas e médias do ar, bem como a umidade do ar.

Gráfico 1. Médias mensais de temperatura (máxima, mínima e média) e umidade relativa do ar com dados de fevereiro de 2012 à fevereiro de 2022



Fonte. Autor (2023).

Com os dados meteorológicos da Tabela 3, e o gráfico 1, referentes às médias de todos os meses dos anos de 2012 à 2022, verifica-se que a temperatura mínima do ar varia de 11,58°C à 19,33°C, a temperatura média do ar varia de 18,81 °C à 23°C, enquanto a máxima varia de 27,41°C à 32,38°C, sendo esses últimos valores características de um calor dentro de uma normal, mas que contribui significativamente para o processo de evaporação do reservatório.

Os valores de umidade relativa do ar seguem um padrão, praticamente inversamente proporcional à temperatura, ou seja, quanto maior a temperatura, menor a umidade relativa do ar. Nos dias mais quentes, seu valor fica entre 55,07% e 65,64%, nesse período ocorrem as taxas mais elevadas de evapotranspiração. Seu maior valor médio mensal obtido entre esses 10 anos foi de 82,75%.

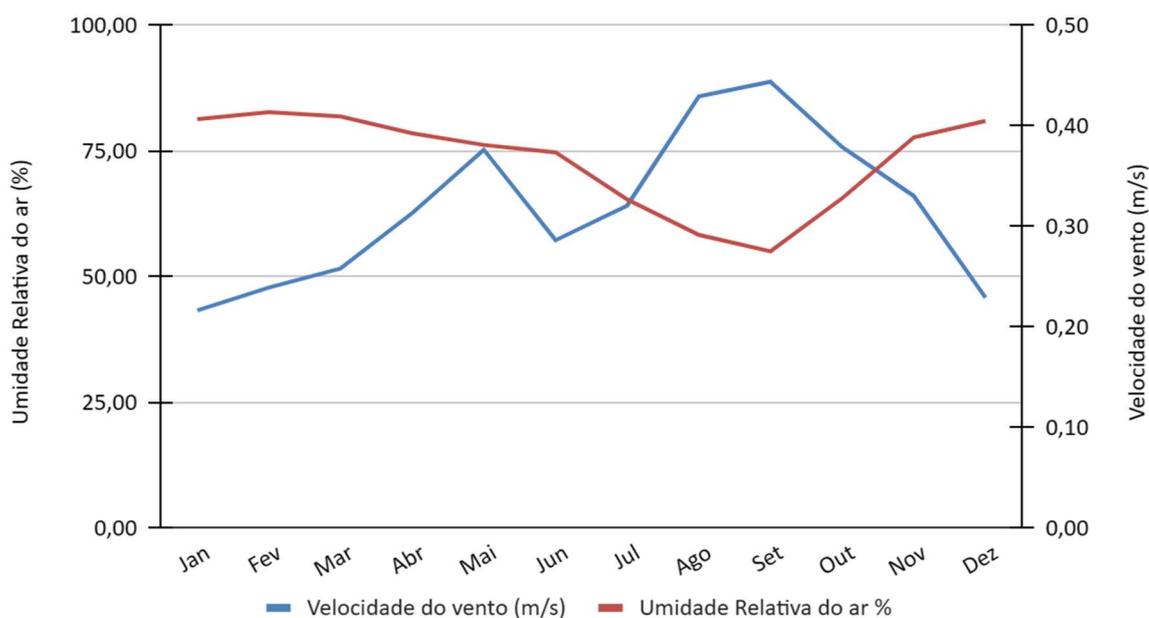
4.1.2 Velocidade do vento

A Estação Meteorológica Água Limpa está localizada em um local plano, o que interfere na velocidade do vento que depende da diferença de pressão entre duas áreas.

Os ventos atuam como um agente que remove continuamente a massa de ar úmido acima da superfície líquida, criando condições favoráveis para a ocorrência de gradientes de tensão de

vapor. Esse processo ocorre porque, ao remover a camada saturada de ar acima da superfície líquida e substituí-la por uma camada de ar não saturada, a taxa de evaporação é aumentada. Sendo assim, o vento é um fator importante a ser considerado ao estudar e prever a taxa de evaporação de superfícies líquidas. (VILLELA & MATTOS, 1975).

Gráfico 2. Médias mensais de velocidade do vento e umidade relativa do ar com dados de fevereiro de 2012 à fevereiro de 2022



Fonte: Autor (2023).

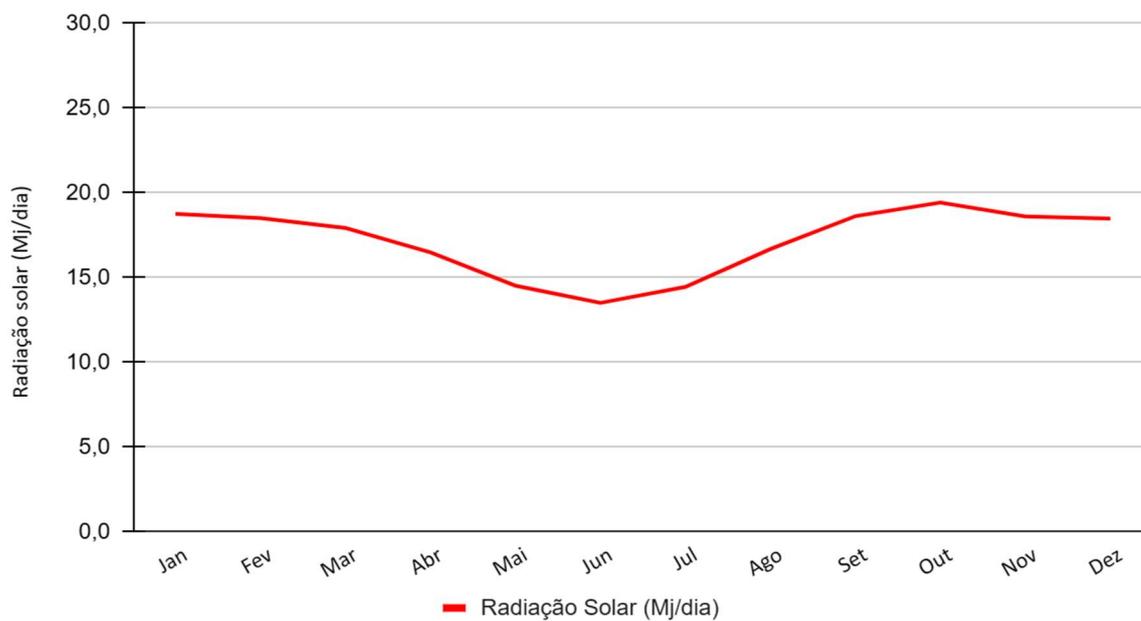
A velocidade do vento é responsável pela renovação do ar junto à superfície em questão (TAVARES, 2002). Conforme pode ser observado no Gráfico 2 existe uma variação inversamente proporcional entre a velocidade do vento e a umidade relativa do ar, sugerindo que em dias mais secos, quando a umidade relativa do ar é menor, a velocidade do vento tende a ser maior, o que pode ser importante para entender os padrões meteorológicos da região.

