



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS AMBIENTAIS
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

ALINE DANIELE LUCENA DE MELO MEDEIROS

**AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE EVAPORAÇÃO NO
RESERVATÓRIO ARMANDO RIBEIRO GONÇALVES EM ITAJÁ/RN**

MOSSORÓ-RN
MARÇO DE 2019

ALINE DANIELE LUCENA DE MELO MEDEIROS

**AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE EVAPORAÇÃO NO
RESERVATÓRIO ARMANDO RIBEIRO GONÇALVES EM ITAJÁ/RN.**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semiárido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental.

Orientador: Roberto Vieira Pordeus, Prof. Dr.

Co-orientador: José Espínola Sobrinho, Prof. Dr.

MOSSORÓ-RN
MARÇO DE 2019

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

M488a MEDEIROS, ALINE DANIELE LUCENA DE MELO MEDEIROS.
AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE
EVAPORAÇÃO NO RESERVATÓRIO ARMANDO RIBEIRO
GONÇALVES EM ITAJÁ/RN. / ALINE DANIELE LUCENA DE
MELO MEDEIROS MEDEIROS. - 2019.
45 f. : il.

Orientador: ROBERTO VIEIRA PORDEUS PORDEUS.
Coorientador: JOSÉ ESPÍNOLA SOBRINHO SOBRINHO.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de , 2019.

1. Recursos Hídricos . 2. Evaporação. 3.
Barragem. 4. Monitoramento . I. PORDEUS, ROBERTO
VIEIRA PORDEUS, orient. II. SOBRINHO, JOSÉ
ESPÍNOLA SOBRINHO, co-orient. III. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

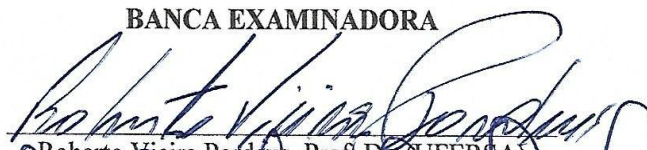
ALINE DANIELE LUCENA DE MELO MEDEIROS

**AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE EVAPORAÇÃO NO
RESERVATÓRIO ARMANDO RIBEIRO GONÇALVES EM ITAJÁ/RN.**

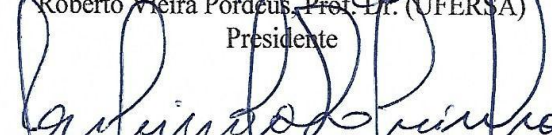
Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Agrícola e Ambiental.

Defendida em: 22/03/2019.

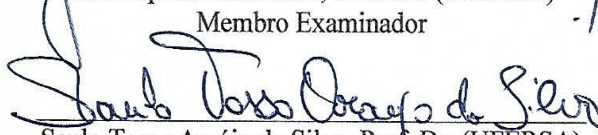
BANCA EXAMINADORA



Roberto Vieira Pôrdeus, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente



José Espinola Sobrinho, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador



Saulo Tasso Araújo da Silva, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que fortaleceu minha fé diante de todas as dificuldades, me guiando a cada jornada, principalmente para realização deste trabalho.

Aos meus pais, Maria Nazaré e Valfredo de Melo, que mesmo com tantas dificuldades permitiram que esse momento tão sonhado chegasse.

A minha filha Ana Vitória, pelos momentos de ausência, em que se quer pude acompanhar seu desenvolvimento, pela falta de colo quando precisava e pelas vezes em que precisei deixá-la doente para me deslocar de uma cidade para outra, a fim de proporcionar uma vida melhor para ela no futuro.

Ao meu esposo Max Júnior, pelas noites e dias em que precisei me ausentar, e pelo companheirismo, onde sempre me apoiou, e me encorajou a seguir em frente.

A minha sogra Damiana e cunhada Leydja, pela disponibilidade e carinho com que cuidou da minha filha quando não pude estar presente, e por ser sempre meu ponto de apoio, sempre que precisasse.

A meu querido Orientador Roberto Vieira Pordeus, por toda ajuda e apoio para realização deste e de tantos outros trabalhos, colaborando para um melhor desenvolvimento profissional e pessoal.

A Banca Examinadora pelo incentivo e disponibilidade de estar presente comigo neste momento impar na minha vida.

Aos meus colegas de curso, que foram primordiais para que eu pudesse chegar tão longe, me apoiando e ajudando nos momentos mais tensos do curso, assim como a todos os professores deste curso, estando sempre presente, ajudando, não só com dúvidas das disciplinas lecionadas, mais abertos para qualquer questionamento.

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) pela oportunidade de participar de um projeto de pesquisa como bolsista, com o propósito de colaborar com pesquisas futuras.

RESUMO

O conhecimento das perdas de água por evaporação em superfície livre de água nos reservatórios nas regiões áridas e semiáridas é de fundamental importância no gerenciamento dos recursos hídricos para os diferentes usos, seja na produção agropecuária, agroindustrial, abastecimento doméstico e etc. Este trabalho tem por finalidade comparar os métodos de estimativa de perdas de água utilizadas por Linacre Simplificado (1977), Linacre (1993), Kohler et al. (1955), e Thornthwaite (1948) e comparar com o modelo de Penman et al., (1948), usado como padrão, assim saber mais precisamente qual o melhor a ser utilizado para estimar a evaporação nos reservatórios que possuem superfície livre. Contudo, esse trabalho poderá ajudar a determinar as perdas por evaporação diárias, facilitando assim o conhecimento para fins de pesquisas futuras. Os resultados permitiram constatar que: a) a evaporação média anual da Barragem Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves em Itajá-RN, estimada pelo modelo de Penman (1948) foi de 1.746,61mm, superestimada por Linacre (1977) e subestimada por Kohler et al., (1955), evaporações de 2.237,23 mm, 1.452,97 mm, respectivamente; b) a vazão média equivalente dos cinco modelos analisados, decorrente da evaporação para a Barragem Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves é de $3,81 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e; c) A vazão equivalente, correspondente as perdas por evaporação da superfície livre da Barragem Armando Ribeiro Gonçalves corresponde a 32,4% da vazão de regularização e; d) A utilização de modelos matemáticos, no cálculo de evaporação de superfície livre em reservatórios para obtenção de vazões equivalentes, é uma grande ferramenta do monitoramento das bacias hidrográficas.

Palavras-chave: Recursos Hídricos. Evaporação. Barragem. Monitoramento.

ABSTRACT

The knowledge of water losses by evaporation on a water-free surface in the reservoirs in the arid and semi-arid regions is of fundamental importance in the use of water resources for different usings, whether in agricultural production, agroindustrial, domestic supply and etc. The purpose of this study is to compare the methods of estimating water losses used by Linacre simplified (1977), Linacre (1993), Kohler et al., (1955) and Thorntwaite (1948), and compare with the model of Penman et al., (1948) used as a standard, so to know more precisely which is the best to be used to estimate the evaporation in the reservoirs that have free surface. However, this work may help to determine daily evaporation losses, thus facilitating knowledge for future research purposes. The results showed that: a) the average annual evaporation in the reservoir of the Dam Armando Ribeiro Gonçalves in Itajá-RN, estimated by the model of Penman (1948) was from 1.746,61mm, overestimated by Linacre (1977) and underestimated by Kohler et al., (1955), evaporation of 2.237,23 mm, 1.452,97 mm, respectively; b) The average equivalent flow of the five models analyzed, due to the evaporation to the Armando Ribeiro Gonçalves Dam is $3,81 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$; The equivalent flow corresponding to the evaporation losses of the free surface of the Armando Ribeiro Gonçalves Dam corresponds to 32.4% of the regularization flow, and; d) The use of mathematical models, in the calculation of free surface evaporation in reservoirs to obtain equivalent flows, is a great tool for monitoring watersheds.

Keywords: Water resources. Evaporation. Dam. Monitoring.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Bacia Hidráulica da Barragem Armando Ribeiro Gonçalves	21
Figura 2 – Bacia Piranhas-Açú	23
Figura 3 – Variação da precipitação (a), temperatura média (b), Radiação Global c) e velocidade do vento (d) na estação de Ipanguaçu – RN, ano de 2018.....	32
Figura 4 – Precipitação média mensal (mm) e estimativa de evaporação mensal média (mm) no da Barragem Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves para o ano de 2018 calculadas pelos modelos matemáticos de Penman (1948), Linacre (1977), Linacre (1993), Kohler et al. (1955), e Thornthwaite (1948)	33
Figura 5 – Comportamentos das Áreas em m^2 e dos Volumes em m^3 de acordo com dados de cota-Área-Volume do reservatório Barragem Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves ao longo dos últimos treze anos.....	38
Figura 6 – Vazão equivalente evaporada em m^3s^{-1} da Barragem Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves, Itajá-RN para os modelos de Penman (1948), Linacre (1977), Linacre (1993), Kohler et al., (1955) e Thorntwaite (1948), para o ano de 2018.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Características da Barragem Eng. Armando Ribeiro Gonçalves.....	22
Tabela 2	Evaporação mensal em mm, Evaporação anual em mm e Precipitação da Barragem Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves, em Itajá-RN, estimadas pelos métodos de Penman (1948), Linacre (1977), Linacre (1993), Kohler et al., (1955) e Thorthwaite (1948), para o período de 2018.....	36
Tabela 3	Vazão média anual equivalente evaporada da Barragem Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves Penman (1948), Linacre (1977), Linacre (1993), Kohler et al. (1955) e Thorntwaite (1948).....	39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	13
2.1	Objetivo geral	13
2.2	Objetivos específicos	13
3	REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1	Perdas de Água nos Reservatórios.....	14
3.2	Fatores Influenciáveis na Evaporação.....	16
3.3	Escolha do método para estimativa.....	18
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
4.1	Caracterização da área de estudo.....	21
4.2	Aquisição dos dados meteorológicos.....	24
4.3	Aquisição dos dados do reservatório.....	24
4.4	Métodos Utilizados para estimativa de evaporação	24
4.4.1	Método de Linacre (1977).....	24
4.4.2	Método de Linacre et al. (1993)	25
4.4.3	Método de Penman et al (1948)	26
4.4.4	Método de Kohler et al (1955).....	28
4.4.5	Método de Thorntwaite (1948)	29
4.5	Estimativa da vazão equivalente a lâmina evaporada.....	30
4.6	Estimativa do volume perdido mensal equivalente	30
4.7	Comparação entre os modelos	30
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	31
5.1	Caracterização climática da região do reservatório.....	31
5.2	Evaporação da Barragem Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves no ano de 2018.....	32
5.3	Monitoramento do comportamento da área e do volume da da Barragem Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves.....	36
5.4	Vazão equivalente a lâminas evaporada da Barragem Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves, relativos aos modelos de Penman (1948), Linacre (1977), Linacre (1993), Kohler et al. (1955) e Thorntwaite	

	(1948)	39
6	CONCLUSÕES.....	42
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43

1 INTRODUÇÃO

O conhecimento das perdas de água por evaporação em superfície livre de água nos reservatórios nas regiões áridas e semiáridas é de fundamental importância no gerenciamento dos recursos hídricos para os diferentes usos, seja na produção agropecuária, agroindustrial, abastecimento doméstico e etc.

Os reservatórios são usados para armazenar grandes volumes de água e distribuí-la para a população de forma racional. Regiões de climas quentes e com chuvas irregulares como as regiões áridas e semiáridas, o manejo do uso da água e o conhecimento de suas perdas por evaporação são de grande importância para sustentabilidade da região. Segundo Oliveira (2009), estudos que envolvam medidas e/ou estimativas precisas da evaporação, representam uma alternativa muito importante para planejamento mais adequado do uso da água armazenada em reservatórios.

