

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE ARQUITETURA, ENGENHARIA E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS

ANA PAULA CARVALHO BISPO

**ESTIMATIVA DA EVAPORAÇÃO DE LAGOS NO ESTADO DE MATO GROSSO,
BRASIL**

CUIABÁ/MT
ABRIL/2023

ANA PAULA CARVALHO BISPO

**ESTIMATIVA DA EVAPORAÇÃO DE LAGOS NO ESTADO DE MATO GROSSO,
BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Mato Grosso, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos, na área de concentração de Dinâmica Superficial e Subterrânea.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Morgan Uliana

Coorientador: Prof. Dr. Ibraim Fantin da Cruz

CUIABÁ/MT

ABRIL/2023

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

B622e Bispo, Ana Paula Carvalho.
Estimativa da evaporação de lagos no estado de Mato Grosso, Brasil [recurso eletrônico] / Ana Paula Carvalho Bispo. -- Dados eletrônicos (1 arquivo : 38 f., il. color., pdf). -- 2023.

Orientador: Eduardo Morgan Uliana.
Coorientador: Ibraim Fantin da Cruz.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Cuiabá, 2023.
Modo de acesso: World Wide Web: <https://ri.ufmt.br>.
Inclui bibliografia.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: Estimativa da Evaporação de Lagos no Estado de Mato Grosso, Brasil

AUTOR (A): MESTRANDO (A) Ana Paula Carvalho Bispo

Dissertação defendida e aprovada em **19 de ABRIL** de 2023

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

1. Doutor(a) Eduardo Morgan Uliana (Presidente Banca / Orientador)

INSTITUIÇÃO: Universidade Federal de Mato Grosso

2. Doutor(a) Handrey Borges Araujo (Examinador Interno)

INSTITUIÇÃO: Universidade Federal de Mato Grosso

3. Doutor(a) José Geraldo Ferreira da Silva (Examinador Externo)

INSTITUIÇÃO: Centro Universitário Vale do Cricaré

CUIABÁ, 19/04/2023.



Documento assinado eletronicamente por **EDUARDO MORGAN ULIANA, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 19/04/2023, às 16:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **HANDREY BORGES ARAUJO, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 19/04/2023, às 22:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **José Geraldo Ferreira da Silva, Usuário Externo**, em 24/04/2023, às 12:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5708668** e o código CRC **8422ECF4**.

AGRADECIMENTOS

Sem ordem de importância, gostaria de agradecer a Deus, meu anjo e a Cigana Maíra, que me iluminaram, instruíram e me protegeram, em espírito, nesta minha árdua caminhada.

Ao meu orientador Eduardo Morgan Uliana pela excelente orientação e principalmente ao meu coorientador Ibraim Fantin da Cruz, que também me instruiu, em minhas atividades acadêmicas e por vezes, na vida, que depositou e deposita votos de confiança em mim. Eu sou grata pela benevolência e pelo exemplo em excelência que dão. Agradeço a paciência e todas as portas que me abriram.

Sou grata aos membros da banca, por aceitarem meu convite e se proporem a contribuir com esta pesquisa.

Ao meu melhor amigo, companheiro e amante, Gustavo Roberto Pinheiro, que acompanha de pertinho todas as minhas lutas. Que sempre me ouve, me respeita e me incentiva, seja qualquer que seja a minha decisão. Que também acredita muito em mim, às vezes, até mesmo mais que eu, e que me inspira a ser melhor.

Aos meus amigos, principalmente ao meu amigo de quase infância, que com toda certeza vem de outras vidas, Franklin Rodrigues Lacerda Neves, que sempre, sempre está comigo, mesmo na distância que nos separa fisicamente. A Kerolin elza Costa Gonçalves, Isabella Nantes Nishimura e Eldirene Alves de Lima, por sempre me apoiarem e me impulsionarem na busca pela realização dos meus sonhos. Ao Walter Corrêa Carvalho Júnior, por ser meu professor, colega de trabalho e amigo, sempre disposto a me ajudar e me acompanhar nas atividades acadêmicas e profissionais, sempre me impulsionando e me instigando.

A minha nova família, que me acolheu sem exultar, que cuidam de mim como nunca o fui, que me respeitam e me dão suporte em tudo que necessito, Willian Roberto Pinheiro, Edilene Momesso Pinheiro, Giuliano Roberto Pinheiro e Henrique Roberto Pinheiro.

Aos meus irmãos, Paulo Henrique Carvalho dos Santos e Marco Antônio Carvalho dos Santos que se tornaram homens excepcionais, a quem admiro muito.

A Gerência de Segurança de Barragens (GSB), minha segunda família, a quem devo enorme gratidão, pois foi lá que me descobri de fato em minha carreira.

E a todos aqueles que contribuíram de alguma forma nessa minha caminhada.

EPÍGRAFE

“Preste atenção ao que você presta atenção”

Amy Krouse Rosenthal

A beleza estética depende tanto de como e se você olha quanto do que vê. Do quark a supernova, as surpresas não acabam. O que está em falta é a nossa atenção, nossa habilidade e disposição para fazer o trabalho que a admiração requer.”

John Green

“Muitas opções, igual a nenhuma opção”

Gustavo Roberto Pinheiro

RESUMO

A evaporação é um dos componentes do ciclo hidrológico e sua estimativa é essencial para o planejamento e operação de reservatórios, bem como para o gerenciamento e gestão dos recursos hídricos. Considerando que o estado de Mato Grosso é um grande produtor de grãos e que vem expandindo cada vez mais o agronegócio e se desenvolvendo na indústria do aproveitamento dos potenciais hídricos, a construção de reservatórios de médio e grande porte para irrigação e geração de energia, está cada vez mais em pauta, sendo assim, estudos voltados a evaporação de superfícies líquidas livres são de suma importância. Neste contexto, o objetivo do trabalho foi estimar a evaporação de superfícies líquidas no estado de Mato Grosso. A evaporação foi estimada com o método de Penman (1948), e para isso, foram utilizados dados de 31 estações meteorológicas automáticas pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Foram utilizados dados meteorológicos diários obtidos de estações automáticas, com séries históricas variando entre os anos de 2007 a 2019. Observou-se que as maiores intensidades de evaporação ocorreram no período de transição entre estiagem e período chuvoso.

Palavras-chave: Evaporação em Reservatórios. Modelo Evaporimétrico. Elementos Meteorológicos. Método de Penman.

ABSTRACT

Evaporation is one of the components of the hydrological cycle and its estimation is essential for the planning and operation of reservoirs, as well as for the management of water resources. Considering that the state of Mato Grosso is a major producer of grains and that it has been expanding agribusiness more and more and developing in the industry of harnessing water potential, the construction of medium and large reservoirs for irrigation and power generation is increasingly on the agenda, therefore, studies aimed at evaporation of free liquid surfaces are of paramount importance. In this context, the objective of this work was to estimate the evaporation of liquid surfaces in the state of Mato Grosso. Evaporation was estimated using the Penman (1948) method, using data from 31 automatic meteorological stations belonging to the Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Daily meteorological data obtained from automatic stations were used, with historical series ranging from 2007 to 2019. It was observed that the highest evaporation intensities occurred in the transition period between the dry season and the rainy season.

Keywords: Evaporation in Reservoirs. Evaporimetric model. Meteorological Parameters. Penman method.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Área de Estudo – Mapa do Estado de Mato Grosso.....	20
Figura 2 – Variáveis Climáticas Médias Diárias Mensais.....	24
Figura 3 – Evaporação média mensal, em mm, por região.	25
Figura 4 – Totais Mensais, em mm, obtido para o Estado de Mato Grosso	26
Figura 5 – Dispersão e Correlação entre as variáveis estimadas para o estado de Mato Grosso	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estações Meteorológicas Automáticas do INMET	20
Tabela 2 – Características dos Reservatórios	23
Tabela 3 – Resultado da Consulta de disponibilidade hídrica – SIMLAM MT.....	28
Tabela 4 – Evaporação média diária (mm.dia^{-1})	36
Tabela 5 – Evaporação média diária mensal (mm.dia^{-1}).....	36
Tabela 6 –Evaporação média total mensal (mm.mês^{-1}) e média total anual (mm.ano^{-1}) ...	37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	REFERÊNCIAS	14
2	ARTIGO 1	16
2.1	RESUMO	16
2.2	ABSTRACT	16
3	INTRODUÇÃO	17
4	METODOLOGIA	19
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	19
4.2	BASE DE DADOS CLIMATOLÓGICOS	20
4.3	MÉTODO DE PENMAN (1948)	21
4.4	VOLUME EVAPORADO EM RESERVATÓRIOS	22
5	RESULTADOS	24
5.1	LÂMINA EVAPORADA	25
5.1.1	Dispersão e correlação dos dados	27
5.2	VOLUMES EVAPORADOS	28
6	DISCUSSÕES	30
6.1	SUGESTÕES	30
7	CONCLUSÕES	31
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32
	ANEXO	36

1 INTRODUÇÃO

A capacidade que cada região possui de sustentar suas atividades antrópicas, sejam elas ligadas direta ou indiretamente ao uso dos recursos hídricos, é determinada pelo comportamento do ciclo hidrológico local (RUTKOWSKI, 1999), sendo assim de suma importância o estudo de cada um de seus componentes.

Dentre os quais, destaca-se nesta pesquisa, a evaporação de superfícies líquidas, na qual, pode ser definida como a transferência de água líquida para atmosfera em forma de vapor, podendo ser caracterizada simplificada por dois processos: pelo desprendimento das moléculas de água e sua redução em vapor, ocasionado pela radiação solar; e pelo transporte do vapor nas zonas saturadas, mediante a ação dos ventos (LEÃO *et al.*, 2013; TUCCI, 1993).

A evaporação está associada ao balanço de massa e energia, na qual o calor sensível é transformado em calor latente, havendo-se assim a mudança de estado de agregação das moléculas da água e o resfriamento da atmosfera, representando a redistribuição da energia solar absorvida (DIAS; KAN, 2008).

Sua estimativa é de suma importância no manejo dos recursos hídricos, porém, segundo Coelho *et al.* (2017), as dificuldades de se estimar as taxas evaporadas em reservatórios, quando comparadas com a estimativa de outros componentes do ciclo hidrológico, como as estimativas de precipitação e vazão, são maiores, em virtude dos diversos fatores envolvidos no processo.

Isso porque esse fenômeno é afetado fortemente pelas condições atmosféricas e por isso, sua estimativa é bastante complexa, pois as variáveis climáticas que o regem são difíceis de serem obtidas (ANA, 2019).

De acordo com Tucci (1993) e Leão *et al.* (2013) a evaporação pode ser estimada de maneira direta, com o uso de evaporímetros instalados no local desejado, ou de maneira indireta, com aplicação de modelos matemáticos baseados em princípios físicos, como balanço de massa e balanço de energia, ou até mesmo mediante equações empíricas e semi-empíricas.

Teoricamente, os métodos diretos são os mais eficientes para se obter a evaporação de superfícies líquidas, desde que respeitados os processos e especificações de medição, porém são de difícil obtenção (CURTARELLI *et al.*, 2013). Outra possibilidade, então, seria coletar os dados climáticos sobre a superfície do lago para estimativa mais precisas da

evaporação, pois as variações climáticas atuam de forma diferente sobre diferentes superfícies, e posteriormente aplica-los em equações empíricas e semi-empíricas (BARBOSA; MATTOS, 2007; FONTES; OLIVEIRA; MEDEIROS, 2003) .

Porém, de acordo com Stech *et al.* (2006) a coleta de dados sobre a superfície do lago envolve altos custos em decorrência da logística, inviabilidade de monitoramento contínuo, alta frequência temporal das variáveis meteorológicas e limnológicas envolvidas no processo.

Além disso, em algumas regiões há carência de dados climatológicos, principalmente sobre lagos, como é o caso do Brasil, assim são utilizados dados de estações climatológicas instaladas sobre a superfície terrestre, devendo-se então atentar ao método de estimativa da evaporação mais indicado para o local de estudo (DANTAS, 2017).