4.1.3 Radiação Solar

Dentre os diferentes elementos climáticos, a radiação solar é um dos principais fatores responsáveis pelo processo de evapotranspiração e evaporação. A energia fornecida pela radiação solar é fundamental para que as moléculas de água possam ser convertidas em vapor e, conseqüentemente, ocorra o processo de evaporação. A radiação solar também é um fator importante na evapotranspiração, uma vez que fornece a energia necessária para a transpiração

das plantas. O Gráfico 3 demonstra a evolução da radiação solar em médias mensais dentro de 10 anos consecutivos.

Gráfico 3. Médias mensais de radiação solar com dados de fevereiro de 2012 a fevereiro de 2022



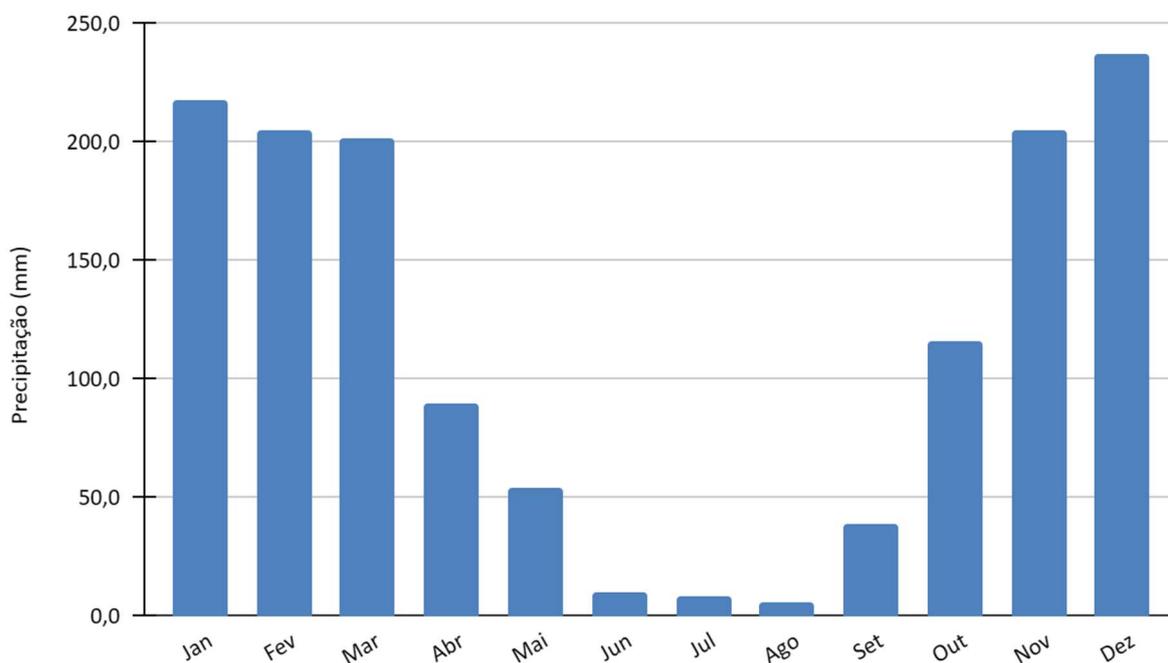
Fonte. Autor (2023).

Foram registradas variações significativas nos níveis de radiação solar ao longo do período observado, que variaram entre $13,5 \text{ MJ}^{-2}\text{d}^{-1}$ e $19,4 \text{ MJ}^{-2}\text{d}^{-1}$. Os valores mais baixos foram registrados durante os meses de junho, julho e agosto, que correspondem ao período de inverno. Essas variações na radiação solar são proporcionais à temperatura e podem afetar a umidade do ar, bem como os processos de evaporação e evapotranspiração.

4.1.4 Precipitação

O cerrado, especificamente a bacia do Ribeirão douradinho, está localizada em uma região de clima Tropical, sendo ele bem definido, com verões chuvosos e invernos secos. No gráfico 4, observa-se esse padrão de comportamento obtido pela Estação Meteorológica Água Limpa.

Gráfico 4. Médias mensais de precipitação com dados de fevereiro de 2012 a fevereiro de 2022



Fonte. Autor (2023).

A distribuição de chuva nesses 10 anos, em suas médias mensais, foi de máxima em dezembro, com 237,3 mm, e mínima em agosto, com 5,52 mm. Sendo assim, taxas de evapotranspiração nessa região serão maiores no inverno, especificamente nos períodos de maio a setembro, pela deficiência hídrica.