Segundo Pereira et al. (2009), um fator de grande importância na análise da vazão máxima permissível para a concessão de outorga se refere às perdas de água por evaporação nos reservatórios de regularização.

A estimativa de evaporação em fontes confiáveis, é de extrema importância para que se possa planejar e gerenciar os recursos hídricos, assim como também estudar os impactos ambientais gerados pelo processo. Os idealizadores dos recursos hídricos, consideram a evaporação como “perda”, pelo grande número de água que passa para atmosfera em forma de vapor, por isso é relevante que se obtenha essa evaporação tanto no projeto como no decorrer dele.

As práticas de manejo de água utilizadas, uso para abastecimento humano e a implantação de sistemas de irrigação mais eficientes constituem uma das práticas que propiciam subsídios que possam garantir a sustentabilidade da atividade e a segurança hídrica das regiões. De acordo com o último Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil, da Agência Nacional de Águas (ANA), a irrigação é a atividade responsável por 72% do consumo de água em todo país. Devido a isto, o uso devidamente correto da água na irrigação tem sido um tema constantemente estudado e discutido.

No Semiárido Brasileiro, em particular, essas práticas são indispensáveis devido à escassez dos recursos hídricos e a necessidade da sustentabilidade da irrigação, visto que a mesma desempenha importante papel socioeconômico na região, requerendo, no entanto, mais

estudos com esse intuito para uma melhor compreensão desse processo. Outra preocupação é que a utilização da irrigação não fique restrita apenas ao agronegócio, mas também se torne uma tecnologia acessível a agricultura familiar, de modo que minimize os riscos e perdas em anos de chuvas insuficientes para a produção agrícola, garantindo assim, a segurança alimentar para essa parcela da população. Por esse motivo o uso de equações matemáticas pode ser uma eficaz forma de minimizar o uso de recursos hídricos já tão escassos na região nordeste.

Este trabalho tem por finalidade comparar os métodos de estimativa de perdas de água utilizadas por Linacre Simplificado (1977), Linacre (1993), Koler et al., (1955) e Thornthwaite (1948) comparando com o modelo de Penman et al., (1948), usado como padrão por ser um dos métodos mais antigos e apresentar boa precisão no cálculo de evaporação, assim saber mais precisamente qual o melhor a ser utilizado para estimar a evaporação nos reservatórios que possuem superfície livre. Contudo, esse trabalho poderá ajudar a determinar as perdas por evaporação diárias, facilitando assim melhor gerenciamento dos recursos hídricos por parte dos órgãos responsáveis e o conhecimento para fins de pesquisas futuras com o objetivo do controle destas perdas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar os impactos das alterações climáticas na evaporação de água em reservatórios e o comportamento de equações empíricas que serão testadas, frente a equação considerada padrão, modelo de Penman et al. (1948), além de verificar o grau de influência das diferentes variáveis meteorológicas dentro das equações estudadas, relacionando-as com a condição climática encontrada na região do Sertão Central, no estado do Rio Grande do Norte.

2.2 Objetivo específico

Comparar os métodos de estimativa de perdas de água utilizadas por Linacre Simplificado (1977), Linacre (1993), Kohler et al., (1955) e Thornthwaite (1948) comparando com o modelo de Penman et al., (1948), usado como padrão, assim saber mais precisamente qual o melhor a ser utilizado para estimar a evaporação em superfície livre em reservatórios.

Determinar as perdas por evaporação diárias, facilitando assim o conhecimento para fins de pesquisas futuras para o controle dessas perdas.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Perda de Água nos reservatórios

Para se determinar a quantidade de água no reservatório, ou seja, seu volume, é necessário o conhecimento e uma análise sucinta das perdas de água por evaporação, essa informação é bastante importante para que se possa manejar adequadamente os recursos hídricos, gestão, para uma boa intervenção dos reservatórios e para que se possa garantir o atendimento das demandas de água (FONTES, 2005). Para WURBS & AYALA (2014), esses impactos na quantidade de água dos reservatórios e na sua capacidade para abastecer durante as secas prolongadas, são ainda maiores.

A taxa de evaporação varia principalmente em função de forçantes meteorológicas como temperatura do ar, radiação solar, velocidade do vento, pressão atmosférica, umidade relativa bem como com as características físicas do reservatório. Assim, o uso desses parâmetros aplicados no estudo da variação temporal da evaporação permite uma melhor estimativa das perdas anuais de água (VIEIRA, 2005).

Em reservatórios e lagos, a evaporação é um dos principais processos envolvidos no balanço hídrico e de calor. Os impactos da evaporação dos reservatórios, na gestão da água, variam com a localização, com as diferenças climáticas, com as características do reservatório e com as práticas de uso e manejo (WURBS & AYALA, 2014).

De acordo com Vieira (2015), a variação das taxas de evaporação, se dá principalmente por fatores meteorológicos, como temperatura do ar, radiação solar, velocidade do vento, pressão atmosférica, umidade relativa, assim como as características do próprio reservatório. Sendo assim, o uso dessas medidas permite uma melhor estimativa das perdas de água por ano.

No planejamento e gerenciamento de recursos hídricos, assim como em estudos de impacto ambiental, estimativas confiáveis da evaporação nos reservatórios são de extrema relevância. Os planejadores dos recursos hídricos consideram o processo como “perda” pelo significativo volume de água que passa para a atmosfera, sendo importante sua obtenção tanto na fase de elaboração do projeto quanto no decorrer do período de operação do reservatório (DIAS & KELMAN, 1987).

Segundo Fontes (2005), a determinação do volume disponível no reservatório, para os usos múltiplos, depende de um criterioso conhecimento das perdas por evaporação, informação de suma importância para políticas de manejo dos recursos hídricos, gestão, operação dos reservatórios e garantia ao atendimento das demandas de água.

No Brasil, são escassas as atividades de pesquisa e experimentação no campo específico da evaporação em reservatórios, além da incontestável carência de informações básicas nas diferentes regiões climáticas do país para atender a diversos objetivos (PEREIRA et al., 1997). Para Oliveira et al (2005), as pesquisas no campo da evaporação de lagos ainda são escassas, devido principalmente à carência de informações, tanto pelo número reduzido de estações meteorológicas em reservatórios, quanto pela pequena extensão temporal das séries e grande número de falhas nos dados.

Na região nordeste devido ao alto índice de radiação solar, temperatura elevada e baixa umidade relativa a evaporação de superfícies livres são mais elevadas quando comparadas com outras regiões. Pesquisas nessa região são estritamente necessárias para melhor gerenciamento e controle dos recursos hídricos. Como a medida da evaporação real de superfícies de lagos é difícil de ser efetuada diretamente, CURTARELLI et al. (2013) afirmam que é imprescindível estimá-la usando metodologias indiretas. Segundo Simon & Mero (1985) devido a medida da evaporação real de superfícies de lagos não poder ser efetuada diretamente, é imprescindível estimá-la usando-se aproximações.

O Estado do Rio Grande do Norte é, entre os estados da região Nordeste do Brasil, o que possui a maior porção de sua área inserida na região Semiárida, o qual é caracterizado de acordo com a Nova Delimitação do Semiárido Brasileiro (MI, 2005). De acordo com o Instituto das águas do Rio Grande do Norte (IGARN), o estado possui uma capacidade de armazenamento de águas superficiais superior a 4,4 bilhões de metros cúbicos, armazenados em 15 reservatórios com capacidades superiores a 5 milhões de metros cúbicos. No entanto, observa-se grande variação na disponibilidade hídrica de água armazenada nesses reservatórios devido em grande parte, as perdas ocorridas por evaporação.

Segundo levantamentos da ANA (2009), no Brasil, a irrigação é responsável por aproximadamente 69% do consumo da água consumida, sendo o maior usuário da água doce. A utilização urbana conta com um consumo de 10%, a indústria consome 7%, a utilização animal conta com um consumo de 12% e o uso rural diverso com 2% de toda a água retirada (ANA, 2009).

De acordo com Oliveira (2009), observa-se que as áreas com potencial de crescimento agrícola são aquelas com deficiência hídrica elevada, o que implica na construção de corpos artificiais, como represas, açudes e tanques, um aliado indispensável para sustentar projetos de irrigação. Assim, a previsão de perdas de água por evaporação, tanto na época do projeto quanto ao longo do período de operação de um reservatório, representa um fator primordial de economia para o setor.

3.2 Fatores Influenciáveis na evaporação

De acordo com Tucci (2002), a evaporação da água em superfícies livres é um dos principais componentes do ciclo hidrológico. Informações quantitativas desse processo são necessárias na gestão de recursos hídricos para uma variedade de propósitos, como planejamento de áreas agrícolas irrigadas, previsão de cheias ou a construção e operação de reservatórios.

O ciclo da água inicia-se com a energia solar que incide na Terra. A transferência da água da superfície terrestre para a atmosfera, passando do estado líquido ao estado gasoso, processa-se através da evaporação direta, por transpiração das plantas e dos animais e, em menor escala, por sublimação. A vegetação tem um papel importante neste ciclo, pois uma parte da água precipitada é absorvida pelas raízes e acaba por voltar à atmosfera pela transpiração ou pela simples e direta evaporação do solo e da própria água interceptada pela vegetação, constituindo o processo denominado de evapotranspiração (Oliveira, 2009).

Segundo Oliveira (2009), dado o controle da energia solar no processo de evaporação, a água evapora, em particular, durante os períodos mais quentes do dia e nas zonas mais quentes da terra, principalmente nas regiões áridas e semiáridas. No entanto, a rapidez com que a água evapora (taxa de evaporação) depende de vários fatores, além da disponibilidade de energia radiante, tais como: área da superfície evaporante, temperatura, pressão atmosférica, umidade do ar e vento.

Embora o conjunto de condições atmosféricas seja o grande fator a determinar a evaporação de uma superfície de água livremente exposta, a evaporação efetiva depende de uma série de outros fatores, ligados à geometria do lago, grau de pureza e profundidade do corpo de água, estratificação térmica da água e condições de armazenamento de calor no corpo, de maneira que coeficientes empíricos são utilizados nos ajustes finais (PEREIRA et al., 2013).

De acordo com Oliveira (2009), o efeito individual de cada fator é muito variável, complicando o estudo teórico da perda de água de grandes corpos d'água. Muitas vezes desconsidera-se o efeito do armazenamento de calor, para corpos d'água poucos extensos e “rasos” (por exemplo, até 4 m de profundidade). Para Brutsaert (1982), a quantidade de água evaporada na superfície livre de um reservatório varia principalmente em função de forçantes meteorológicas, tais como radiação solar incidente, velocidade do vento, umidade relativa e temperatura do ar. Secundariamente, parâmetros de qualidade da água e características físicas do reservatório (p. ex. área superficial e profundidade) também podem afetar as taxas de evaporação.

Ao se trabalhar com evaporação de corpos naturais d'água, é importante ter em mente denominações ligadas a esse processo, devido aos múltiplos fatores que o afetam. Define-se evaporação potencial como a lâmina de água evaporada por uma extensa superfície de água pura, livremente exposta às condições atmosféricas reinantes (TUBELIS & NASCIMENTO, 1981), sendo condicionada basicamente pelas variáveis meteorológicas que a afetam. O fato de se assumir como uma superfície extensa é para minimizar efeitos do transporte advectivo de calor, que contribui para a perda de água. Evaporação de lago é a lâmina de água evaporada por uma superfície de água de grandes dimensões, livremente exposta às condições atmosféricas reinantes (TUBELIS & NASCIMENTO, 1981).