Coelho *et al.* (2017) realizaram um estudo para as Hidroelétricas de Tucuruí e Lajeado-TO utilizando os métodos de Linacre (1993), Kohler *et al.* (1955), Morton (1983), Bruin & Keijman (2018) e Penman (1948) para estimativa da evaporação nos lagos, na qual, Penman foi definido como método padrão.

Ao aplicar o teste de Dunnett, os autores concluíram que nenhum método foi estatisticamente semelhante ao método padrão, não sendo viável a aplicação destes métodos na estimativa da evaporação anual do reservatório Tucuruí e Lajeado, com exceção de que os métodos Linacre e Bruin-Keijman, que podem substituir o método de Penman nos meses de estiagem para o reservatório de Tucuruí.

Para Coelho *et al.* (2018), o método de Penman é um dos métodos mais utilizados mundialmente na estimativa da evaporação em lagos e reservatórios.

Assim, a dissertação, que teve como objetivo geral a estimativa da evaporação de superfícies líquidas através do método de Penman (1948), para o estado de Mato Grosso, foi estruturada em forma de artigo.

1.1 REFERÊNCIAS

ANA. **Manual de usos consuntivos da água no Brasil**. Brasília - DF: Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos (SPR), 2019.

BARBOSA, C. M. D. S.; MATTOS, A. Estimativa da evaporação no lago usando uma estação meteorológica flutuante.

COELHO, C. D.; DA SILVA, D. D.; SEDIYAMA, G. C.; MOREIRA, M. C.; PEREIRA, S. B.; LANA, Â. M. Q. Comparison of the water footprint of two hydropower plants in the Tocantins

River Basin of Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 153, p. 164–175, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.03.088>. Acesso em: 6 mar. 2023.

CURTARELLI, M. P.; ENNER, A. H.; ARAUJO, C. S.; A.; STECH, J. L.; LORENZZETTI, J. A. Avaliação da dinâmica temporal da evaporação no reservatório de Itumbiara, GO, utilizando dados obtidos por sensoriamento remoto. **Revista Ambiente & Água**, v. 8, n. 1, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.4136/1980-993X>. Acesso em: 2 abr. 2023.

DIAS, N. L.; KAN, A. Evaporação Líquida no Reservatório de Foz do Areia, PR: Estimativas dos Modelos de Relação Complementar Versus Balanço Hídrico Sazonal e Balanço de Energia. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, n. 2, p. 31–43, 2008.

FONTES, A. S.; OLIVEIRA, J. I. R. de; MEDEIROS, Y. D. P. A evaporação em açudes no semi-árido nordestino do brasil e a gestão das águas: **XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2003.

KOHLER, M. A.; NORDENSON, T. J.; FOX, W. e. Evaporation from Pans and Lakes. **US Weather Bureau Research Papers**, v. 38, p. 1–27, 1955.

LEÃO, R. A. de; SOARES, A. A.; TEIXEIRA, A. dos S.; SILVA, D. D. da S. Estimation of evaporation in the banabuiú dam, in the state of ceará, brazil, by different combined methods, derived from the penman equation. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n. 1, p. 129–144, 2013.

LINACRE, E. T. Data-sparse estimation of lake evaporation, using a simplified Penman equation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 64, n. 3–4, p. 237–256, 1993. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(93\)90031-C](https://doi.org/10.1016/0168-1923(93)90031-C). Acesso em: 29 mar. 2023.

MORTON, F. I. Operational estimates of areal evapotranspiration and their significance to the science and practice of hydrology. **Journal of Hydrology**, v. 66, n. 1–4, p. 1–76, 1983. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(83\)90177-4](https://doi.org/10.1016/0022-1694(83)90177-4). Acesso em: 29 mar. 2023.

PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **The Royal Society**, v. 158, p. 120–145, 1948. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.1098/rspa.1948.0037>. Acesso em: 6 mar. 2023.

RUTKOWSKI, E. Desenhando a bacia ambiental-subsídios para o planejamento das águas doces metropolitan(izad)as. 1999. **Doutorado** - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia Ciência e Aplicação**. 1. ed. Porto Alegre: [s. n.], 1993. v. 4.

2 ARTIGO 1

ESTIMATIVA DA EVAPORAÇÃO DE LAGOS NO ESTADO DE MATO GROSSO, BRASIL

2.1 RESUMO

O Brasil, juntamente com o estado de Mato Grosso são grandes produtores de alimentos, auxiliando na garantia da segurança alimentar da população. No entanto, para isso, grandes desafios são constantemente enfrentados, como no caso da escassez hídrica. Muitas vezes, para conter este problema, reservatórios são construídos a fim de armazenar a água excedente das chuvas. Sendo assim, objetiva-se com esta pesquisa estimar a evaporação de superfícies líquidas para auxiliar no dimensionamento e operação de reservatórios. A estimativa foi realizada a partir do método de Penman (1948), onde foi possível constatar que a evaporação é maior no período de estiagem, mais especificamente entre os meses de agosto a outubro, com médias diárias mensais iguais a 6,4 mm.dia-1, 6,7 mm.dia-1 e 6,5 mm.dia-1, respectivamente, justamente o período em que mais se necessita de disponibilidade hídrica, reforçando ainda mais o apelo para a devida gestão e planejamento dos recursos hídricos.

Palavras-chave: Método de Penman. Calor latente. Elementos Meteorológicos. Evaporação em Reservatórios.

2.2 ABSTRACT

Brazil, together with the state of Mato Grosso, are major food producers, helping to guarantee food security for the population. However, for this, great challenges are constantly faced, as in the case of water scarcity. Often, to contain this problem, reservoirs are built in order to store excess rainwater. Therefore, the objective of this research is to estimate the evaporation of liquid surfaces to help in the dimensioning and operation of reservoirs. The estimate was carried out using the Penman method (1948), where it was possible to verify that evaporation is greater during the dry season, more specifically between the months of August and October, with daily monthly averages equal to 6.4 mm.day⁻¹, 6.7 mm.day⁻¹ and 6.5 mm.day⁻¹, respectively, precisely the period in which water availability is most needed, further reinforcing the call for proper management and planning of water resources.

Keywords: Penman method. Latent heat. Meteorological Elements. Evaporation in Reservoirs.

3 INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa a quarta posição na produção mundial de grãos, com a produção de arroz, trigo, cevada, milho e soja, alcançando uma produção de 250 milhões de toneladas em 2021, ficando atrás apenas dos Estados Unidos, China e Índia com previsão para ultrapassar a Índia em 2023, se tornando o terceiro maior produtor mundial (EMBRAPA, 2022).

Dentre as unidades federativas, segundo Moura (2022), Mato Grosso se destaca como o maior produtor, tendo a soja em primeira posição, seguidos do algodão, milho, resíduos extraídos do óleo da soja e carnes bovinas.

Esse destaque como produtor mundial e, no caso de Mato Grosso, como o maior produtor do país, só é possível devido as condições climáticas propícias, grande extensão territorial, abundância de recursos hídricos, associados a aplicação de tecnologias agrícolas e agroindustriais.

Todavia, Marin *et al.* (2022) em seu estudo, por exemplo, apresentaram que o aumento da safra de soja, nos biomas Cerrado e Amazônia, resultou muito mais do aumento do uso do solo do que da inserção de lavouras mais eficientes.

E ainda de acordo com os pesquisadores, considerando que este comportamento perpetue, estima-se que em 15 anos mais de 5,7 milhões de hectares destes biomas serão convertidos em área de plantio e 1,955 milhões de toneladas de dióxido carbono (CO₂), principal gás do efeito estufa, será emitido na atmosfera, agravando ainda mais as mudanças climáticas.

Este agravamento, segundo a CONAB (2022) por sua vez, acarreta estresse hídrico que influencia diretamente na produção agrícola, interrompendo semeaduras e reduzindo o ritmo de plantio de grãos.

Dessa forma, como uma solução à escassez hídrica, é prática comum entre os produtores rurais construir pequenos barramentos, para acumulação de água, a fim de viabilizar a irrigação de culturas em períodos de estiagem ou secas severas, bem como outras atividades de usos múltiplos (ALTHOFF *et al.*, 2019; BRITO *et al.*, 2012).

Estes reservatórios, geralmente, são construídos de forma inadequada, sem projeto ou acompanhamento de profissional técnico habilitado, muitas vezes devido ao alto custo

associado aos serviços, acarretando seu mal funcionamento. No estado de Mato Grosso, essa prática é muito comum, aliado a construção de muitos reservatórios em sequência e/ou em cascata (CLARA et al., [s. d.]).

No entanto, a prática de construir reservatórios em demasia acarreta no aumento da evaporação de superfícies líquidas, na qual compromete em grandes proporções a disponibilidade do recurso aos usuários, visto que dependendo das condições climáticas do local ou região e da estação do ano, as perdas de água por evaporação de superfícies livres podem ser bastante significativas, suscitando em perdas indesejadas conforme mencionam Kan e Dias (1999) Dias e Kan (2008); Soares; Buriol e Estefanel (2015) e; ANA (2019).

E para além da influência sobre a quantidade, há também a influência sobre a qualidade do recurso, devido aos grandes volumes de água perdidos para a atmosfera, acarretando maior concentração de poluentes no manancial (BARBOSA; MATTOS, 2007; KELMAN; KELMAN; VEIGA, 2004).

Althoff, Rodrigues e Silva (2019) observaram que em reservatórios de 0,35 ha a evaporação pode atingir até 52% da capacidade total de armazenamento, no período de estiagem, já para um reservatório de 15,75 ha a evaporação pode ser de até 34%, permitindo concluir que reservatórios menores podem correr maior risco de falha em períodos de seca.

Este e outro estudo foram realizados pelos autores em (2020) no Bioma Cerrado, com o intuito de identificar a influência das mudanças climáticas sobre a evaporação e disponibilidade hídrica no cerrado brasileiro.

Os pesquisadores utilizaram os modelos climáticos regionais Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5, sob os caminhos representativos de concentração (*Representative Concentration Pathways* – RPC) 4.5 e 4.5, chegando a uma previsão de aumento na evaporação de lagos em 5,5% e 10,4% no período de seca, projetados em cada RPC, respectivamente.

Portanto, é de grande importância incluir a evaporação como variável no balanço hídrico, em lagos e reservatórios, principalmente em períodos de intensa radiação solar, altas temperaturas, baixa umidade do ar e altas velocidade de vento (SOARES; BURIOL; ESTEFANEL, 2015).

Até o momento, para o Estado de Mato Grosso, foram elaborados apenas estudos de estimativas de evapotranspiração, como os de Biudes *et al.* (2022) Tanaka *et al.* (2016), Ferronato *et al.* (2016), bem como estudos que abrangem o bioma pantanal, como os

estudos de Goulart *et al.* (2015), Machado *et al.* (2016) e Jung *et al.* (2016), mas não há na literatura, estudos que envolvam estimativa de evaporação de lagos naturais e artificiais.

Por isso, com esta pesquisa, objetivou-se realizar a estimativa de evaporação de superfícies líquidas para o Estado de Mato Grosso, por meio do método de Penman (1948). Para isso, as séries históricas de clima, obtidas de estações automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) foram organizadas e consistidas; foram determinadas as regiões climáticas homogêneas no Estado; e por fim, foram estimadas as lâminas evaporadas para os lagos da região.

Assim, este estudo subsidiará no diagnóstico e prognósticos dos planos de recursos hídricos das bacias hidrográficas do estado de Mato Grosso.

4 METODOLOGIA

Esta pesquisa possui caráter exploratória, cujos processos envolveram conhecer os princípios e fundamentos que abrangem o regime da evaporação, para estimativa das lâminas evaporadas para o Estado de Mato Grosso, na qual é objeto de estudo deste trabalho, mediante aplicação dos métodos apresentados nesta Seção.