4.2 Estimativa da evaporação pelo método de Penman

Com base nos dados meteorológicos coletados, este trabalho conseguiu estimar a taxa de evaporação do reservatório em estudo. A técnica utilizada para essa estimativa foi o método de Penman (1948), o qual requer informações específicas como a inclinação da curva de pressão de vapor em relação à temperatura do ar, a constante psicrométrica, a radiação efetiva de ondas curtas e longas, a densidade da água, o calor latente de vaporização da água em função da temperatura e a evaporação em condições isotérmicas.

Os valores de calor latente e massa específica da água são considerados constantes e não variam com o tempo, com aproximadamente 1 g.cm^{-3} e entre 580 e 590 cal.g^{-1} , respectivamente. A constante psicrométrica para este caso específico tem um valor de $0,49 \text{ mmHg.C}^{-1}$. A tabela

4 mostra dados obtidos de 2012 a 2022, com médias mensais, para estimativa da evaporação pelo método de Penman.

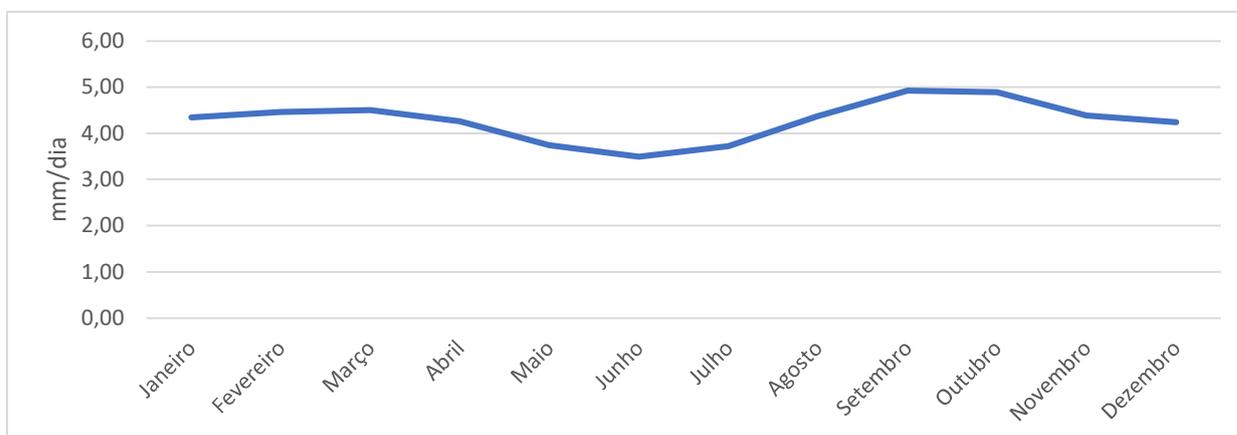
Tabela 3. Dados para estimativa de evaporação do reservatório de estudo obtidos de fevereiro de 2012 a fevereiro de 2022

Mês	Declinação δ (°)	Ei (mm/dia)	Rad, Líquida (MJ/m ² ,dia)	Ev (PENMAN) (mm/dia)
Janeiro	-20,66	0,88	13,71	4,34
Fevereiro	-12,95	0,82	14,21	4,46
Março	-1,87	0,94	14,21	4,50
Abril	9,96	1,00	13,53	4,26
Maiο	19,1	1,02	12,09	3,74
Junho	23,12	0,98	11,37	3,50
Julho	20,88	1,35	11,87	3,72
Agosto	12,87	2,00	13,16	4,37
Setembro	1,48	2,66	14,07	4,93
Outubro	-10,32	2,1	14,35	4,89
Novembro	-19,34	1,17	13,56	4,38
Dezembro	-23,13	0,94	13,28	4,24

Fonte. Autor (2023).

Na Tabela 3 são apresentados os resultados de evaporação estimada pelo método de Penman através dos dados meteorológicos obtidos de fevereiro de 2012 a fevereiro de 2022. A taxa de evaporação média diária foi entre 3,50 mm e 4,89 m, estimada a partir da Estação Meteorológica Água Limpa. O Gráfico 5 mostra de forma mais detalhada o comportamento da evaporação no reservatório dentro desses valores médios de 10 anos.

Gráfico 5. Médias mensais de Evaporação pelo método de Penman com dados de fevereiro de 2012 a fevereiro de 2022



Fonte. Autor (2023).

Considerando o comportamento do gráfico, é possível notar que os menores índices de evaporação do reservatório ocorrem entre os meses de maio e julho, que coincide com o início do período de seca na região. Já os maiores valores de evaporação são registrados em agosto e setembro, indicando o final do período seco e o momento mais crítico na região, quando os agropecuários precisam de água com maior urgência para a irrigação.

Para uma análise mais crítica da situação, a Tabela 4 mostra as médias mensais de cada ano analisado pelos valores da estação meteorológica, da evaporação no reservatório pelo método de Penman.

Tabela 4. Médias mensais de evaporação - Método de Penman, no período de 2012 a 2022

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2012	-	4,785	5,025	4,535	3,475	3,774	3,757	4,634	5,000	5,576	4,556	4,372
2013	3,970	4,550	4,064	3,980	3,866	3,635	3,916	4,694	4,929	4,801	4,537	4,213
2014	5,205	4,250	4,382	4,088	3,956	3,778	3,563	4,718	4,908	5,135	4,142	4,149
2015	4,692	4,739	3,865	3,937	3,707	3,398	3,351	4,187	4,574	4,791	4,594	3,509
2016	4,627	4,343	4,441	4,907	3,852	2,918	2,582	3,576	4,701	4,884	4,154	4,127
2017	4,130	4,984	4,719	4,192	3,819	2,698	4,142	4,239	5,512	5,188	4,176	4,092
2018	4,511	4,331	4,866	4,000	3,971	3,706	3,999	4,162	4,029	4,576	3,958	5,140
2019	4,964	4,554	4,468	4,287	3,860	3,841	3,991	4,450	5,234	5,099	4,530	4,303
2020	4,028	4,077	4,670	4,171	3,426	3,544	3,975	4,498	5,250	4,702	4,899	4,238
2021	4,619	4,199	4,508	4,518	3,477	3,661	3,950	4,544	5,133	4,138	4,293	4,263
2022	3,923	3,814	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte. Autor (2023).