Oliveira (2009), analisando as relações entre as variáveis meteorológicas medidas em ambiente terrestre (posto meteorológico) e sobre o lago, se observou uma excelente relação linear entre as medidas nos dois ambientes para essas variáveis, com coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,90 e coeficiente angular das retas muito próximo de 1,0. Para ela, que considerou que a superfície de água em princípio tem valores de emissividade, reflexão e absorção para ondas curtas diferentes de uma superfície gramada, a relação do saldo de radiação diário (R_n) medido sobre gramado e sobre o lago, muito próxima de 1:1, não era esperada. Não se encontrou dados comparativos desse tipo na literatura, mas como a radiação solar global é praticamente igual nos dois ambientes e como o balanço de radiação é a soma de dois componentes, o balanço de ondas curtas (BOC) e o de ondas longas (BOL), pode-se procurar nesses dois componentes os motivos dessa igualdade de R_n entre os ambientes. Diante de tais argumentos e devido as limitações de recursos, neste trabalho, utilizou-se dados de estações ao entorno do reservatório.

3.3 Escolha do modelo para estimativa

Na escolha de modelos para estimativa da evaporação das águas de reservatórios devem ser consideradas a praticidade e a precisão, visto que, apesar dos métodos teóricos e micro-meteorológicos serem baseados em princípios físicos, eles também apresentam limitações, sobretudo quanto à precisão instrumental, o que pode restringir a sua utilização.

Em se tratando de reservatórios de água, lagos e correios, a estimativa da evaporação é importante no manejo dos recursos hídricos, mas o desenvolvimento de métodos confiáveis para estimativa da evaporação em lagos, baseados em informações climatológicas de fácil obtenção, ainda é um desafio (Oliveira, 2009). A maioria dos métodos atualmente disponíveis estima a evaporação a partir de observações de temperatura e umidade do ar, velocidade do vento e radiação solar (Roque & Sansigolo, 2001).

Gangopadhyay et al. (1966), em função da diferença de pressão parcial de vapor na temperatura da superfície líquida (e_o) e a medida no ar (e_a) e de um coeficiente de ajuste K , que é também função da velocidade do vento.

Penman (1948) apresentou um modelo que considera a combinação da evaporação da água livre devido à radiação solar como fonte de energia e de uma componente aerodinâmica. Para utilizar a equação de Penman, é necessário a disponibilidade de dados de temperatura, radiação, umidade e vento. Segundo Burman; Pochop, 1994, esses dados nem sempre estão disponíveis, no entanto, hoje as estações meteorológicas automáticas (EMA) são equipadas com instrumentos que podem fornecer todos os dados necessários para os modelos de estimativa de evaporação.

O método de Penman (1948) foi o primeiro método indireto que combinou os efeitos do balanço de energia com o poder evaporante do ar e, é denominado por essa razão de método combinado. Pereira et al. (1997) dizem que ele é baseado em princípios físicos corretos. Apesar de não ser operacionalmente perfeito e correto, ele é considerado, por muitos, como modelo padrão, ou seja, é a melhor opção para estimar a ETP (Evapotranspiração Potencial). (TUCCI & BELTRAME, 2000). De acordo com Bernardo, (2002), o método de Penman apresenta boa precisão, porém exige a determinação de grande número de dados meteorológicos e o seu cálculo é bastante trabalhoso.

Linacre (1993) propôs uma equação simplificada da fórmula de Penman (1948) que utiliza dados de temperatura, radiação e velocidade do vento, para a estimativa da evaporação

de água em superfície livre, em lagos, rios e grandes represas.

Os métodos de estimativa de evaporação podem ser classificados de acordo com o processo e, ou, instrumentos usados. Dentre as classificações estão os métodos empíricos, métodos de balanço hídrico, métodos de balanço de energia, métodos de transferência de massa ou baseados na equação de Dalton e métodos combinados (Leão et al., 2013).

Os métodos empíricos, usando análise de regressão, relacionam a evaporação em um tanque, ou, evaporação de lago, ou medições em lisímetros a elementos meteorológicos (MEKONNEN & HOEKSTRA, 2011). Alguns exemplos de métodos empíricos são os métodos de Thornthwaite, Jensen-Haise, Papadakis e Blaney-Criddle. Um problema dos métodos empíricos é que eles têm uma limitada aplicabilidade, pois devem ser utilizados sob as mesmas condições para os quais foram calibrados. Os métodos de balanço hídrico podem potencialmente prover estimativas mais confiáveis da evaporação, desde que cada componente do balanço seja medido corretamente, tarefa essa difícil de ser aplicada em condições reais de campo, principalmente considerando a dinâmica das águas subterrâneas (LENTERS et al., 2005).

No método de balanço de energia, a evaporação de uma superfície líquida é estimada como o saldo de energia no local. Métodos de balanço de energia são considerados por alguns autores como os mais confiáveis na teoria (LENTERS et al., 2005; SINGH & XU, 1997). Entre eles encontram-se os métodos de Linacre, Kohler et al., (1955) e Makkink.

Os métodos baseados na transferência de massa utilizam o conceito de transporte de vapor de água para a atmosfera por processo de difusão turbulenta. Esses métodos dão resultados satisfatórios em muitos casos e alguns exemplos são os métodos de Gangopadhyaya et al. 1966, Houtman & Linsley et al., (1949). (MEKONNEN & HOEKSTRA, 2011).

Os métodos combinados utilizam tanto o princípio de transferência de energia como o balanço de massa em uma única equação, sendo os mais conhecidos os métodos de Penman, Priestley-Taylor, Morton (CRLE), deBruin, deBruin-Keijman e Brutsaert-Stricker.

Apesar das classificações e diferentes métodos existentes, não existe na literatura um consenso a respeito do qual é o melhor método. A escolha de um método para a estimativa da evaporação da água em superfícies livres requer a análise dos dados edafoclimáticos e das

características da região em que se realizará o estudo (RONSEBERRY et al., 2007).

Segundo Pereira et al. (1997), no Brasil, são escassas as atividades de pesquisa e experimentação no campo específico da evaporação em reservatórios, além da incontestável carência de informações básicas nas diferentes regiões climáticas do País para atender a diversos objetivos. A estimativa da evaporação pode ser realizada pela utilização de modelos fundamentados no balanço de energia, nos processos de transferência, balanço hídrico, métodos aerodinâmicos e métodos combinados por meio de formulações empíricas ou semiempíricas, e pelos tanques de evaporação (LEÃO et al., 2013).

Estudos que utilizam o método do balanço hídrico como padrão se torna muitas vezes inviável em função da dimensão do lago, o que dificulta a contabilização das entradas e saídas. Medir a evaporação por meio de um tanque Classe A instalado no centro do reservatório é complicado, já que esse aparelho de medida muitas vezes encontra-se nas estações meteorológicas que margeiam dos mesmos (VIEIRA, 2015). Como a medida da evaporação real de superfícies de lagos e reservatórios é difícil de ser efetuada diretamente, Simon & Mero (1985) afirmam que é imprescindível estimá-la usando-se aproximações.

Considerando a hipótese de que é possível estimar a evaporação de superfície de água livremente exposta a atmosfera a partir de modelos, utilizando dados meteorológicos, o presente trabalho tem como objetivo avaliar as perdas de água por evaporação da Barragem Armando Ribeiro Gonçalves, situada no estado do Rio Grande do Norte, considerando a equação de Penman et al. (1948) como padrão, comparando com os modelos de Linacre (1977), Linacre et al. (1993), Kohler et al., (1955) e Thorthwaite (1948).

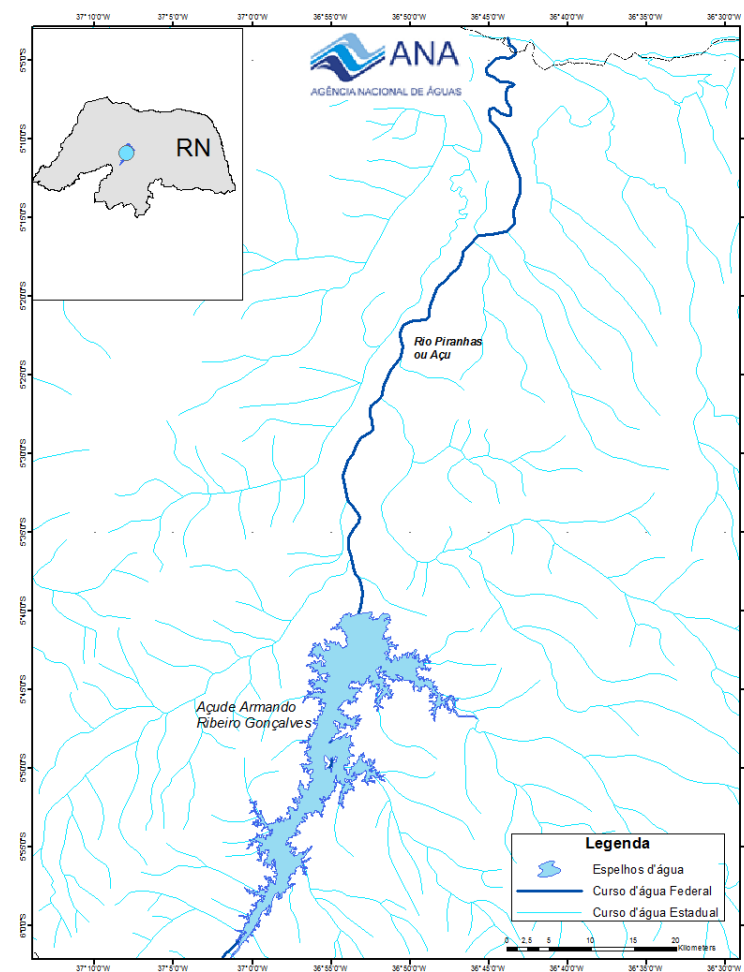
4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

O Reservatório Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves, situa-se na bacia hidrográfica Piranhas-Açú, a bacia ocupa uma superfície de 17.498,5 km², correspondendo a cerca de 32,8% do território estadual. Em toda a extensão da bacia há uma predominância do tipo BSw'h', da classificação climática de Köppen, caracterizado por um clima muito quente e semi-árido, com a estação chuvosa se atrasando para o outono. A temperatura máxima encontrada na região de estudo é de 31,1°C e a mínima de 30,2 °C. A velocidade do vento nessa região, é de aproximadamente 4,5 m.s⁻¹.

A figura 1 representa a Bacia Hidráulica da Barragem Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves em toda sua extensão.

Figura 1- Bacia Hidráulica da Barragem Armando Ribeiro Gonçalves



Fonte: ANA (Agência Nacional de Águas)

A tabela 1 apresenta informações técnicas da Barragem Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves de acordo com os dados fornecidos pelo DNOCS (Departamento de Obras Contra as Secas).

Tabela 1- Características do Reservatório Eng. Armando Ribeiro Gonçalves

Características	Barragem Eng. Armando Ribeiro Gonçalves
Área do Reservatório (m ²)	192.000.000
Volume Acumulado (bilhões de m ³)	2.400.000.000,00
Altura da Barragem (m)	40
Conclusão da Obra	1983
Status de funcionamento	Ativo

Fonte: DNOCS (2019)

De um modo geral, as chuvas anuais médias de longo período situam-se entre 500 mm e 600 mm, com tendência de crescimento, da foz para montante. Na bacia do rio Seridó acontece o inverso, com decréscimo da chuva conforme se caminha de jusante para montante, chegando a pouco mais de 400 mm nas cabeceiras do rio Acauã e do próprio Seridó. Na região de Jucurutu e na do rio Espinharas há núcleos com mais de 700 mm. (DNOCS, 2019).