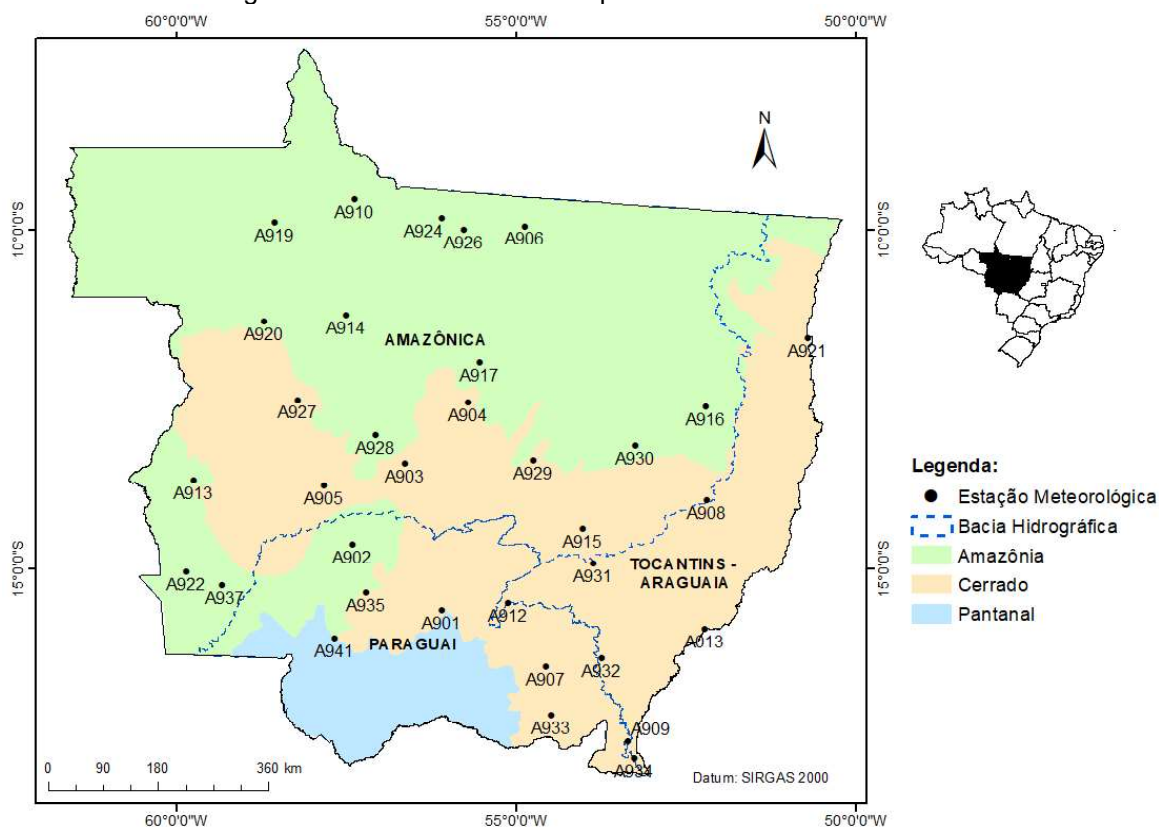
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

De acordo com Biudes *et al.* (2022), pela classificação de Köppen, Mato Grosso é classificado ao Norte em Am, caracterizado pelo clima tropical de monção, com breve estação seca e chuvas intensas durante o resto do ano, na qual a precipitação pluvial é maior que a evapotranspiração anual. Já ao Sul, o Estado é classificado como Aw, caracterizado por clima de savana, com chuvas de verão. Para ambas as classificações, a temperatura média é superior a 18°C no mês mais frio.

O Estado abrange três biomas brasileiros: Amazônia, Cerrado e Pantanal, bem como integra uma porção de três regiões hidrográficas: Amazônica, Paraguai e Tocantins-Araguaia, sendo o berço de bacias importantes do território nacional: Xingu, Tapajós, Araguaia, Paraguai e Pantanal, conforme representação na Figura 1.

A bacia Tocantins-Araguaia é caracteriza quase que por completo pelo bioma cerrado, a bacia Amazônica possui predominância do bioma Amazônia, e uma porcentagem menor, mas considerável do bioma Cerrado. Já a bacia do Rio Paraguai é mais complexa, possuindo quase que em mesma proporção os biomas Cerrado e Pantanal, e um porção menor do bioma Amazônia.

Figura 1 – Área de Estudo – Mapa do Estado de Mato Grosso.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Essas características proporcionam ao Estado grande diversidade ambiental, social e econômica, principalmente no que diz respeito aos processos de produção e desenvolvimento rural e agroindustrial.

4.2 BASE DE DADOS CLIMATOLÓGICOS

Foram utilizados dados climatológicos da estação pertencentes ao INMET, conforme apresentadas na Tabela 1.

Salienta-se que os dados climatológicos foram utilizados de estações meteorológicas automática em decorrência das estações convencionais não apresentarem dados necessários para aplicação do método, como a fundamental radiação solar.

Tabela 1 – Estações Meteorológicas Automáticas do INMET

BH	Código	Município	Latitude	Longitude	Altitude	Série Hist.
PARAGUAI	A941	Cáceres	16°02'S	57°41'W	116m	2018-2019
	A933	Itiquira	17°10'S	54°30'W	585m	2009-2019
	A935	Porto Estrela	15°21'S	57°13'W	145m	2008-2019
	A907	Rondonópolis	16°27'S	54°34'W	284m	2007-2019
	A902	Tangará da Serra	14°39'S	57°25'W	322m	2011-2019
AMAZÔNICA	A908	Água Boa	14°00'S	52°12'W	432m	2007-2012
	A924	Alta Floresta	09°50'S	56°06'W	289m	2018-2019
	A910	Apiacás	09°33'S	57°23'W	220m	2007-2019
	A927	Brasnorte Mundo Novo	12°31'S	58°13'W	431m	2008-2019
	A905	Campo Novo do Parecis	13°47'S	57°50'W	570m	2010-2020
	A926	Carlinda	10°00'S	55°47'W	290m	2008-2019
	A913	Comodoro	13°42'S	59°45'W	591m	2007-2019

	A919	Cotriguaçu	09°54'S	58°34'W	261m	2007-2015
	A930	Gaúcha do Norte	13°11'S	53°15'W	379m	2009-2018
	A914	Juara	11°16'S	57°31'W	260m	2007-2019
	A920	Juína	11°22'S	58°43'W	200m	2008-2018
	A928	Nova Maringá	13°02'S	57°05'W	353m	2007-2017
	A929	Nova Ubiratã	13°24'S	54°45'W	518m	2008-2013
	A915	Paranatinga	14°25'S	54°02'W	474m	2007-2019
	A937	Pontes e Lacerda	15°15'S	59°20'W	256m	2008-2019
	A916	Querência	12°37'S	52°13'W	382m	2007-2019
	A917	Sinop	11°58'S	55°33'W	371m	2007-2019
	A904	Sorriso	12°33'S	55°43'W	380m	2008-2019
	A922	Vila Bela da Santíssima Trindade	15°03'S	59°52'W	222m	2007-2019
TOCANTINS- ARAGUAIA	A909	Alto Araguaia	17°33'S	53°22'W	753m	2012-2019
	A934	Alto Taquari	17°48'S	53°17'W	875m	2008-2019
	A013	Aragarças	15°54'S	52°14'W	347m	2007-2019
	A912	Campo Verde	15°31'S	55°08'W	749m	2007-2019
	A932	Guiratinga	16°20'S	53°45'W	526m	2008-2019
	A931	Santo Antônio do Leste	14°55'S	53°53'W	648m	2008-2019
	A921	São Félix do Araguaia	11°37'S	50°43'W	218m	2011-2019

Fonte: INMET adaptado pelo autor, 2022.

4.3 MÉTODO DE PENMAN (1948)

Para o presente estudo optou-se por determinar a evaporação de superfícies líquidas através do modelo empírico Penman (1948), o qual estima valores de evaporação mais próximos aos reais, como relatado por Pereira *et al.* (2009), Vieira *et al.* (2016) e Coelho *et al.* (2017).

As estimativas foram obtidas a partir do pacote *Evapotranspiration*, elaborado por Guo, Westra e Maier (2016), simulados no *software* R (R Core Team, 2021), cujos dados de entrada foram: temperatura do ar mínima ($T_{\min}$) e máxima ($T_{\max}$) em °C, temperatura no ponto de orvalho (T_{dew}) em °C, velocidade do vento (u_z) em m.s⁻¹, umidade relativa do ar mínima ($RH_{\min}$) e máxima ($RH_{\max}$) em % e radiação global (R_s) em MJ.m⁻².

A equação da evaporação no reservatório (mm/mês) de acordo com o modelo proposto por Penman (1948), e descrito por Guo; Westra; Maier (2016) está representada na Equação 1

$$E = \left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) \times \frac{R_n}{\lambda} + \left(\frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \right) \times E_a \quad 1$$

em que:

R_n é radiação solar incidente líquida na superfície evaporativa (MJm⁻²dia⁻¹);

Δ é a declividade da curva de pressão de vapor, obtida com a Equação 2 (kPa°C⁻¹).

$$\Delta = \frac{4098 \left[0.6108 \times \exp \left(\frac{17.27 \times T_a}{T_a + 273.3} \right) \right]}{(T_a + 273.3)} \quad 2$$

em que:

T_a é a média da temperatura diária calculada pela Equação 3 (°C):

$$T_a = \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \quad 3$$

γ é a constante psicrométrica, calculada com a Equação 4 ($\text{kPa}^\circ\text{C}^{-1}$).

$$\gamma = 0.00163 \times \frac{P}{\lambda} \quad 4$$

λ é o calor latente de evaporação (MJ.kg^{-1}), e

E_a é um componente relacionado ao poder evaporante do ar sobrejacente ao lago, expresso pela Equação 5 (mm.dia^{-1}).

$$E_a = 2.626 + 1.381u_2 \times (e_s - e_a) \quad 5$$

em que:

u_2 é a velocidade do vento (m.s^{-1})

e_s é a pressão saturada diária, expressa pela Equação 6 (kPa);

$$e_s = \frac{e_s(T_{\max}) + e_s(T_{\min})}{2} \quad 6$$

em que:

$e_s(T_{\max})$ e $e_s(T_{\min})$ são a temperatura de pressão de vapor em $T_{\max}$ e $T_{\min}$ ($^\circ\text{C}$);

e_a é a pressão de vapor real média diária, expressa pela Equação 7 (kPa).

$$e_a = 0.6108 \exp\left[\frac{17.27 \times T_{\text{dew}}}{T_{\text{dew}} + 273.3}\right] \quad 7$$

em que:

T_{dew} é a temperatura do ponto de orvalho ($^\circ\text{C}$)

Embora este pacote tenha sido elaborado para obter a evapotranspiração, é possível que ele seja utilizado no cálculo da evaporação, em razão dos reservatórios apresentarem superfície d'água livre (ALTHOFF; RODRIGUES; SILVA, 2019; ROSENBERRY et al., 2007).

A evaporação estimada foi apresentada de forma geoespacializada, onde os dados foram interpolados pela Ponderação do Inverso da Distância (*Inverse Distance Weighting* – IDW), isso porque este método apresentou os melhores resultados na representação da evaporação para cada estação.

4.4 VOLUME EVAPORADO EM RESERVATÓRIOS

Para além da estimativa da lâmina evaporada obtida mediante dados das estações climatológicas no Estado de Mato Grosso, nesta pesquisa foi verificado também o volume evaporado em 86 reservatórios em operação o estado.