Com base na Tabela 4 é possível ver que os resultados de evaporação pelo método de Penman variam um pouco mais do que observado na Tabela 3. Com valores máximos ultrapassando 5 mm/dia. Porém reforça o fato de que o período de maiores médias, se mantém em setembro, considerado o período de seca nessa região, o que obteve maior valor de evaporação.

4.3 Estimativa da evapotranspiração pelo método de Penman-Monteith

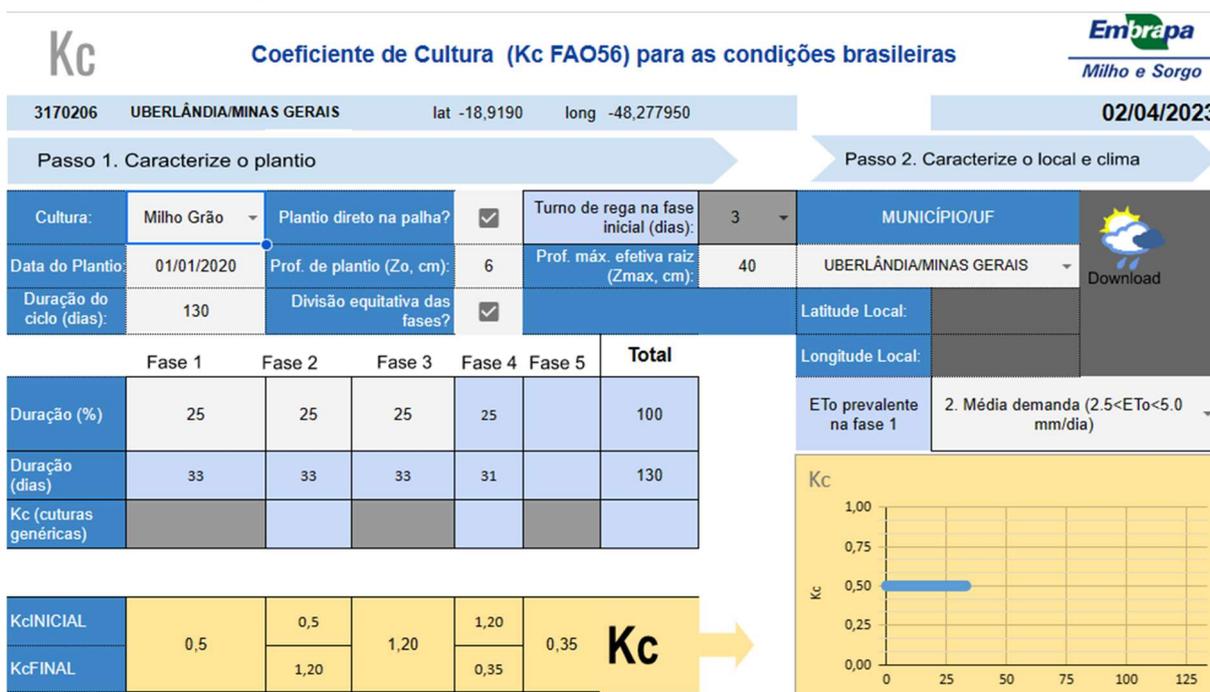
Com base nos dados meteorológicos coletados, este estudo foi capaz de estimar a taxa de evapotranspiração da cultura do milho. Para isso, foi utilizado o método de Penman-Monteith, que requer informações específicas, conforme descrito na Equação 16, utilizando a grama como cultura de referência, como relata Allen *et al.* (1994), é uma cultura cultivada em clima frio, com rugosidade, densidade, área foliar e resistência total do dossel com resultados

padrões definitivos. Essas informações incluem o saldo de radiação diário, o fluxo total diário de calor do solo, a temperatura média diária do ar, a velocidade média diária do vento a uma altura de 2 metros, o déficit médio diário de saturação de vapor, a declividade da curva de pressão do vapor em relação à temperatura e o coeficiente psicrométrico. Foi necessário ainda, o conhecimento do coeficiente de cultura do milho para obter os valores de evapotranspiração de cultura.

4.3.1 Coeficiente de Cultura (Kc)

O coeficiente de cultura foi obtido utilizando uma metodologia fornecida pela Embrapa (2021), baseada em uma tabela que segue os padrões da FAO/56. Essa tabela leva em consideração as características do plantio, como as datas e a duração total do ciclo de desenvolvimento, bem como a frequência de irrigação ou chuva. Além disso, ela considera as características do local e do clima, incluindo temperaturas mínimas e máximas, umidade relativa, velocidade do vento e evapotranspiração de referência.

Figura 6. Resultado do Coeficiente de Cultura do milho



Fonte. Embrapa (2021).

O coeficiente de cultura do milho apresentou diferentes valores ao longo das quatro fases do ciclo de desenvolvimento da cultura. Na fase 1, correspondente ao estágio inicial, o

valor do coeficiente foi de 0,5, e essa fase durou 33 dias. Na fase 2, correspondente ao estágio de desenvolvimento vegetativo, o valor inicial do coeficiente foi 0,5 e o valor final foi de 1,20, também durando 33 dias. Na fase 3, correspondente ao estágio de florescimento da cultura, o valor do coeficiente foi de 1,20, durando 33 dias. Já na fase 4, correspondente ao estágio de maturação, o valor inicial do coeficiente foi de 1,20 e o valor final foi de 0,35, e essa fase durou 31 dias.

4.3.2 Evapotranspiração de cultura (ETc)

Para a obtenção do valor de evapotranspiração de cultura, leva-se em consideração a fase 3, que corresponde ao estágio de florescimento até o início do enchimento de grãos. Essa fase é a que apresentam os maiores valores do Kc. A Tabela 5 mostra dados obtidos de 2012 a 2022, com médias mensais, para estimativa da Evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith, e a Evapotranspiração da cultura do milho.