A Geomorfologia, na porção centro-sul da bacia predomina a unidade geomorfológica Depressão Sertaneja, caracterizada, predominantemente, por formas de relevo tabulares amplas e pouco aprofundadas. Subordinadamente, ocorrem relevos convexos e formas aguçadas. (DNOCS, 2019)

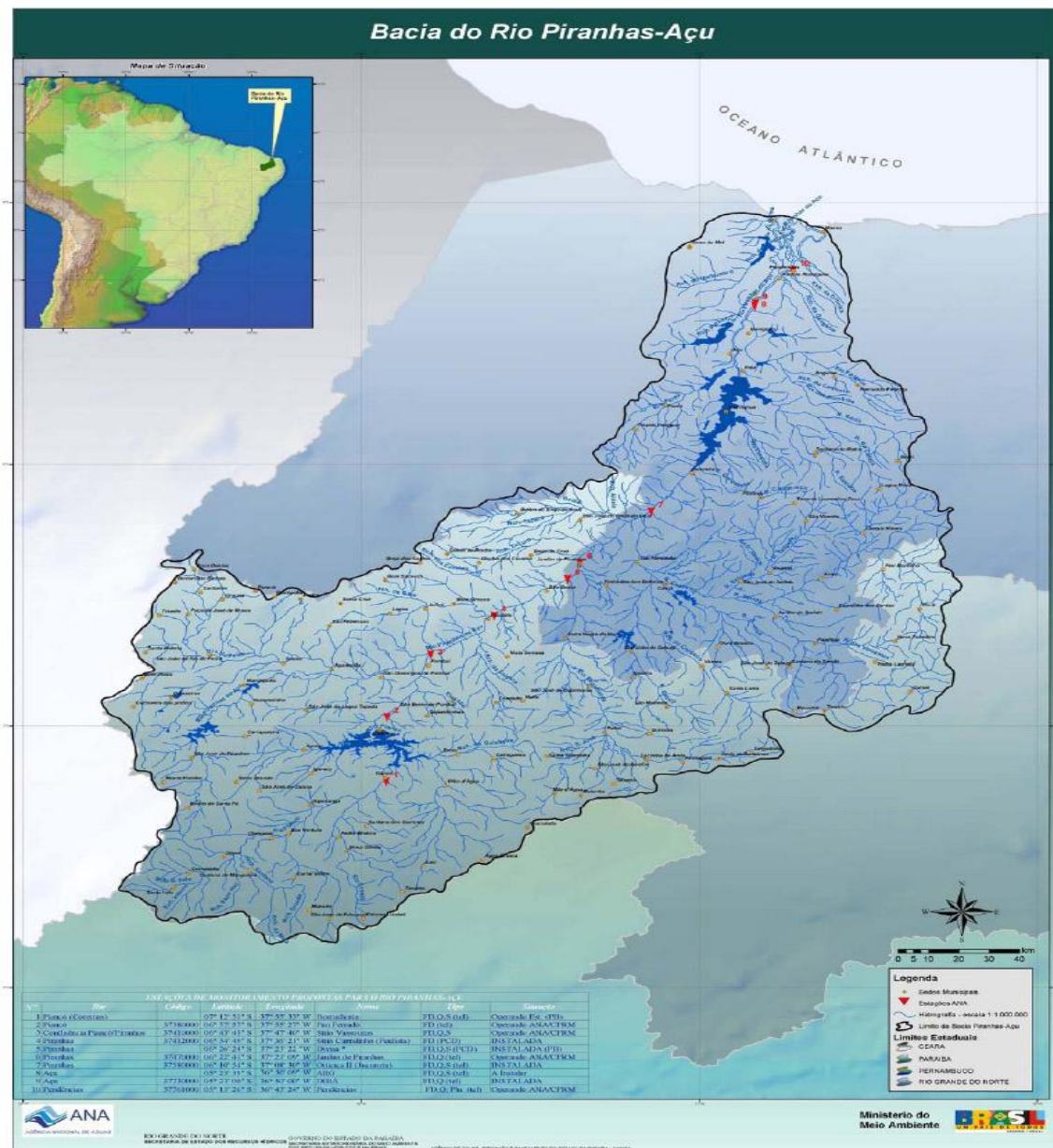
Ocupando a porção sudeste da bacia, ocorre a unidade Planalto da Borborema, constituída por um misto de formas aguçadas, convexas e tabulares, encimadas por notáveis ocorrências de topos amplos, com presença de sedimentos terciários, formando superfícies tabulares erosivas. No setor norte da bacia, observa-se a Superfície Cárstica e os Tabuleiros Costeiros, compostos por relevos tabulares amplos e pouco dissecados e por superfície pediplanada. Na foz do rio Açu, nota-se uma ampla planície flúvio-marinha que constitui a Faixa Litorânea. (DNOCS, 2019).

A Geologia, nas porções centro-sul e sudeste da bacia, predominam rochas cristalinas pré-cambrianas, relacionadas aos complexos Caicó, São Vicente e Seridó, com intrusões de rochas plutônicas e filonianas. No sudeste, destaca-se, ainda, a ocorrência de duas grandes manchas, constituídas por arenitos caulíníticos, arenitos ferruginosos e lateritas, relacionadas à Formação Serra do Martins, do Terciário, recobrimdo terrenos do embasamento Pré-Cambriano. Na parte norte, menos representativa em área que na bacia Apodi-Mossoró, ocorrem calcários da Formação

Jandaíra e arenitos da Formação Açú e Grupo Barreiras. A planície flúvio-marinha, que constitui o renomado Vale do Açú, é constituída por sedimentos quaternários. (DNOCS, 2019)

A Figura 2 Apresenta a Bacia Hidrográfica do Rio Piranha Açú, que constituem a áreas dos estados da paraíba e do rio grande do norte, com suas micro bacias e reservatórios inseridos na bacia. (DNOCS, 2019)

Figura 2 – Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas-Açú



Fonte: ANA (Agência Nacional de Águas)

4.2 Aquisição de dados meteorológicos

Os dados meteorológicos, utilizados neste trabalho, do ano de 2018, foram obtidos na estação meteorológica do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), Estação-A372 de Ipanguaçu-RN, com latitude -5.534867°, longitude: -36.872314°, e altitude de 19 metros. A estação meteorológica, é composta por uma unidade de memória central ("data logger"), ligada a vários sensores dos parâmetros meteorológicos (pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar, precipitação, radiação solar, direção e velocidade do vento, etc), que integra os valores observados minuto a minuto e os disponibiliza automaticamente a cada hora.

4.3 Aquisição dos dados do reservatório

Os dados do reservatório, referente ao monitoramento da Barragem Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves, da cota x área x volume, dos anos de 2006 a 2018, foram fornecidos pelo escritório regional do DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra as Secas), do município de Assú-RN, responsável pelo gerenciamento e monitoramento dos reservatórios público federal da região. Com os dados de cota x área x volume, calculou-se os volumes equivalentes e as vazões equivalentes, referentes as evaporações calculadas pelos modelos matemáticos de Penman et al., (1948), Linacre (1977), Linacre (1993), Kohler et al. (1955) e Thornthwaite (1948).

4.4 Métodos Utilizados Para Estimativa da evaporação

As estimativas da evaporação no reservatório Armando Ribeiro Gonçalves foram realizadas utilizando-se os métodos de Linacre (1977), Linacre (1993), Kohler et al. (1955), Thornthwaite (1948), tendo por base o método de Penman et al., (1948).

4.4.1 Método de Linacre (1977)

Método de Linacre (EToL) A evapotranspiração de referência pelo método de Linacre, em mm dia⁻¹, pode ser obtida em função da altitude, latitude e das temperaturas diárias máxima, mínima e do ponto de orvalho, através da equação (Linacre, 1977):

$$ET_0 = \frac{700 \frac{T_m}{(100 - \phi)} + 15(T_a - T_d)}{(80 - T_a)} \quad (1)$$

Em que:

$$T_m = T_a + 0,006z; \quad (2)$$

z – Altitude, m ;

T_a – Temperatura média do ar, °C;

ϕ – É a latitude local (graus), °;

T_d – É a temperatura de ponto de orvalho, °C

4.4.2 Método de Linacre et al. (1993)

A equação proposta por Linacre et al. (1993), para o cálculo da evaporação em reservatório, quando são conhecidos os dados de temperatura média, precipitação e velocidade do vento, é:

$$E = (0,015 + 0,00042T + 10 \text{ h}^{-6}) [0,8R_s - 40 + 2,5F u_2(T - T_d)] \quad (3)$$

Em que,

R_s - radiação solar na superfície do reservatório (W m^{-2});

F - Fator de correção devido à altitude do local, adimensional;

h - Altitude do local (m);

T - Temperatura do ar (°C), e

T_d - Temperatura do ponto de orvalho (°C).

U_2 – Velocidade do Vento a 2 m

A radiação solar incidente na superfície do reservatório (R_s) foi calculada utilizando-se informações adicionais sobre nebulosidade e precipitação. O cálculo dessa variável é baseado na radiação solar no topo da atmosfera (R_a) e foi obtida pela seguinte relação:

$$R_s = R_a(0,85 - 0,047C) \quad (4)$$

Em que:

R_a = radiação solar no topo da atmosfera (W m^{-2}); e

C = média do número de décimos do céu ocupado por nuvens no momento da observação (adimensional).

O valor de C pode ser inferido a partir de uma relação empírica envolvendo a precipitação média mensal, dada pela seguinte equação:

$$C = 1 + 0,5 \log (P_m) + [(P_m)]^2 \quad (5)$$

Em que P_m corresponde a Precipitação média mensal, em (mm).

O fator de correção devido à altitude do local é dado pela equação:

$$F = 1 - 0,000087h \quad (6)$$

Em que:

F= fator de correção devido a altitude do local (adimensional); e

h= Altitude do local, em (m).

No modelo Linacre et al. (1993), a radiação solar na superfície do reservatório é calculada com base em dados de precipitação. O conjunto de equações para a obtenção da radiação solar e o fator de correção devido à altitude estão descritos em LINACRE et al. (1993).

4.4.3 Método de Penman et al. (1948)

O modelo proposto por Penman et al. (1948), envolve duas considerações teóricas, de transferência de massa e do balanço de energia radiante (LEÃO et al., 2013). Assim, a equação da evaporação no reservatório (mm por mês), de acordo com o modelo proposto por PENMAN et al. (1948), é:

$$E_L = 86,4 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} - \frac{R_n - G}{\lambda \rho} + \frac{\gamma}{\Delta + \lambda} 0,26(0,5 + 0,54\mu_2)(e_s - e_a) \quad (7)$$

Em que,

EL - Evaporação no reservatório (mm por mês);

Δ - Declividade da curva de pressão de saturação de vapor (kPa °C⁻¹);

γ - Coeficiente psicrométrico (kPa °C⁻¹);

R_n - saldo de radiação (W m⁻²);

G - Calor armazenado no curso d'água (W m⁻²);

λ - Calor latente de vaporização (MJ kg⁻¹);

ρ - Massa específica da água (kg m⁻³);

u_2 - Velocidade do vento tomada 2 m acima da superfície (m s⁻¹);

e_s - Pressão de saturação de vapor à temperatura do ar (mb), e

e_a - Pressão de vapor atual (mb).