Optou-se por selecionar reservatórios para acumulação de água para usos múltiplos, incluindo usinas hidroelétricas, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Características dos Reservatórios

BH	Name	Latitude	Longitude	Área (km²)	BH	Name	Latitude	Longitude	Área (km²)
Paraguai	A941_1	-16,13	-57,67	0,006	Amazônica	A910_3	-9,49	-57,44	0,029
	A941_2	-16,11	-57,65	0,047		A910_4	-9,49	-57,30	0,012
	A941_3	-16,08	-57,64	0,008		A927_1	-12,71	-57,97	0,017
	A935_1	-15,34	-57,19	0,016		A927_2	-12,58	-58,44	0,016
	A935_2	-15,26	-57,31	0,013		A927_3	-12,45	-58,42	0,038
	A935_3	-15,23	-57,26	0,010		A927_4	-12,53	-57,88	4,191
	A935_4	-15,23	-57,13	0,026		A926_1	-10,03	-55,74	0,004
	A907_1	-16,44	-54,48	0,015		A926_2	-10,04	-55,80	0,003
	A907_2	-16,44	-54,54	0,030		A926_3	-9,98	-55,82	0,026
	A907_3	-16,37	-54,61	0,002		A926_4	-9,98	-55,80	0,013
	A907_4	-16,37	-54,59	0,002		A913_1	-13,75	-59,70	0,012
	UHE Jauru	-15,24	-58,73	1,51		A913_2	-13,78	-59,77	0,115
	UHE Juba II	-14,76	-58,04	2,38		A913_3	-13,67	-59,85	0,006
	PCH Indaiavai	-15,26	-58,72	0,16		A913_4	-13,66	-59,77	0,009
Tocantins-Araguaia	Piscicultura São Rafael	-15,59	-56,78	0,15		A919_1	-9,92	-58,57	0,012
	Usina de Manso	-14,87	-55,79	427		A919_2	-9,82	-58,49	0,020
	A934_1	-17,95	-53,35	0,015		A919_3	-9,83	-58,58	0,020
	A934_2	-17,93	-53,32	0,011		A919_4	-9,90	-58,63	0,010
	A934_3	-17,85	-53,28	0,321		A914_1	-11,71	-57,16	0,026
	A934_4	-17,77	-53,27	0,005		A914_2	-11,53	-57,65	0,008
	A013_1	-15,89	-52,34	0,027		A914_3	-11,14	-57,59	0,008
	A013_2	-15,89	-52,36	0,004		A914_4	-11,09	-57,21	0,011
	A013_3	-15,86	-52,31	0,001		A920_1	-11,38	-58,71	0,008
	A013_4	-15,87	-52,28	0,006		A920_2	-11,39	-58,74	0,004
	A912_1	-15,47	-54,99	1,341		A920_3	-11,35	-58,77	0,003
	A912_2	-15,61	-55,17	0,043		A920_4	-11,31	-58,70	0,006
	A912_3	-15,45	-55,22	0,004		A937_1	-15,28	-59,26	0,004
	A912_4	-15,42	-55,10	0,116		A937_2	-15,32	-59,38	0,022
	A931_1	-14,96	-53,59	0,027		A937_3	-15,18	-59,39	0,106
Amazônica	A931_2	-14,93	-54,04	0,055		A937_4	-15,19	-59,28	0,044
	A931_3	-14,73	-53,75	0,018		A917_1	-11,95	-55,31	0,040
	A931_4	-14,71	-53,51	0,006		A917_2	-12,05	-55,73	0,041
	CGH Alto Garças	-16,98	-53,28	0,021		A917_3	-11,65	-55,63	0,008
	Fazenda AFB Brasil	-14,99	-52,26	0,51		A917_4	-11,66	-55,33	0,003
	PCH Primavera	-15,38	-54,41	0,53		A904_1	-12,63	-55,78	0,019
	PCH Salto Belo	-14,87	-53,30	0,84		A904_2	-12,53	-55,94	0,507
	PCH São Domingos	-16,30	-52,71	0,024		A904_3	-12,43	-56,19	0,149
	A908_1	-14,00	-52,13	0,020		A904_4	-12,48	-55,56	0,030
	A908_2	-14,10	-52,23	0,010		UHE Sinop	-11,27	-55,45	342
	A908_3	-13,95	-52,26	0,006		UHE Teles Pires	-9,33	-56,78	161,18
	A908_4	-13,95	-52,19	0,071		PCH Segredo	-13,22	-59,03	4,09
	A910_1	-9,57	-57,36	0,046		UHE Colider	-10,98	-55,77	171,7
	A910_2	-9,57	-57,40	0,068		UHE São Manoel 1	-9,18	-57,06	66

Fonte: Adaptado pelo autor, 2022.

As áreas inundadas, referentes as usinas hidroelétricas, foram extraídas de documentos oficiais, disponíveis para consulta, como nos sítios dos empreendedores, nos Relatórios de Impacto Ambiental (RIMA), ou em outros documentos referentes as respectivas barragens.

Como o estado de Mato Grosso não possui um mapeamento de seus reservatórios, fez um levantamento prévio no Google Earth, de reservatórios localizados próximos as estações climatológicas.

Assim foram selecionados quatro reservatórios para cada posto, sendo que para a estação de Cáceres (A-941) foram identificados apenas 3 reservatórios nas proximidades. Este mapeamento foi validado de acordo com a metodologia adotada por Capone (2021) e as áreas foram calculadas através do ArcGis versão 10.8.

Por fim, foi estimado a vazão evaporada bruta para cada reservatório, onde foi obtida pelo produto entre a área máxima alagada pela média diária mensal da lâmina evaporada, conforme Equação 8.

$$Q_{evap} = 0,0116 \times E \times A$$

8

em que:

Q_{evap} = vazão evaporada (m^3/s);

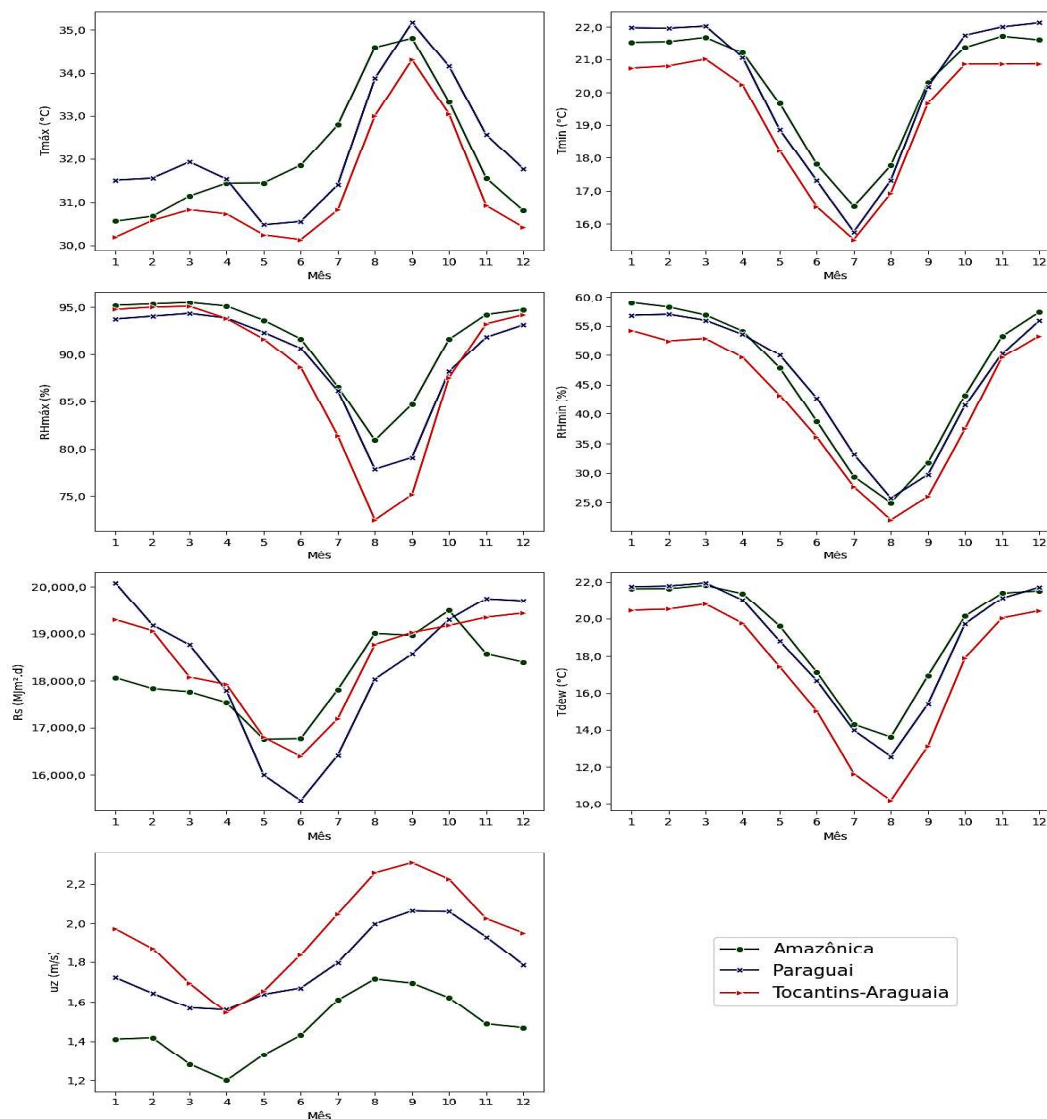
E = evaporação média mensal ($mm\ d^{-1}$);

A = área máxima da superfície líquida livre (km^2).

5 RESULTADOS

Ao avaliar os parâmetros climatológicos em cada bacia hidrográfica, foi possível observar um comportamento sazonal semelhante em todas as situações, mas com diferentes intensidades, como pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 – Variáveis Climáticas Médias Diárias Mensais



É possível verificar que as maiores intensidades de $T_{\min}$, $RH_{\min}$, T_{dew} e R_s ocorreram com intensidades muito semelhantes para as bacias Paraguai e Amazônica.

Os valores de velocidade do vento foram muito diferentes para as três bacias, com Tocantins-Araguaia apresentando as maiores intensidade e a bacia Amazônica apresentando as menores.

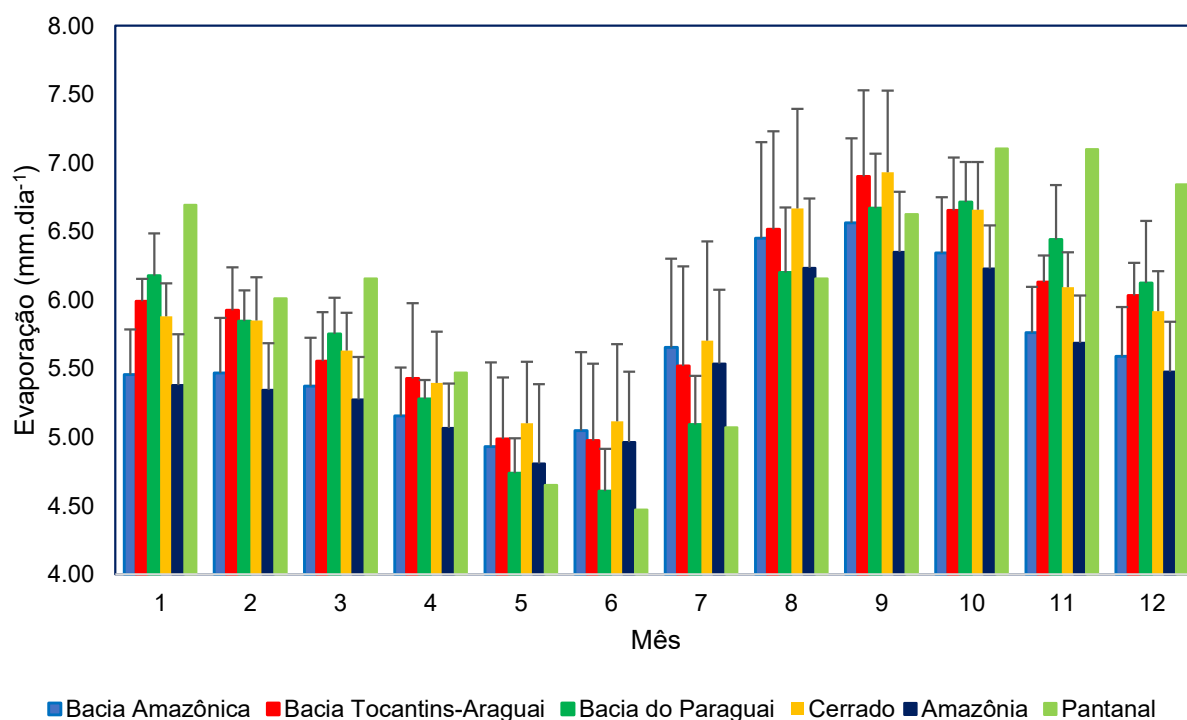
Com relação a Radiação solar, observa-se que as maiores intensidades no período chuvoso ocorreram no Paraguai e para a bacia Amazônica no período de estiagem.