Tabela 5. Dados médios para estimativa de evapotranspiração de referência e de cultura do milho obtidos de fevereiro de 2012 a fevereiro de 2022

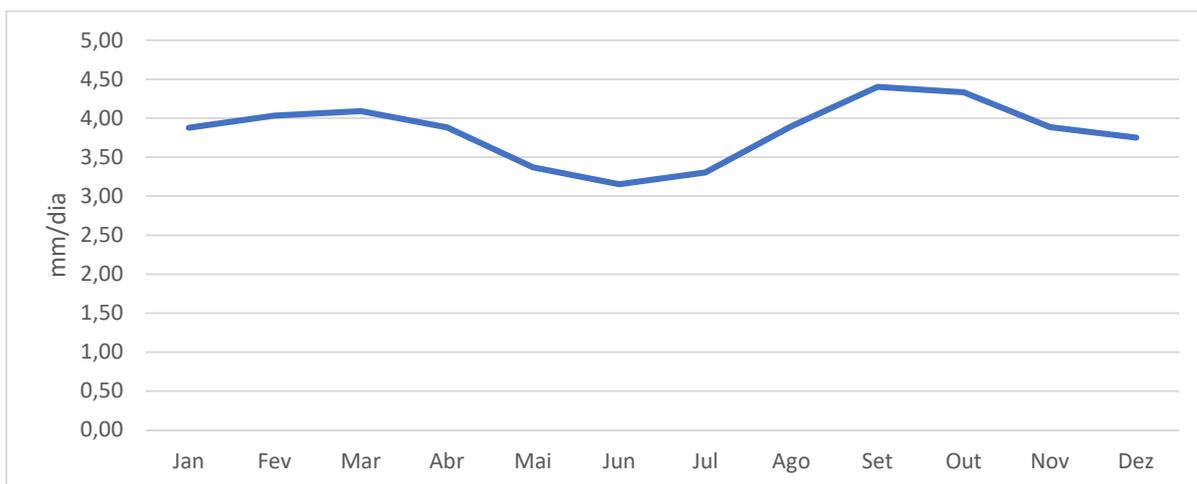
Mês	es (kPa)	ea (kPa)	Flux. Calor Solo (°C)	ETo (PENMAN-MONTEITH) (mm/dia)	kc	Etc (mm/dia)
Jan	2,87	2,32	0,00	3,23	1,20	3,88
Fev	2,81	2,32	-0,01	3,36	1,20	4,03
Mar	2,85	2,31	0,01	3,41	1,20	4,09
Abr	2,67	2,10	-0,04	3,23	1,20	3,88
Mai	2,36	1,79	-0,01	2,81	1,20	3,37
Jun	2,22	1,66	-0,02	2,63	1,20	3,15
Jul	2,19	1,42	0,02	2,75	1,20	3,31
Ago	2,48	1,43	0,04	3,25	1,20	3,90
Set	2,97	1,60	0,01	3,67	1,20	4,40
Out	3,10	2,00	0,00	3,61	1,20	4,33
Nov	2,90	2,24	0,00	3,24	1,20	3,89
Dez	2,91	2,34	0,00	3,13	1,20	3,75

Fonte. Autor (2023).

Na Tabela 5, apresentam-se os resultados da evapotranspiração de referência calculada pelo método de Penman-Monteith e da evapotranspiração da cultura, obtidos a partir dos dados meteorológicos coletados de fevereiro de 2012 a fevereiro de 2022. A taxa média diária de

evapotranspiração da cultura do milho variou entre 3,15 mm e 4,40 mm. O Gráfico 6 oferece uma análise mais detalhada do comportamento da evaporação do reservatório dentro dos valores médios observados ao longo de 10 anos.

Gráfico 6. Médias mensais de Evapotranspiração da cultura do milho pelo método de Penman-Monteith com dados de fevereiro de 2012 a fevereiro de 2022



Fonte. Autor (2023).

Com base no comportamento do gráfico, pode-se perceber uma semelhança com o Gráfico 4 da evaporação do reservatório. Nota-se que os menores resultados de evapotranspiração da cultura do milho também ocorrem entre os meses de maio e julho, enquanto os maiores valores são registrados em setembro e outubro, correspondendo ao final do período seco e ao momento mais crítico na região, quando os empreendedores necessitam de água com maior urgência para a irrigação.

Para uma análise mais crítica da situação, a Tabela 6 mostra as médias mensais de cada ano analisado pelos valores da estação meteorológica, da evapotranspiração da cultura do milho na região da bacia do ribeirão Douradinho pelo método de Penman-Monteith.

Tabela 6. Médias mensais de evapotranspiração de cultura no período de 2012 a 2022

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2012	-	4,381	4,561	4,110	3,053	3,434	3,380	4,150	4,489	4,979	4,070	3,874
2013	3,551	4,102	3,721	3,635	3,499	3,292	3,525	4,212	4,478	4,266	4,018	3,754
2014	4,582	3,815	3,993	3,755	3,555	3,418	3,205	4,178	4,408	4,482	3,672	3,656
2015	4,103	4,267	3,531	3,606	3,376	3,090	3,012	3,653	3,996	4,187	4,072	3,133
2016	4,049	3,933	4,040	4,431	3,453	2,641	2,257	3,118	4,124	4,327	3,681	3,635
2017	3,697	4,480	4,285	3,830	3,480	2,437	3,670	3,787	5,028	4,654	3,703	3,633
2018	3,997	3,919	4,433	3,650	3,588	3,335	3,519	3,695	3,543	4,115	3,543	4,521
2019	4,400	4,123	4,067	3,920	3,517	3,455	3,536	3,947	4,652	4,526	4,051	3,809
2020	3,621	3,706	4,230	3,814	3,104	3,183	3,544	4,046	4,696	4,247	4,269	3,765
2021	4,102	3,815	4,084	4,083	3,121	3,323	3,450	4,052	4,521	3,693	3,781	3,779
2022	3,521	3,459	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte. Autor (2023).