A obtenção dos parâmetros da equação acima, seguiu a metodologia descrita por Allen et al. (1998). O calor latente de vaporização (λ), em MJ kg^{-1} , foi calculado com base na seguinte equação:

$$\lambda = 2,501 - 0,002361 T \quad (8)$$

Em que:

T = Temperatura média do ar mensal, ($^{\circ}\text{C}$).

Para o cálculo de saldo de radiação (R_n), em W m^{-2} , utilizou-se a equação:

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (9)$$

Em que:

R_{ns} = Saldo de radiação de Ondas Curtas, (W m^{-2}), e;

R_{nl} = Saldo de radiação de ondas longas, (W m^{-2}).

O saldo de ondas curtas foi calculado com base na seguinte equação:

$$R_{ns} = (1 - \alpha) R_s \quad (10)$$

Em que:

α = Albedo;

R_s = Radiação solar global, (W m^{-2}).

Para cálculo da radiação solar foi utilizado a equação:

$$R_s = (a_s + b_s \frac{n}{N}) R_a \quad (11)$$

Em que:

R_s = radiação solar incidente ($\text{MJ/ (m}^2 \text{ dia)}$);

n = número de horas de insolação (horas); e

N = fotoperíodo (horas).

$$R_{so} = 0,75R_a \quad (12)$$

Em que R_{so} corresponde à radiação solar sem nebulosidade, em $\text{MJ/ (m}^2 \text{ dia)}$.

$$R_{ns} = (1 - \alpha) R_s \quad (13)$$

Em que:

R_{ns} = saldo de radiação de onda curta ($\text{MJ/ (m}^2 \text{ dia)}$); e

α = albedo da água do reservatório (adimensional).

$$|R_{nl}| = \sigma \left[\frac{T_{\max K}^4 + T_{\min K}^4}{2} \right] (0,34 - 0,14 \sqrt{e_a}) \left(1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right) \quad (14)$$

Em que:

R_{nl} = saldo de radiação de onda longa (MJ/ (m² dia));

$T_{\max K}$ = temperatura máxima do ar (K);

$T_{\min K}$ = temperatura mínima do ar (K); e

σ = constant de Stefan-Boltzmann (4,903x10⁻⁹ MJ K⁻⁴ m⁻² dia⁻¹).

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (15)$$

Em que R_n corresponde ao saldo de radiação em MJ/ (m² dia)

O albedo da água pode variar de acordo com a sua turbidez, ou seja, a presença de sólidos dissolvidos. Diversos autores determinaram o albedo da água de reservatórios brasileiros, obtendo valores que variaram entre 0,05 e 0,18, chegando a um valor médio de 0,11 (GIONGO & VETTORAZI, 2014; LEIVAS et al., 2007; LOPES et al., 2009). Esse valor foi, portanto, adotado no presente trabalho.

O calor armazenado no curso d'água (G) será desconsiderado em virtude da carência de informações sobre a temperatura da água em ambos os reservatórios. A obtenção dos demais parâmetros, seguirá a metodologia descrita por ALLEN et al. (1998).

4.4.4 Método de Kohler et al. (1955)

A evaporação no reservatório (mm por mês), de acordo com o modelo proposto por Kohler et al., foi estimada a partir da equação:

$$E_L = 0,7 \left(\frac{\Delta R_n}{\Delta + \gamma_L} + \frac{\gamma_L E_a}{\Delta + \gamma_L} \right) \quad (16)$$

Em que,

γ_L = coeficiente psicrométrico corrigido, (kPa °C⁻¹);

Δ = declividade da curva de pressão de saturação de vapor, (kPa °C⁻¹);

E_a = poder evaporante do ar, (mm d⁻¹); e,

R_n = saldo de radiação, em equivalente de lâmina de água evaporada, (mm d⁻¹).

O coeficiente psicrométrico corrigido foi calculado a partir da seguinte equação:

$$\gamma_L = 0,000661 P \quad (17)$$

Em que,

P = pressão atmosférica, (kPa).

O poder evaporante do ar foi estimado em função da velocidade do vento e do déficit de pressão de saturação de vapor, por meio da equação:

$$E_a = 7,518(0,37 + 0,00255 U) (e_s - e_a)^{0,88} \quad (18)$$

O saldo de radiação, representado pela expressão ΔR_n , foi obtido pela equação:

$$\Delta R_n = 154,4 \exp[(1,8T - 180) (0,1024 - 0,0106 \ln (0,239R_s)) - 0,01554] \quad (19)$$

4.4.5 Modelo de Thornthwaite (1948)

A estimativa de evaporação no reservatório (mm por mês) pelo modelo de Thornthwaite (1948) foi feita com base na seguinte equação:

$$E_L = \left(1,6 \left(\frac{10 T_a}{I} \right)^{6,75 \times 10^{-7} I^3 - 7,71 \times 10^{-5} I^2 + 1,79 \times 10^{-2} I + 0,49} \right) \left(\frac{10}{d} \right) \quad (20)$$

Em que:

T_a = temperatura média do ar mensal, (C°);

I = índice de calor anual; e,

d = número de dias do mês.

O índice de calor anual foi calculado pela equação:

$$I = \sum_{n=1}^{12} i, i = \left(\frac{T_a}{5} \right)^{1,514} \quad (21)$$

Em que i corresponde ao mês do ano (i =1, janeiro; ...; i =12, dezembro).

4.5 Estimativa da vazão equivalente a lâmina evaporada

A partir das estimativas da quantidade de água evaporada e conhecidas as áreas de acumulação do reservatório Eng. Armando Ribeiro Gonçalves (fornecidas pelo DNOCS), foram obtidas as vazões médias equivalente a lâmina evaporada, em cada um dos modelos utilizados, a partir da seguinte equação:

$$Q_{ev} = \frac{EvAr}{86400} \quad (22)$$

Em que,

Q_{ev} = vazão média equivalente a lâmina evaporada no reservatório, ($m^3 s^{-1}$);

E_v = taxa de evaporação do reservatório, ($mm d^{-1}$); e,

A_r = área de acumulação do reservatório média mensal, (m^2).

4.6 Estimativa do volume perdido mensal equivalente

A partir da estimativa da lâmina de água evaporada e conhecidas as áreas de acumulação do reservatório (Fornecidos pelo DNOCS), foram obtidos os volumes médios equivalentes de cada mês, em cada um dos modelos utilizados, a partir da equação seguinte:

$$V_e = (ET \times A_r) \quad (23)$$

Em que:

V_e = Volume equivalente, ($em m^3$);

ET = Evaporação do Reservatório, ($em mm$); e

A_r = Área do reservatório, ($em m^2$).

4.7 Comparação entre os modelos

Para a comparação entre os modelos Linacre (1977), Linacre et al. (1993), Kohler et al. (1955), Thornthwaite (1948) e Penman et al. (1948, foram elaborados gráficos e tabelas para comparar os resultados de evaporação obtidos por cada modelo para o reservatório considerado no estudo.

Foram considerados dados meteorológicos obtidos na estação de Ipanguaçu que fica a 21,1 km do reservatório, localizada em região com características climáticas equivalentes à da área do espelho d'água do reservatório de estudo. A referida estação meteorológica encontra-se localizada no entorno da bacia hidrográfica do reservatório.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Um dos problemas que dificultam a gestão de recursos hídricos, são as perdas de água por evaporação nos reservatórios de regularização, fazendo com que estimativas confiáveis de evaporação nos reservatórios sejam essenciais, tanto no planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos, quanto em estudos de impacto ambiental (PEREIRA ET AL., 2008).

Os resultados discutidos neste trabalho, podem ser utilizados como base de referência para a estimativa da evaporação média anual da Barragem Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves, para o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos da bacia do Piranhas-Açu e de outros reservatórios na região do semiárido.

5.1 Caracterização climática da região do reservatório

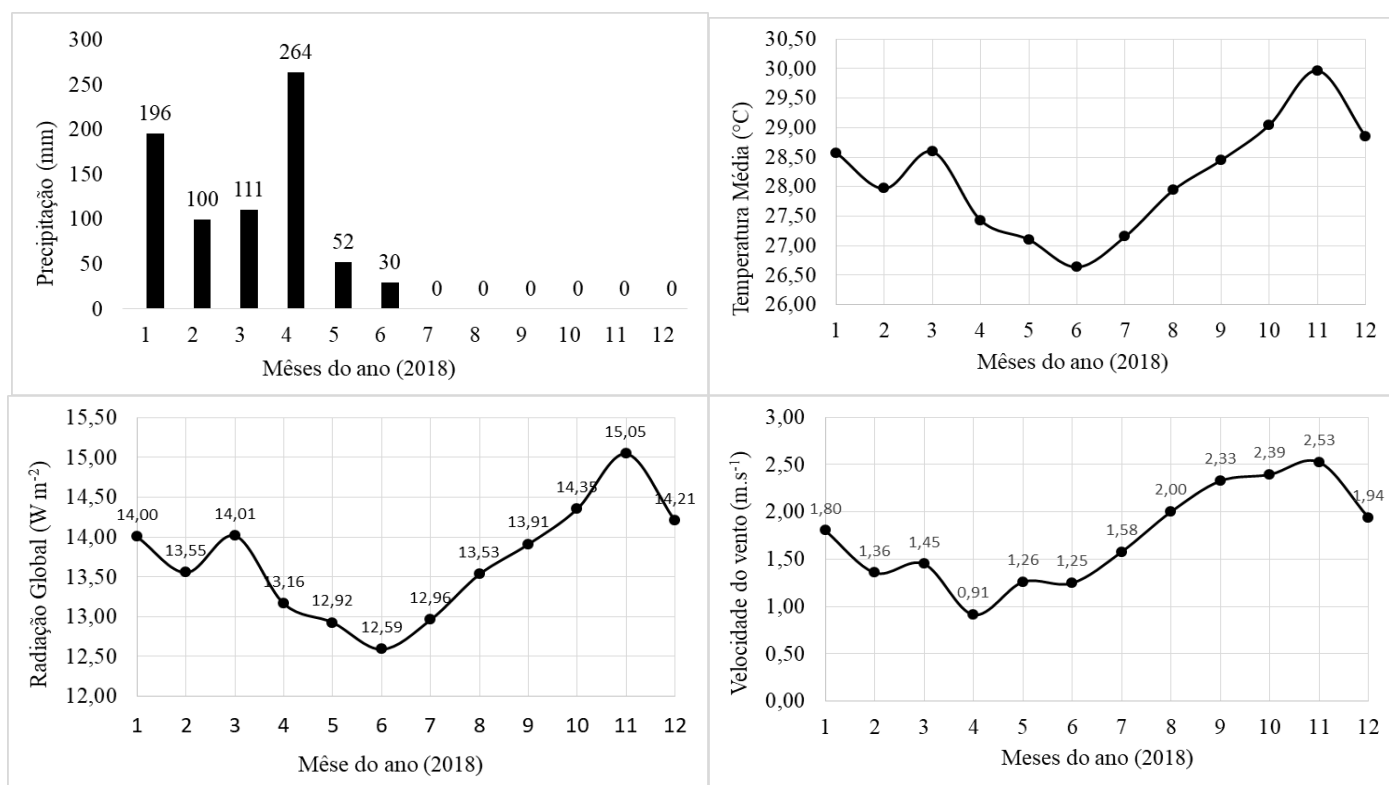
Na Figura 3, encontram-se as variações dos parâmetros climáticos relativos ao reservatório Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves no ano de 2018. Em relação ao comportamento da precipitação evidenciada no período, Figura 3a, observa-se que as maiores lâminas precipitadas ocorreram, principalmente, nos meses de janeiro, fevereiro, março e abril, 196, 100, 111 e 264 mm, respectivamente, enquanto nos meses de maio e junho as precipitações foram reduzidas a valores inferiores à da menor precipitação desses quatro meses, com valores de 52 e 30 mm nos meses de maio e junho, respectivamente. A partir do mês de julho registrou-se um período de estiagem, estendendo-se até dezembro.