Com exceção da velocidade do vento, as demais variáveis apresentaram as menores intensidades para a bacia Tocantins-Araguaia, o que vai de encontro com os dados apresentados na Figura 3 e Figura 5, visto que, adiante, será observado que a R_s apresenta a maior influência sobre a evaporação, em consonância com a literatura.

5.1 LÂMINA EVAPORADA

A Figura 3 representa a comparação entre os valores estimados da evaporação média mensal para cada bacia hidrográfica e para cada bioma, evidenciando um comportamento sazonal semelhante, com exceção do bioma Pantanal, mas com diferentes magnitudes.

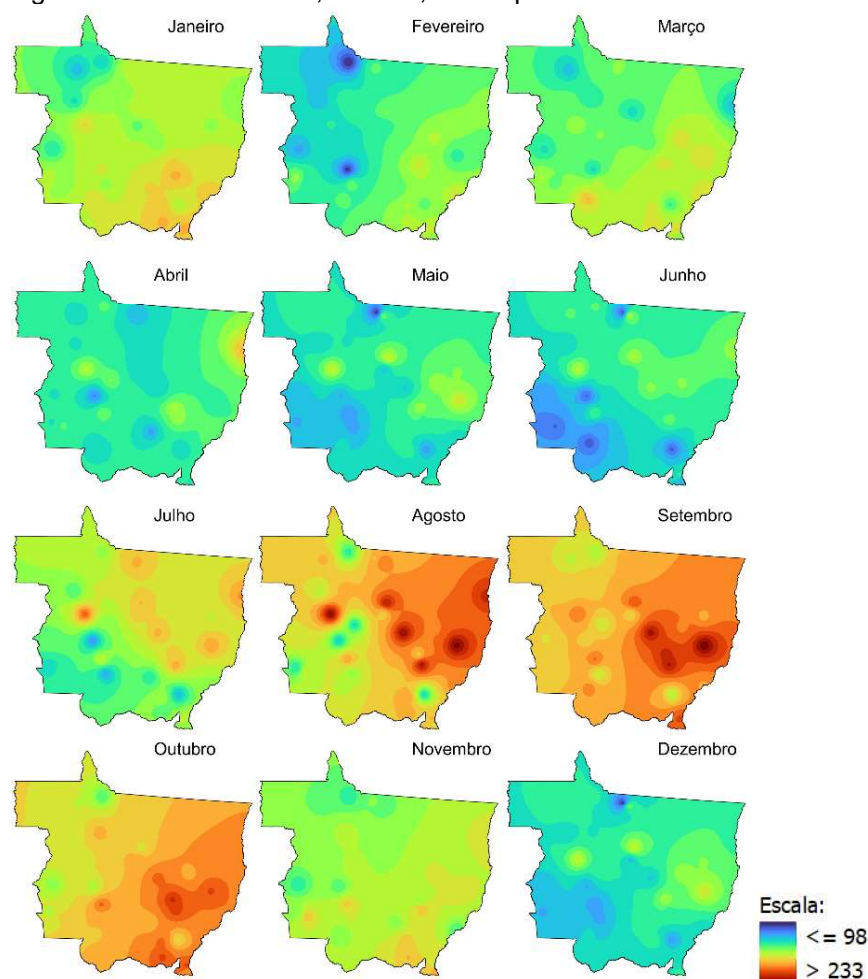
Figura 3 – Evaporação média mensal, em mm, por região.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

A Bacia do Rio Paraguai (tom verde escuro), na qual integra os biomas Pantanal (tom verde claro), Cerrado e Amazônia, apresentou as menores lâminas evaporadas nos meses secos, cuja a diferença entre as demandas para esta bacia e o bioma Pantanal é a máxima lâmina evaporada, visto que, quando avaliamos apenas o pantanal, verificamos que as maiores lâminas evaporadas ocorrem no período chuvoso, especificamente nos meses de outubro a março, o que corrobora com o fato de que neste mesmo período, as máximas para a temperatura mínima, máxima e radiação solar ocorrem neste bioma.

Figura 4 – Totais Mensais, em mm, obtido para o Estado de Mato Grosso



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Todavia, existe apenas uma estação climatológica automática (Cáceres – A941) com dados suficientes para estimativa da evaporação neste bioma, o que é importante de se evidenciar, porém não impede de se fazer esta verificação justamente porque a principal característica do Pantanal é a de ser uma região com grandes planícies de inundação que consequentemente apresentam grandes áreas alagadas no período chuvoso.

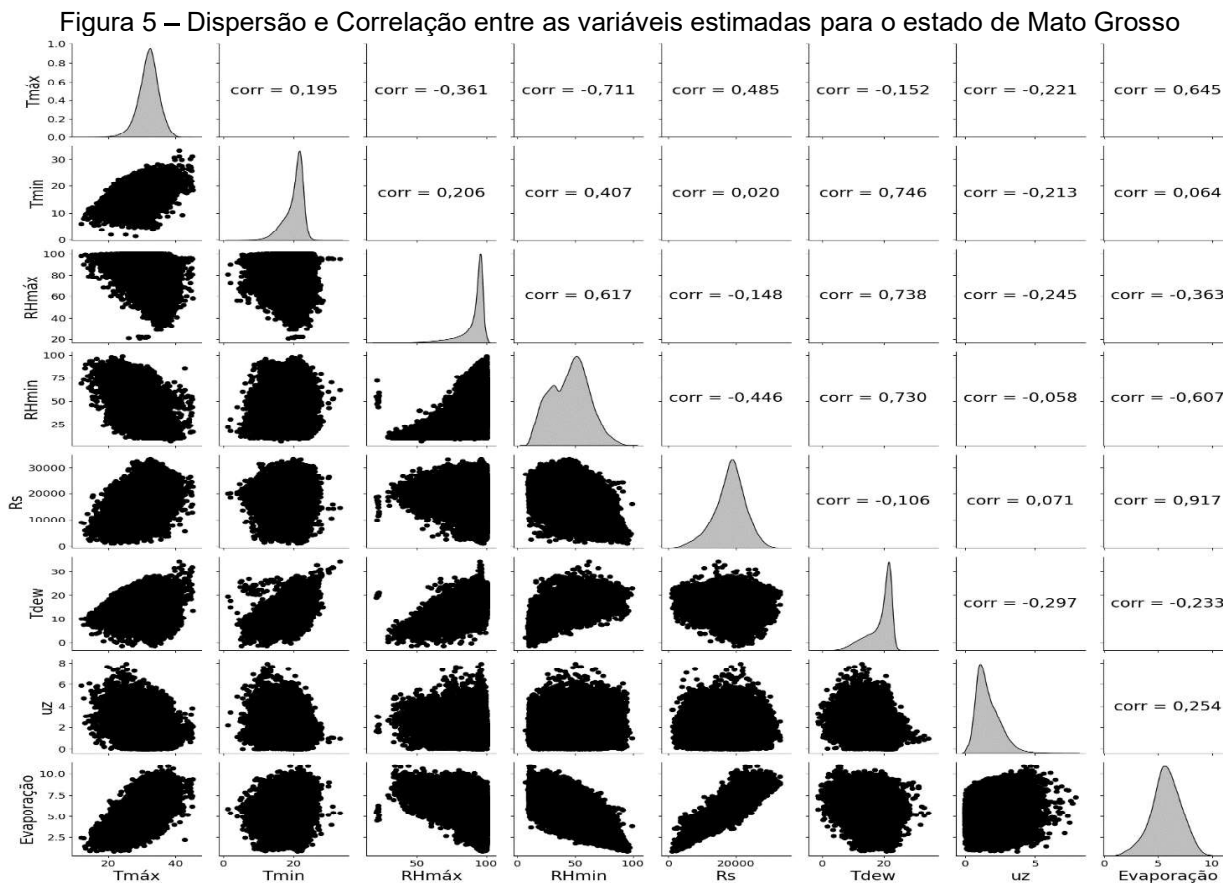
A Figura 4 representa os totais mensais evaporados, estimados para Mato Grosso. Este mapa tem como objetivo possibilitar uma análise visual da evaporação no Estado

como um todo, sendo possível observar, de forma nítida e expressiva, as estações que, mesmo vizinhas e em regiões de mesmas características, apresentam resultados muito distintos.

Em contrapartida, a bacia Amazônica (tom azul escuro), apresentou os menores valores no período chuvoso. Já a bacia Tocantins-Araguaia (tom vermelho), que integra em quase toda sua extensão o bioma Cerrado (tom amarelo), apresentou as maiores lâminas médias evaporadas nos meses de agosto (6,52) setembro (6,90) e outubro (6,65), corroborando com estudos realizados neste bioma.

5.1.1 Dispersão e correlação dos dados

Nesta pesquisa, foram avaliadas a dispersão e correlação entre as variáveis utilizadas. Na Figura 5 pode-se observar E e as variáveis tanto nas abscissas quanto nas ordenadas, porém, na última coluna, por exemplo, pode-se observar os gráficos de dispersão entre a evaporação (E) e as demais variáveis, assim, para a última coluna e segunda linha, tem-se o gráfico de dispersão entre E e $T_{\min}$, na qual apresenta uma tendência positiva.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Na primeira linha, a partir da segunda coluna, é possível verificar a correlação entre as variáveis nas abscissas e na ordenada, cujos valores são apresentados em valores numéricos.

No que tange a correlação entre a Evaporação e as demais variáveis, as que apresentaram correlação positiva mais expressivas foram a R_s (0,917) e $T_{\max}$ (0,645), ou seja, isso significa que quanto maior for a intensidade destas variáveis, maior será a evaporação. Já para o caso inverso, em que quanto maior a variável, menor é a evaporação, ou seja, no caso de correlação negativa, a variável mais expressiva foi a $RH_{\min}$ (-0,607).

Na posição onde a abscissa e a ordenada apresentam a mesma variável, é apresentado a curva de frequência entre os valores, como no caso da última linha e última coluna, onde é apresentado a curva de frequência de E , na qual é possível observar uma distribuição leptocúrtica, o que indica que a curva é mais alongada que a curva normal padrão, pois os valores estão mais próximos da média, acarretando em um menor desvio padrão.

5.2 VOLUMES EVAPORADOS

Após obtidas as vazões evaporadas a partir das lâminas estimadas, fez uma consulta de disponibilidade hídrica no Sistema Integrado de Monitoramento e Licenciamento Ambiental (SIMLAM), para verificar se a demanda é atendida pela vazão de referência, que no estado de Mato Grosso, é definida pela Q_{95} .