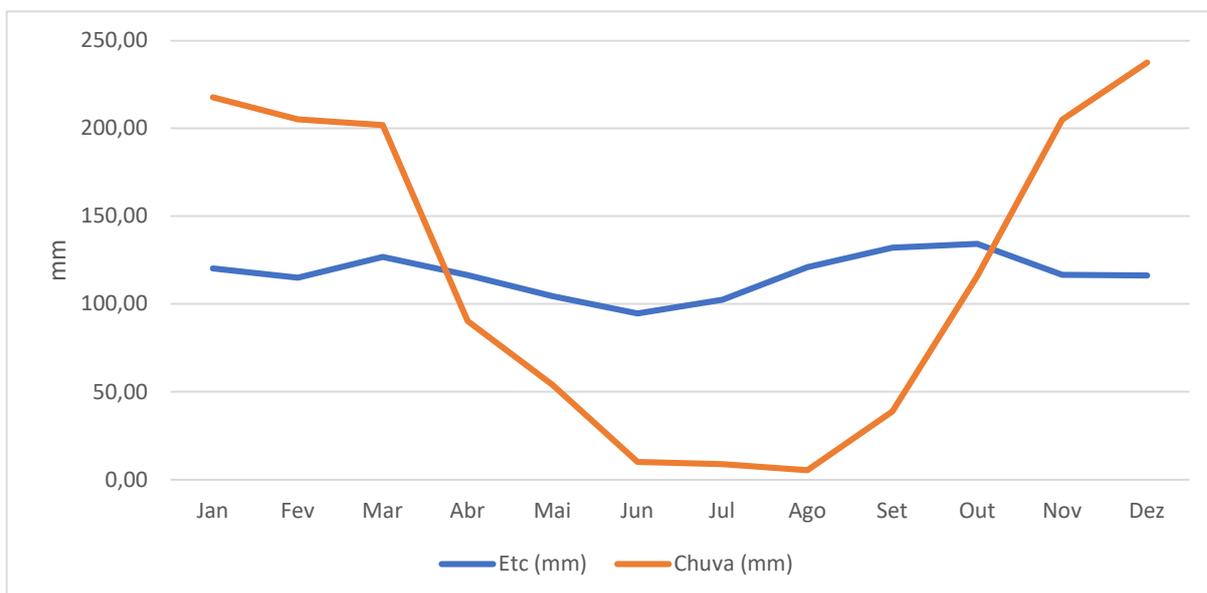
Com base na Tabela 6 é possível ver que os resultados de evapotranspiração da cultura do milho variam um pouco mais do que observado na Tabela 5 apresentando valor máximo de 5,028 mm.dia⁻¹. Porém reforça o fato de que o período de maiores médias, se mantém em setembro com exceção dos anos de 2020 e 2021, considerado o período de seca nessa região.

4.4 Avaliação dos resultados

Os resultados apresentados fornecem uma análise detalhada do desempenho do reservatório e de uma cultura hipotética de milho nas condições climáticas e locais específicas da bacia do ribeirão Douradinho. Com base nesses dados, foi realizada uma comparação entre os valores de evaporação do reservatório e a evapotranspiração do milho ao longo de um período de 10 anos. Essa comparação permitiu uma avaliação mais precisa do impacto do clima e da localização na produção de culturas agrícolas e na gestão de recursos hídricos na região estudada.

A quantidade de água disponível para uma cultura depende da precipitação na região e da quantidade de água que é perdida através da evapotranspiração das plantas. Para calcular a quantidade de água necessária para irrigação de uma cultura, é fundamental conhecer a taxa de evapotranspiração e a quantidade de água que é perdida por evaporação. Isso permite determinar a demanda hídrica da cultura e garantir que ela receba a quantidade adequada de água para o seu crescimento e desenvolvimento. O Gráfico 6 mostra a relação entre a evapotranspiração da cultura com a precipitação na região com dados médios dos 10 anos de informações originários da Estação Meteorológica Água Limpa.

Gráfico 7. Relação entre Evapotranspiração da cultura com a precipitação na Região da bacia do Ribeirão Douradinho



Fonte. Autor (2023).

Ao analisar o gráfico, é possível observar que durante os períodos de chuva, a precipitação pluviométrica é capaz de suprir as necessidades hídricas da cultura do milho. No entanto, a partir do mês de abril até o final de outubro, as chuvas não são suficientes para atender à demanda da cultura, tornando-se necessário o uso de técnicas de irrigação para garantir o seu desenvolvimento adequado.

A tabela 7 apresenta a diferença entre os valores de evapotranspiração da cultura do milho e os valores de precipitação, com o objetivo de determinar a quantidade de água necessária para a irrigação da cultura. Além disso, a tabela também apresenta os valores de evaporação do reservatório de contenção hídrica, que indicam a quantidade de água perdida por evaporação durante o armazenamento.

Tabela 7. Avaliação da evaporação do reservatório de contenção em relação a evapotranspiração da cultura e precipitação na bacia do ribeirão Douradinho. Dados médios de fevereiro de 2012 à fevereiro de 2022

Mês	Etc (mm)	Chuva (mm)	Demanda hídrica por irrigação (mm)	Evaporação do reservatório (mm)	Volume perdido no reservatório (m³)
Jan	120,23	217,6	97,37	134,66	62,68
Fev	114,92	205,2	90,28	127,14	59,18
Mar	126,76	201,9	75,14	139,53	64,95
Abr	116,4	90,2	-26,2	127,84	59,51
Mai	104,51	53,8	-50,71	115,97	53,98
Jun	94,63	10,1	-84,53	111,67	51,98
Jul	102,46	8,8	-93,66	115,4	53,72
Ago	120,91	5,52	-115,39	135,48	63,07
Set	132,12	38,8	-93,32	147,81	68,81
Out	134,28	115,8	-18,48	151,56	70,55
Nov	116,57	204,9	88,33	131,52	61,22
Dez	116,27	237,6	121,33	131,46	61,19

Fonte. Autor (2023).