Observa-se redução de temperatura entre os meses de janeiro a junho, a partir de junho, a temperatura apresenta comportamento crescente até dezembro. A menor temperatura média ocorre em junho, de 26,5°C. A partir de julho a temperatura apresenta comportamento crescente, até o mês de novembro, onde atinge o seu valor máximo aproximado de 30°C, ocorrendo leve decréscimo no mês de dezembro. (Figura 3b).

A variação da Radiação Global encontra-se na Figura 3c. Observa-se o mesmo comportamento de redução assim como na temperatura, redução de janeiro a junho e crescimento na radiação global. Após o mês de junho, a radiação global apresenta comportamento crescente até dezembro. O mês de novembro foi o mês que registrou de maior radiação global, tendo uma média de aproximadamente 15 W/m⁻² de radiação que atinge a superfície. Os menores valores de radiação global são registrados nos meses de maio, junho e julho, obtendo valores de, 12,92, 12,59 e 12,96 W/m⁻², respectivamente.

Na Figura 3d o comportamento anual da velocidade do vento pode ser visualizado. Observa-se um decrescimento na velocidade do vento registrado entre os meses de janeiro a abril, enquanto registrou-se crescimento de maio a dezembro com leve redução na velocidade de novembro a dezembro. A velocidade do vento média registrada no ano de 2018 foi de $1,73 \text{ m.s}^{-1}$. O mês de abril é o que apresenta a menor velocidade do vento, de $0,91 \text{ m s}^{-1}$, já em novembro o valor chega a $2,53 \text{ m s}^{-1}$.

Figura 3 - Variação da precipitação (a), temperatura média (b), Radiação Global (c) e velocidade do vento (d) na estação de Ipanguaçu - RN, considerando-se o ano de 2018.

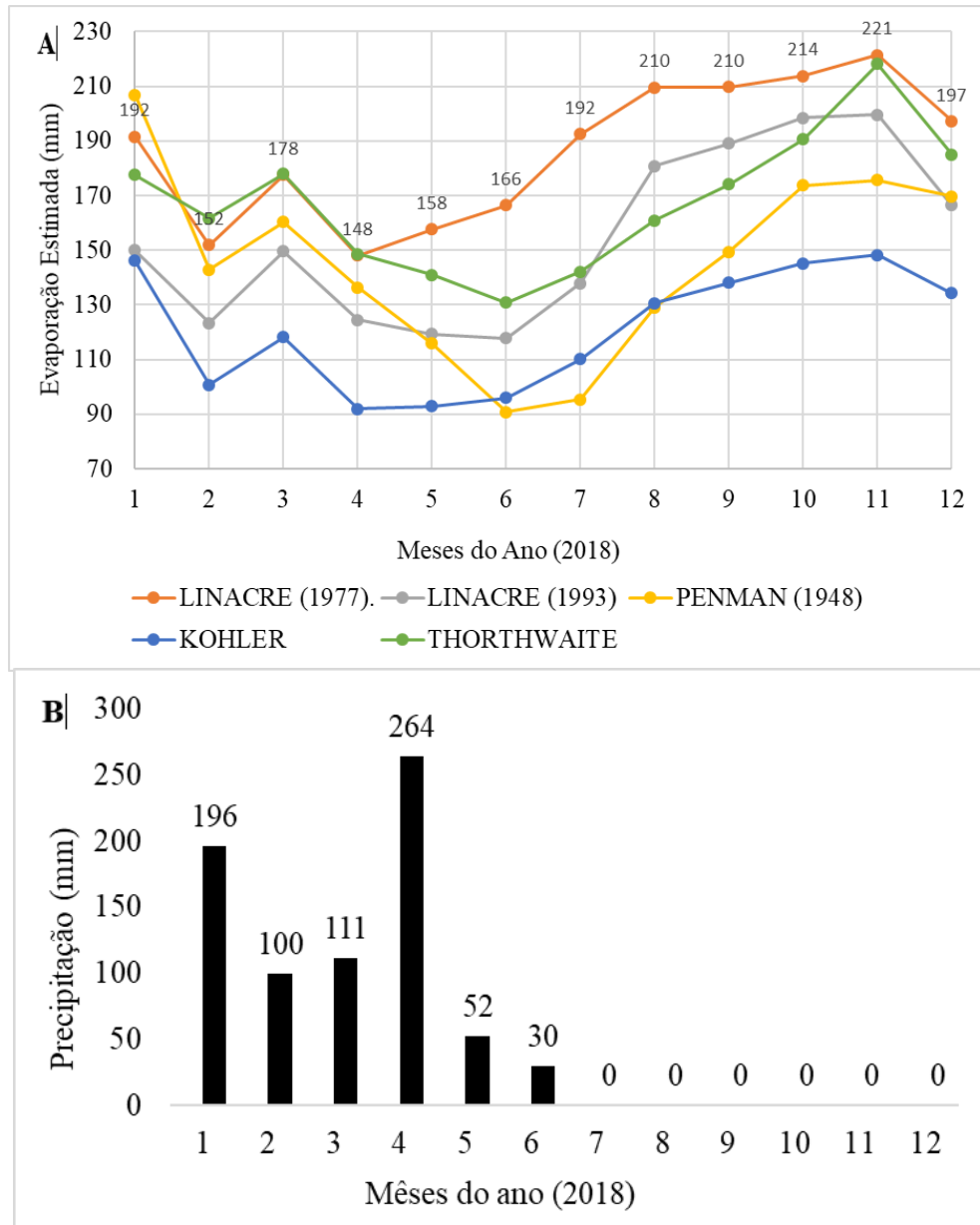


Fonte: Próprio Autor 2019

5.2 Evaporação na Barragem Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves no ano 2018.

Na Figura 4 está apresentada a precipitação e as estimativas de evaporações calculadas pelas equações de Penman (1948), Linacre (1977), Linacre (1993), Kohler et al. (1955), e Thornthwaite (1948), para a Barragem Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves, os resultados de evaporação para o ano de 2018.

Figura 4 - Precipitação média mensal (mm) e estimativa de evaporação mensal média (mm) na Barragem Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves para o ano de 2018 calculadas pelos modelos matemáticos de Penman (1948), Linacre (1977), Linacre (1993), Kohler et al. (1955), e Thornthwaite (1948).



Fonte: Próprio Autor 2019

Considerando o modelo de Penman (1948) como padrão foi realizada uma comparação entre vários modelos de estimativa de evaporação de água em superfície livre, para verificar quais deles apresentavam um comportamento semelhante ao de Penman. No presente trabalho o modelo de Penman foi adotado como referência por apresentar uma base física mais realista e ser citado em várias literaturas como o que melhor representa a evaporação quando comparado aos métodos padrão.

De acordo com a Figura 4, observa-se que os meses que ocorreram precipitação foram de janeiro a junho, com precipitações elevadas, expressivas nos quatro primeiros meses, sendo a máxima no mês de abril (264 mm). Também se verifica que de julho a dezembro ocorreu o período de estiagem, sem precipitação, contribuindo de certa forma para elevação das evaporações. Todos os modelos seguiram comportamento similar ao observado no modelo de Penman, ou seja: tiveram redução nos valores de evaporação entre os meses de janeiro a abril e crescimento da taxa de evaporação de abril a novembro, quando atinge seu valor máximo de evaporação, com ligeira redução no mês de dezembro. Vieira (2015), analisando Estimativa da Evaporação nos Reservatórios de Três Marias-Mg e Sobradinho-Ba chegou a conclusão, de que todos os modelos seguiram comportamento também similar ao observado no modelo de Penman (1948). Observa-se na Figura 4, que entre os meses de janeiro a junho, Penman (1948) é subestimado por Linacre (1993) e Kohler et al., e superestimado pelos modelos de Thornthwaite e Linacre (1977). Nos meses de junho a dezembro o modelo de Penman (1948) é subestimado por Kohler et al., e superestimado pelos demais. No trabalho desenvolvido por Vieira 2015, o modelo de Penman ao longo do ano, obteve resultados que ficaram entre aqueles obtidos por Kohler et al. e Linacre, provavelmente por estes modelos serem simplificações da equação original. Vieira et al. (2016) ao estudarem a evaporação nos reservatórios de Sobradinho-BA e Três Marias-MG constataram que, em relação ao modelo de Penman et al. (1948), o modelo Linacre et al. (1993), superestima a evaporação nos reservatórios de Sobradinho e Três Marias e os modelos Kohler et al. (1955) e Thornthwaite (1948) subestimam a evaporação nos dois reservatórios. O método que proporcionou resultados mais próximos daqueles obtidos por Penman et al. (1948), no reservatório de Sobradinho, foi o do tanque Classe A, utilizando o coeficiente de 0,6.

De acordo com Oliveira (2009), para o ambiente do lago, os métodos de Priestley-Taylor e o de Penman simplificado por Villa Nova et al. (2006) revelaram-se excelentes opções, por não exigirem medidas de vento e por terem apresentado desvios médios menores que o método de Penman original, sendo que o simplificado resultou em valores um pouco mais próximos aos dos evaporímetros.

Leitão et al. (2007), avaliando o desempenho de diferentes métodos de estimativa da evaporação para duas regiões da Paraíba, Boqueirão e Patos, utilizando o tanque evaporimétrico padrão de 20 m² (WMO, 1996), e modelos de estimativa, constataram que, quando comparou as curvas de estimativa de evaporação dos diversos métodos com a curva da evaporação observada no tanque padrão e 20 m² para Boqueirão durante o período

estudado, verificaram que as estimativas pelo método de Penman (1948) apesar de sua aproximação com as medidas entre junho e o final de agosto, em abril e a partir de setembro até fevereiro, apresentaram subestimação, já as estimativas pelo método de Linacre (1993) mostraram uma tendência mais ou menos constante de subestimação das medidas, durante todo o período estudado. Enquanto, as estimativas pelo método de Kohler et al. (1955), subestimaram as medidas de abril a maio, apresentaram aproximação de junho a agosto e as sobreestimaram de setembro a fevereiro. Para Patos, verificaram que as estimativas obtidas pelo método de Penman indicaram uma aproximação relativa com as medidas no início do período, de abril a maio, bem como no final do período, de dezembro a fevereiro, porém no período intermediário, de maio a dezembro, mostraram subestimação. Já as estimativas pelo método de Linacre, exceto no final do período estudado, de janeiro a fevereiro, mostraram uma aproximação relativa com as medidas, mas, no restante do período apresentaram uma subestimação praticamente constante e mais acentuada que em Boqueirão.