Tabela 3 – Resultado da Consulta de disponibilidade hídrica – SIMLAM MT

BH	Name	Área (km ²)	Evaporação (mm)	Volume (m ³ /s)	Q_{95}	Área de Contr. (km ²)
Paraguai	A941_1	0,006	6,2	0,0004	0,30	20,5
	A941_2	0,047		0,0035	0,35	25,3
	A941_3	0,008		0,0006	0,72	58,0
	A935_1	0,016		0,0010	1,06	121,4
	A935_2	0,013	5,4	0,0009	1,12	69,8
	A935_3	0,010		0,0006	0,16	14,4
	A935_4	0,026		0,0017	0,77	126,0
	A907_1	0,015		0,0011	25,21	6067,1
	A907_2	0,030	5,9	0,0021	0,08	19,8
	A907_3	0,002		0,0001	0,11	24,9
	A907_4	0,002		0,0002	0,17	10,9
	UHE Jauru	1,51	5,4	0,0971	33,34	2236,7
	UHE Juba II	2,38	6	0,1700	0,63	45,2
	PCH Indiavaí	0,16	5,4	0,0103	33,39	2242,9
Tocantins- Araguaia	Piscicultura São Rafael	0,15	5,4	0,0096	0,03	8,8
	Usina de Manso	427	5,9	29,9917	54,48	9340,9
	A934_1	0,015	5,8	0,0010	0,09	11,7
	A934_2	0,011		0,0008	0,09	11,1
	A934_3	0,321		0,0221	0,08	5,9
	A934_4	0,005		0,0003	0,13	9,8
	A013_1	0,027	6,1	0,0020	0,03	5,3
	A013_2	0,004		0,0003	45,74	13333,6
	A013_3	0,001		0,0001	0,05	10,5

Rio Amazônica	A013_4	0,006		0,0004	0,05	10,5
	A912_1	1,341		0,0942	0,26	21,0
	A912_2	0,043	5,9	0,0031	0,23	19,7
	A912_3	0,004		0,0003	8,44	657,9
	A912_4	0,116		0,0081	1,24	101,0
	A931_1	0,027		0,0020	0,10	6,6
	A931_2	0,055	6,3	0,0041	0,27	15,4
	A931_3	0,018		0,0013	0,04	5,3
	A931_4	0,006		0,0005	0,16	20,5
	CGH Alto Garças	0,021	6,1	0,0015	0,56	111,4
	Fazenda AFB Brasil	0,51	6,1	0,0370	1,01	127,0
	PCH Primavera	0,53	5,9	0,0372	38,14	4111,2
	PCH Salto Belo	0,84	6,3	0,0630	6,95	609,4
	PCH São Domingos	0,024	6,1	0,0017	4,25	1063,5
	A908_1	0,020		0,0015	0,04	4,9
	A908_2	0,010	6,3	0,0007	0,37	40,6
	A908_3	0,006		0,0004	0,62	88,7
	A908_4	0,071		0,0053	0,08	11,7
	A910_1	0,046		0,0028	0,05	8,6
	A910_2	0,068	5,2	0,0042	0,02	3,2
	A910_3	0,029		0,0018	0,08	13,8
	A910_4	0,012		0,0007	0,12	20,4
	A927_1	0,017		0,0012	0,83	21,6
	A927_2	0,016	6,1	0,0012	0,70	14,1
	A927_3	0,038		0,0028	1,88	45,8
	A927_4	4,191		0,3044	54,24	2723,0
	A926_1	0,004		0,0002	0,50	73,7
	A926_2	0,003	5,7	0,0002	0,12	18,5
	A926_3	0,026		0,0017	0,11	16,3
	A926_4	0,013		0,0009	0,04	5,7
	A913_1	0,012		0,0007	1,05	22,9
	A913_2	0,115	5,1	0,0070	1,70	65,9
	A913_3	0,006		0,0003	0,05	2,0
	A913_4	0,009		0,0006	0,25	12,3
	A919_1	0,012		0,0008	0,31	12,0
	A919_2	0,020	5,3	0,0013	4,17	254,3
	A919_3	0,020		0,0012	0,27	10,0
	A919_4	0,010		0,0007	0,40	15,6
	A914_1	0,026		0,0017	0,08	2,8
	A914_2	0,008	5,4	0,0005	0,09	2,6
	A914_3	0,008		0,0005	5,07	239,9
	A914_4	0,011		0,0007	0,38	15,5
	A920_1	0,008		0,0005	0,23	9,0
	A920_2	0,004	5,2	0,0003	0,34	13,8
	A920_3	0,003		0,0002	0,20	7,7
	A920_4	0,006		0,0004	0,61	27,5
	A937_1	0,004		0,0003	2,74	230,4
	A937_2	0,022	5,4	0,0015	0,10	13,4
	A937_3	0,106		0,0073	0,11	14,9
	A937_4	0,044		0,0031	0,26	14,2
	A917_1	0,040		0,0029	0,10	11,3
	A917_2	0,041	6	0,0029	0,21	32,1
	A917_3	0,008		0,0006	0,04	5,7
	A917_4	0,003		0,0002	0,53	65,2
	A904_1	0,019		0,0013	37,26	14070,9
	A904_2	0,507	5,8	0,0350	0,18	27,8
	A904_3	0,149		0,0103	0,21	30,3
	A904_4	0,030		0,0020	0,04	6,5
	UHE Sinop	342	6	24,4286	222,78	37758,1
	UHE Teles Pires	161,18	5,3	10,1697	0,27	38,2
	PCH Segredo	4,09	6,1	0,2970	74,40	4765,7
	UHE Colider	171,7	6	12,2643	257,37	41343,2
	UHE São Manoel 1	66	5,3	4,1643	16096,41	16096,4

Fonte: SIMLAM Público, 2023.

A Tabela 3 apresenta o resultado da consulta realizada no SIMLAM, bem como a vazão evaporada considerando a área máxima alagada para os referidos reservatórios.

A primeira coluna apresenta a bacia em que os reservatórios estão inseridos, a coluna dois apresenta os reservatórios, a terceira coluna representa a área máxima alagada

dos reservatórios, a quarta coluna representa a evaporação média diária referente estimada para o posto próximo ao reservatório, a quinta coluna representa os volumes evaporados, a sexta coluna representa a vazão de referência (Q_{95}) adotada no estado.

Como o órgão gestor definiu a Q_{95} a partir de bacias incrementais, a área de contribuição apresentada na coluna sete é referente a bacia incremental onde o reservatório está localizado, e é prática adotar a Q_{95} para o reservatório realizando uma ponderação da Q_{95} da bacia incremental pela relação entre as áreas de contribuição da bacia incremental com a área de contribuição no local desejado.

6 DISCUSSÕES

Althoff, Rodrigues e Silva (2019) em seu estudo realizado no Cerrado Brasileiro, observaram uma tendência no aumento da evaporação nos períodos de transição entre a estiagem e a cheia, mais especificamente entre os meses de agosto e outubro.

Esta constatação faz jus aos valores de evaporação estimados para o Estado de Mato Grosso, uma vez que, as médias estimadas se apresentaram entre os meses de agosto e outubro, o que pode ser visto de forma bem nítida na Figura 4, o que reforça a importância de se considerar a evaporação no planejamento e operação de reservatórios.

Ainda no estudo dos autores, foi identificado que as variáveis com maiores correlações negativas com a evaporação foram a umidade relativa média (UR_m), máxima (UR_x) e mínima (UR_n) e correlações positivas entre a evaporação e a radiação solar (R_s) e T_x , corroborando com os dados encontrados nesta pesquisa.

6.1 SUGESTÕES

Desde já é importante que os gestores dos recursos hídricos comecem a observar as tendências de aumento ou redução da evaporação em regiões onde este componente do ciclo hidrológico não é considerado nos estudos de balanço hídrico. Por isso, recomenda-se a avaliação da tendência da evaporação de lagos diante do cenário de mudanças climáticas.

Recomenda-se também a verificação da influência da qualidade da água, nos reservatórios, sobre a evaporação, visto que, Mesquita *et al.* (2020), em sua pesquisa, observaram que os coeficientes médios do Tanque Classe A foram inferiores aos

recomendados pela literatura, sugerindo que as partículas suspensas de fósforo, no reservatório, atenuaram as taxas de evaporação no lago.

Como o objetivo deste estudo foi o de estimar a evaporação de lagos, a apresentação das vazões evaporadas teve como finalidade a verificação da vazão bruta que um reservatório, com determinada área alagada, pode perder para a atmosfera. Assim, um estudo mais elaborado para verificação do volume evaporado em reservatórios no Estado pode ser realizado, considerando a influência dos fenômenos climáticos, qualidade da água nos lagos, bem como a variação temporal do volume reservado.

Estações com Apiacás (A910), Tangará da Serra (A902), Guiratinga (A932) e São Félix do Araguaia (A921), apresentaram estimativas significativamente distintas as dos postos vizinhos, mesmo estes estando em região de mesmas características. Logo, um estudo para avaliar estes locais, pode auxiliar na compreensão dos fatores que influenciaram este comportamento, seja devido a qualidade dos dados climatológicos, devido as características específicas do local, da interferência do uso e ocupação do solo, ou outros.

7 CONCLUSÕES

A presente pesquisa teve como objetivo apresentar a evaporação de lagos naturais e artificiais no estado de Mato Grosso, estimadas através da metodologia de Penman (1948), por meio da utilização do pacote R, desenvolvido pelos autores Guo, Westra e Maier (2016), a fim de subsidiar a gestão e gerenciamento dos recursos hídricos.

Cabe destacar que os resultados obtidos para a evaporação estimada corroboraram com pesquisas já desenvolvidas em regiões com características climatológicas semelhantes às do local de estudo, como no caso dos estudos realizados para o Cerrado e para a bacia Tocantins-Araguaia.

Apesar das lâminas evaporadas serem da ordem de 5mm a 6mm em média, é importante destacar que a evaporação possui relação direta com a área da superfície alagada. Não somente, com o uso inadequado do solo e o aumento do desmatamento, e conforme a previsão de especialistas, se mantivermos este comportamento, a escassez hídrica pode se agravar, fazendo com que mais reservatórios sejam construídos e mais perdas por evaporação ocorram.

Como pode ser observado, mesmo em lagos com área pouco expressiva, se comparado as usinas hidroelétricas, as perdas por evaporação superaram a vazão

outorgável permitida pelo Estado, acarretando assim em mais perda de água para a atmosfera, e consequentemente maiores conflitos pelo uso dos recursos hídricos, principalmente em regiões onde a demanda, seja pelo uso, seja pela evaporação, são maiores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTHOFF, D.; RODRIGUES, L. N.; DA SILVA, D. D. Impacts of climate change on the evaporation and availability of water in small reservoirs in the Brazilian savannah. **Climatic Change**, v. 159, n. 2, p. 215–232, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02656-y>

ALTHOFF, D.; RODRIGUES, L. N.; DA SILVA, D. D.; BAZAME, H. C. Improving methods for estimating small reservoir evaporation in the Brazilian Savanna. **Agricultural Water Management**, v. 216, p. 105–112, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2019.01.028>. Acesso em: 6 mar. 2023.

ALTHOFF, D.; RODRIGUES, L. N.; SILVA, D. D. da. Evaluating Evaporation Methods for Estimating Small Reservoir Water Surface Evaporation in the Brazilian Savannah. **Water** 2019, Vol. 11, Page 1942, v. 11, n. 9, p. 1942, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/W11091942>. Acesso em: 6 mar. 2023.

BARBOSA, C. M. D. S.; MATTOS, A. Estimativa da evaporação no lago usando uma estação meteorológica flutuante. Anais: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2007.

BIUDES, M. S.; GELI, H. M. E.; VOURLITIS, G. L.; MACHADO, N. G.; PAVÃO, V. M.; SANTOS, L. O. F. dos; QUERINO, C. A. S. Evapotranspiration Seasonality over Tropical Ecosystems in Mato Grosso, Brazil. **Remote Sensing**, v. 14, n. 10, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs14102482>

BRITO, L. T. de L.; CAVALCANTI, N. de B.; SILVA, A. de S.; PEREIRA, L. A. Produtividade da água de chuva em culturas de subsistência no Semiárido Pernambucano. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 1, p. 102–109, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162012000100011>. Acesso em: 18 mar. 2023.

BRUIN, H. A. R.; KEIJMAN, J. Q. The Priestley-Taylor evaporation model applied to a large, shallow lake in the Netherlands. **Journal of Applied Meteorology**, v. 38, n. 1, p. 38–46, 2018.

CAPOANE, V. Mapeamento dos pequenos reservatórios e análise dos impactos ambientais associados na bacia hidrográfica do córrego Guariroba, Campo Grande - MS. **Geo UERJ**, n. 39, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.12957/geouerj.2021.51688>

MATOS, A. C. S.; ELEUTÉRIO, J. C. Modelagem hidrodinâmica da onda de cheia decorrente da ruptura hipotética da barragem de Fundão. **Anais: XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídric**, 2019.

COELHO, C. D.; DA SILVA, D. D.; SEDIYAMA, G. C.; MOREIRA, M. C.; PEREIRA, S. B.; LANA, Â. M. Q. Comparison of the water footprint of two hydropower plants in the Tocantins River Basin of Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 153, p. 164–175, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.03.088>. Acesso em: 6 mar. 2023.