Com base nos dados apresentados na Tabela 7, é possível observar que a demanda hídrica da cultura do milho na região está concentrada na estação seca, especialmente nos meses de abril a outubro. Durante os demais meses, teoricamente a cultura do milho não necessita de irrigação, já que a precipitação na região é suficiente para suprir sua demanda hídrica. No entanto, na prática, a tabela apresenta valores cumulativos de chuva ao longo do mês, o que significa que pode haver dias em que chove muito e outros em que não chove. Assim tornando-se necessária a intervenção humana para irrigação mesmo nos períodos de chuva.

Realizando uma análise com foco no período em que teoricamente a cultura do milho necessita da intervenção humana para suprir sua demanda, ou seja, no período de abril a outubro, nota-se que os valores de evaporação do reservatório possuem um resultado consideravelmente maior do que a demanda hídrica do milho na região, destacando o mês de setembro, onde há alta demanda para irrigação, o valor evaporado supera a demanda da cultura em 54,49 milímetros. Em termos de volume, observa-se um valor máximo de 70,55 metros cúbicos de água perdidos em um mês, este valor consegue suprir a demanda de 113% da cultura do milho em termos de lâmina (Litros/metros quadrados), então o volume perdido de água do reservatório consegue suprir a demanda de 113% de uma cultura de milho nas suas dimensões de área.

5. CONCLUSÃO

Comparando os resultados obtidos pelo método de Penman usando dados de uma estação localizada em terra relativamente perto do objeto de estudo para evaporação do reservatório com os valores de evapotranspiração da cultura do milho, obtidos pelo método de Penman-Monteith na região do ribeirão Douradinho, foi possível concluir que o volume de água evaporado no reservatório é suficiente para suprir as necessidades de irrigação de 113% de uma cultura de milho em termos de lâmina (litros/metros quadrados), mesmo durante o período de seca, quando a precipitação na região não é capaz de atender a essa demanda.

Os resultados obtidos demonstram a necessidade de desenvolvimento de novas metodologias que possam reduzir a evaporação da água em reservatórios para irrigação, trazendo benefícios significativos para o meio ambiente e para a sociedade, contribuindo para o uso sustentável dos recursos hídricos e para a redução dos impactos da escassez hídrica. Por isso, a realização de novas pesquisas é essencial para encontrar soluções inovadoras e eficazes para esse desafio.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Atlas de Irrigação: Uso da Água na Agricultura Irrigada**. Brasília: ANA, 2021. Disponível em: <https://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/dashboards/911d339de2944eb79e4f0b8a96e65b8b>.

Acesso em: 15 de maio de 2023.

ALBUQUERQUE, P. E. P.; COELHO, E. A.; **Planilha para obtenção de coeficiente de cultura (Kc) para culturas de ciclo anual, segundo método FAO, para as condições climáticas brasileiras**. Comunicado técnico 254, EMBRAPA. Sete Lagoas, MG. 2021.

ALBUQUERQUE, P. E. P. **Requerimento de água das culturas para fins de manejo e dimensionamento de sistemas de irrigação localizada**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2000. 54 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 1).

ALENCAR, L. P.; SEDIYAMA, G. C.; WANDERLEY, H. S.; ALMEIDA, T. S.; DELGADO, R. C. **Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades no nordeste de Minas Gerais**. Engenharia na agricultura, v.19, n.5, p.437-449, 2011.

AL-GHOBARI, H. M. **Estimation of reference evapotranspiration for southern region of Saudi Arabia**. Irrigation Science, v.19, n.2, p 81-86, 2000.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56**. Fao, Rome, v. 300, n. 9, 1998.

ALTHOFF, Daniel. **Evaporação de água em pequenos reservatórios: avaliação de métodos e estimativas atual e futura**. 2019. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2019.

ANTONOPOULOS, V. Z.; GIANNIOU, S. K.; ANTONOPOULOS, A. V. **Artificial neural networks and empirical equations to estimate daily evaporation: application to Lake Vegoritis, Greece**. Hydrological Sciences Journal, v. 61, n. 14, p. 2590–2599, 25 out. 2016.

BARBIERI, José Carlos *et al.* **Inovação e sustentabilidade: novos modelos e proposições.** RAE-Revista de Administração de Empresas, v. 50, n. 2, p. 146-154, 2010.

BRITO, L. T. L.; CAVALCANTI, N. B.; SILVA, A. S.; PEREIRA, L. A. CHOW, V. T., MAIDMENT, D. R., & MAYS, L. W. **Applied hydrology.** New York: McGraw-Hill, 1988.

CHISTOFIDIS, Demetrios. **Histórico Evolutivo da Irrigação no Brasil e no Mundo.** In: AGRICULTURA Irrigada, 2017. cap. 2, p. 109-131.

COSTA, J. de O.; COELHO, R. D.; WOLFF, W.; JOSÉ, J. V.; FOLEGATTI, M.V.; FERRAZ, S. F. de B. **Spatial variability of coffee plant water consumption based on the SEBAL algorithm.** Scientia Agricola, Piracicaba, v. 76, n. 2, p. 93-101, 2018.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop water requirements.** Rome: FAO, 1977. 144p. (FAO Irrigation and drainage paper, 24).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Guidelines for predicting crop water requirements.** 2.ed. Rome: FAO, 1977. 179p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24)

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water. Irrigation.** ed. Rome. 1979.

EMBRAPA. AgroAPI - a **plataforma de APIs da Embrapa.** Disponível em: <https://www.agroapi.cnptia.embrapa.br/portal/>. Acesso em: 22 abr. 2023.

FARG, E.; ARAFAT, S. M.; ABD EL-WAHED, M. S.; EL-GINDY, A. M. **Estimation of Evapotranspiration ET_c and Crop Coefficient K_{cof} Wheat, in south Nile Delta of Egypt Using integrated FAO-56 approach and remote sensing data.** Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, Egito, v. 15, n. 1, p. 83-89, 2012.