De modo geral, é evidenciado na Figura 4 um expressivo aumento da evaporação mensal a partir do mês de julho em quase todos os modelos, com exceção do modelo Kohler et al., no qual o aumento ocorre de forma suave. O valor máximo em todos os modelos ocorre em novembro, com o menor valor para o modelo de Kohler, e o máximo obtido com o modelo de Linacre (1977), seguido por Thorthwaite. Baseando na Figura 3, observa-se crescimento acentuado dos valores de radiação global, temperatura e velocidade do vento, com valor máximo obtido no mês de novembro, associados com ausência de precipitação nesse período, o que justifica crescimento acentuado da evaporação com o pico de evaporação nesse mês. A partir de então, ocorre redução leve no mês de dezembro. Os modelos de Linacre (1977) e Kohler et al., estimaram valores mínimos no mês de abril (148,09 e 92,08 mm, respectivamente), enquanto os modelos de Penman (1948), Linacre (1993) e Thorthwaite os valores mínimos foram obtidos no mês de junho, com valores de 96,03, 117,89 e 130,81 mm respectivamente. Enquanto as evaporações máximas em todos os modelos foram obtidas no mês de novembro, com valores de 148,18, 175,71, 199,63, 218,22 e 221,37 mm para as equações de Kohler et al, Penman (1948), Linacre (1993), Thorthwaite e Linacre (1977) respectivamente.

Os valores da média evaporação mensal, anual e a precipitação anual do ano de 2018, da Barragem Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves, encontram-se dispostos na tabela abaixo:

Tabela 2. Evaporação média mensal em mm, Evaporação anual em mm e Precipitação na Barragem Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves, em Itajá-RN, no ano de 2018, estimadas pelos métodos de Linacre (1977), Linacre (1993), Penman (1948), Kohler et al. (1995), e Thornthwaite (1948).

Modelos	Evaporação Média Mensal (mm)	Evaporação Anual (mm)	Precipitação Anual de 2018 (mm)
Linacre (1977)	186,44	2.237,23	753
Linacre (1993)	154,78	1.857,34	
Penman (1948)	145,55	1.746,61	
Kohler et al.(1995)	121,08	1.452,97	
Thornthwaite (1948)	167,39	2.008,71	

Fonte: Próprio Autor 2019

Quando comparamos as evaporações anual estimada pelos diferentes modelos, observou-se que Linacre (1977), Linacre (1993) e Thornthwaite (1948), superestimam Penman (1948) em 490,62 mm, 110,73 mm e 262,1 mm, respectivamente, correspondente a 28,1%, 6,34% e 15,00%. No entanto, quando se comparou Penman (1948) e Kohler et al. (1995), a diferença entre eles foi de 293,64 mm, tendo variação de 16,81%, a evaporação obtida por Kohler et al. (1995) é subestimada. Os resultados obtidos pelo modelo de Kohler et al. são subestimados em relação aos outros modelos, na Figura 4, é observado este fato, apenas superestimando os valores de Penman (1948) entre os meses de junho a agosto. Entretanto, Pereira et al (2008), utilizando as equações propostas por Linacre (1993), Kohler et al. (1955) e CRLE, para estudar a evaporação líquida no lado de Sobradinho, constataram que os valores obtidos pelo modelo Kohler et al. (1955) podem ser utilizados como base de referência para a estimativa da evaporação média anual. Segundo Leitão et al. (2007), os métodos de estimativa de evaporação que utilizam a umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar, apresentaram os melhores desempenhos. Como pode ser observado, para os valores obtidos por Penman (1948) e Linacre (1993).

5.3 Monitoramento do comportamento da Área e do volume

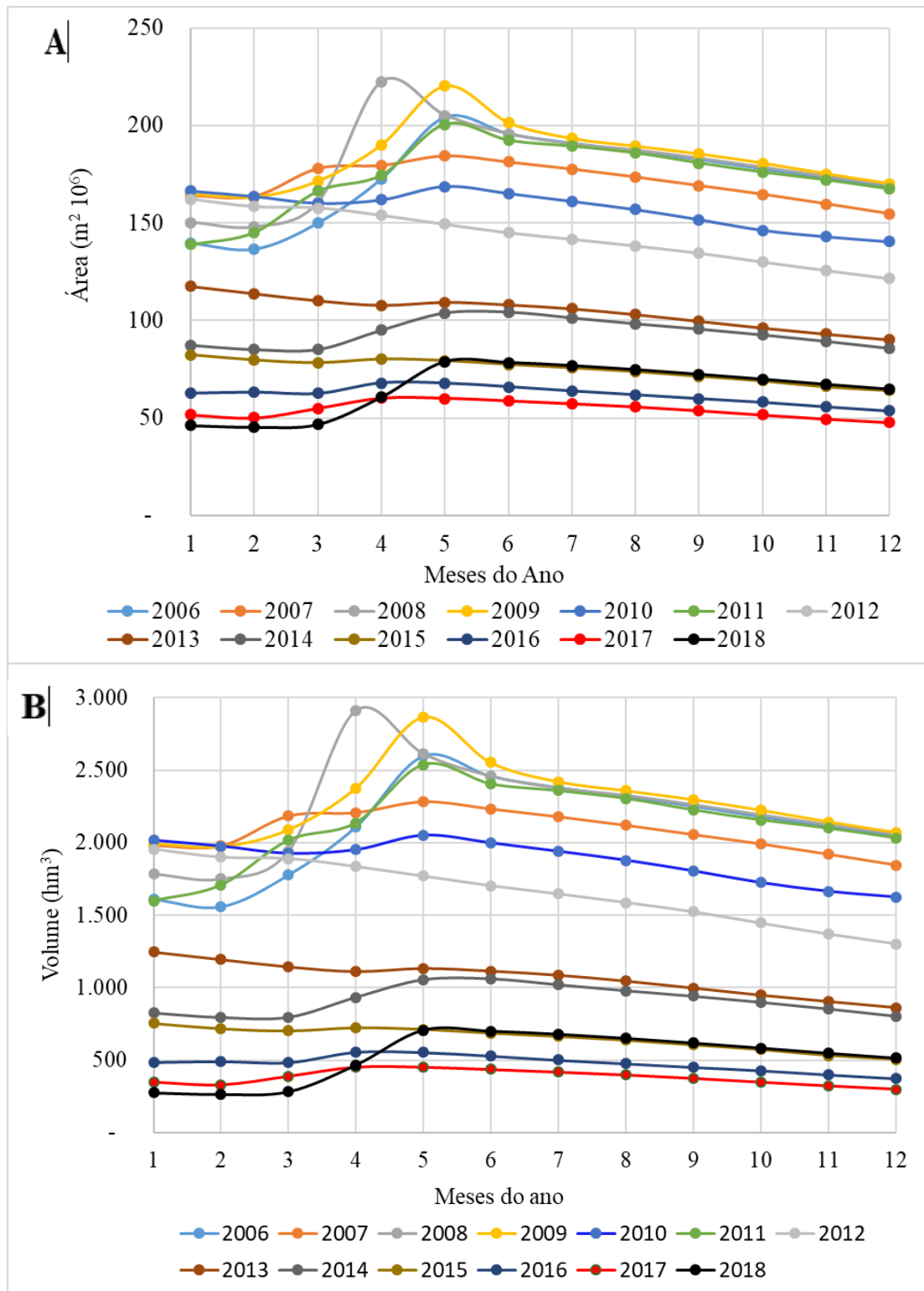
Na Figura 5 estão apresentados os comportamentos das Áreas em m^2 e dos Volumes em m^3 de acordo com dados de Cota-Área-Volume do reservatório Barragem Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves ao longo dos últimos treze anos, dados fornecidos pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), polo Assú-RN. Na Figura 5a, quando se analisou o comportamento das áreas de acordo com as cotas, observou-se que nos três primeiros meses ocorre pequenas variações de valores, de janeiro a março. Nos anos de 2008, 2009, 2011, 2014 e 2018, ocorreu maior crescimento de área entre os meses de março a

maio, em relação aos demais anos, onde se registrou maior pico de área no ano de 2008, seguidos pelos picos de área nos anos de 2009 e 2011 no mês de maio, quando registrou-se nesses anos chuvas acima da média, superior aos registrados nos demais anos. Observa-se redução da área da bacia hidráulica de forma proporcionalmente linear entre os meses de maio a dezembro. Na Figura 4, registra nesse período maior taxa de evaporação, o que contribui para redução da área do espelho d'água, período de maior de radiação global e temperaturas. Quando comparamos a área no último mês do ano com o mês de maio, observamos uma redução média de 23% nos anos analisados. No ano de 2009, registrou-se a maior variação entre esses meses, 30%. Nesse ano, registrou-se uma lâmina de água superior a cota de sangria, o que explica esse maior percentual.

Quando consideramos o último mês do ano, observa-se que o ano de 2017 foi o que registrou menor área, seguido por 2016, 2015 e 2018, enquanto o ano que registrou maior área neste mês foram os anos de 2009 e 2011, anos que registraram precipitações acima da média. O ano de 2017 registrou a menor área, enquanto o ano de 2009 a maior, diferença de 256%.

Quando analisamos a Figura 5b, observamos comportamento do gráfico semelhante ao da Figura 5^a, ou seja, valores de volume, com pequena variação nos três primeiros meses, pico de volume nos mesmos anos, registrados para as áreas, e redução nos volumes a partir de maio, de forma proporcionalmente linear.

Figura 5- Comportamentos das Áreas em m^2 e dos Volumes em m^3 de acordo com dados de Cota-Área-Volume do reservatório Barragem Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves ao longo dos últimos treze anos.



Fonte: Próprio Autor 2019

5.4 Vazão equivalente a lâminas evaporada na Barragem Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves, relativos aos modelos de Penman (1948), Linacre (1977), Linacre (1993), Kohler et al. (1955) e Thorntwaite (1948).

Os valores de vazão anual média, equivalente a lâmina evaporada na Barragem Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves, são apresentados na Tabela 3. Como pode-se perceber, o maior valor de vazão evaporada foi obtido pelo modelo Linacre (1977), correspondendo a $4,56 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e o menor valor para o modelo de Kohler et al. (1955), $2,99 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Os modelos de Linacre (1993) e de Penman (1948) foram os que apresentaram valores mais próximos, com diferença de $0,34 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. O maior valor de vazão equivalente obtida pelo método de Linacre (1977), deve-se a este modelo considerar apenas dados de temperatura e as coordenadas geográficas da local em que se encontra a estação meteorológica, sendo o mais empírico entre os modelos de cálculos de evaporação estudados, no caso, a vazão equivalente calculada quando se usa dados de evaporação de Linacre (1977) superestima a vazão equivalente calculadas com dados de evaporação calculados por Penman (1948), em aproximadamente 30%, já a vazão equivalente calculada com dados de evaporação de Kohler et al., (1955) subestima em aproximadamente 53%. Os valores de vazões equivalentes que mais se aproximam quando se utilizam dados de Penman (1948) é o de Linacre (1993).

Tabela 3- Vazão média anual equivalente evaporada na Barragem Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves Penman (1948), Linacre (1977), Linacre (1993), Kohler et al. (1955) e Thorntwaite (1948).