COELHO, C. D.; DA SILVA, D. D.; SEDIYAMA, G. C.; MOREIRA, M. C.; PEREIRA, S. B.; LANA, Â. 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**, v. 38, n. 1, p. 38–46, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v38n1p38-46/2018>

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos.

DANTAS, S. P. Açudagem no Nordeste brasileiro e no Ceará: estimativa de evaporação do Açude Castanhão em um ano seco. 2017. **Doutorado** - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, 2017.

DIAS, N. L.; KAN, A. Evaporação Líquida no Reservatório de Foz do Areia, PR: Estimativas dos Modelos de Relação Complementar Versus Balanço Hídrico Sazonal e Balanço de Energia. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, n. 2, p. 31–43, 2008.

EMBRAPA. Brasil pode superar a Índia em 2023 na produção de grãos. 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/73611968/brasil-pode-superar-a-india-em-2023-na-producao-de-graos>. Acesso em: 18 mar. 2023.

FERRONATO, A.; CHIG, L. A.; GOULART, D. de B.; JÚNIO, J. H. C.; PEREIRA, L. C.; BIUDES, M. S. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para Santo Antônio do Leverger-MT. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 14, n. 1, p. 110–118, 2016.

FONTES, A. S.; OLIVEIRA, J. I. R. de; MEDEIROS, Y. D. P. A evaporação em açudes no semi-árido nordestino do Brasil e a gestão das águas. **Anais: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2003.

GOULART, M. A.; SANCHES, L.; VILANI, M. T.; JÚNIOR, O. B. P. Analysis of evapotranspiration by morlet wavelet. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 93–98, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n2p93-98>

GUO, D.; WESTRA, S.; MAIER, H. R. An R package for modelling actual, potential and reference evapotranspiration. **Environmental Modelling and Software**, v. 78, p. 216–224, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.12.019>

JUNG, L. H.; BISCARO, G. A.; OLIVEIRA, G. Q. de; ALVES, M. A.; GIACON, G. M. Estimativa da evapotranspiração de referência em uma região do Alto Pantanal. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 28, n. 2, p. 168–177, 2016.

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, p. 29-38, jul./set. 1999.

KELMAN, J.; KELMAN, R.; VEIGA, M. P. F. Energia Firme de Sistemas Hidrelétricos e Usos Múltiplos dos Recursos Hídricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 9, n. 1, p. 189–198, 2004.

LEÃO, R. A. de; SOARES, A. A.; TEIXEIRA, A. dos S.; SILVA, D. D. da S. Estimation of evaporation in the banabuiú dam, in the state of ceará, brazil, by different combined methods, derived from the penman equation. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n. 1, p. 129–144, 2013.

MACHADO, N. G.; BIUDES, M. S.; ANGELINI, L. P.; MÜTZENBERG, D. M. de S.; NASSARDEN, D. C. S.; BILIO, R. de S.; DA SILVA, T. J. A.; NEVES, G. A. R.; ARRUDA, P. H. Z. de; NOGUEIRA, J. de S. Sazonalidade do balanço de energia e evapotranspiração em área arbustiva alagável no Pantanal Mato-grossense. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 1, p. 82–91, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-778620140164>

MARIN, F. R. et al. Protecting the Amazon forest and reducing global warming via agricultural intensification. **Nature Sustainability**, v. 5, n. 12, p. 1018–1026, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41893-022-00968-8>

MESQUITA, J. B. de F.; NETO, I. E. L. Evaporação em lagos e reservatórios. In: 2020, A Conferência da terra: Línguas, Ritos e Protagonismo nos territórios indígenas. [S. l.: s. n.]

MOURA, V. Mato Grosso lidera produção agropecuária brasileira por 4 anos consecutivos. [s. l.], 2022. Disponível em: <https://www.sedec.mt.gov.br/-/18778693-mato-grosso-lidera-producao-agropecuaria-brasileira-por-4-anos-consecutivos>. Acesso em: 18 mar. 2023.

PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. The Royal Society, v. 158, p. 120–145, 1948. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.1098/rspa.1948.0037>. Acesso em: 6 mar. 2023.

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 1. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 346–352, 2009. Disponível em: <http://www.agriambi.com.br>

ROSENBERRY, D. O.; WINTER, T. C.; BUSO, D. C.; LIKENS, G. E. Comparison of 15 evaporation methods applied to a small mountain lake in the northeastern USA. **Journal of Hydrology**, v. 340, n. 3–4, p. 149–166, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2007.03.018>. Acesso em: 28 mar. 2023.

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**, Santa Maria, v. 16, n. 1, p. 33–43, 2015.

STECH, J. L.; LIMA, I. B. T.; NOVO, E. M. L. M.; SILVA, C. M.; ASSIREU, A. T.; LORENZZETTI, J. A.; CARVALHO, J. C.; BARBOSA, C. C.; ROSA, R. R. Telemetric monitoring system for meteorological and limnological data acquisition. **SIL Proceedings**, 1922-2010, v. 29, n. 4, p. 1747–1750, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/03680770.2006.11902987>

TANAKA, A. A.; SOUZA, A. P. de; KLAR, A. E.; SILVA, A. C.; GOMES, A. W. A. Evapotranspiração de referência estimada por modelos simplificados para o estado do mato grosso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 2, p. 91–104, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000200001>

TUCCI, C. E. M. Hidrologia Ciência e Aplicação. 1. ed. Porto Alegre: [s. n.], 1993. v. 4.

VIEIRA, N. P.; PEREIRA, S. B.; MARTINEZ, M. A.; 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, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n3p>

ANEXO

Tabela 4 – Evaporação média diária (mm.dia⁻¹)

Estação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Média
Água Boa - A908	6.4	6.2	6.4	6.4	6.3	6.4	6.1	6.3	6.4	6.3	6.3	6.6	6.4	6.3	6.0	6.2	6.5	6.5	6.4	6.5	6.2	6.2	6.4	6.3	6.1	6.0	6.6	6.3	6.3	6.3	6.4	6.3
Alta Floresta - A924	5.2	5.3	5.4	5.2	4.8	5.1	4.8	5.5	5.0	4.9	5.2	5.1	5.1	5.0	5.3	5.3	5.5	5.4	5.1	5.2	5.2	5.3	5.1	5.6	4.7	5.5	4.8	4.8	5.1	5.3	5.4	5.2
Alto Araguaia - A909	6.0	6.2	5.9	5.9	6.2	6.2	6.2	6.2	6.0	5.9	6.0	6.1	6.1	6.2	6.3	6.3	6.2	6.2	6.2	5.9	6.0	6.0	6.1	5.9	6.0	5.9	6.1	6.0	6.0	5.9	6.0	6.1
Alto Taquari - A934	6.0	5.9	5.7	5.7	5.8	5.9	5.9	6.1	5.9	5.8	5.8	5.7	5.8	5.7	5.9	5.9	5.7	5.8	5.9	5.7	5.7	5.6	5.9	5.8	5.7	5.6	5.7	5.8	5.8	5.7	5.8	5.8
Apiacás - A910	5.1	5.1	5.1	5.2	5.1	5.2	5.2	4.9	5.4	5.2	5.3	5.2	5.5	5.4	5.3	5.4	5.1	5.3	5.1	5.3	5.0	5.0	5.2	5.3	5.5	5.3	5.3	5.2	5.1	5.3	5.2	5.2
Aragarças - A013	6.1	6.0	6.3	6.2	6.0	6.0	5.9	6.0	6.2	6.0	5.8	6.0	6.0	5.9	5.8	6.0	6.2	6.1	6.2	6.2	6.2	6.0	6.0	6.1	5.9	6.0	6.1	6.1	6.0	5.9	6.1	6.1
Brasnorte Mundo Novo - A927	6.4	6.2	6.1	6.1	6.7	6.2	6.2	6.0	6.1	6.4	6.1	6.2	6.2	6.1	6.3	5.9	6.2	6.0	6.0	5.7	5.8	5.8	5.8	5.8	6.2	6.2	5.8	5.8	6.2	6.3	5.8	6.1
Cáceres - A941	6.3	5.9	6.5	5.8	6.0	5.9	6.1	6.3	6.0	6.1	5.9	6.2	6.1	6.0	5.8	6.3	5.9	6.2	6.1	5.9	5.9	5.7	6.1	6.1	5.9	5.8	5.9	5.8	5.9	5.9	6.0	6.2
Campo Novo do Parecis - A905	5.1	5.1	5.1	5.4	5.3	5.2	5.3	5.4	5.4	5.4	5.3	5.3	5.4	5.2	5.3	5.3	5.3	5.3	5.2	5.4	5.3	5.1	5.3	5.2	5.3	5.3	5.1	5.1	5.2	5.2	5.2	5.3
Campo Verde - A912	5.7	5.8	5.9	5.9	5.9	6.0	6.0	6.0	6.2	6.1	5.9	6.0	5.8	5.8	5.9	5.9	6.0	6.0	5.8	5.9	6.0	5.7	5.9	5.9	5.7	6.0	5.8	6.0	6.1	6.1	5.9	5.9
Carlinda - A926	5.7	5.7	5.7	5.9	5.6	5.6	5.7	5.8	5.8	5.8	5.7	5.6	5.5	5.5	5.6	5.6	5.5	5.7	5.7	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.6	5.6	5.7	5.6	5.7	5.7	5.7	5.7
Comodoro - A913	4.9	5.0	5.0	5.0	5.3	4.9	5.1	5.4	5.3	5.4	5.2	5.3	5.3	5.1	5.2	5.1	5.2	5.2	5.1	5.0	5.0	5.1	5.1	5.1	5.2	5.1	4.9	4.9	4.9	4.9	4.7	5.1
Cotriguaçu - A919	5.2	5.3	5.2	5.3	5.2	5.2	5.2	5.4	5.5	5.3	5.1	5.4	5.4	5.3	5.4	5.4	5.2	5.3	5.2	5.3	5.2	5.4	5.1	5.2	5.5	5.0	5.1	5.1	5.4	5.3	5.3	5.3
Gaucha do Norte - A930	5.9	5.9	5.9	6.0	5.9	5.8	5.9	5.7	6.0	6.0	5.8	6.0	6.0	5.8	5.8	5.9	5.9	5.8	5.9	5.9	6.0	5.9	5.9	6.0	5.9	5.9	6.1	5.9	6.1	5.9	5.9	5.9
Guiratinga - A932	5.0	5.1	5.3	5.2	5.4	5.2	5.4	5.5	5.4	5.3	5.4	5.3	5.5	5.3	5.2	5.2	5.6	5.5	5.4	5.3	5.5	5.4	5.5	5.0	5.0	5.2	5.2	4.9	4.9	5.1	5.0	5.3
Itiquira - A933	5.8	6.0	6.0	6.0	5.9	6.2	6.0	6.1	5.9	6.0	5.9	5.8	5.8	5.7	5.9	6.0	6.1	6.2	6.0	6.0	6.1	5.8	6.1	5.9	5.8	5.9	5.9	5.9	6.0	5.8	5.8	6.0
Juara - A914	5.4	5.3	5.3	5.4	5.7	5.5	5.5	5.4	5.4	5.4	5.5	5.4	5.4	5.4	5.4	5.6	5.3	5.4	5.5	5.3	5.4	5.5	5.3	5.3	5.5	5.5	5.4	5.4	5.6	5.4	5.5	5.4
Juina - A920	5.0	5.1	4.9	5.2	5.3	5.3	5.1	5.3	5.3	5.2	5.2	5.3	4.9	5.0	5.2	5.2	5.1	5.2	5.1	5.1	5.3	5.2	5.0	5.1	5.1	5.1	5.2	5.2	5.2	5.4	5.3	5.2
Nova Maringá - A928	5.4	5.3	5.4	5.6	5.6	5.6	5.4	5.5	5.6	5.6	5.4	5.5	5.6	5.4	5.5	5.6	5.5	5.3	5.5	5.4	5.5	5.2	5.3	5.4	5.4	5.5	5.2	5.4	5.2	5.4	5.6	5.4
Nova Ubiratão - A929	6.1	6.2	6.4	6.3	6.5	6.5	6.2	6.5	6.4	6.4	6.4	6.5	6.2	6.2	6.5	6.6	6.4	6.8	6.5	6.4	6.3	6.3	6.4	6.3	6.3	6.5	5.9	6.0	6.3	6.0	5.5	6.3
Paratinga - A920	6.0	6.1	6.1	6.3	6.0	6.1	6.2	6.2	6.3	6.2	6.1	6.1	6.2	6.1	6.1	6.2	6.2	5.8	5.7	5.9	6.0	5.9	5.8	6.1	5.8	5.9	6.0	6.3	6.1	6.0	6.2	6.1
Pontes e Lacerda - A937	5.4	5.2	5.4	5.5	5.4	5.3	5.5	5.6	5.4	5.5	5.4	5.4	5.3	5.3	5.2	5.5	5.3	5.5	5.4	5.3	5.4	5.3	5.4	5.4	5.3	5.4	5.4	5.5	5.5	5.4	5.2	5.4
Porto Estrela - A935	5.4	5.2	5.2	5.2	5.5	5.6	5.4	5.6	5.5	5.4	5.4	5.3	5.1	5.4	5.3	5.3	5.2	5.5	5.3	5.4	5.4	5.4	5.4	5.5	5.3	5.2	5.2	5.5	5.4	5.4	5.4	5.4
Querência - A916	5.8	5.8	5.7	5.9	5.9	5.8	5.8	5.6	5.7	5.7	5.5	5.8	5.8	5.5	5.7	5.6	5.8	5.9	5.9	5.9	5.6	5.7	5.7	5.8	5.6	5.7	5.8	5.7	5.8	5.7	5.8	5.8
Rondonópolis - A907	6.0	5.9	5.9	5.8	5.9	5.9	5.9	6.1	6.0	5.9	6.0	5.7	5.8	5.7	5.7	5.9	6.1	6.0	5.9	5.7	5.9	5.8	6.1	5.7	5.7	5.8	5.9	5.9	5.9	5.9	6.0	5.9
Santo Antônio do Leste - A931	6.1	6.2	6.3	6.4	6.4	6.3	6.4	6.2	6.4	6.3	6.2	6.2	6.3	6.2	6.3	6.3	6.3	6.2	6.2	6.1	6.2	6.1	6.2	6.3	6.2	6.3	6.1	6.2	6.4	6.4	6.4	6.3
São Félix do Araguaia - A921	6.3	6.4	6.1	5.9	5.8	6.0	5.9	6.3	6.0	6.2	6.4	5.5	6.3	5.9	6.2	5.9	6.0	5.9	6.2	5.5	6.3	6.0	6.0	6.1	6.1	6.0	5.6	5.6	6.2	6.0	6.3	6.1
Sinop - A917	6.0	5.9	6.1	6.1	6.0	6.0	6.1	6.2	6.2	6.0	5.9	6.2	6.1	5.8	6.1	6.0	6.1	5.9	6.0	5.8	5.9	6.0	6.2	6.2	6.0	6.0	5.8	5.7	5.9	6.0	6.0	6.0
Sorriso - A904	5.8	5.6	5.8	5.9	5.9	5.9	6.1	6.1	6.0	5.8	5.9	5.8	5.6	5.5	5.9	5.7	5.6	5.6	5.6	5.6	5.7	5.7	5.9	5.7	5.6	5.8	5.7	5.8	5.9	5.7	5.7	5.8
Tangará da Serra - A902	6.2	5.7	6.3	6.1	6.0	6.0	5.9	6.2	5.9	6.1	6.1	6.1	6.1	5.6	5.8	6.2	6.3	6.3	6.1	6.0	6.2	5.8	5.9	5.8	5.6	5.6	5.8	6.1	6.2	6.0	6.0	6.0
Vila Bela da Santíssima Trindade - A922	5.5	5.3	5.4	5.3	5.4	5.7	5.9	6.1	5.9	5.6	5.1	5.9	5.9	5.7	5.8	5.6	5.6	5.6	5.7	5.6	5.8	5.6	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.5	5.3	5.4	5.0	5.5