FLAUZINO, Fabrício *et al.* **Geotecnologias Aplicadas à Gestão dos Recursos Naturais da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba no Cerrado Mineiro.** Sociedade & Natureza, 1 abr. 2010.

FRANÇA, M. V.; MEDEIROS, R. M.; HOLANDA, R. M.; SABOYA, L. M. F.; ROLIM NETO, F. C.; ARAÚJO, W. R. **Analysis of evapotranspiration estimation by different models for Amparo de São Francisco – Sergipe**. Research, Society and Development, v.10, n.13, p.e514101321505, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i13.21505.

HARTWIG, M. P. **Hidrologia. Programa de Fomento ao Uso das tecnologias de comunicação e informação nos cursos de graduação – TICS**. Rio Grande do Sul. 2012.

JENSEN, M.W.; BURMAN, R.D.; ALLEN, R.G. *et al.* **Evapotranspiration and irrigation water requirements** New York: American Society of Civil Engineers, 1990. 329p. (ASCE. Manual and Reports on Engineering Practices, 70).

KLINK, C. A. **Policy Intervention in the Cerrado Savannas of Brazil: Changes in the Land Use and Effects on Conservation**. A. Consorte-McCrea, & E. Ferraz Santos, Ecology and Conservation of the Maned Wolf: Multidisciplinary Perspectives, p. 293–308, 2014.

LANDERAS, G.; ORTIZ-BARREDO, A.; LÓPEZ, J. J. (2008). **Comparison of artificial neural network models and empirical and semi-empirical equations for daily reference evapotranspiration estimation in the Basque Country (Northern Spain)**. Agricultural Water Management, v. 95, pp. 553-565. doi: 10.1016/j.agwat.2007.12.011.

LYRA, G. B.; SANTOS, M. J.; SOUZA, J. L.; LYRA, G. B.; SANTOS, M. A. **Espacialização da temperatura do ar anual para o estado de Alagoas com diferentes modelos digitais de elevação e resoluções espaciais**. Ciência Florestal, 21:275-287 2011.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: Princípios e métodos**. 3. ed. Viçosa: Editora UFV, 2009. 355 p.

MARANESI, Davi. **Avaliação geoambiental em áreas de Cerrado no Triângulo Mineiro para implantação de pequenos reservatórios superficiais de água: aplicação na folha de Tupaciguara, MG (1:100.000)**. 2002. Tese de Doutorado em Geociências – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2002.

MEDEIROS, ALMIRO TAVARES, **Estimativa da evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas em Paraipaba, CE.** Piracicaba/SP, p. 103, 2002.

MINAS GERAIS. **Decreto nº 47.705, de 4 de setembro de 2019.** Estabelece normas e procedimentos para a regularização de uso de recursos hídricos de domínio do Estado de Minas Gerais. [S. l.], 4 set. 2019.

MOLLE, F. **Perdas por evaporação e infiltração em pequenos açudes.** Série Brasil. Recife: SUDENE, 1989.

PENMAN, H. L. **Estimating evaporation.** Transactions of the American Geophysical Union, Washington, DC, v. 37, p. 43-50, 1956.

PENMAN, H. L. **Natural evaporation from open water, bare soil and grass.** Proceedings of the Royal Society, v. 193, p. 120-145, 1948.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração Piracicaba: FEALQ, 1997a.** 183p.

PEREIRA, P. A. A.; MARTHA, G. B.; SANTANA, C. A.; ALVES, E. **The development of Brazilian agriculture: future technological challenges and opportunities.** Agriculture & Food Security, v. 1, n. 1, p. 4, 19 abr. 2012.

PERES, J.G. **Avaliação do modelo de Penman-Monteith, padrão FAO, para estimar a evapotranspiração de referência nas condições climáticas do Estado de São Paulo. Piracicaba, 1994.** 116p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

PINHATI, Filipe S. Casulari. **Simulações de ampliações da irrigação por Pivô Central na Bacia do Rio São Marcos.** 2018. 137 f., il. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

RODRIGUES, Italo Sampaio. **Evaporação em reservatórios do Nordeste brasileiro: avaliação da distribuição espacial e influência da mata ripária por sensoriamento remoto.** 2020. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

SILVA, L. dos S. ., Nascimento, I. A. da S. ., Carvalho, M. R. de, Silva Neto, J. V. ., & Silva, E. A. da . (2021). A importância da água de reuso na agricultura e as considerações da TUCCI, C. E. M.; BELTRAME, L. F. S. **Evaporação e Evapotranspiração.** In: TUCCI, C. E. M. (Org.). Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: Editora da Universidade, p. 253- 288, 1993.

SMITH, M **Report on the expert consultation on procedures for revision of FAO guidelines for prediction of crop water requirements:** Rome. FAO, 1991. 54 p.

THORNTHWAITE, C.W. Na **approach toward a rational classification of climate.** Geographical Review, v.38, p.55-94, 1948.

VENANCIO, L. P.; DA CUNHA, F. F.; MANTOVANI, E. C.; DO AMARAL, C. H.; DOS REIS, E. F. **Evapotranspiração de cultura: Uma abordagem dos principais métodos aplicados às pesquisas científicas e na agricultura.** irriga, [S. l.], v. 24, n. 4, p. 719–746, 2019. DOI: 10.15809/irriga.2019v24n4p719-746.

VIGILÂNCIA SANITÁRIA SOBRE A PRÁTICA SUSTENTÁVEL: doi.org/10.29327/217514.7.1-13. **Revista Ibero-Americana De Humanidades, Ciências E Educação**, 7(1), 13.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada.** São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

WENDT, D. E.; RODRIGUES, L. N.; DIJKSMA, R.; VAN DAM, J. C. **Assessing groundwater potential use for expanding irrigation in the Buriti Vermelho watershed.** IRRIGA, v. 1, n. 2, p. 81–94, 2015.

ZHANG, Hua *et al.* **A remote sensing method for estimating regional reservoir area and evaporative loss.** *Journal of Hydrology*, [s.l.] v. 555, p. 213-227, 2017.