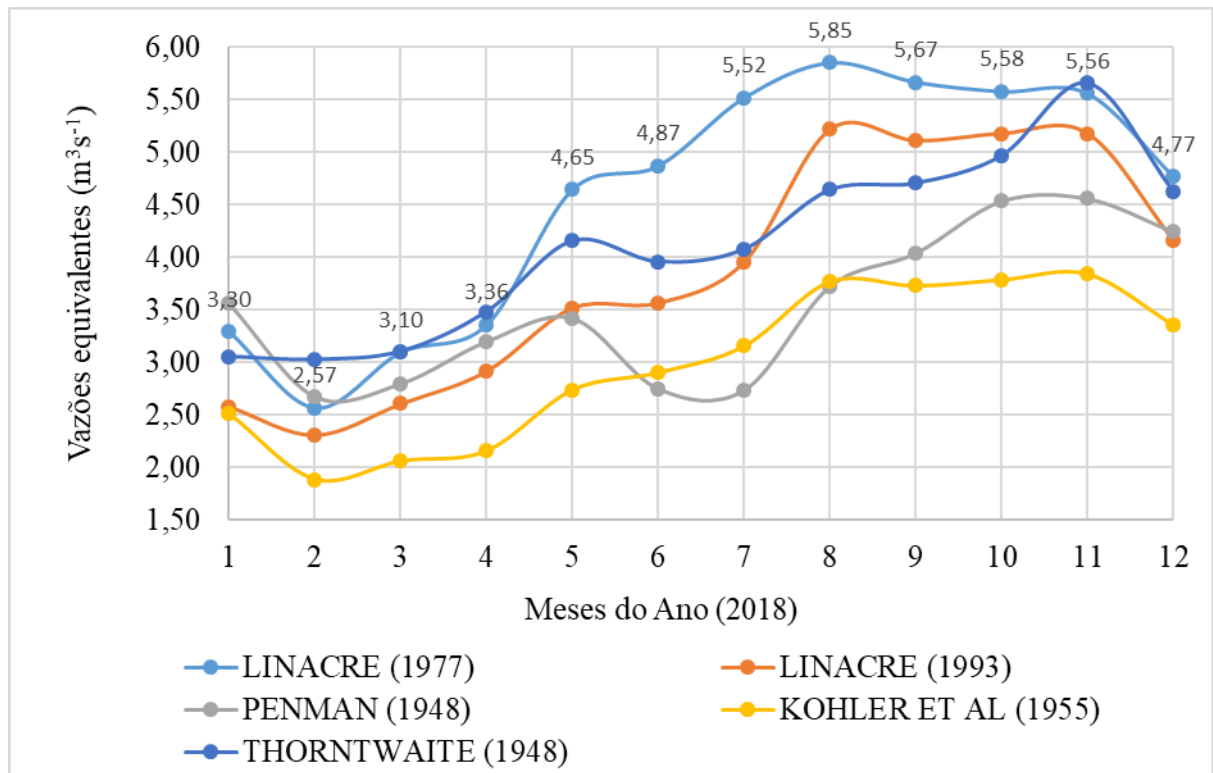
Modelos	Vazão média anual equivalente evaporada ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)
Linacre (1977)	4,56
Linacre (1993)	3,86
Penman (1948)	3,52
Kohler et al. (1955)	2,99
Thorntwaite (1948)	4,12

Fonte: Próprio Autor 2019

Na Figura 6 é possível analisar a variação, ao longo do ano, das vazões médias mensais evaporadas. O maior pico de vazão foi observado em agosto no modelo Linacre (1977), correspondendo a uma vazão de $4,56 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, cerca de 18% maior que Linacre (1993) no mesmo mês. 30%, 52% e 11% superior a Thorntwaite (1948), Kohler et al., (1955) e Penman (1948) respectivamente. O maior pico de vazão evaporada ocorreu em agosto,

diferentemente do que ocorre com a lâmina evaporada, onde o pico para Linacre (1977) ocorreu no mês de abril, devido a área de acumulação do reservatório que é maior em abril do que em agosto. No trabalho de Vieira (2015), a relação percentual entre a vazão equivalente obtidas com dados de Penman (1948) e a vazão liberada pela comporta, foi de 9,8% para o reservatório de Sobradinho-BA, e de 7,6% para o reservatório de Três Marias-MG. Já no presente trabalho, esta relação foi de 32,4%, isto, deve-se a maior influência dos dados climatológicos na região de localização da Barragem Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves, e isto, justifica, a necessidade de avaliações de acordo com cada região.

Figura 6- Vazão equivalente evaporada em m^3s^{-1} da Barragem Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves, Itajá-RN para os modelos de Penman (1948), Linacre (1977), Linacre (1993), Kohler et al., (1955) e Thorntwaite (1948), para o ano de 2018.



Fonte: Próprio Autor 2019

Os resultados encontrados corroboram com os obtidos por Pereira et al. (2009) e reforçados por Vieira (2015), para o reservatório de Sobradinho-BA, no qual a maior vazão líquida evaporada foi obtida pelo modelo de Linacre (1977), comprovando a tendência deste modelo em superestimar os resultados. Vieira (2015), obteve o seu maior pico de vazão estudando o reservatório de Sobradinho-BA, também pelo método de Linacre (1977), no mês

de abril, isto difere dos dados obtidos na Barragem Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves devido aos dados climatológicos da região.

CONCLUSÕES

Os valores obtidos de vazões equivalentes calculadas pelo modelo de Linacre (1993) é a que mais se aproxima da equação de Penman (1948), podendo ser utilizada como modelo no cálculo de evaporação de superfícies livres de água em pequenos e grandes reservatório, quando não se dispões de todos os dados meteorológicos.

A perda de água de superfícies livres nos reservatórios não depende muito da área da superfície da bacia hidráulica, depende mais dos dados climatológicos.

O conhecimento das vazões equivalentes correspondente as perdas por evaporação, é uma informação de grande relevância para o monitoramento das bacias hidrográficas.

A utilização de modelos matemáticos é uma ferramenta de grande importância na estimativa de evaporação de águas de superfícies livres em lagos, córregos e reservatórios.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Grop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO irrigation and drainage. Roma: **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, 328 p., (Paper, 56), 1998.
- ANA. **Plano estratégico de recursos hídricos da bacia hidrográfica Piranha-Açu: Relatório Síntese**. Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA; SPR, 2009.
- BERNARDO, S. Manual de Irrigação. 6.ed. Viçosa: UFV, 2002. 657p.
- BRUTSAERT, W.H. **Evaporation into the atmosphere: theory, history and applications**. Dordrecht: D. Reidel, 1982. 299 p.
- BURMAN, R.D.; POCHOP, L.O., **Evaporation, evapotranspiration and climatic data**, New York: ELSEVIER , 1994. 278p.(Developments in a Atmospheric Science, 22).
- CURTARELLI, M.P.; ALCÂNTARA, E.H.; ARAÚJO, C.A.S.; STECH, J.L.; LORENZZETTI, J.A. Avaliação da dinâmica temporal da evaporação no reservatório de Itumbiara, GO, utilizando dados obtidos por sensoriamento remoto. *Ambi-Agua*, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 272-289, 2013.
- DIAS, N.L.C.; KELMAN, J. **Comparações entre modelos climatológicos e o uso de tanque classe A para estimar a evaporação no reservatório de Sobradinho**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, 7., 1987, Salvador, BA. *Anais...* São Paulo: ABRH, v. 2, p. 162-169, 1987.
- FONTES, A.S. **Estudo da evaporação em reservatórios situados em região semi-árida: uso de bacia experimental**. 2005. 210 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental e Urbana) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, 2005.
- GANGOPADHYAYA, M.; HARBECK, G.E.; NORDENSON, T.J.; OMAR, M.H.; URYVAEV, V.A. **Measurement and estimation of evaporation and evapotranspiration**, 121p. Technical Note n. 83, World Meteorological Organization- WMO, Geneva, n.201, TP 105, 1966.
- GIONGO, P. R.; VETTORAZZI, C. A. Albedo da superfície por meio de imagens TM-Landsat 5 e modelo numérico do terreno. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.8, p.833–838, 2014.
- KOHLER, M. A.; NORDENSEN, T. J.; FOX, W. E. Evaporation from pans and lakes, Washington: U. S. Weather Bureau Research, 1955.21p. Paper 38.
- LEÃO, R.A.O.; SOARES, A.A.; TEIXEIRA, A.S.; SILVA, D.D. Estimativa da evaporação no açude Banabuiú, no Estado do Ceará, por diferentes métodos combinados, derivados da equação de Penman. *Engenharia Agrícola*, v. 33, n. 1, p. 129-144, 2013.
- LEIVAS, J.; FONTANA, D.; BERLATO, M.; CARDOSO, L. **Variação diária do albedo sobre uma superfície vegetada e sobre um lago na estação experimental da UFRGS-RS**. XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Aracaju, SE, 2007.

LENTERS, J. D.; KRATZ, T. K.; BOWSER, C. J. Effects of climate variability on lake evaporation: Results from a long-term energy budget study of Sparkling Lake, northern Wisconsin (USA). **Journal of Hydrology**, v. 308, n. 1, p. 168-195, 2005.

LINACRE, E.T. Data-sparse estimation of lake evaporation using a simplified Penman equation. Elsevier Science Publishers B.V. Agricultural and Forest Meteorology, v. 64, p. 237-256, 1993.

LOPES, H. L.; MONTENEGRO, S.; SOBRA, M. C.; ACCIOLY, L. J. O.; CANDEIAS, A. L. B. **Espacialização de parâmetros biofísicos em parte do reservatório de Sobradinho**. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Campo Grande, MS, 2009.

MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. **The water footprint of electricity from hydropower**. Value of Water Research Report Series No. 51, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands, 2011(a).

OLIVEIRA, G. X. S. Relações entre medidas de evaporação de superfícies de água livre por evaporímetros e estimativas por métodos meteorológicos em duas regiões do Estado de São Paulo. Piracicaba: ESALQ/USP, 2009. 108p. Tese Doutorado. <http://dx.doi.org/10.11606/t.11.2009.tde-04082009-111344>

OLIVEIRA, G.M. de; LEITÃO, M de M.V.B.R; GALVÃO, C. de O.; LEITÃO, T.J.V. Estimativa da evaporação e análise do uso do coeficiente (K_p) do tanque “Classe A” nas regiões do Cariri e Sertão da Paraíba. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 4, p. 73-83, 2005.

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, 1997. 183 p.

PEREIRA, S. B.; PRUSKI, F. F.; DA SILVA, D.; RAMOS, M. M. Evaporação líquida no lago de Sobradinho e impactos no escoamento devido à construção do reservatório. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande/PB, UAEA/UFCG, v.13, n.3, p.346–352, 2009. Aprovado em 2008.

ROQUE, R.O.; SANSIGOLO, C.A. Estimativas de evaporação do lago Taquaruçu, SP pelo modelo conceitual de Morton. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 6, n. 1, p. 21-28, 2001.

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, p. 149-166, 2007.

SIMON, E.; MERO F. A simplifield procedure for the evaluation of the Lake Kinneret evaporation. **Journal of Hidrology**, Amsterdam, v.78, p.291-304, 1985.

SINGH, V. P.; XU, C. Y. Evaluation and generalization of 13 mass-transfer equations for determining free water evaporation. **Hydrological Processes**, v. 11, n. 3, p. 311-323, 1997.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104p.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F.J.L. **Meteorologia descritiva**. São Paulo: Nobel, 1981. 174p.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 3. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, v. 4, 2002.

VIEIRA, N. P. A. Estimativa da Evaporação nos Reservatórios de Três Marias – MG e Sobradinho – BA. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 111p. 2015.

VIEIRA, N. P. A.; PEREIRA, S. B.; MARTINEZ, M. A.; DA SILVA, D. D.; SILVA, F. B. Estimativa Da Evaporação Nos Reservatórios de Sobradinho e Três Marias Usando Diferentes Modelos. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering ISSN: 1809-4430 (on-line)**, Jaboticabal, V.36, p.433-448, maio-junho, 2016.

WURBS, R. A.; AYALA, R. A. **Reservoir evaporation in Texas, USA**. Journal of Hydrology, v. 510, p. 1-9, 2014.