Tabela 5 – Evaporação média diária mensal (mm.dia⁻¹)

Estação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Água Boa - A908	5.8	6.1	5.9	5.5	5.7	5.7	6.3	7.7	7.9	6.9	6.1	5.9	6.3
Alta Floresta - A924	5.4	5.4	5.2	4.5	3.3	4.5	6.0	6.0	6.3	6.0	5.3	4.9	5.2
Alto Araguaia - A909	6.2	6.2	5.9	5.5	5.1	5.0	5.5	6.5	7.1	6.9	6.1	6.3	6.1
Alto Taquari - A934	6.0	6.0	5.5	5.2	4.8	4.6	5.2	6.2	7.0	6.7	6.4	6.2	5.8
Apiacás - A910	5.0	5.1	5.1	5.2	5.0	5.2	5.3	5.6	5.6	5.7	5.3	5.1	5.3
Aragarças - A013	6.0	6.3	5.9	5.7	5.2	5.0	5.4	6.5	7.0	6.9	6.3	6.1	6.1
Brasnorte Mundo Novo - A927	5.8	5.4	5.7	5.6	5.5	5.6	6.7	7.6	7.0	6.9	6.2	5.9	6.1
Cáceres - A941	6.7	6.0	6.2	5.5	4.7	4.5	5.1	6.2	6.6	7.1	7.1	6.8	6.2
Campo Novo do Parecis - A905	5.4	5.1	5.0	4.8	4.5	4.4	4.8	6.0	6.2	5.9	5.5	5.4	5.2
Campo Verde - A912	5.9	5.7	5.6	5.2	5.0	5.0	5.8	6.9	7.1	6.6	6.2	6.1	5.9
Carlinda - A926	5.4	5.3	5.6	5.2	5.2	5.5	6.2	6.5	6.3	6.1	5.6	5.3	5.7
Comodoro - A913	5.1	4.8	4.8	4.7	4.4	4.4	5.1	5.8	6.0	5.8	5.4	5.4	5.1
Cotriguaçu - A919	4.7	4.8	4.8	4.8	4.9	5.0	5.4	6.1	5.8	5.8	5.3	5.2	5.3

Gaucha do Norte - A930	5.8	5.9	5.8	5.8	5.5	5.3	5.8	6.6	6.9	6.7	6.0	5.7	5.9
Guiratinga - A932	5.8	5.5	4.9	4.5	4.1	4.0	4.1	5.2	5.6	5.8	5.8	5.8	5.3
Itiquira - A933	6.2	6.0	5.8	5.4	4.9	4.7	5.1	6.3	6.9	6.9	6.5	6.2	5.9
Juara - A914	5.3	5.4	5.2	4.8	4.9	5.0	5.6	6.2	6.1	6.2	5.7	5.3	5.4
Juina - A920	4.9	4.9	4.9	4.8	4.5	4.6	5.0	5.9	6.1	6.1	5.5	5.4	5.2
Nova Maringá - A928	5.5	5.4	5.2	5.3	4.8	4.8	5.1	5.8	6.4	6.3	5.8	5.7	5.4
Nova Ubiratão - A929	5.6	6.1	5.8	5.6	5.8	5.9	6.6	7.6	7.6	6.8	5.9	5.8	6.3
Paratinga - A920	5.9	6.1	5.8	5.6	5.3	5.3	5.9	6.9	7.4	7.1	6.3	6.1	6.1
Pontes e Lacerda - A937	5.6	5.4	5.4	5.0	4.3	4.2	4.8	5.7	6.3	6.5	6.3	6.0	5.4
Porto Estrela - A935	5.9	5.5	5.4	5.1	4.4	4.2	4.5	5.5	6.0	6.3	6.2	5.8	5.4
Querência - A916	5.6	5.7	5.5	5.2	5.2	5.2	5.7	6.7	6.8	6.5	5.9	5.7	5.8
Rondonópolis - A907	6.0	6.0	5.7	5.3	4.8	4.7	5.3	6.3	6.9	6.6	6.2	6.1	5.9
Santo Antônio do Leste - A931	6.2	6.1	5.8	5.7	5.4	5.5	6.2	7.3	7.5	6.9	6.2	6.1	6.3
São Félix do Araguaia - A921	5.9	5.7	5.3	6.3	5.3	5.7	6.3	7.1	6.9	6.8	6.0	5.7	6.1
Sinop - A917	5.5	5.6	5.4	5.4	5.5	5.8	6.5	7.3	7.0	6.6	5.8	5.8	6.0
Sorriso - A904	5.5	5.6	5.4	5.2	5.2	5.5	6.0	6.7	6.6	6.3	5.7	5.4	5.8
Tangará da Serra - A902	6.0	5.7	5.6	5.2	5.0	5.0	5.5	6.8	7.0	6.6	6.2	5.7	6.0
Vila Bela da Santíssima Trindade - A922	5.7	5.7	5.4	5.1	4.2	4.0	4.6	5.7	6.4	6.3	6.1	6.2	5.5
Média	5.7	5.6	5.5	5.2	4.9	5.0	5.5	6.4	6.7	6.5	6.0	5.8	5.7

Tabela 6 –Evaporação média total mensal (mm.mês⁻¹) e média total anual (mm.ano⁻¹)

Estação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Totais
Água Boa - A908	179	146	179	148	175	148	194	235	237	211	179	182	2182
Alta Floresta - A924	168	152	162	134	103	110	185	187	188	186	159	152	999
Alto Araguaia - A909	193	177	182	145	137	145	172	189	212	212	178	174	1782
Alto Taquari - A934	185	160	158	142	150	126	161	179	209	196	191	193	1777
Apiacás - A910	137	99	154	152	144	151	163	146	167	151	144	152	1224
Aragarças - A013	185	175	180	155	137	146	160	199	194	202	151	181	1726
Brasnorte Mundo Novo - A927	181	143	162	167	171	167	206	233	202	176	164	183	1235
Cáceres - A941	179	152	188	135	136	109	145	171	198	186	158	188	1611
Campo Novo do Parecis - A905	169	137	150	119	127	112	121	136	185	166	150	169	1330
Campo Verde - A912	181	152	169	125	146	137	143	183	197	189	160	188	1778
Carlinda - A926	168	150	151	130	155	164	191	201	189	184	151	155	1641
Comodoro - A913	143	125	141	142	129	121	154	178	179	160	144	166	1277
Cotriguaçu - A919	130	128	131	140	150	151	167	189	171	172	153	123	1639
Gaucha do Norte - A930	168	168	178	148	163	160	178	201	201	192	176	175	1799
Guiratinga - A932	166	154	148	135	124	111	129	140	167	179	173	178	1203
Itiquira - A933	190	168	179	150	136	139	155	191	195	212	188	192	1634
Juara - A914	163	148	144	145	142	149	174	190	184	191	171	163	1525
Juina - A920	141	130	152	141	138	137	150	170	183	176	160	165	1402
Nova Maringá - A928	171	141	158	158	150	144	158	141	173	182	171	174	1406
Nova Ubiratão - A929	160	157	153	135	134	160	190	231	228	205	168	177	1369
Paratinga - A920	182	175	177	167	164	144	183	186	221	219	164	179	1610
Pontes e Lacerda - A937	159	143	155	151	131	112	147	173	182	181	185	171	1540
Porto Estrela - A935	161	154	167	150	124	120	126	161	172	193	173	181	1339
Querência - A916	163	160	168	151	158	151	172	207	193	200	169	170	1560
Rondonópolis - A907	187	166	175	147	147	135	163	195	195	204	187	168	1861
Santo Antônio do Leste - A931	192	166	171	162	149	155	192	227	226	214	186	190	1904

São Félix do Araguaia - A921	158	160	132	189	148	162	196	220	199	197	179	152	1002
Sinop - A917	170	158	138	137	172	166	188	225	209	177	162	151	1540
Sorriso - A904	153	143	154	137	133	147	184	184	181	194	160	154	1396
Tangará da Serra - A902	175	102	140	155	120	150	170	193	203	204	184	132	1464
Vila Bela da Santíssima Trindade - A922	169	161	166	142	126	116	135	143	182	170	158	180	1144
Média	169	150	160	146	143	140	166	187	194	190	168	170	1513